

## PROBLEMATICHE FITOPATOLOGICHE DEGLI APPARATI RADICALI IN PRODUZIONI VIVAISTICHE ED ALCUNE STRATEGIE ATTUALI PER LA DIFESA

Emma Motta, Tiziana Annesi

CRA - Istituto Sperimentale per la Patologia Vegetale  
Via C. G. Bertero 22, I-00156 Roma  
e-mail: e.motta@ispave.it

### Riassunto

I danni alle radici causati da organismi dannosi presenti nel suolo del vivaio o introdotti con il seme vengono presentati attraverso una sintetica trattazione di alcuni generi o singole specie di patogeni, agenti di *damping-off* o di altre alterazioni: *Pythium*, *Fusarium*, *Cylindrocarpon*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina phaseolina*, *Verticillium* spp., *Rosellinia*.

Si esaminano, quindi, le possibili strategie di lotta integrata. In particolare, sulla base di dati sperimentali, si evidenzia la possibilità di un uso della solarizzazione più ampio rispetto a quanto sinora attuato.

**Parole chiave:** *Damping-off*, Patogeni tellurici, IPM, Solarizzazione.

### Summary

#### Root phytopathological problems in forest nursery and control strategies

Damages caused by soil- or seed-borne pathogens in forest nursery are described by dealing with genera and species involved in damping-off and other diseases: *Pythium*, *Fusarium*, *Cylindrocarpon*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Macrophomina phaseolina*, *Verticillium* spp., *Rosellinia*.

Integrated pest management strategies for improving root quality are shortly presented. Special attention is paid to the possible use of soil solarization, even in sub-optimal areas, by a double-layer covering.

**Key words:** Damping-off, Soilborne pathogens, IPM, Solarization.

## Introduzione

L'allevamento in vivaio di specie arboree, siano esse ornamentali o forestali, mira alla produzione di soggetti che, oltre ad essere sani ed armonici nella parte aerea, abbiano un apparato radicale vigoroso e ben conformato, che garantisca la crescita e la stabilità della pianta nel tempo.

Se la nostra attenzione si concentra tutta sulla parte ipogea dei soggetti, particolare importanza riveste la suddivisione dell'attività in vivaio nelle due possibili modalità di produzione: in piena terra o in contenitore.

Nel primo caso i costi sono più ridotti e le procedure di allevamento sono complessivamente eco-compatibili, in quanto alla semina il terreno viene sottoposto a lavorazioni, ma non se ne altera sostanzialmente la composizione. In tale situazione, però, occorre proteggere il giovane soggetto dalle avversità (patogeni e insetti) presenti nel terreno, e ciò talvolta comporta l'uso di fitofarmaci, ed, infine, è necessario "estrarre" la piantina dal terreno, causando inevitabili ferite e mutilazioni alle radici: i vantaggi iniziali, quindi, vengono compensati negativamente dalla maggior necessità di interventi e, nel complesso, dalla ridotta qualità finale dell'apparato radicale. Nel caso della produzione in contenitore, si deve produrre una miscela per il riempimento dello stesso e per la semina, e ciò, a causa dell'uso di torbe e di composti minerali diversi, aumenta i costi e determina impoverimento per asportazione di alcuni ambienti naturali, come le torbiere. Per di più, anche la semina in contenitore con materiali "vergini" può non essere risolutiva per gli aspetti sanitari: infatti, se i contenitori sono appoggiati a terra, gli insetti, i nematodi ed i patogeni che vivono nel terreno possono penetrare all'interno della miscela inizialmente sana e danneggiare la pianta. L'uso di bancali sollevati da terra, invece, dà le migliori garanzie di igiene e sanità.

Questo lavoro si prefigge di descrivere alcuni patogeni tellurici molto comuni dei vivai forestali, con esclusione delle specie di *Phytophthora*, e di presentare alcune linee generali sul controllo integrato. Come metodo di lotta, si tratterà esclusivamente della solarizzazione.

## I patogeni introdotti con il seme

Prima di iniziare a presentare singoli generi o specie di patogeni presenti nel suolo e a considerarne l'importanza per la sanità delle piantine forestali, si propone di allargare appena il campo della trattazione, con una breve riflessione sui patogeni portati o trasmessi tramite il seme.

I patogeni, infatti, possono essere presenti in diversi modi sulla superficie o nei tessuti del seme. Il seme che in qualunque modo veicola un patogeno può creare, comunque, un rischio: l'introduzione di un organismo nocivo in un vivaio precedentemente indenne, anche quando si tratta di organismo soggetto a limitazioni per motivi di quarantena.

Sono noti problemi legati a patogeni originati dal seme per numerosi generi di piante forestali (Richardson, 1990): in questo contesto, ci interessano particolarmente quelli che superano il solo legame iniziale con il seme e con le piantine da esso generate e sono in grado di insediarsi permanentemente nel vivaio, colonizzandone il terreno o conservandosi, da un anno all'altro, nei residui di coltivazione. A titolo di esempio, si acclude una lista (tabella 1), ricavata semplificando una tabella più complessa (Motta e Annesi, 2001).

TABELLA 1 - Patogeni portati da seme in specie forestali.

OSPITE	PATOGENO
<i>Abies</i>	<i>Caloscypha fulgens</i>
<i>Alnus</i>	<i>Ciboria alni</i>
<i>Betula</i>	<i>Ciboria betulae</i>
<i>Castanea</i>	<i>Gloeotinia granigena (Ciboria batschiana)</i>
	<i>Phomopsis viterbensis</i>
<i>Corylus</i>	<i>Monilinia laxa</i>
<i>Cupressaceae</i>	<i>Sphaeropsis sapinea</i> f. sp. <i>cupressi</i>
<i>Eucalyptus</i>	<i>Cylindrocladium</i> spp.
<i>Fagus</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
<i>Juniperus</i>	<i>Phomopsis occulta</i>
<i>Larix</i>	<i>Phoma herbarum</i>
	<i>Phomopsis occulta</i>
<i>Picea</i>	<i>Caloscypha fulgens</i>
	<i>Sirococcus strobilinus</i>
<i>Pinus</i>	<i>Caloscypha fulgens</i>
	<i>Gibberella circinata (G. fujikuroi</i> v. <i>subglutinans)</i>
	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>
	<i>Pestalotiopsis funerea</i>
	<i>Sphaeropsis sapinea</i>
<i>Populus</i>	<i>Drepanopeziza punctiformis</i>
<i>Pseudotsuga</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
	<i>Caloscypha fulgens</i>
<i>Quercus</i>	<i>Gloeotinia granigena (Ciboria batschiana)</i>

### Il *damping-off*

Ancora, prima di entrare in una trattazione più specifica, è necessario descrivere un'avversità molto diffusa nei semenzai, una patologia che interessa quasi tutte le specie e con eziologia "multipla", il *damping-off*. Tale termine inglese indica l'aspetto più evidente dell'avversità, il collasso e la marcescenza delle piantine, ma la malattia si estende ad altri aspetti patologici nel settore delle piantine più giovani in vivaio, e particolarmente nei semenzai. Il *damping-off* è presente nei vivai di qualsiasi area geografica ed è praticamente impossibile far sì che i propaguli dei numerosi possibili patogeni coinvolti, soprattutto specie di *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* e *Pythium*, vengano esclusi dal vivaio.

La malattia colpisce le plantule della maggior parte di conifere e latifoglie al momento dell'emergenza dal suolo del vivaio, quando i tessuti sono ancora succulenti e non lignificati, o addirittura in pre-emergenza.

I sintomi del *damping-off* in post-emergenza sono diversi tra conifere e latifoglie. Nelle prime l'attacco si evidenzia prima dello sviluppo degli aghi primari e produce una lesione "idropica" al livello della superficie del suolo, cui segue l'avvizzimento dei tessuti e la caduta della piantina. Nelle latifoglie, il sintomo è un'area necrotica, sempre al livello del suolo o subito sotto, e, di seguito, si ha l'avvizzimento e la morte della plantula, senza che essa perda la posizione verticale.

In definitiva, i danni possono essere importanti, e consistono in una ridotta copertura nelle parcelle di semina, anche con andamento a macchia. È da notare che il patogeno che produce l'attacco non può essere determinato sulla base dei sintomi che si osservano, ma solo con diagnosi in laboratorio. Essendo i possibili patogeni molto diversi tra loro, anche la difesa chimica non può essere attuata senza tale diagnosi.

La maggior parte degli agenti di *damping-off* sopravvive nel suolo nei residui vegetali o con clamidospore e altri propaguli resistenti alle avversità climatiche. Tali strutture aumentano nel suolo con il ripetersi della coltura, se non si attua una rotazione, e danno, nel tempo, attacchi sempre più gravi. I danni da *damping-off* possono essere endemici in un vivaio e diventare molto gravi in particolari annate, favorevoli ad uno o più dei patogeni e sfavorevoli alle piantine.

Una delle azioni che, intuitivamente, potrebbero essere adottate per prevenire le fallanze nelle parcelle di semina consiste nell'aumentare la quantità di seme: tale rimedio è, in realtà, peggiore del male, in quanto la maggior densità dei semi in germinazione e delle plantule favorisce l'aumento di attività dei patogeni ed il loro passaggio da pianta a pianta (Annesi *et al.*, 1992).

I principali fattori ambientali che influenzano lo sviluppo della malattia sono il pH del suolo, l'umidità e la temperatura; gli effetti di questi fattori variano con i patogeni prevalenti nel singolo vivaio e con le specie in esso seminate. Tutti i patogeni che causano *damping-off* hanno la maggior attività quando il pH del suolo è superiore all'optimum di crescita delle piantine (pH compreso tra 5,2 e 5,8). Terreni freddi ed umidi, inoltre, rallentano la germinazione, prolungando il periodo di suscettibilità delle piantine e favorendo in particolare *Pythium* e *Phytophthora* spp., con un notevole aumento dei danni.

Anche la tessitura del suolo ed il suo contenuto in sostanza organica e sali minerali influenzano lo sviluppo della malattia. I terreni pesanti, con alto contenuto in particelle più sottili, si scaldano più lentamente in primavera, mentre le concimazioni organiche migliorano tale aspetto ed apportano anche microflora utile, che entra in competizione con i patogeni e ne frena l'azione. Anche piccole variazioni locali nelle caratteristiche del suolo, soprattutto quelle che influenzano il drenaggio superficiale, hanno notevole impatto nella diffusione e gravità della malattia, spiegando l'evidenziarsi della mortalità a macchia. A differenza di quanto ci si potrebbe aspettare, i danni da *damping-off* possono essere molto gravi anche nel caso di semine in contenitore: infatti, i patogeni possono colonizzare – specie se i contenitori vengono appoggiati

direttamente a terra, e non su bancali – il substrato di semina, che si solito non ha un suo proprio equilibrio biologico, essendo costituito da una miscela preparata al momento delle semine.

### I principali patogeni nel suolo

In una rapida elencazione, si può ritenere che i principali generi o specie di patogeni che si insediano, agiscono e si perpetuano nel terreno di un vivaio forestale siano i seguenti: *Phytophthora*, *Pythium*, *Fusarium*, *Cylindrocarpon*, *Phoma*, *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae* e *V. albo-atrum*, *Macrophomina phaseolina*, *Rosellinia necatrix*.

Escludendo il genere *Phytophthora*, che viene trattato a parte (Belisario, 2006), si presentano brevi informazioni per ognuno di essi, prima di passare a trattare alcune tematiche relative alla difesa.

***Pythium*.** Come per le specie del genere *Phytophthora*, siamo di fronte ad organismi appartenenti agli *Oomycota*, da non includere nel Regno *Mycota*, ma in quello dei *Chromista*. Al genere *Pythium* afferiscono più di cento specie in cui il micelio presenta ife non settate da giovani, con diametro da 5-7 sino a 10 µm e crescita in coltura più veloce rispetto a varie *Phytophthorae*. La propagazione avviene a partire da sporangi di forme diverse (allungati, globosi o sferici) che possono produrre un micelio (germinazione diretta) o emettere zoospore, mobili in acqua per la presenza di flagelli. La riproduzione sessuata avviene a partire da oospore (plerotiche o aplerotiche) e anteridi, diversi per posizione, numero e modalità di inserzione. Ne deriva l'oogonio, la cui parete può essere liscia o rugosa. Le specie di interesse per le piante sopravvivono nel suolo e nei residui vegetali grazie ad oospore, sporangi o clamidospore. Le specie di *Pythium* (più di 120 nella bibliografia recente) hanno goduto, in tempi diversi, di considerazione variabile, come patogeni di vivaio in generale, e vivaio forestale in particolare. *Pythium ultimum*, *P. irregolare*, *P. aphanidermatum* e *P. debaryanum* sono le specie più frequentemente riportate in bibliografia, come agenti di *damping-off*: i danni maggiori sono certamente quelli causati su piantine molto giovani, in fase ancora erbacea, soprattutto conifere in pre- ed in post-emergenza, per le quali si osserva il collasso completo dei tessuti dell'ipocotile, a livello del colletto, e nella radice. È noto anche un *damping-off* "tardivo", quando l'attacco è rivolto alle giovani radici di piante già lignificate: in questo caso il termine *damping-off* è improprio, in quanto non si ha il collasso della piantina, ma la riduzione di accrescimento e di vigore delle piante, con un'evidente clorosi, ed un minor successo al trapianto.

Le specie attaccate includono tutte le conifere e latifoglie, escludendo salici ed ontani.

***Fusarium*.** Si tratta di anamorf, cioè forme con propagazione asessuata, che producono generalmente vari tipi di propaguli (macro- e microconidi, e clamidospore). I teleomorfi conosciuti afferiscono ai generi *Gibberella* e *Nectria* (Nectriacee, Ascomiceti), che includono specie omotalliche o eterotalliche e formano periteci con

spore ialine settate. Gli studi fitopatologici normalmente prescindono da tale fase, perché si tratta di quella saprofitaria. Il classico riconoscimento in laboratorio è basato, quindi, anche se ciò è improprio da un punto di vista teorico, solo sulla morfologia degli anamorfi. Essi sono inclusi negli Ifomiceti (una suddivisione “di comodo” all’interno di quella che in inglese viene definita una “form class”, quella dei Deuteromiceti) e si classificano in base alla dimensione e forma dei macroconidi - con particolare attenzione alla cellula basale, il cosiddetto “piede”, ed apicale, più o meno acuminata - alla presenza o assenza di microconidi e clamidospore ed alle loro caratteristiche, alla forma e colore della colonia, ecc. Non è il caso qui di entrare in dettaglio, dal momento che interi libri sono stati scritti sull’argomento (Balmas *et al.*, 2000; Leslie e Summerell, 2006; Nelson *et al.*, 1983). Sono descritte almeno un centinaio di specie, alcune con specificità di ospite o di area geografica, altre polifaghe ed ubiquitarie.

Si hanno innumerevoli notizie e segnalazioni su *Fusarium* spp. presenti nei vivai e sui semi di piante forestali. Tra le principali specie si elencano: *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. moniliforme*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. proliferatum* e *F. sambucinum*.

Le specie in esame possono essere presenti nel suolo, come clamidospore o masse di conidi nei detriti vegetali, o essere portate dal seme (Motta e Annesi, 2001; Motta *et al.*, 1996) e sono in grado di colonizzare le piantine non ancora lignificate, quindi sin dalla germinazione, rimanendo poi attive sugli apparati radicali, in cui causano necrosi che compromettono le capacità di assorbimento. Gli ospiti principali sono certamente le specie di conifere, soprattutto i pini.

Escludendo il *damping-off*, di cui si è già trattato, i sintomi dell’attacco da *Fusarium* sono simili al danno da siccità (ridotto accrescimento, seccume delle parti apicali degli aghi, avvizzimento di parte o di tutta la chioma, morte delle piantine nel periodo estivo), ma essi derivano invece dalle necrosi presenti sulle radici, specie negli apici, e le piantine spesso presentano lesioni ed aree con colore e consistenza alterati nella parte basale del fusto. Nel caso di piante infette utilizzate per rimboschimenti, a causa dell’inadeguatezza dell’apparato radicale, si ha una notevole mortalità nel primo anno dopo il trapianto.

***Cylindrocarpon.*** Anche in questo caso, si tratta di Ifomiceti (Deuteromiceti), e tutti i teleomorfi conosciuti appartengono al genere *Nectria* o *Neonectria*, sulla base della rispettiva presenza o assenza dei microconidi. I macroconidi, a differenza di quelli di *Fusarium*, hanno le cellule apicale e basale piuttosto arrotondate ed una forma nel complesso non arcuata; i microconidi e le clamidospore possono essere presenti o assenti; le caratteristiche del micelio e delle colonie sono molto variabili per consistenza, colore, odore, ecc. Tra le numerose specie rintracciabili nel suolo (circa 30), la più specificamente indicata per la sua patogenicità verso gli apparati radicali è *C. destructans* (*N. radicola*), la cui azione è molto simile a quella dei vari *Fusarium* terricoli.

***Phoma.*** Si tratta degli anamorfi di diverse specie di Ascomiceti, quali *Didymella* e *Leptosphaeria*. In particolare, nei vivai forestali si ritrovano *Phoma herbarum*, *P. glomerata* e *P. eupyrena*, agenti di morie precoci e cancri del fusticino in numerose

conifere e latifoglie. Le alterazioni sulle conifere possono svilupparsi in diverse anate, con esiti diversi: alla fine del primo anno si originano cancreti e disseccamenti nella parte alta della piantina, nella primavera del secondo anno si può avere la morte della piantina causata dalla presenza di un cancreto che circonda il fusto all'altezza del suolo o dall'infezione generalizzata alle gemme ed agli aghi. Il danno causato è in relazione alle condizioni fisiologiche delle piantine (crescita attiva o fase di dormienza) ed alla quantità di pioggia: le piantine succulente dopo piogge abbondanti sono esposte ai danni più gravi.

L'inoculo primario in vivaio è dato dalle clamidospore, cellule tondeggianti a pareti ispessite, singole o pluricellulari, in catena o a costituzione "alternarioide", cioè simile ai conidi di *Alternaria*. Sui cancreti e sulle varie lesioni si formano picnidi globosi e scuri: essi, attraverso le loro aperture (ostioli), emettono i conidi, unicellulari, ialini ed ellissoidali, che costituiscono l'inoculo secondario. Le due suddette strutture di propagazione sono frequentemente formate sulle piante attaccate e sui loro residui che restano nel terreno del vivaio da un anno all'altro e permettono la conservazione dei patogeni. È nota anche l'introduzione di *P. herbarum* in vivaio tramite semi infestati (Motta e Perrin, 1994).

***Rhizoctonia solani*.** È il patogeno più diffuso e noto tra i diversi Basidiomiceti che fanno capo ad alcuni generi (*Thanatephorus*, *Ceratobasidium* e *Waitea*). In particolare, la specie che si presenta come micelio sterile denominato *R. solani* è ulteriormente suddivisa in gruppi di anastomosi (AG), con capacità patogeniche diverse. Si tratta di patogeni molto attivi nel causare danni alle radici ed al fusticino delle specie più disparate, anche con notevole mortalità. In vivaio, tali fenomeni possono essere notati su gruppi di piantine, con il formarsi di piccole chiarie, dovute al veloce espandersi del fungo da una pianta attaccata all'altra, specialmente in corrispondenza di aumenti di temperatura e senza necessità di forti quantità d'acqua.

*R. solani* in coltura si presenta come micelio sterile, privo delle unioni a fibbia tipiche dei Basidiomiceti, con ife di notevole diametro, scure e con caratteristiche ramificazioni ad angolo retto, lievemente ristrette nel punto di intersezione nell'ifa di origine, che subito dopo presenta un setto. Il micelio, in coltura e sulle piante attaccate, produce rapidamente un gran numero di sclerozi scuri, grigio-bruni. Essi sono il principale mezzo di sopravvivenza, nei residui di coltivazione che restano nel terreno, e di diffusione, tramite movimenti di terriccio infetto e con l'uso di strumenti per lavorazioni contaminati.

***Macrophomina phaseolina*.** *M. phaseolina* (sinonimo *Sclerotium bataticola*) è un fungo noto solo come anamorfo. Attacca più di 300 specie di piante, includendo specie di interesse agricolo, piante erbacee spontanee e piante forestali nei primi stadi di sviluppo, sia conifere che latifoglie.

Il patogeno è presente e causa danni notevoli solo nelle aree a clima caldo-temperato, come nelle nostre regioni centro-meridionali, ed eventualmente in aree più fredde in condizioni protette (serre): nel periodo caldo dell'estate, l'apparato radicale

viene gradualmente distrutto e le piantine hanno una crescita ridotta ed una evidente clorosi. In molti casi la vitalità delle piantine è compromessa e l'attecchimento al trapianto viene ridotto o annullato.

Con lente d'ingrandimento 10× è possibile osservare i microsclerozi di *M. phaseolina*, formati sotto la corteccia e l'epidermide della parte inferiore del fusto e nelle radici delle piante attaccate. Essi, con i picnidi, che producono conidi unicellulari ialini, sono i principali mezzi di diffusione del patogeno.

***Verticillium dahliae* e *V. albo-atrum*.** Si tratta di due specie di Ifomiceti che si caratterizzano per la produzione di abbondanti conidi ialini (3×6,5 μm) su conidiofori portati in "verticilli". Dei due patogeni tracheomicotici, *V. dahliae* è il più termofilo e nel suolo e in coltura in piastra produce microsclerozi di diametro di 50-200 μm. *V. albo-atrum* è presente in climi più freschi e non forma microsclerozi ma solo micelio durevole, ispessito e scuro. Infetta numerosissime specie, provocando deperimento ed avvizzimento, perché è agente di tracheomicosi. Le piante attaccate possono morire in vivaio o sembrare solo meno vigorose e, quindi, manifestare completamente la malattia solo dopo il trapianto. È bene, quindi, essere molto attenti nel valutare eventuali sintomi del materiale che esce dal vivaio, per garantire un buon esito dei trapianti, a conferma della qualità della produzione.

***Rosellinia necatrix*.** È un patogeno, presente solo in zone fresche e temperate, inserito nelle norme europee per il materiale di propagazione in ambito frutticolo (Direttiva 93/48/CEE del 23 giugno 1993). La sua azione è favorita da una buona disponibilità d'acqua e di sostanza organica. Appartiene agli *Ascomycetes*, ordine *Sphaeriales*, ed è attivo su molte specie, ma è stato studiato soprattutto per la sua dannosità sui fruttiferi, tra cui le specie di *Prunus* che possono essere importanti anche nei vivai forestali: è molto aggressivo e porta a morte i soggetti colpiti. *R. quercina* è importante su querce e faggio di 1-3 anni in ambienti umidi, mentre altre specie, come *R. minor* e *R. aquila*, causano danni su giovani conifere.

Si prende ad esempio il comportamento ed il ciclo vitale di una sola delle specie citate. *R. necatrix* colpisce piante già lignificate, quindi non riguarda le piante nelle parcelle di semina, ma quelle in accrescimento negli anni successivi: i soggetti colpiti hanno chioma clorotica, accrescimento ridotto e possono subire un deperimento progressivo, in più anni, o un avvizzimento repentino a seguito di un periodo di siccità. I sintomi sono legati sia alla degradazione del floema, sia alla presenza di tossine prodotte dal patogeno. Alla base delle piante è presente il micelio addensato e chiaro (subicolo), in cordoni/ventagli, visibile sulle radici ed al colletto, all'esterno della corteccia. In seguito tale micelio diviene scuro, per la presenza di uno stroma melanizzato, che rimane aderente ai residui di coltivazione nel terreno e costituisce la più comune forma di conservazione del fungo. La forma di riproduzione più comune è prodotta dall'anamorfo, *Dematophora necatrix*, sotto forma di sinsemi grigiastri che maturano sul subicolo. Solo raramente, su piante adulte, dopo diversi anni dall'attacco, si formano i periteci, neri e in gruppi molto densi.

## Il controllo integrato nel vivaio forestale

A questo punto - dopo aver preso visione dei problemi che possono derivare dalla presenza di vari patogeni nel terreno - sarà utile soffermarsi su quella strategia di difesa delle giovani piante che costituisce il più pratico ed eco-compatibile approccio per il controllo delle avversità nel vivaio forestale: il controllo integrato. Esso si inserisce nelle procedure di gestione del vivaio e utilizza diverse “strategie” in combinazione, con lo scopo di *prevenire un danno economico* importante e, contemporaneamente, *proteggere l’ambiente* da rischi potenziali, dovuti all’utilizzo indiscriminato di prodotti chimici per la cura di malattie già contratte dalle piantine.

Sul controllo integrato (in termini inglesi “integrated pest management”, da cui deriva l’acronimo frequentemente usato - IPM) è stato scritto moltissimo (Cook, 2000; Cordell *et al.*, 1989). Per tracciare un quadro sintetico, che richiami alla mente gli argomenti più significativi e spinga ad approfondirne gli aspetti di interesse specifico, possiamo ricordare i seguenti punti:

- 1 - Le strategie preventive. Viste le numerose avversità che possono presentarsi nel vivaio, occorre una corretta formazione del personale, che permetta (a) il rinvenimento precoce della malattie, (b) la diagnosi rapida, (c) l’efficace valutazione dei rischi reali e potenziali, per poter evitare l’ingresso e/o la diffusione dell’avversità nel vivaio (esclusione).
- 2 - Le strategie colturali. La sanità del vivaio dipende enormemente (a) dalla scelta del sito, in relazione alle esigenze delle specie che si vogliono coltivare, (b) dalle scelte agronomiche generali (rotazione, colture di copertura, ammendanti organici), (c) dal pH del terreno, (d) dal periodo e (e) dalla densità di semina, (f) dalla pacciamatura, (g) concimazione e (h) irrigazione, (i) dal controllo della temperatura, (l) dalla presenza di un drenaggio permanente del terreno o da lavorazioni profonde, (m) dalla eliminazione di ospiti alternanti (come è, ad esempio, il *Ribes* per la ruggine vescicolosa del pino) e di specie dei frangivento vivi che possano introdurre patogeni nelle piante in coltura, (n) dalla pulizia (quella che in inglese viene con una sola parola indicata come “sanitation”), cioè l’attenta e costante eliminazione di piante alterate, di residui al suolo, di accantonamenti di materiali sporchi in prossimità delle parcelle di coltura.
- 3 - Le strategie chimiche. Queste, che sembrano sempre così certe ed efficaci, in questo contesto vengono di solito molto ridotte, proprio per dare spazio alle altre strategie. Solo come traccia di riflessione, si elencano (a) la fumigazione, (b) le applicazioni di fitofarmaci al suolo o (c) alle foglie e (d) la concia del seme, per prevenire l’insorgere di problemi poi incontrollabili, come indicato nel paragrafo dedicato ai patogeni introdotti con il seme. Gli aspetti più specifici sull’uso di prodotti chimici nel vivaio forestale vengono esposti in dettaglio in un lavoro separato (Conte *et al.*, 2006).
- 4 - Le strategie biologiche. Tali strategie sono certamente le più “attraenti”, ma, purtroppo, sono tuttora piuttosto “limitate” per quanto riguarda i patogeni. A parte le linee di prevenzione che si riferiscono alla (a) qualità del seme, sia per la sa-

nità dello stesso, come già detto, che per la resistenza genetica alle avversità, si tratta di intervenire nell'equilibrio tra ospite e patogeno, a sfavore del secondo, introducendo nel terreno altri organismi che siano (b) suoi parassiti, (c) predatori, o semplicemente (d) competitori, cioè che indeboliscano l'azione dei patogeni perché sfruttano ed esauriscono le risorse che permettono loro sopravvivere come saprofiti nel terreno da un anno all'altro.

Già solo l'elenco di questi quattro punti fa capire che, in realtà, quando si tratta di controllo integrato, è più facile parlarne che attuarlo: occorre comprendere le singole tecniche e valutare dove e quando applicarle. Si può concludere, quindi, che esso è ... un'arte: l'esperienza e l'aggiungersi di nuove conoscenze tecniche la rendono sempre più matura e ne rendono sempre più sicura l'espressione.

### **La solarizzazione**

Si espone di seguito in breve la tecnica della solarizzazione ed un esempio sperimentale della sua applicazione in vivaio forestale (Annesi e Motta, 1994).

La solarizzazione è una pratica messa a punto e utilizzata negli ultimi trent'anni soprattutto nei terreni agricoli e nei paesi con condizioni climatiche più favorevoli (radiazione solare globale e temperatura dell'aria elevate) (Katan *et al.*, 1976; Katan, 1987). Essa consiste nell'intrappolare l'energia solare coprendo il terreno, prima lavorato ed irrigato, con pellicola di polietilene, sfruttando l'effetto serra: infatti, la radiazione solare penetra attraverso il telo e riscalda il suolo, ma la radiazione emessa dal terreno, a maggior lunghezza d'onda, non è in grado di attraversare di nuovo il polietilene. La temperatura del suolo, così, continua a salire, perché la dispersione del calore è fortemente rallentata, in quanto può avvenire solo con trasmissione per contatto tra la superficie del telo e gli strati d'aria a contatto con lo stesso. Il riscaldamento del suolo risulta, comunque, ciclico: con qualche ora di ritardo rispetto alla temperatura dell'aria, la temperatura nel terreno avrà un massimo ed un minimo che sono diversi da quelli della temperatura misurata all'esterno. È stato provato in numerose e diverse situazioni che gli organismi del terreno dannosi per le piante subiscono fortemente l'azione del riscaldamento così ottenuto e scompaiono dagli strati più superficiali del terreno coltivato. In seguito, essi possono ricolonizzarlo, ma, di solito, molti altri organismi, ad azione solo saprofitaria o anche benefica sulle radici delle piante, risultano colonizzatori più rapidi ed efficienti: in conclusione, questi escluderanno o almeno ridurranno la presenza dei patogeni dallo strato di suolo esplorato dalle radici. Nei vivai forestali, molti dei patogeni tellurici, che causano danni nei seminati, possono essere controllati o ridotti con la solarizzazione (Kassaby, 1985).

Per superare in parte le limitazioni climatiche, in regioni con radiazione solare globale non abbastanza elevata, è stata applicata la tecnica della solarizzazione con doppio telo, che, creando un "volano" termico all'interno di un tunnel sovrapposto

al telo steso sul suolo, permette di raggiungere una temperatura nel terreno più alta rispetto alla stessa tecnica con un solo telo (Ben-Yephet *et al.*, 1987; Raymundo e Alcazar, 1986).

Dal momento che in Italia centro-settentrionale le condizioni climatiche sono certamente sub-ottimali per la solarizzazione (Garibaldi e Gullino, 1991), una prova in tal senso è stata impiantata, per due anni consecutivi, nel vivaio forestale di Pieve S. Stefano (AR) (43°40'N di latitudine, 420 m s.l.m.). Nelle parcelle di semina (terreno con 40% di scheletro, 23% di sabbia, 11% di limo e 26% di argilla) la presenza di un consistente inoculo di *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* e *Fusarium* spp. (soprattutto *F. oxysporum*: Annesi *et al.*, 1991) aveva sempre causato forti mortalità in pre- e post-emergenza (Fig. 1).

All'inizio del luglio 1991, il terreno fu lavorato, livellato e irrigato sino alla capacità di campo. Poi si realizzò la copertura (4 parcelle 3 m × 3 m) con due strati di pellicola in polietilene, il primo (50 µm di spessore) fu steso sulla superficie del suolo, il secondo (150 µm di spessore) fu montato su supporti in tondino, creando un piccolo tunnel di 80 cm di altezza. Quattro parcelle della stessa superficie furono lasciate scoperte, come controllo (Fig. 2). Le temperature dell'aria e del suolo ( a 5 e 15 cm di profondità) e la radiazione solare globale furono misurate da sensori collegati ad un datalogger con registrazione continua.

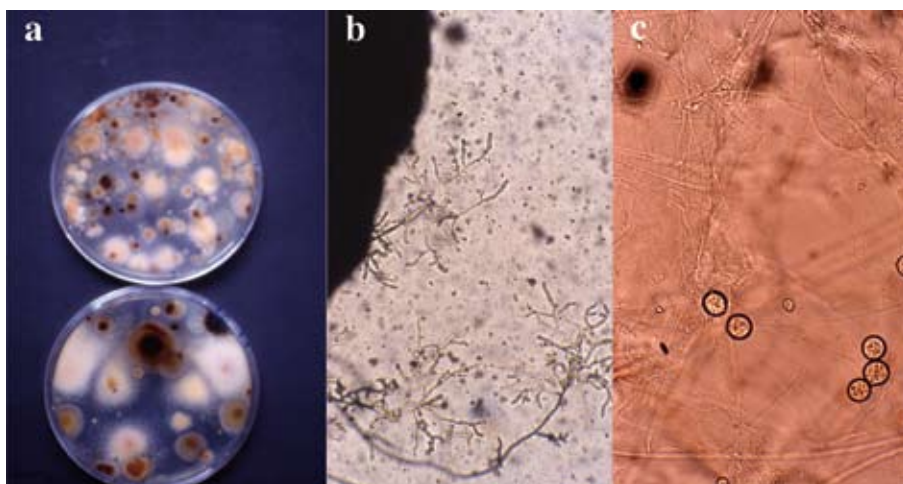


Fig. 1 - Uso di substrati selettivi per l'analisi micologica del terreno prima della solarizzazione: a) sono visibili colonie di colore chiaro di *Fusarium* spp., prodotte diluendo campioni di suolo in substrato selettivo; b) micelio di *Rhizoctonia solani* che fuoriesce da un pellet di terreno posto su substrato selettivo; c) strutture riproduttive di *Pythium* spp. prodotte diluendo campioni di suolo in substrato selettivo.



Fig. 2 - Copertura del terreno con doppio telo di polietilene (a: 1991; b: 1992) per la solarizzazione del terreno nel vivaio di Pieve S. Stefano (AR).

Le coperture furono rimosse dopo 7 settimane (Fig. 3). In tutte le 8 parcelle furono raccolti campioni di terreno dallo strato più superficiale (0-15 cm), successivamente asciugati all'aria e passati al setaccio da 3 mm, per effettuare il test biologico descritto più sotto.

L'esperimento in vivaio fu ripetuto nel 1992, con identica procedura, tranne che per la misura delle parcelle: furono realizzate solo due parcelle più grandi (6 m × 3 m), una coperta con doppio strato, l'altra scoperta, per controllo. A fine prova, furono raccolti quattro campioni a caso da ciascuna parcella.

L'effetto della solarizzazione sui patogeni tellurici fu saggiato usando plantule di *Pinus nigra*, le più sensibili al *damping-off* (Annesi *et al.*, 1991), come trappola. I semi furono sterilizzati con acqua ossigenata al 30% per un'ora e posti a germinare su carta bibula inumidita, in condizioni di sterilità.



Fig. 3 - a) Aspetto generale delle parcelle a fine prova; b) particolare sull'assenza di infestanti nell'area trattata.

Quando la radichetta raggiungeva 1-2 cm, le plantule venivano poste in vasetti da 300 ml (10 per vasetto) riempiti con i campioni di terreno raccolti in vivaio (12 vasetti con terreno trattato, 12 con quello non trattato). Il materiale veniva posto in una camera di crescita, con temperatura di 20 °C, 80% di umidità relativa e cicli alternati di buio e di luce (2000 lux) di 12 ore. Nell'arco di un mese, le piantine morte venivano raccolte e si effettuava l'isolamento su agar malto all'1% per isolare ed identificare il patogeno coinvolto.

Nonostante il fatto che il valore totale della radiazione solare nelle 7 settimane di prova nei due anni sia stato lo stesso (287 kWh/m<sup>2</sup> in 49 giorni), le temperature furono leggermente più alte durante il 1992, sia nell'aria (massima a 35 °C contro i 32 °C nel 1991) che nel suolo a 15 cm di profondità (tabella 2).

TABELLA 2 - Dati registrati nel corso dei due anni della prova di solarizzazione.

Profondità	TEMPERATURA MASSIMA DEL SUOLO				ORE CON T > 40 °C Solarizzato
	Controllo		Solarizzato		
	5 cm	15 cm	5 cm	15 cm	15 cm
1991	36,0	28,6	52,4	43,2	127
1992	39,3	31,4	53,6	47,2	388

Di conseguenza, la temperatura del suolo nelle parcelle solarizzate a 15 cm di profondità ha superato i 40 °C per 127 ore in totale, in 8 giorni consecutivi e per altri 10 giorni isolati nel 1991, mentre nel 1992 le stesse condizioni di temperatura durarono per 388 ore in 42 giorni consecutivi.

TABELLA 3 - Risultato dei test biologici nei due anni della prova di solarizzazione (120 semenzali).

		MORTALITÀ		PRESENZA DEI PATOGENI (N.)		
		%	N.	<i>Pythium</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Rhizoctonia</i>
1991	controllo	76,6	92	51	70	23
	solarizzato	1,6	2	0	1	1
1992	controllo	65,8	79	36	51	8
	solarizzato	1,6	2	0	2	0

I test biologici (Fig. 4 e Tab. 3) alla fine della solarizzazione del 1991 evidenziarono valori significativi nel controllo di *Pythium* spp., *Fusarium* spp. e *R. solani*; la mortalità delle piantine fu del 76,6% nel controllo non trattato e dell'1,6% nel terreno solarizzato, dove solo 2 piantine morirono, e da esse furono isolati *F. oxysporum* e *R. solani*. Anche nei test sul terreno trattato nel 1992 la mortalità fu dell'1,6% (2 piantine attaccate da *Fusarium* spp.), mentre la mortalità nel testimone raggiunse il 65,8%.

Oltre all'efficacia sui patogeni tellurici, in entrambi gli anni si ottenne un completo controllo delle infestanti che, come fu verificato sulle parcelle di controllo, comprendevano le seguenti specie: *Cirsium* sp., *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa crus-galli*, *Hordeum* sp., *Oxalis* sp., *Papaver rhoeas*, *Portulaca oleracea*, *Senecio vulgaris*, *Stellaria media* e *Veronica persicaria*.



Fig. 4 - Test biologico per la valutazione dell'efficacia del trattamento di solarizzazione: a sinistra i vasetti sono stati riempiti con terreno prelevato nelle parcelle coperte con doppio telo, a destra con il testimone non trattato, cioè con il terreno che portava i patogeni naturalmente presente nel vivaio.

In conclusione, la prova ripetuta in due anni diversi ha evidenziato che già l'effetto di riscaldamento ottenuto nel primo anno (il raggiungimento di 41 °C per "solo" 127 ore) è sufficiente ad ottenere un positivo controllo dei patogeni nel terreno.

Si aggiunga che, in separata prova, lo stesso effetto era stato cercato in laboratorio, riscaldando ciclicamente, a “bagnomaria” a  $41 \pm 1$  °C, campioni di suolo naturalmente infetto. L'effetto di drastica riduzione dei patogeni era stato raggiunto già in 70 ore di trattamento termico. Ciò indica che un'efficace difesa dei seminati con la solarizzazione è possibile anche da un punto di vista tecnico e pratico: occorre, infatti, prevedere una rotazione dei terreni in cui ogni anno si effettui la solarizzazione con doppio telo su una sola delle parcelle di semina, con durata più ridotta rispetto alle 7 settimane saggiate in campo (probabilmente 3-4 settimane sarebbero sempre sufficienti), sfruttando il periodo più favorevole, e cioè a partire dall'inizio di luglio.

### Lavori citati

- ANNESI T., M. CASELLA, E. MOTTA, 1991. Soilborne pathogens: occurrence and control in an Italian bareroot nursery. *In: Proceedings of the first meeting of IUFRO Working Party S2.07-09 (Diseases and Insects in Forest Nurseries)*. Victoria, BC, Canada, August 23-30, 1990, 229-233.
- ANNESI T., M. GIOVINAZZO, E. MOTTA, V. PERRONE, 1992. La concia del seme forestale: sperimentazione in semenzai di *Pinus nigra*. *Italia Forestale e Montana*, **47**, 268-279.
- ANNESI T., M. GIOVINAZZO, E. MOTTA, 1993. La concia del seme forestale: risultati della sperimentazione su *Picea excelsa*. Atti del convegno “Le avversità delle abetine in Italia”, Vallombrosa (Firenze), 87-91.
- ANNESI T., E. MOTTA, 1994. Soil solarization in an Italian forest nursery. *European Journal of Forest Pathology*, **24**, 203-209.
- BALMAS V., A. SANTORI, L. CORAZZA, 2000. Le specie di *Fusarium* più comuni in Italia. *Petria*, **10**, Suppl. 1, 1-60.
- BELISARIO A., 2006. Le *Phytophthorae* in vivaio. *Petria*, **16**, 277-284.
- BEN-YEPHET Y., J.J. STAPLETON, R.J. WAKEMAN, J.E. DEVAY, 1987. Comparative effects of soil solarization with single and double layers of polyethylene film on survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. *Phytoparasitica*, **15**, 181-185.
- CONTE E., B. MORETTI, M.T. SCHIAVI, 2006. LA difesa dei vivai: difficoltà nell'uso di prodotti fitosanitari. *Petria*, **16**, 285-293.
- COOK R.J., 2000. Advances in plant health management in the twentieth century *Annual Review of Phytopathology*, **38**, 95-116.
- CORDELL C.E., R.L. ANDERSON, W.H. HOFFARD, T.D. LANDIS, R.S. JR. SMITH, H.V. TOKO, 1989. Forest Nursery Pests. USDA Forest Service, Agriculture Handbook No. 680, 184 pp.
- GARIBALDI A., M.L. GULLINO, 1991. Use of solarization in marginally suitable climate. *In: DeVay J.E., J.J. Stapleton, C.L. Elmore (Eds), Soil solarization. FAO Plant production and protection papers No. 109, Rome, Italy, 253-256.*

- KASSABY F.Y. 1985. Solar-heating soil for control of damping-off diseases. *Soil biology and biochemistry*, **17**, 429-434.
- KATAN J., 1987. Soil solarization *In*: Chet I. (Ed.), Innovative approaches to plant disease control. John Wiley and Sons, New York, 77-105.
- KATAN J., A. GEENBERGER, H. ALON, A. GRINSTEIN, 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, **66**, 683-688.
- LESLIE J.F., B.A. SUMMERELL, 2006. The *Fusarium* laboratory manual. Blackwell Publishing Professional, Ames, IA, USA, 388 pp.
- MOTTA E., T. ANNESI, 2001. Patogeni associati al seme forestale: problemi, prevenzione, lotta. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali*, **49-50**, 101-111.
- MOTTA E., T. ANNESI, V. BALMAS, 1996. Seedborne fungi in Norway spruce: testing methods and pathogen control by seed dressing. *European Journal of Forest Pathology*, **26**, 307-314.
- MOTTA E., R. PERRIN, 1994. *Phoma herbarum* and *Phomopsis occulta*, seed-borne pathogens causing damping-off on larch. *In*: Perrin R., J.R. Sutherland (Eds), Diseases and Insects in Forest Nurseries, Les Colloques, n° 68. INRA, Paris, 93-101.
- NELSON P. E., T.A. TOUSSON, W. F. O. MARASAS, 1983. *Fusarium* species. An illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press, University Park, PA, USA, 193 pp.
- RAYMUNDO S.A., J. ALCAZAR, 1986. Increasing efficiency of soil solarization in controlling rootknot nematodes by using two layers of plastic mulch. *Journal of Nematology*, **18**, 628.
- RICHARDSON M.J., 1990. An annotated list of seedborne diseases. 4<sup>th</sup> Ed. ISTA, Zürich, Switzerland.