

## Risorse idriche e salute delle piante

### INTRODUZIONE

L'acqua è molecola indispensabile alla vita. Non esiste nella biosfera essere vivente che ne possa fare a meno: dalle più semplici forme unicellulari agli organismi multicellulari più evoluti, tutti necessitano di acqua per lo svolgimento delle proprie funzioni vitali.

L'acqua è di per sé indice di vita. Non a caso, obiettivo primario di ogni programma di esplorazione spaziale è la ricerca di tracce di tale prezioso elemento. Il rinvenimento di acqua costituirebbe infatti un segnale fondamentale dell'esistenza di forme di vita aliene.

L'acqua ha giocato un ruolo cruciale nello sviluppo della stessa civiltà umana. Le civiltà più evolute dell'antichità si svilupparono in Mesopotamia (dal greco Μεσοποταμία = *in mezzo ai fiumi*), fascia di territorio compresa, per l'appunto, tra due importanti fiumi, il Tigri e l'Eufrate, che la resero l'area più florida e ospitale del Medio Oriente e del mondo conosciuto dell'epoca. Le risorse idriche hanno sempre, del resto, rivestito per l'uomo importanza capitale, tanto da essere state nel corso dei secoli motivo di aspre contese. La *guerra dell'acqua* è in effetti uno dei conflitti storicamente più ricorrenti tra popoli, tribù, gruppi etnici. Oggi il problema è più che mai attuale, e anzi è viepiù esacerbato dagli effetti, in alcune aree del Pianeta devastanti, del *Climate Change* (De Wit e Stankiewicz, 2006). Secondo le Nazioni Unite, è altamente realistico il rischio che nel XXI secolo scoppino delle guerre per l'approvvigionamento di questa ri-

\* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente (DISPAA), Sezione di Patologia vegetale ed Entomologia, Università di Firenze

sorsa, la cui carenza si sta drammaticamente aggravando a livello planetario (Barnaby, 2009).

L'acqua è il principale componente del protoplasma, quindi elemento costitutivo essenziale dei tessuti vegetali. In condizioni di carenza di acqua, le cellule e gli organi della pianta perdono turgore e consistenza meccanica e il vegetale va incontro a profonde alterazioni delle proprie strutture e funzioni. L'acqua interviene altresì nelle piante come solvente, consentendo il passaggio di gas e soluti attraverso cellule e organi, e come reagente. Processi fondamentali, quali la fotosintesi, gli scambi gassosi, l'assorbimento e il trasporto degli elementi nutritivi, la divisione e la distensione cellulare, varie reazioni enzimatiche, dipendono dalla disponibilità di acqua. Le sostanze elaborate con il processo fotosintetico nelle foglie sono traslocate al resto della pianta attraverso la soluzione acquosa circolante. È grazie all'acqua dispersa mediante il processo di evapotraspirazione che le parti aeree dei vegetali non si surriscaldano eccessivamente quando l'insolazione e la temperatura dell'aria diventano elevate (Araya, 2007).

L'acqua è dunque elemento indispensabile alla vita delle piante, di cui regola sviluppo e benessere generale. Recita un antico detto contadino: *senza l'acqua non cresce il grano*. Chi si occupa di coltivazioni, siano esse a cielo aperto o protette, intensive o estensive, sa bene che la indisponibilità di detta risorsa è uno dei maggiori fattori di decurtazione della produzione. Nella pianura padana, ad es., la coltivazione di mais in assenza di irrigazione ha una resa produttiva pari a circa un terzo della coltura irrigua (Nazzareno e Olivero, 1986).

Analizzare l'impatto del parametro idrico sulla salute delle piante non è semplice. L'acqua è un determinante fondamentale della funzionalità dei sistemi biologici, entro cui agisce a vari livelli gerarchici, dall'ecosistema alla singola cellula. Nelle produzioni agro-forestali la problematica è vasta e variegata, perché ricorre in una pluralità di sistemi, da quelli più complessi, come le biocenosi naturali, a quelli più semplificati, come le colture idroponiche. In mezzo troviamo una gamma di metodi colturali che fanno della risorsa idrica un uso diversificato e da questa sono diversamente condizionati.

L'argomento è dunque impegnativo. Per affrontarlo in maniera appropriata – senza avere tuttavia pretese di esaustività – è opportuno considerare in quali e quanti modi questa preziosa risorsa influenzi la salute delle piante e, di rimando, la produttività delle colture. L'acqua può limitare la salute delle piante in relazione: alla *forma* con cui si manifesta in natura (pioggia, neve, grandine, ecc.); alla sua *disponibilità* o *indisponibilità* (eccessi o carenze idriche); alla sua *influenza*, in positivo o in negativo, sul ciclo vitale dei vegetali

e dei loro parassiti, e sulle interazioni che avvengono tra questi due gruppi di organismi; alla *funzione*, talvolta destabilizzante, che viene ad assumere in determinati agroecosistemi (ad es. come vettore di agenti fitopatogeni o come fattore di stress). Appare dunque evidente come l'impatto dell'acqua sulla sanità dei vegetali sia da ricondurre a fattori molteplici ed eterogenei che, per necessità di schematizzazione, possiamo distinguere in due categorie principali:

- fattori idro-meteorologici: origine e natura delle acque; andamento e tipo di precipitazioni;
- fattori bio-epidemiologici: alterazione della fenologia e della fisiologia dell'ospite; modulazione del ciclo vitale dei parassiti (produzione, liberazione, dispersione, conservazione dell'inoculo); condizionamento del processo infettivo e dell'intero processo patogenetico.

#### DANNI CONNESSI CON LA NATURA FISICO-CHIMICA DELL'ACQUA

L'acqua è l'unica sostanza che si trovi in natura nei tre stati di aggregazione: solido, liquido e gassoso. Allo stato solido essa si manifesta sotto forma di ghiaccio, neve, grandine, galaverna, brina; allo stato liquido la rinveniamo sotto forma di pioggia e rugiada; allo stato gassoso è presente come nebbia e vapore. Eccessi o difetti di pressoché ciascuno di tali stati sono causa, diretta o indiretta, di danno e malattia nelle piante.

Oltre che in relazione al suo stato, l'acqua può condizionare la salute delle piante in base alle *qualità, temperatura, forma, quantità e intensità* con cui essa si manifesta.

La qualità dell'acqua dipende dalla sua composizione chimica. Questa è determinata da una serie di caratteristiche quali la reazione chimica (pH); la durezza (ricchezza in sali di calcio e magnesio); la salinità (eccesso di ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ); il contenuto in cloruri, solfati, carbonati e bicarbonati; la dotazione di microelementi quali ferro, boro, rame, manganese e zinco (Ayers e Wescott, 1989).

Anomalie nella qualità dell'acqua, quali eccessi o carenze di alcuni elementi o composti, o una sproporzione tra essi (ad es. nel rapporto tra calcio, sodio e magnesio), possono causare alle piante danni di vario tipo, diretti e indiretti. Tra i danni diretti ricordiamo: fitotossicità; scompensi nutrizionali (legati a una ridotta capacità di assorbimento di elementi nutritivi dal terreno); difficoltà nell'assunzione della stessa acqua (ciò si verifica, ad es., nei terreni eccessivamente salini). Tra i danni indiretti: alterazione della struttura

del terreno; aumento della suscettibilità delle piante alle fitopatie (ad es. alle fusariosi); accresciute produzione di inoculo e virulenza degli stessi agenti parassitari (Broggio et al., 1995).

La temperatura dell'acqua, se inadeguata, può provocare danni alle piante. I palmiferi, ad es., sono molto sensibili all'acqua fredda, che causa disseccamenti di porzioni del lembo fogliare, tanto più estesi quanto maggiore è il tempo di somministrazione. Il danno è da porre anche in relazione alla sensibilità specifica e varietale.

#### AVVERSITÀ METEORICHE

Fra le più dannose idrometeorie è da menzionare sicuramente la grandine. I danni sono più gravi a carico delle colture pluriennali, ripercuotendosi gli effetti per più anni. I chicchi di grandine causano cascole di foglie, fiori e frutti, nonché lesioni a gemme e tegumenti esterni della pianta (fig. 1). Tali ferite costituiscono, tra l'altro, vie preferenziali di ingresso per una gamma di patogeni opportunisti, che utilizzano le soluzioni di continuità prodotte dall'azione meccanica della grandine per penetrare all'interno dell'ospite e causare malattia (Slippers e Wingfield, 2007). La dannosità di questa avversità è tale da giustificare, per le colture ad alto reddito, l'attuazione della difesa antigrandine.

La neve provoca danni essenzialmente di tipo meccanico, quali stroncamenti di porzioni di chioma o di intere piante. I danni sono maggiori sulle sempreverdi, trattenendo le foglie buona parte della neve che vi si deposita sopra, con aumento del peso e facilità di rottura di rami e branche; e, ovviamente, sulle specie il cui legno è poco resistente al carico nevoso (Nykänen et al., 1997). Una vera calamità sono le nevicate autunnali precoci e quelle tardive primaverili. Le prime possono avere effetti catastrofici sui fruttiferi a maturazione invernale, come ad es. su alcuni agrumi (arancio, mandarino, clementine e pompelmo), se si verificano prima della raccolta. Su tali piante, già gravate dal peso dei frutti, le precipitazioni nevose possono rivelarsi un vero flagello, provocando pesanti stroncature di rami e branche che sfigurano la pianta lasciando a volte in piedi, in caso di nevicate abbondanti, il solo asse centrale.

Gli abbassamenti repentini di temperatura, generalmente notturni, trasformano l'acqua in ghiaccio, provocando le gelate. I danni da gelo variano a seconda dell'epoca in cui si manifestano (il danno è in relazione allo stato vegetativo della pianta); dell'intensità dell'evento; delle porzioni di pianta

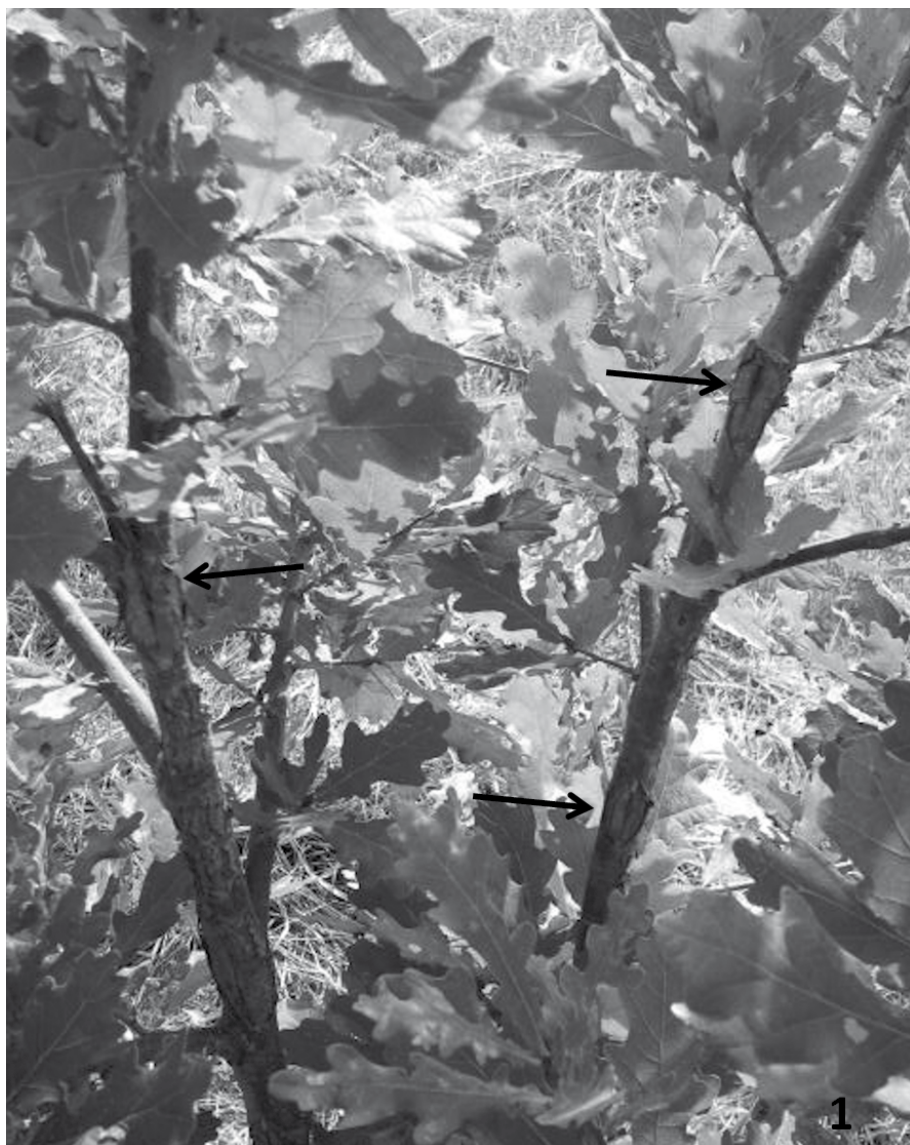


Fig. 1 *Giovane pianta di quercia con evidenti lesioni (freccie) sul ritidoma provocate dalla grandine*

colpite (epigee e/o ipogee); degli organi interessati (gemme, organi legnosi o carnosì). In tardo autunno si possono avere gelate precoci, le cui conseguenze sono tanto più gravi quanto più l'entrata in riposo delle piante è ritardata. Le gelate primaverili o tardive possono avere effetti disastrosi sulle piante già

in fase vegetativa. Organi quali fiori e frutticini, in fase di intenso sviluppo, con tessuti succulenti e ricchi di acqua, sono estremamente sensibili al gelo e possono risultare uccisi o lesionati, con fenomeni di partenocarpia e cascola (Rodrigo, 2000). A carico dei tessuti legnosi si possono formare vescichette corticali, cretti da gelo, spaccature (a becco di luccio), cipollature. Sulle foglie sono frequenti scollamenti dell'epidermide, bollosità, necrosi, striature, sfrangiature, lacinature. I geli tardivi sono una vera calamità per i cereali, cui possono causare clorosi e aborto, totale o parziale, della spiga.

I danni appena descritti sono per lo più dovuti al congelamento dell'acqua entro le cellule e i tessuti della pianta. Esternamente a essa, il congelamento dell'acqua libera (di condensazione, di pioggia o derivante dal disgelo della neve) determina la formazione di uno strato di ghiaccio sugli organi legnosi aerei, spesso anche diversi centimetri, che va sotto il nome di galaverna. I manicotti di ghiaccio possono avvolgere interamente rami e tronchi al punto che la pianta appare come vetrificata e va soggetta a stroncatura al minimo scuotimento.

La brina si forma per congelamento della rugiada o sublimazione del vapore acqueo sulla superficie delle piante a causa dell'irraggiamento notturno. Le brinate sono dannose soprattutto sui giovani germogli, sulle gemme appena dischiuse, sui tessuti erbacei. Il danno può variare da lievi imbrunimenti delle parti esterne delle foglioline e degli abbozzi florali a imbrunimenti dell'intero organo colpito. Nei casi più gravi, gli organi erbacei perdono turgidità e presentano la cosiddetta "allessatura" (Siviero e Bergamini, 2001).

### *Alterazioni da eccessi idrici*

Il manifestarsi di determinate fitopatie in un dato comprensorio è da porre in stretta relazione con l'ammontare e la distribuzione delle piogge. Molti modelli previsionali sullo sviluppo di specifiche malattie – quali le botriti e gli oidi (di una varietà di colture), la ticchiolatura (del melo, del pero, del nespolo), la peronospora (del pomodoro, della patata, della vite), il fuoco batterico delle Pomacee – prendono in considerazione, come parametro fondamentale, la quantità e la durata delle precipitazioni. Sia l'incidenza che la severità di tali malattie dipendono dunque dagli eventi meteorologici, in primo luogo dall'andamento della piovosità e dalle condizioni di umidità relativa dell'aria in precisi periodi e stagioni dell'anno (Agrios, 2005).

Le piogge intense e prolungate causano allagamenti e ristagni idrici. L'elevata umidità del suolo può essere causa di danni significativi alle radici.

Sebbene i vegetali variino nella loro sensibilità ai cambiamenti nella quantità di umidità del suolo, tutti necessitano di terreno ben aerato. Un eccesso di umidità, che blocchi o riduca la porosità del suolo, crea condizioni di anossia. Metaboliti tossici possono accumularsi nelle radici e danneggiarle. La sommersione del terreno per un periodo di tempo prolungato comporta altresì riduzione nell'assunzione di acqua e di elementi nutritivi, per cui le piante evidenziano sintomi da carenza indotta e appaiono clorotiche. In tali condizioni, le piante possono presentare lenticelle ingigantite nella porzione basale del fusto. Radici avventizie possono altresì svilupparsi in prossimità della superficie del terreno, ove vi è maggiore aerazione, mentre le radici più profonde imbruniscono e necrotizzano (Schoeneweiss, 1975). Vi è dunque uno stretto rapporto di causalità tra inondazione del terreno, asfissia radicale e intristimento generalizzato della vegetazione.

Nei suoli saturi d'acqua, oltre al danno diretto (necrosi e morte delle radici) alle piante per le condizioni di asfissia del terreno, se ne può verificare un altro, indiretto, di cui è comunque responsabile l'acqua. Molte piante presentano radici necrotiche e muoiono per le infezioni di pericolosi agenti di marciume radicale, che si fanno veicolare dall'acqua che si muove nel terreno, o di altri patogeni tellurici, la cui attivazione e infettività è condizionata dal mezzo acquoso.

Gli oomiceti (o pseudofunghi) delle famiglie delle *Peronosporaceae* e delle *Pythiaceae* (fra cui importanti membri dei generi *Phytophthora*, *Plasmopara* e *Pythium*) sono fra i parassiti più dannosi. Le *Phytophthorae*, che nei Paesi di lingua anglosassone sono chiamate, per via della loro predilezione per gli ambienti acquatici, *water moulds* (= muffe d'acqua), si trovano a proprio agio, per l'appunto, negli ambienti umidi; nelle formazioni boschive percorse da corsi d'acqua; nelle bassure ove si verifichino ristagni idrici; ovunque – in altri termini – vi sia eccesso di acqua. Tali parassiti, dotati di zoospore con flagelli mobili, si muovono in tali contesti con grande facilità, oppure si lasciano trasportare passivamente dall'acqua di scorrimento superficiale o di percolazione nel terreno, fino a raggiungere le radici fini delle piante, ove ha inizio il processo infettivo che culmina con la distruzione pressoché totale dell'apparato radicale.

Una delle più devastanti morie dell'Eucalipto in Australia, denominata *Jarrah dieback*, causata dall'oomicete *Phytophthora cinnamomi*, è favorita dalle periodiche inondazioni di vaste aree del continente australiano. Questa specie, polifaga e cosmopolita, ha recentemente causato elevata mortalità su piante di sughera in Sardegna (Scanu et al., 2013). L'accumulo e lo scorrimento, sia superficiale che sotterraneo, di acqua, e la saturazione del terreno



Fig. 2 Foglia di *Viburnum tinus* con caratteristiche macchie brune, di forma irregolare, causate dall'infezione di *Phytophthora ramorum*

Fig. 3 Getti di *Viburnum tinus* tipicamente ripiegati a uncino e in via di disseccamento per effetto dell'infezione di *P. ramorum*



per lunghi periodi di tempo, facilitano il movimento sia attivo che passivo di questo temibile parassita, che porta rapidamente a morte le piante infette (Shea et al., 1984).

Altro pericoloso oomicete che si trova a suo agio nel mezzo idrico è *Phytophthora ramorum*, patogeno da quarantena incluso nella A2 List della EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*). Questo agente, che ha un ampio spettro di specie ospiti arboree e arbustive, ha causato la morte di vaste formazioni naturali di *Lithocarpus densiflorus* e *Quercus* spp. in California, guadagnandosi l'appellativo di agente del "SOD" (*Sudden Oak Death* = *Morte Improvvisa delle Querce*) (Rizzo et al. 2002). Il patogeno si è poi diffuso nelle foreste naturali della California e dell'Oregon, dove ha infettato numerose specie legnose e arbustive. In Europa, esso sta devastando attualmente vasti impianti artificiali di Larice giapponese nel Regno Unito (Webber et al., 2010). Il parassita è stato purtroppo rinvenuto di recente anche nel nostro Paese, in alcuni vivai del pistoiese, su piante di *Viburnum tinus* allevate in vaso (Ginetti et al., 2014). I sintomi più evidenti sono: macchie fogliari irregolari di colore bruno (fig. 2), necrosi del fusto, ripiegamento a uncino dei getti terminali (fig. 3). È superfluo sottolineare come l'acqua, che in ambito vivaistico non è mai lesinata, e l'import/export di materiale vegetale, siano fra le cause di diffusione del patogeno. Forte è l'apprensione fra gli operatori del settore (vivaisti e personale dei servizi fitosanitari) per il timore che il parassita comprometta la fiorente attività vivaistica del comprensorio. Il rischio è altresì che *P. ramorum* possa diffondersi epidemicamente nell'ambiente naturale, al pari di quanto è già avvenuto in altri Paesi.

Varie altre *Phytophthorae* si muovono con facilità negli ambienti acquatici e nei terreni saturi d'acqua, causando estese morie nei sistemi naturali come nelle coltivazioni protette. Elencarle tutte sarebbe un esercizio dispendioso e comunque incompleto. Fra le specie più pericolose ricordiamo: *P. acerina*, *P. alni*, *P. cactorum*, *P. cambivora*, *P. citricola*, *P. citrophthora*, *P. cryptogea*, *P. kernoviae*, *P. lateralis*, *P. megasperma*, *P. plurivora* (Vettraino et al., 2002). Alcuni taxa sono particolarmente diffusi negli ambienti lacustri e ripariali (ad es. *P. alni* e *P. lacustris*), nelle formazioni boschive, nei parchi urbani ricchi di acqua (ad es. *P. acerina*), ove creano non pochi problemi nella gestione, sia sanitaria che selvicolturale, dei popolamenti (Ginetti et al., 2013).

I sintomi indotti dalle *Phytophthorae* sono tutt'altro che univoci e possono talvolta indurre a diagnosi errate. Essi sono infatti in parte aspecifici (microfillia, sviluppo stentato, trasparenza della chioma, abscissione prematura delle foglie, disseccamento delle branche, intristimento generalizzato) e confondibili talvolta con la sofferenza da stress idrico. Può in effetti capitare che piante



Fig. 4 *Piante di Acer pseudoplatanus in un parco urbano con vistosi disseccamenti della chioma. Pur vegetando su un terreno saturo di acqua, le piante mostrano sintomi da stress idrico; il motivo è da ricondurre alla loro incapacità di assumere acqua, avendo l'apparato radicale distrutto dalle infezioni di Phytophthora acerina*

infette da tali oomiceti mostrino paradossalmente, pur vegetando in terreni ricchi di acqua, sintomi da carenza idrica (fig. 4). In realtà, il sintomo da deficit idrico è da ascrivere all'incapacità delle piante di assumere acqua, avendo il capillizio radicale distrutto dall'infezione (Thomas Jung, comunicazione personale).

Le aree contaminate da agenti del genere *Phytophthora* sono non di rado soggette a rigorose restrizioni (norme di quarantena). Una misura frequente è l'interdizione di qualunque tipo di accesso a uomini, mezzi e animali. Il motivo è perché particelle di terreno infetto potrebbero rimanere attaccate alle calzature e agli indumenti dei frequentatori, alle zampe degli animali (sia domestici che selvatici), agli pneumatici dei veicoli, e diffondere i patogeni al di fuori dalle aree infette, vanificando ogni sforzo volto a circoscrivere la malattia. Negli USA, nel tentativo di contrastare la diffusione epidemica di *P. lateralis*, temibile parassita di varie specie di *Chamaecyparis*, si è proceduto a identificare e mappare i siti a basso rischio infettivo, idonei perciò alla coltura

di tali conifere. Essi devono essere ben drenati, protetti dal pascolo e dalle attività umane, lontani da strade o sentieri (ben si prestano, allo scopo, le sommità delle colline). Una volta individuato un sito idoneo, si costruiscono tutt'intorno delle trincee circolari, che hanno lo scopo di raccogliere e allontanare le acque provenienti dall'esterno, impedendo che confluiscano nel sito dell'impianto (Hansen et al., 2000).

I membri del genere *Pythium* sono anch'essi connaturati con l'ambiente acquatico e si rinvencono con elevata frequenza negli impianti di irrigazione (Bush et al., 2003). Alcuni taxa sono noti per la loro virulenza, mentre altri sembrano essere patogeni di debolezza o saprofiti. Le difficoltà a identificare gli isolati di *Pythium* a livello di specie hanno spesso indotto a riportarne la presenza al solo livello di genere. Ciò ha causato una sottostima del reale numero di specie esistenti e una ridotta conoscenza del ruolo patogenetico di molti taxa (Hong e Moorman, 2005). Fra le specie accertate come patogene sono da annoverare *P. aphanidermatum*, *P. debaryanum*, *P. irregolare*, *P. oligandrum*, *P. perniciusum*, *P. splendens* e *P. ultimum* (Moorman et al., 2002).

Oltre alle *Phytophthorae* e ai *Pythium*, le cui zoospore mobili testimoniano l'evoluzione di questi organismi negli ambienti acquatici, vari agenti fungini risultano associati ai sistemi idrici (Vannini e Vettrai, 2006).

Tecniche di isolamento in coltura e basate sul rilievo del DNA hanno rivelato la presenza di specie dei generi *Chetomium*, *Curvularia*, *Diplodia*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Phoma*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium* e *Verticillium* nelle acque di irrigazione (Cooke, 1956; Thomson e Allen, 1974; Lievens et al., 2003). Molti di tali funghi sono noti in ambito vivaistico come agenti del *damping-off*, o della *moria dei semenzali*. Trattasi di un gruppo di parassiti non ospite-specifici, che risiedono nel terreno o sul seme infetto, ma che possono essere presenti, sia pure transitoriamente, nelle acque di irrigazione. Essi inducono mortalità in pre- e post-emergenza e possono causare fallanze talvolta davvero significative. L'eccesso di umidità nel terreno e nell'aria in prossimità del suolo (sopra i letti di semina), quale si genera ad es. con l'irrigazione per nebulizzazione, sono fra i fattori predisponenti le infezioni di questi microorganismi. Altre specie fungine, come *Alternaria* sp., *Botrytis* sp. e *Ascochyta* sp. si trovano occasionalmente nelle acque. Il rinvenimento di tali microorganismi è però da porre in relazione con la loro abbondanza in natura, in quanto non sembrerebbero sopravvivere nei sistemi idrici (Shokes e McCarter, 1976). È stato invece provato che *Colletotrichum* sp. si diffonde efficacemente attraverso l'acqua in colture idroponiche di pomodoro (Jenkins e Averre, 1983).

Esistono evidenze sperimentali della presenza di batteri nelle acque di irrigazione. Alcune specie sono ritenute normali residenti degli ecosistemi ac-

quatici, mentre la presenza di altre è considerata transitoria (Cothier e Gilbert, 1990). Il genere *Erwinia*, con *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*, *E. carotovora* pv. *carotovora*, *E. carotovora* pv. *zea* ed *E. chrysanthemi*, è quello rinvenuto con maggiore frequenza (McCarter-Zorner et al., 1984; Eayre et al., 1995). Anche i batteri dei generi *Xanthomonas* (Steadman et al., 1975) e *Corynebacterium* (Schuster, 1959) sono frequentemente associati alle acque di irrigazione. Sistemi di ricircolo dell'acqua e sistemi idroponici sono risultati ospitare *Ralstonia solanacearum* (Jenkins e Averre, 1983). *Xanthomonas campestris* pv. *begonia* ha mostrato di diffondersi con facilità nei sistemi di irrigazione per allagamento (Hoitink et al., 1991). Membri del genere *Corynebacterium* rimangono biologicamente attivi nelle soluzioni nutritive di ricircolo per circa un mese (Kegler et al., 1982).

La letteratura riporta il rinvenimento di circa una decina di virus in specchi e corsi d'acqua, come pure nelle acque di irrigazione (Hong e Moorman, 2005). Il PFBV (*Pelargonium Flower Break Virus*) è fra i più persistenti nei sistemi di ricircolo dell'acqua in serra (Berkelmann et al., 1995). È qui opportuno sottolineare che i virus nei corpi idrici sono ritenuti presenze temporanee. Il TMV (*Tomato Mosaic Virus*) è stato però rinvenuto fino a circa 72 ore in sistemi di ricircolo delle soluzioni nutritive (Pares et al., 1992).

I nematodi fitoparassiti sono comuni residenti del terreno e dei residui vegetali. È quindi plausibile ritrovarli anche nell'acqua di irrigazione riciclata (Petherbridge e Jones, 1944). Frequenti risultano essere le specie del genere *Heterodera*. La popolazione di tali parassiti può accrescersi numericamente in breve tempo se si utilizza acqua di irrigazione infestata. Pare tuttavia che i nematodi non sopravvivano a determinati sistemi di irrigazione. Ad es., negli impianti con pompaggio dell'acqua a pressione attraverso gli ugelli le fragili larve soccombono facilmente (Heald e Johnson, 1969).

### *Alterazioni da carenze idriche: l'acqua quale fattore di stress*

La vita dei parassiti vegetali è modulata dal parametro idrico. L'acqua condiziona per intero il ciclo di tali microrganismi, dalla sopravvivenza allo sviluppo, dalla riproduzione (che consegue produzione di nuovo inoculo) alla dispersione delle spore.

La presenza di acqua, sulle superfici vegetali o nel suolo in prossimità delle radici, sotto varie forme (come pioggia, o acqua di irrigazione, o rugiada, o umidità relativa nell'aria), è fondamentale per l'inizio del processo infettivo (Agrios, 2005). Un velo d'acqua sulla superficie delle foglie è condizio-

ne indispensabile per la germinazione delle spore fungine e la penetrazione dell'ospite da parte dei tubetti germinativi (se non vi è sufficiente umidità i tubetti germinativi raggrinziscono e muoiono). Una certa umidità nel suolo è essenziale per l'attivazione dei patogeni batterici e fungini, come pure dei nematodi, affinché essi riescano a infettare la pianta. In assenza di acqua libera, o di umidità nel suolo, le strutture di conservazione (clamidospore) di molti patogeni rimangono dormienti. L'acqua, di pioggia o di irrigazione, battendo sulle superfici dei vegetali diffonde le spore dei patogeni sulla stessa pianta e da pianta a pianta: le gocce d'acqua che pervengono sulle lesioni sporulanti si caricano infatti di propaguli e, frazionate in goccioline più piccole, rimbalzano sulle superfici adiacenti, disseminando i patogeni e intensificando le malattie.

La longevità delle spore, la loro liberazione dagli sporofori, la quantità di biomassa prodotta dai patogeni dipendono dalla presenza di umidità. Il numero di cicli infettivi di molti patogeni nell'arco di una stagione vegetativa è determinato dalla disponibilità idrica. L'insorgenza e la severità di alcune malattie fungine sono strettamente correlate a tale parametro. L'agente della ticchiolatura del melo *Venturia inaequalis*, ad es., necessita, per causare infezione, di un tempo di bagnatura delle foglie e dei frutti di almeno 9 ore alla temperatura di 18-23°C. Se la temperatura si discosta da tale *range* sono necessari tempi di bagnatura maggiori (Agrios, 2005).

La dipendenza dei patogeni dall'acqua esterna diminuisce una volta che essi sono riusciti a penetrare all'interno della pianta, ove utilizzano l'acqua presente nell'apoplasto e nel simplasto. Alcuni di essi, tuttavia, come l'agente della peronospora della patata *Phytophthora infestans* e vari altri oomiceti, hanno bisogno di elevata umidità ambientale per l'intero loro ciclo vitale. In presenza di clima secco, lo sviluppo e la sporulazione di tali patogeni sono inibiti, per cui si registra un'attenuazione o un arresto della malattia.

Batteri e funghi fitopatogeni sono favoriti dall'acqua presente nei tessuti succulenti dei giovani germogli o nell'aria sotto forma di umidità relativa. I batteri penetrano le piante attraverso ferite e aperture naturali. Una volta all'interno, essi diventano più attivi e si moltiplicano con maggiore rapidità durante i periodi umidi.

Anche il ritmo biologico dei vegetali è scandito dalla risorsa idrica. Pressoché tutte le fasi fenologiche della pianta, dalla germinazione del seme alla apertura delle gemme, dalla fioritura alla maturazione dei frutti e alla caduta delle foglie, dipendono dall'acqua.

Allorché la domanda di acqua supera la disponibilità della risorsa idrica nel suolo la pianta va incontro a stress idrico. L'insufficienza idrica causa

varie alterazioni biochimiche, fisiologiche e morfo-anatomiche, che condizionano sviluppo e sopravvivenza del vegetale. Fra gli effetti più significativi ricordiamo: inibizione della crescita; della nutrizione minerale; del metabolismo dei carboidrati; del metabolismo azotato; del metabolismo ormonale; alterazione della permeabilità cellulare; alterazione della composizione chimica dei tessuti. La traspirazione, la fotosintesi, la respirazione, i processi idrolitici possono risultare gravemente compromessi, con perdita pressoché totale della loro funzionalità e danno irreversibile alla pianta (Matta e Penazio, 1984).

I normali processi fisiologici si discostano dal loro livello metabolico ottimale in relazione alla frequenza, intensità e durata dello stress idrico. La pianta può anche andare incontro a trasformazioni in senso xeromorfo, con le cellule della cuticola e dei tessuti interni che si presentano più piccole e con pareti ispessite, con aumento della tomentosità, con riduzione della taglia. Nei fruttiferi si riscontra una ridotta differenziazione delle gemme a fiore, fiori di dimensioni ridotte e poco colorati, caduta prematura di fiori e frutticini, ridotto sviluppo dei frutti rimanenti. Nel grano e in altri cereali si verifica il fenomeno della *stretta*, con sterilità parziale o totale dell'infiorescenza, o formazione di cariossidi scarse e rinsecchite (Nazzareno e Olivero, 1986).

Il danno da carenza idrica è generalmente graduale. Se il deficit è temporaneo, ad es. limitato alle ore più calde della giornata, quando maggiore è l'evapotraspirazione, si può avere appassimento temporaneo, con afflosciamento delle parti verdi, che recede con il calare della sera, quando si ripristinano le normali condizioni idriche. Se, invece, la carenza idrica è intensa e prolungata, si ha appassimento permanente (avvizzimento). Questo è un fenomeno irreversibile, perché causa deformazione e ripiegamento delle foglie verso il basso, perdita di peso dei frutti, morte degli organi più dispendiosi di acqua, quali le foglie mature e ben espanse, che iniziano a disseccare a partire dai margini.

Nelle specie legnose i sintomi più evidenti sono necrosi internodali, clorosi, disseccamento delle foglie a partire dall'apice, arrotolamento della lamina fogliare, senescenza prematura, ingiallimenti, filloptosi anticipata. Tali manifestazioni sono tipiche delle latifoglie, mentre nelle conifere predominano sintomi quali imbrunimento degli apici degli aghi, ingiallimento e caduta degli stessi, spaccature verticali o spirali del tronco. Con l'intensificarsi dell'evento stressorio si osserva un progressivo intristimento dell'albero, con branche che disseccano a partire dai getti terminali e deperimento generalizzato della chioma.

I danni da stress idrico nelle specie arboree sono da porre in relazione anche con la freschezza del terreno e la tolleranza individuale e specifica. Negli

ultimi decenni, tuttavia, anche specie eliofile, termofile e tendenzialmente xerofile – che generalmente prosperano nelle zone aride e in terreni ricchi di scheletro – hanno manifestato in alcune aree della Penisola sintomi evidenti di sofferenza (Moricca et al., 2012a).

Una conseguenza dello stress idrico, che può avere effetti letali, è l'aumento della suscettibilità delle piante alle infezioni parassitarie (Allen et al., 2010). Ciò perché il deficit idrico influenza l'interazione ospite-parassita, spostando il sottile equilibrio tra i partner dell'interazione a favore della componente microbica. I parassiti vegetali risultano favoriti in questa competizione di tipo antagonistico perché hanno maggiore capacità di adattamento alle variazioni ambientali, essendo dotati di ciclo vitale molto breve, grande capacità di riproduzione e dispersione, più elevata attitudine a modulare i propri processi fisiologici e metabolici in relazione alle variazioni di temperatura e umidità. Le piante, al contrario, in particolare le specie pluriennali, hanno un ciclo vitale lungo e una ridotta capacità di adattarsi alle brusche variazioni delle condizioni termo-igrometriche. È del resto acclarato che la siccità, uno degli effetti più devastanti del *Global Warming*, aumenta la vulnerabilità dei vegetali agli agenti parassitari, dei quali accresce, fra l'altro, *range* geografico, spettro degli ospiti, abbondanza e aggressività (Desprez-Loustau et al., 2007).

Studi di espressione genica hanno dimostrato che nelle piante, in presenza di stress multipli (abiotici e biotici), si ha un aumento dei trascritti che regolano la tolleranza alla siccità e una riduzione invece di quelli dei geni implicati nella resistenza ai patogeni. Questo spiegherebbe la maggiore suscettibilità delle piante indebolite dagli stress ambientali agli agenti parassitari (Chen et al., 2002).

I parassiti che più si avvantaggiano dello stato di debilitazione procurato alle piante dallo stress idrico sono i già menzionati patogeni opportunisti (Slippers e Wingfield, 2007). Trattasi di varie specie di funghi e batteri, definiti anche patogeni secondari, a sottolineare il fatto che essi non siano la causa primaria del danno. Le piante difatti generalmente recuperano dall'evento stressorio se esso è transitorio e dette entità microorganiche non sono presenti. Ne consegue che la sindrome da deperimento pur coincidendo a volte con stati di stress idrico, sia da ricondurre a una combinazione di fattori fisici (carenza idrica) e biologici (azione parassitaria) (Schoeneweiss, 1975).

I parassiti secondari sono definiti anche da ferita. Essi non sono in grado di infettare piante sane se queste non presentano lesioni da precedenti avversità abiotiche o biotiche. La carenza idrica causa all'epidermide e al ritidoma dei vegetali ferite quali cretti, spaccature e lacerazioni varie, che rappresentano una via d'ingresso per detti agenti. In condizioni normali, su piante in vigore, tali

microorganismi riescono a colonizzare soltanto le parti seccaginosi, e in tal senso svolgono anche una benefica azione saprofitaria, operando una potatura naturale dei rami senescenti o morti. Se la pianta è invece indebolita dalla insufficienza idrica, una volta penetrati al suo interno essi si diffondono pervasivamente, colonizzando aggressivamente anche i tessuti sani. Si portano infine sulle superfici esterne del vegetale, ove producono cancri e lesioni sporulanti, attraverso cui disperdono le loro spore nell'ambiente (Moricca e Ragazzi, 2008).

L'ascomicete *Biscogniauxia mediterranea*, agente del cosiddetto cancro carbonioso delle querce e di altre latifoglie arboree, utilizza una simile strategia di sopravvivenza (Ragazzi et al., 2012). Tale organismo, il cui areale fino alla fine del secolo scorso coincideva con le regioni del centro-sud Italia, ha di recente ampliato il proprio orizzonte superiore e ora lo si rinviene con facilità anche in pianura Padana. Le stagioni calde e siccitose dell'ultimo decennio avrebbero causato stress idrico alle piante favorendone la colonizzazione da parte di questo agente spiccatamente termofilo. La diffusione epidemica di tale parassita in aree incontaminate dimostra come il riscaldamento globale stia distruggendo le barriere biogeografiche naturali. Il processo causa l'omogeneizzazione dei biomi, creando condizioni favorevoli all'espansione di una gamma di parassiti verso zone a loro in precedenza inadatte (Moricca et al., 2008).

Comportamento analogo mostrano alcune *Botryosphaeriaceae*, altro pericoloso gruppo di patogeni opportunisti di specie agrarie e forestali. Agenti quali *Botryosphaeria dothidea*, *Diplodia seriata* e *Neofusicoccum parvum* sono in grado di sopravvivere come endofiti, in latenza, entro i tessuti delle piante per un periodo di tempo indefinito, senza causare sintomi apparenti. Possono però indurre sintomi anche molto gravi, quali cancri corticali, deperimento diffuso e mortalità, quando le piante vanno incontro a stress idrico, dopo un periodo di siccità significativa (Moricca et al., 2012b; Sakalidis et al., 2013).

## CONCLUSIONI

Le coltivazioni agricole avvengono quasi per intero a cielo aperto (fanno eccezione le colture protette). Esse sono pertanto esposte ai fenomeni meteorici. Contro di essi, poco si può fare, tranne adottare misure particolari, come la difesa antigrandine, l'irrigazione antigelo, o l'impiego di modelli previsionali che facilitino le scelte colturali, aiutando a prevenire o eludere le avversità del clima.

Spesso, però, le idropatie sono la conseguenza di scelte agronomiche errate, come ad es. un utilizzo improprio della risorsa idrica. In tali casi,



opportuni accorgimenti possono consentire di evitare o limitare le perdite. Le tecniche irrigue, le pratiche colturali, le strategie di gestione dei sistemi agricoli e forestali sono infatti a volte la causa primaria del danno.

L'irrigazione a scorrimento e da solchi è pratica ancora largamente diffusa in ambito agrario per l'irrigazione dei fruttiferi. Tale metodo, oltre a causare spreco di acqua e condizioni di anossia per le radici, peggiora lo stato fitosanitario dell'appezzamento, perché porta gli agenti parassitari al suo interno (Mannini, 2006).

Nell'arboricoltura da legno, l'irrigazione per allagamento è largamente praticata per incrementare la produzione legnosa. Lo stesso stratagemma è attuato in modo crescente, laddove vi è disponibilità di acqua, nella forestazione urbana, allo scopo di alleviare la sofferenza causata alle piante dalla siccità estiva (Paola Pirelli, comunicazione personale). Un censimento della componente microbica fitoparassita di parcelle boscate irrigate per allagamento in un parco urbano della pianura milanese (Parco Boscoincittà) ha rivelato che la pratica può essere foriera di veri disastri ecologici. Se, da una parte, la somministrazione di acqua ha procurato un momentaneo sollievo ai popolamenti arborei, dall'altro ha portato loro la morte, perché pericolosi patogeni (varie specie di *Phytophthora*) sono stati introdotti nei terreni allagati. Tali agenti hanno causato negli anni successivi estese morie (Ginetti, 2013).

L'irrigazione per aspersione sopra chioma, in campo come in ambiente controllato, crea un ambiente saturo di umidità che favorisce lo sviluppo delle fitopatie; inoltre, come già ricordato, le gocce d'acqua, rimbalzando sulle superfici dei vegetali, diffondono i propaguli dei parassiti.

Nella microirrigazione a goccia, l'eccessivo umettamento del terreno produce elevata umidità nel sito di deposizione della goccia che favorisce gli agenti di marciume del colletto.

In vivaio, il particolare microclima, generato dalla copiosa somministrazione di acqua, e l'abbondanza di tessuti erbacei, favoriscono le *Phytophthorae*, i *Pythium* e gli altri agenti della moria dei semenzali.

Il problema è viepiù esacerbato nelle coltivazioni in serra il cui condizionamento è determinante per lo sviluppo delle fitopatie. L'ambiente caldo e umido, ma anche l'eccessiva densità, la contiguità spaziale fra letti di semina, bancali, ecc., favoriscono le malattie.

Le problematiche di cui sopra si risolvono solo con l'adozione di adeguate misure di igiene fitosanitaria. Quale che sia la tecnica irrigua impiegata, è necessario prestare attenzione alla profondità d'irrigazione: l'acqua deve raggiungere le radici, ma non saturare il terreno. Gli impianti di irrigazione devono essere ben funzionanti. Nell'irrigazione per aspersione o nebulizzazione,

bisogna evitare la formazione di eccessiva condensa sulle foglie e gli sgocciolamenti. Le estremità dei tubi di irrigazione devono essere tenute sospese. Se esse poggiano a terra, vanno periodicamente disinfettate. In serra è necessaria una buona circolazione dell'aria, per abbattere l'umidità relativa e ostacolare lo sviluppo di fitopatie (ad es. la botrite).

Abbiamo visto che vari taxa di parassiti vegetali si ritrovano comunemente nei corpi idrici, sia naturali che artificiali. Le *Phytophthorae* e i *Pythium* allignano in fiumi, canali, compluvi, ma anche in vasche di raccolta, pozzi, cisterne, ecc. È preferibile usare, se possibile, acqua corrente, ed evitare quella di stagni, vasche o altre riserve a cielo aperto. Ciò in quanto le acque di percolazione possono portare i parassiti dal terreno all'interno di tali sistemi di raccolta. Si deve altresì evitare il pompaggio dei sedimenti dal fondo dei serbatoi perché è alto il rischio che in essi vi siano agenti contaminanti. Il riciclo dell'acqua di irrigazione, legato alla necessità di economizzare detta risorsa, è in espansione e sta aumentando i problemi di contaminazione. Se si utilizza acqua riciclata, è buona norma controllarla periodicamente per la presenza di organismi nocivi. Sono oggi disponibili protocolli efficaci di sanificazione, quali la filtrazione, la soppressione biologica, la clorazione, l'irraggiamento mediante UV (Hong e Moorman, 2005).

La ricerca è fondamentale per il monitoraggio delle acque. Test accurati, rapidi e altamente sensibili (rilievo degli acidi nucleici) stanno consentendo di identificare una grande varietà di agenti fitopatogeni nei sistemi di irrigazione. È auspicabile che l'applicazione di detti metodi venga sempre più estesa, soprattutto laddove è utilizzata acqua riciclata.

Ma la ricerca non si deve limitare a rilevare la presenza dei patogeni oppure a misurarne la patogenicità. Essa deve spingersi oltre e studiarne l'ecologia. Tale approccio è fondamentale per capire se un determinato agente rinvenuto in un corpo idrico sia un passeggero momentaneo oppure se esso sia connaturato con quel dato habitat. È cioè importante giungere a comprendere perché alcuni agenti sono normali residenti dei sistemi idrici, altri sono in grado di prosperarvi per periodi più o meno lunghi e altri, infine, semplicemente vi passano attraverso. Tali acquisizioni sono basilari per l'implementazione di misure *ad hoc* di profilassi e di controllo fitosanitario.

## RIASSUNTO

L'acqua è elemento costitutivo della cellula vegetale e microbica. Attraverso le sue singolari e complesse proprietà, essa regola funzioni e ritmi vitali di piante e parassiti vegetali. Risorsa indispensabile per tutte le colture, difetti nella sua disponibilità (eccessi o carenze

idriche) possono causare profonde alterazioni nella funzionalità dei sistemi agricoli e forestali. Gli squilibri idrici finiscono per indurre grave stress fisiologico nelle piante, compromettendone la sanità e la resa produttiva, nonché favorire la diffusione epidemica dei parassiti vegetali. Questo articolo, dopo una accurata disamina dei principali fattori che sono alla radice del problema, mette a fuoco le attuali lacune della ricerca e ne indica le prospettive future.

#### ABSTRACT

Water is a constitutive element of plant and microbial cells. With its singular and complex properties, water regulates the biological functions and rhythms of plants and plant parasites. Consequently, any lack or excess of this indispensable resource may cause profound changes in the functioning of agricultural and forest ecosystems. Water imbalances cause serious physiological stress in plants, impair plant health and yield, and favour the epidemic spread of parasites. This article examines the main factors causing water imbalances and discusses gaps in current research and prospects for the future.

#### BIBLIOGRAFIA

- AGRIOS G.N. (2005): *Plant Pathology*, Elsevier Academic Press, London, 5<sup>th</sup> ed.
- ARAYA Y.N. (2007): *Ecology of water relations in plants*, in *Encyclopaedia of Life Sciences*, Not Set ed.
- AYERS R.S., WESCOTT D.W. (1989): *Water quality for agriculture*, «FAO Irrig. Drain. Paper», 29, pp. 737-746.
- ALLEN C.D., MACALADY A.K., CHENCHOUNI H., BACHELET D., MCDOWELL N., VENNETIER M., KITZBERGER T., RIGLING A., BRESHEARS D.D., HOGGE H., GONZALEZ P., FENSHAM R., ZHANG Z., CASTRO J., DEMIDOVA N., LIM J.H., ALLARD G., RUNNING S.W., SEMERCI A., COBB N. (2010): *A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests*, «For. Ecol. Manage.», 259, pp. 660-684.
- BARNABY W. (2009): *Do nations go to war over water*, «Nature», 458, pp. 282-283.
- BERKELMANN B., WOHANKA W., KRCZAL G. (1995): *Transmission of Pelargonium flower break virus (PFBV) by recirculating nutrient solutions with and without slow sand filtration*, «Acta Hort.», 382, pp. 256-262.
- BROGGIO M., RAGAZZI A., SOLDI R., MORICCA S., DELLAVALLE I., SABATINI S. (1995): *The biometric response of the Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum isolate Biè from Angola to a Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> enriched medium*, in Proc. Int. Seminar 'FUSARIUM, Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity', Martina Franca (Italy), May 9-13, pp. 211-212.
- BUSH, E.A., HONG, C.X., STROMBERG, E.L. (2003): *Fluctuations of Phytophthora and Pythium spp. in components of a recycling irrigation system*, «Plant Dis.», 87, pp. 1500-1506.
- CHEN W., PROVART N.J., GLAZE BROOK J., KATAGIRI F., CHANG H.S., EULGEM T., MAUCH F., LUAN S., ZOU G., WHITHAM S.A., BUDWORTH P.R., TAO Y., XIE Z., CHEN X., LAM S., KREPS J. A., J.F. HARPER, SI-AMMOUR A., MAUCH-MAN B., HEINLEIN M., KOBAYASHI K., HOHN T., DANGL J.L., WANG X., ZHU T. (2002): *Expression profile matrix of*

- Arabidopsis* transcription factor genes suggests their putative functions in response to environmental stresses, «Plant Cell», 14, pp. 559-574.
- COOKE W.B. (1956): *Potential plant pathogenic fungi in sewage and polluted water*, «Plant Dis.», Rep., 40, pp. 681-687.
- COTTER E.J., GILBERT R.L. (1990): *Presence of Erwinia chrysanthemi in two major river systems and their alpine sources in Australia*, «J. Appl. Bacteriol.», 69, pp. 729-738.
- DE WIT M., STANKIEWICZ J. (2006): *Change in Surface Water Supply Across Africa with Predicted Climate Change*, «Science 2006», 311, pp. 1917-1921.
- DESPREZ-LOUSTAU M., ROBIN C., REYNAUD G., DÉQUÉ M., BADEAU V., PIOUS D., HUSON C., MARÇAIS B. (2007): *Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest-pathogenic fungi*, «Can. J. Plant Pathol.», 29, pp. 101-120.
- EAYRE C.G., BARTZ J.A., CONCELMO D.E. (1995): *Bacteriophages of Erwinia carotovora and Erwinia ananas isolated from freshwater lakes*, «Plant Dis.», 79, pp. 801-804.
- GINETTI B. (2013): *Identity, impact and role of Phytophthora species in planted forests of north Italy*, Tesi di dottorato di Ricerca in Biotecnologie Microbiche Agrarie, XXV ciclo (2010-2012).
- GINETTI B., CARMIGNANI S., RAGAZZI A., WERRES S., MORICCA S. (2014). *Foliar Blight and Shoot Dieback Caused by Phytophthora ramorum on Viburnum tinus in the Pistoia Area, Tuscany, Central Italy*, «Plant Dis.», 98, p. 423.
- GINETTI B., MORICCA S., SQUIRES, J.N., COOKE, D.E.L., RAGAZZI A., JUNG T. (2013): *Phytophthora acerina sp. nov., a new species causing bleeding cankers and dieback of Acer pseudoplatanus trees in planted forests in Northern Italy*, «Plant Pathol.», Doi: 10.1111/ppa.12153.
- HANSEN E.M., GOHEEN D.J., JULES E.S., ULLIAN B. (2000): *Managing Port-Orford cedar and the introduced pathogen Phytophthora lateralis*, «Plant Dis.», 84, pp. 4-13.
- HEALD C.M., JOHNSON A.W. (1969): *Survival and infectivity of nematodes after passing through an overhead sprinkler irrigation system*, «J. Nematol.», 1, p. 290.
- HOITINK H.A.J., FLYNN R.P., MCMAHON R.W., ATMATJIDOU V. (1991): *Transmission of plant pathogens in an ebb and flood system*, «Ohio Florists' Assoc. Bull.», 742, pp. 5-9.
- HONG C.X., MOORMAN G.W. (2005): *Plant pathogens in irrigation water: challenges and opportunities*, «Crit. Rev. in Plant Sci.», 24, pp. 189-208.
- JENKINS S.F., AVERRE C.W. (1983): *Root diseases of vegetables in hydroponic culture systems in North Carolina greenhouses*, «Plant Dis.», 67, pp. 968-970.
- KEGLER H., GRIESBACH E., SKADOW K. (1982): *Ausbreitung von Pathogenen beim Tomatenanbau im NFT-Verfahren*, «Arch. Gartenbau», 7, pp. 325-337.
- LIEVENS B., BROUWER M., VANACHTER A., LEVESQUE C.A., CAMMUE B.P.A., THOMMA B. (2003): *Design and development of a DNA array for rapid detection and identification of multiple tomato vascular wilt pathogens*, «FEMS Microbiol. Lett.», 223, pp. 113-122.
- MANNINI P. (2006): *Qualità e uso dell'acqua di irrigazione*, «I Georgofili. Quaderni», 2005-IV, pp. 11-31.
- MATTA A., PENNAZIO S. (1984). *Elementi di fisiopatologia vegetale*, Pitagora Editrice, Bologna.
- MCCARTER-ZORNER N.J., FRANC G.D., HARRISON M.D., MICHAUD C.E., QUINN I., SELLS I.A., GRAHAM D.C. (1984): *Soft rot Erwinia bacteria in surface and underground waters in southern Scotland and in Colorado, United States*, «J. Appl. Bacteriol.», 57, pp. 95-105.
- MORICCA S., GINETTI B., RAGAZZI A. (2012a): *Species- and organ-specificity in endophytes*

- colonizing healthy and declining Mediterranean oaks*, «Phytopathol. Mediterr.», 51, (3), pp. 587-598.
- MORICCA S., UCCELLO A., GINETTI B., RAGAZZI A. (2012b): *First Report of Neofusicoccum parvum Associated with Bark Canker and Dieback of Acer pseudoplatanus and Quercus robur in Italy*, «Plant Dis.», 96, pp. 1699.
- MORICCA S., RAGAZZI A. (2008): *Fungal endophytes in Mediterranean oak forests: a lesson from Discula quercina*, «Phytopathology», 98, pp. 380-386.
- MORICCA S., UCCELLO A., RAGAZZI A., (2008): *Altered incidence and distribution range of some phytopathogens in Mediterranean woods*, Proc. IUFRO Working Party 7.03.10 "Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe", Štrbské Pleso, Slovakia, September 15 -19, 2008, pp. 125-129.
- MOORMAN G.W., KANG S., GEISER D.M., KIM S. H. (2002): *Identification and characterization of Pythium species associated with greenhouse floral crops in Pennsylvania*, «Plant Dis.», 86, pp. 1227-1231.
- NAZZARENO A., OLIVERO G. (1986): *Patologia vegetale e difesa delle piante*, Edizioni Cleav, Milano, p. 330.
- NYKÄNEN M.L., PELTOLA H., QUINE C.P., KELLOMÄKI S., BROADGATE M. (1997): *Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions*, «Silva Fenn.», 31, pp. 193-213.
- PARES R.D., GUNN L.V., CRESSWELL G.C. (1992): *Tomato mosaic virus infection in a recirculating nutrient solution*, «J. Phytopathol.», 135, pp. 192-198.
- PETHERBRIDGE F.R., JONES F.G.W. (1944). *Beet eelworm (Heterodera schachtii Schm.) in East Anglia, 1934-1943*, «Ann. Appl. Biol.», 31, pp. 320-332.
- RAGAZZI A., GINETTI B., MORICCA S. (2012): *First Report of Biscogniauxia mediterranea on English Ash in Italy*. «Plant Dis», 96, pp. 1694.
- RIZZO D.M., GARBELOTTO M., DAVIDSON J.M., SLAUGHTER G.W., KOIKE S.T. (2002): *Phytophthora ramorum as the cause of extensive mortality of Quercus spp. and Lithocarpus densiflorus in California*, «Plant Dis.», 86, pp. 205-14.
- RODRIGO, J. (2000): *Review: spring frost in deciduous fruit trees-morphological damage and flower hardiness*, «Sci. Hort.», 83, pp. 155-173.
- SAKALIDIS M.L., SLIPPERS B., WINGFIELD B.D., HARDY G.E.St.J., BURGESS T.I. (2013): *The challenge of understanding the origin, pathways and extent of fungal invasions: global populations of the Neofusicoccum parvum-N. ribis species complex*, «Divers. Distrib.», 19, pp. 873-883.
- SCANU B., LINALDEDDU B.T., FRANCESCHINI A., ANSELMINI N., VANNINI A., VETTRAINO A.M. (2013): *Occurrence of Phytophthora cinnamomi in cork oak forests in Italy*, «For. Pathol.», 43 (4), pp. 340-343
- SCHOENEWEISS D.F. (1975): *Predisposition, stress and plant disease*, «Ann. Rev. Phytopathol.», 13, pp. 193-211.
- SHEA S.R., SHEARER B.L., TIPPETT J.T., DEEGAN P.M. (1984): *Distribution, reproduction, and movement of Phytophthora cinnamomi on sites highly conducive to jarrah dieback in south Western Australia*, «Plant Dis», 67, pp. 970-973.
- SHOKES F M., MCCARTER S.M. (1976): *Occurrence of plant pathogens in irrigation ponds in Southern Georgia*, «Proc. Am. Phytopathol. Soc.», 3, p. 342.
- SCHUSTER M.L. (1959): *Relation of root-knot nematodes and irrigation water to the incidence and dissemination of bacterial wilt of bean*, «Plant Dis. Rep.», 43, pp. 27-32.
- SIVIERO P., BERGAMINI L. (2001): *Le fisiopatie*, «Inf. Agrar.», 57 (16), pp. 35-40.

- SLIPPERS B., WINGFIELD M.J. (2007): *Botryosphaeriaceae as endophytes and latent pathogens of woody plants: Diversity, ecology and impact*, «Fungal Biol. Rev.», 21, pp. 90-106.
- STEADMAN J.R., MAIER C.R., SCHWARTZ H.F., KERR E.D. (1975): *Pollution of surface irrigation waters by plant pathogenic organisms*, «Water Resour. Bull.», 11, pp. 796-804.
- THOMSON S.V., ALLEN R.M. (1974): *Occurrence of Phytophthora species and other potential plant pathogens in recycled irrigation water*, «Plant Dis. Rep.», 58, pp. 945-949.
- VANNINI A., VETTRAINO A. M. (2006): *Effetti interattivi dell'acqua e dei patogeni nello sviluppo di malattie in ambito agro-forestale*, «Ital. J. Agron. / Riv. Agron.», 3, pp. 563-568.
- VETTRAINO AM, BARZANTI GP, BIANCO MC, RAGAZZI A., CAPRETTI P., PAOLETTI E., LUISI N., ANSELMINI N, VANNINI A. (2002): *Occurrence of Phytophthora species in oak stands in Italy and their association with declining oak trees*, «Forest Pathol.», 32, pp. 19-28.
- WEBBER J.F., MULLET M., BRASIER C.M., (2010): *Dieback and mortality of plantation Japanese larch (Larix kaempferi) associated with infection by Phytophthora ramorum*, «New Dis. Reports», 22, p. 19.



Finito di stampare in Firenze  
presso la tipografia editrice Polistampa  
nel giugno 2014