

PHYTOPHTHORA SPP. NELLE FORESTE MEDITERRANEE

Bruno Scanu¹, Andrea Vannini², Antonio Franceschini¹, Anna Maria Vettrano²
Beatrice Ginetti³, Salvatore Moricca³

¹Dipartimento di Agraria, Sezione di Patologia vegetale ed Entomologia, Università degli Studi di Sassari, Sassari, Italy; bscanu@uniss.it

²Dipartimento per l'Innovazione nei sistemi Biologici Agroalimentari e Forestali, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, Italy

³Dipartimento di Scienze Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente (DISPAA), Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italy

Le foreste mediterranee sono una grande riserva di biodiversità, ospitando circa il 10% della flora mondiale. Tuttavia, da tempo si assiste ad una progressiva riduzione della loro biodiversità anche in seguito alla recrudescenza degli attacchi di agenti fitopatogeni, tra i quali, in particolare, varie specie del genere *Phytophthora*. Nel presente lavoro, dopo un breve *excursus* sulle principali fitopatie causate da queste specie nel mondo, sono richiamate quelle che minacciano più da vicino le foreste italiane. Nei castagneti preoccupano i rinnovati attacchi di “mal dell’inchostro” associati a *P. cambivora*, *P. cinnamomi* e ad altre specie congeneri, tra le quali figura *P. ramorum*, anche se rilevata solo come segnale molecolare. Quest’ultima specie è un patogeno da quarantena, recentemente isolato da materiale infetto in alcuni vivai della Toscana. Nei querceti, in rapida diffusione appare *P. cinnamomi*, patogeno che causa morie di querce in Sardegna e nel Lazio. In piantagioni di conifere sono stati riscontrati attacchi di *P. cryptogea* e *P. humicola* rispettivamente su *Pinus radiata* e *Pinus pinea*. Infine, degno di nota è il rinvenimento di due nuove specie: *P. acerina* su acero e *P. parvispora* su corbezzolo. Nell’insieme, gli studi finora effettuati in Italia hanno evidenziato un sensibile aumento della diversità e dannosità delle specie di *Phytophthora* nei popolamenti forestali. Ciò, verosimilmente sia per un affinamento dei metodi diagnostici, sia a causa dei cambiamenti globali intervenuti in ambiente mediterraneo, forieri di nuove specie invasive.

Parole chiave: deperimento delle foreste, patogeni invasivi, Oomycetes.

Keywords: forest decline, invasive pathogens, Oomycetes.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-bs-phi>

1. Introduzione

Le foreste mediterranee sono riconosciute come un *hotspot* di biodiversità a livello mondiale in quanto ospitano più di 25.000 specie di piante, che rappresentano quasi il 10% della flora mondiale (Myers *et al.*, 2000). Agenti di disturbo, quali patogeni, insetti e incendi, possono influenzare negativamente la capacità delle foreste di fornire beni e servizi, in particolare quando le attività umane ne modificano l’incidenza naturale. Negli ultimi decenni, molti agenti di malattia e di danno alle piante forestali hanno invaso l’Europa con conseguenze ancora oggi imprevedibili sulla conservazione della biodiversità degli ecosistemi forestali (Brasier, 2008; Picco *et al.*, 2011).

Tra i patogeni definiti come “emergenti” o “invasivi”, assumono particolare rilevanza le specie afferenti al genere *Phytophthora* de Bary, ben noti agenti di marciume delle radici e della porzione basale del fusto di numerose specie sia arboree che arbustive (Erwin e Ribeiro, 1996). Il genere *Phytophthora*, dal greco *phyto* (pianta) e *phthora* (distruttore), annovera al suo interno alcuni dei patogeni più distruttivi, in grado di causare

epidemie gravi e danni ingenti di natura sia economica che ambientale.

Le specie di *Phytophthora* sono microorganismi in grado di sopravvivere anche in condizioni ambientali sfavorevoli grazie alla differenziazione sia nel suolo che nei tessuti infetti di spore dormienti, oospore e clamidospore (Fig. 1a, b), particolarmente resistenti.

Quando le condizioni ambientali diventano favorevoli (suolo umido, temperatura >10°C), avviene la produzione di sporangi (Fig. 1c) che a loro volta rilasciano nell’ambiente circostante zoospore biflagellate mobili. Le zoospore sono attratte chemiotatticamente dagli essudati delle radici delle piante, dove penetrano e si sviluppano all’interno dei tessuti (Erwin e Ribeiro, 1996). Al momento si conoscono circa 150 specie di *Phytophthora*, di cui oltre la metà sono state descritte nel corso degli ultimi 10 anni (Fig. 2).

Questo incremento esponenziale è da attribuire, in parte al crescente interesse della comunità scientifica per questo gruppo di microrganismi associati ad eventi epidemici, e in parte all’avvento di metodi diagnostici sempre più sensibili, che hanno consentito la scoperta sia di nuove entità (specie criptiche) all’interno di specie già

note, sia di specie nuove, soprattutto negli ecosistemi forestali. A ciò vanno aggiunti i cambiamenti globali intervenuti, che hanno favorito l'insorgenza e la gravità degli attacchi delle specie di *Phytophthora*.

Tra gli esempi più eclatanti di attacchi epidemici causati da specie di *Phytophthora* in campo forestale degno di nota è sicuramente quello di *P. ramorum*.

Questo patogeno è stato segnalato per la prima volta in California, dove è considerato l'agente causale del "Sudden Oak Death", malattia comparsa verso la fine degli anni '90 del secolo scorso, che ha causato la morte di milioni di querce (Rizzo *et al.*, 2002).

In Europa figura nella lista A2 dell'EPPO (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*), fra i patogeni soggetti a misure di quarantena; l'oomicete è stato rinvenuto principalmente in vivaio e meno di frequente in ambienti forestali, ma mai associato a danni rilevanti se non in alcune specifiche aree forestali (Brasier e Jung, 2006; Vannini *et al.*, 2013).

In Gran Bretagna, a partire dalla fine del 2009, *P. ramorum* sta mettendo in serio pericolo la sopravvivenza di numerosi impianti di *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr. e delle specie native associate (Brasier e Webber, 2010). Un altro patogeno molto temuto a livello mondiale è *Phytophthora cinnamomi*, agente di marciume radicale e del colletto di numerose specie forestali.

In Australia è stato segnalato su circa 3000 delle 9000 specie vascolari ivi presenti ed è considerato una seria minaccia per la biodiversità degli ecosistemi naturali di quel continente (Dunstan *et al.*, 2010).

In Nord America ha provocato danni gravi su castagno (*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh.) e in Europa è stato associato alle gravi morie di leccio (*Quercus ilex* L.) e quercia da sughero (*Quercus suber* L.) verificatesi in Spagna e Portogallo sin dagli inizi degli anni '90 del secolo scorso e al castagno (*Castanea sativa* Mill.) (Brasier, 1992; Sánchez *et al.*, 2002; Vettrano *et al.*, 2005).

Infine, degno di nota è il caso di *Phytophthora austrocedrae*, oggetto dell'ultimo *International Meeting IUFRO Working Party "Phytophthora in Forests and Natural Ecosystems"* tenutosi a Esquel (Argentina).

Si tratta di una specie esotica e invasiva, ritenuta la principale causa del "mal del ciprés", una malattia dalle dimensioni ciclopiche, che in pochi anni sta provocando la distruzione delle foreste native di *Austrocedrus chilensis* Florin e Boutelje in Patagonia (Greslebin *et al.*, 2007).

Ai casi sopra riportati se ne potrebbero aggiungere diversi altri, altrettanto rilevanti, a conferma del fatto che negli ultimi anni il rinvenimento di specie esotiche di *Phytophthora* è aumentato considerevolmente, così come le opportunità per tali agenti di trovare nei nuovi ambienti ospiti geneticamente suscettibili e condizioni climatiche più favorevoli per sopravvivere, svilupparsi ed esprimere tutta la loro virulenza.

Con l'intento di richiamare l'attenzione sul problema rappresentato dal rischio di introduzione e diffusione di questi pericolosi microrganismi in ambienti naturali e forestali, nel presente lavoro sono riassunti i risultati degli studi finora effettuati, sia in vivaio che in ambiti forestali, per individuare e caratterizzare le specie di *Phytophthora* agenti delle principali malattie emergenti o riemergenti attualmente riscontrate in Italia.

2. Specie di *Phytophthora* in Italia: natura e diffusione

Il nostro Paese, per vari motivi (clima, idrografia, intensa attività di import-export di materiale vivaistico) è fortemente esposto al rischio di introduzione e diffusione di microrganismi fitopatogeni (Panconesi *et al.*, 2014).

La situazione è preoccupante soprattutto nei vivai di piante ornamentali e di interesse agrario, dove anche di recente sono state segnalate numerose specie esotiche di *Phytophthora* (Pane *et al.*, 2006; Magnano di San Lio, com. pers.). D'altronde, in tali ambienti confluiscono e "convivono" varie specie vegetali anche esotiche, spesso coltivate in modo intensivo ed in stretta prossimità, per cui la diffusione delle infezioni di questi patogeni anche su specie vegetali non ospiti è fortemente facilitata.

Tra le specie esotiche di *Phytophthora* di recente introduzione nei vivai italiani, assume rilevanza *Phytophthora niederhauserii* (Abad *et al.*, 2014), una specie ormai diffusa in tutti e cinque i continenti dove è in grado di attaccare piante sia di interesse agrario che forestale (Pérez Sierra *et al.*, 2010). In Italia la sua diffusione è al momento confinata in vivaio, dove è stata rinvenuta su numerosi ospiti in particolare in Sicilia (Cacciola *et al.*, 2009) e in Sardegna (Scanu *et al.*, 2011). Altrettanto rilevante è il rinvenimento di *Phytophthora parvispora*, una specie esotica recentemente descritta come agente di marciume radicale e del colletto su *Arbutus unedo* L. in Sardegna, dove è stata rinvenuta sia su semenzali in vivaio sia in pieno campo su piante adulte, in giardini e parchi (Scanu *et al.*, 2014). Inoltre, *P. parvispora* è stata isolata su diversi ospiti in Sicilia (Pane *et al.*, 2010) e recentemente in Croazia, dove è stata intercettata su piante ornamentali importate dall'Italia (Jung T., com. pers.). Queste segnalazioni si aggiungono a quelle già note di *P. cinnamomi*, *P. cactorum*, *P. cryptogea*, *P. nicotianae* e *P. palmivora*, specie altamente polifaghe e termofile, frequentemente isolate sia da piante di interesse agrario, sia da specie tipiche della macchia mediterranea in numerosi vivai dell'Italia meridionale ed in aree forestali (Cacciola *et al.*, 2003; Vettrano *et al.*, 2005; Vettrano *et al.*, 2008a, b). Infine preoccupante è il rinvenimento di *P. ramorum* in vivaio e, identificata molecularmente, in alcuni castagneti nel Centro Italia (Gullino *et al.*, 2003; Vannini *et al.*, 2013). Più recentemente, *P. ramorum* è stata segnalata in Toscana (Ginetti *et al.*, 2014b), inizialmente su piante di *Viburnum tinus* L. allevate in vaso in un vivaio a Pescia (PT), e successivamente in diversi altri vivai del comprensorio pistoiese. I sintomi su *V. tinus* consistono in macchie brune e necrosi a livello fogliare, avvizzimento dei germogli con ripiegamento a uncino della porzione apicale, decolorazioni e striature brune lungo il fusto. Associata al medesimo ospite (*V. tinus*) in vivaio, ma isolata anche da acqua, è *Phytophthora* taxon *PgChlamydo*, entità non ancora riconosciuta formalmente afferente al Clade 6 (Ginetti *et al.*, 2014a). Questa specie induce sintomi quali appassimento della chioma e striature necrotiche che si sviluppano a livello del cambio sulle radici e sul fusto.

I danni causati da specie di *Phytophthora* in ambito forestale non hanno mai destato serie preoccupazioni, o meglio, non è stata finora posta la giusta attenzione alle affezioni causate da questi patogeni. Solo di recente è emersa tutta la loro pericolosità e capacità distruttiva anche in ambienti forestali, in particolare nei castagneti e nei querceti. Nei primi, causano la ben nota sindrome del “mal dell’inchostro”, malattia ormai endemica in Italia, che negli ultimi anni sta creando problemi soprattutto nelle aree castanicole delle regioni centro-meridionali (Vettrano *et al.*, 2001; Vettrano *et al.*, 2005). Fino a qualche anno fa erano ritenute responsabili di questa malattia due specie di *Phytophthora*: *P. cambivora* e *P. cinnamomi*; recenti studi, invece, hanno messo in evidenza come nell’eziologia della malattia possano essere coinvolte anche altre specie dello stesso genere, in particolare *P. cactorum*, *P. cryptogea*, *P. plurivora* e *P. pseudosyringae* (Vettrano *et al.*, 2005; Scanu *et al.*, 2010).

Per quanto riguarda i boschi di querce, nel corso degli ultimi decenni si è verificata, in Italia come nel resto del Mediterraneo, una costante espansione di quei gravi fenomeni di deperimento noti col termine di “*oak decline*”. In tali malattie ad eziologia complessa, come noto, risultano coinvolti vari patogeni, tra i quali anche specie di *Phytophthora* (Jung *et al.*, 1996). Le indagini effettuate finora nei querceti deperenti di diverse regioni italiane hanno consentito di rilevare la presenza di *P. cactorum*, *P. cambivora*, *P. cinnamomi*, *P. cryptogea*, *P. gonapodyides*, *P. megasperma*, *P. plurivora*, *P. quercina* e *P. syringae*. Alcune di queste specie sono più frequenti nel Nord del Paese, altre nel Centro-Sud. Tra tutte, *P. quercina* è risultata quella più direttamente coinvolta nell’eziologia della malattia, soprattutto nelle aree con suoli acidi o subacidi delle regioni centro-settentrionali (Vettrano *et al.*, 2002).

In Sardegna in particolare, la presenza di *Phytophthora* spp. non era stata mai accertata in querceti deperenti (Franceschini *et al.*, 1999). Solo di recente, gli studi effettuati in seguito alla recrudescenza dei fenomeni di deperimento in alcune foreste sempreverdi di leccio e quercia da sughero hanno dimostrato il diretto coinvolgimento di *P. cinnamomi* e di numerose altre specie di *Phytophthora* (Scanu *et al.*, in prep.).

Di rilievo appaiono i gravi attacchi epidemici causati da *P. cinnamomi* in boschi naturali di leccio dell’isola di Caprera, nel Parco Nazionale dell’Arcipelago di La Maddalena (Franceschini *et al.*, 2012; Linaldeddu *et al.*, 2014). Ulteriori rinvenimenti dello stesso patogeno sono stati registrati in boschi deperenti di quercia da sughero della Sardegna settentrionale e del Lazio (Scanu *et al.*, 2013).

In piantagioni di conifere sono state riscontrate varie specie di *Phytophthora*. In particolare, in Sardegna sono state isolate *P. cinnamomi* da piante di *Pinus pinaster* Aiton che manifestavano gravi sintomi di clorosi e disseccamento dell’intera chioma, e *P. cryptogea* dalla rizosfera di piante mature di *Pinus radiata* D. Don con sintomi di disseccamento improvviso della chioma (Sechi *et al.*, 2014). In Toscana, in una giovane piantagione di *Pinus pinea* L. è stata isolata *P. humicola* da piante con estesi disseccamenti della chioma (Ginetti *et al.*, 2012).

Infine, merita di essere menzionata la recente descrizione di una nuova specie, *Phytophthora acerina*, riscontrata su *Acer pseudoplatanus* L. in parchi urbani in Lombardia. Sulla base di quanto riportato in letteratura, la distribuzione geografica di *P. acerina* sembrerebbe limitata ad alcune regioni dell’Asia orientale e, appunto, ad un’area circoscritta del Nord Italia (parco Bosco in città di Milano), lasciando intendere una sua recente introduzione in Europa, presumibilmente attraverso materiale vivaistico.

A supporto di tale ipotesi, analisi molecolari hanno dimostrato che gli isolati europei e quelli asiatici rappresentano un unico *lineage* evolutivo. Infatti le sequenze ITS di 4 isolati asiatici depositati in GenBank come *P. citricola* sono molto affini alle sequenze dell’ITS di *P. acerina*, con differenze di sole 1 o 2 paia di basi (Ginetti *et al.*, 2014c).

3. Considerazioni conclusive

Dalle indagini finora effettuate in Italia è emersa l’ampia varietà delle specie di *Phytophthora* diffuse nel nostro Paese e l’esistenza di gravi criticità legate ai loro attacchi in ambienti differenti: castagneti, formazioni quercine, piantagioni di conifere, parchi urbani e vivai. In particolare, nelle aree castanicole dell’Italia centrale, recentemente interessate dall’invasione del cinipide del castagno *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Turchetti *et al.*, 2012), preoccupa la recrudescenza del “mal dell’inchostro” associata alla presenza di specie diverse di *Phytophthora* che è stato possibile evidenziare grazie all’uso di nuove e più sensibili tecniche di rilevamento, quali il pirosequenziamento (Vannini *et al.*, 2013). Il rinvenimento, sia pure a livello di segnale molecolare, tra queste specie di *P. ramorum*, noto patogeno da quarantena, è motivo di seria apprensione per i rischi legati ad una sua eventuale diffusione.

Allo stesso modo desta preoccupazione il rinvenimento di *P. cinnamomi* in diversi castagneti della Sardegna e del Lazio. In precedenza in Italia questo temibile patogeno era stato associato solo di rado al “mal dell’inchostro” (Vettrano *et al.*, 2005), probabilmente per via delle sue scarse capacità di sopravvivenza alle basse temperature invernali che di solito si registrano nei castagneti. L’incremento delle temperature medie, conseguenza dei mutamenti climatici intervenuti in questi ultimi anni in ambiente mediterraneo, può aver favorito l’ampliamento progressivo dell’areale di distribuzione di *P. cinnamomi* (Brasier e Scott, 1994). Pertanto, non meraviglia più di tanto aver riscontrato danni elevati a opera di tale agente in una lecceta nel parco naturale dell’Isola di Caprera, in siti caratterizzati da elevata mortalità di piante, e appare concreto il rischio di una sua ulteriore diffusione nelle estese sugherete della Sardegna.

Il rinvenimento di diverse specie esotiche di *Phytophthora*, tra le quali alcune (*P. acerina* e *P. parvispora*) del tutto nuove, ripropone il problema della loro diffusione attraverso il materiale vivaistico infetto. Appare opportuno sottolineare che proprio i vivai oggi giorno rappresentano degli *hot spot* per la presenza di specie di *Phytophthora*. In essi, infatti, a seguito della

globalizzazione dei mercati e della necessità di diversificare le produzioni, sono state importate molte specie vegetali provenienti da Paesi tropicali o subtropicali. Ovviamente, ciò può aver comportato anche l'introduzione accidentale di specie esotiche di *Phytophthora*, sia con le piante o con i relativi materiali di propagazione (semi, talee), sia con i substrati di coltivazione. Inoltre, le tecniche colturali adottate in vivaio e il continuo susseguirsi di specie e varietà di piante differenti in ambiti così ristretti, hanno favorito l'incontro dei patogeni con nuovi ospiti potenziali. In passato, i danni causati dalle infezioni di *Phytophthora* spp. in vivaio sono stati spesso sottovalutati, sia per le scarse conoscenze al riguardo, sia per le difficoltà oggettive incontrate nell'effettuare diagnosi corrette. Peraltro, le infezioni di molti patogeni in vivaio restano asintomatiche per lungo tempo, per cui sussiste un elevato rischio di diffusione accidentale di materiale vegetale infetto in ambienti naturali ed antropizzati. Altro aspetto preoccupante è la capacità di tali micro-organismi di produrre strutture di resistenza in grado di sopravvivere nel suolo per diversi anni, anche in assenza di specie ospiti (Vannini *et al.*, 2012). Ciò rende difficile la loro eradicazione e problematica l'applicazione di mezzi di difesa efficaci nei vari patosistemi. Recentemente, nuove prospettive di lotta sono state offerte dall'uso

del "fosfito di potassio", un ammendante che oltre a possedere proprietà fungicide nei confronti degli oomiceti, e in particolare delle specie di *Phytophthora*, si comporta anche come induttore di resistenza, essendo capace di attivare nella pianta meccanismi di difesa che contrastano lo sviluppo dei processi infettivi. In Italia buoni risultati sono stati ottenuti in particolare nella lotta contro il "mal dell'inchiostro" del castagno attraverso l'adozione di un piano di lotta integrato (Vannini *et al.*, 2009). In ogni caso, si tratta di approcci di lotta basati sull'applicazione di specifiche tecniche di contenimento, di per sé insufficienti a risolvere il problema della diffusione delle infezioni causate da *Phytophthora* spp., soprattutto in contesti forestali, se non sono accompagnate da idonee misure di prevenzione. Per esempio, nella realizzazione di nuovi impianti e/o ricostituzioni boschive si dovrebbero utilizzare preferibilmente piantine prodotte *in loco*, adottando importanti accorgimenti quali la raccolta dei semi da piante prive di infezioni, la sistemazione delle piante in vasi fuori suolo, la sterilizzazione del terriccio prima dell'impiego e l'utilizzo di acqua filtrata. È appena il caso di rimarcare che in tale contesto è determinante il ruolo svolto dai Servizi Fitosanitari regionali nel controllo del materiale vegetale sia di importazione che di esportazione.

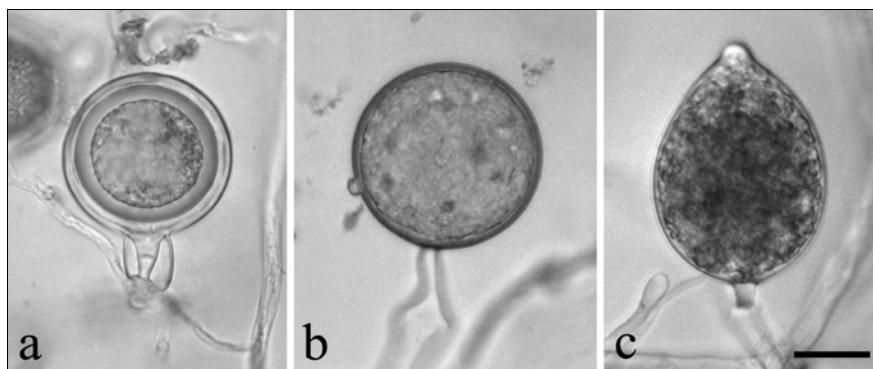
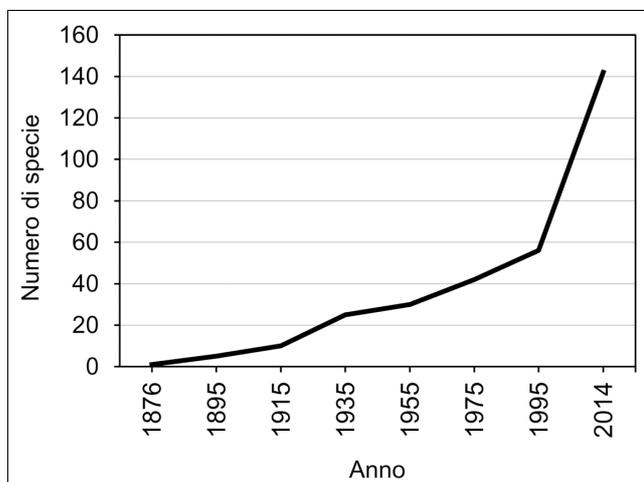


Figura 1. Strutture morfologiche di *Phytophthora* spp.: oogonio, oospora e anteridio anfigino (a), clamidospora (b), sporangio papillato (c). Barra = 20 µm.

Figure 1. Morphological structures of *Phytophthora* spp.: oogonium, oospore and amphigynous antheridium (a), chlamyospore (b), papillate sporangium (c). Scale bar = 20 µm.

Figura 2. Andamento esponenziale del numero di specie di *Phytophthora* descritte nel corso degli anni. La prima specie, *P. infestans*, fu descritta nel 1876. Attualmente (novembre 2014), il numero di specie formalmente descritte è di 147.

Figure 2. Exponential trend of the number of described *Phytophthora* species over time. The first species, *P. infestans*, was described in 1876. Currently (November 2014), the number of validly described and recognized species has risen to 147.



SUMMARY

Phytophthora spp. in Mediterranean forests

The Mediterranean forests are a vast reservoir of biodiversity, hosting about 10% of the world flora. However, over the last decades there has been a gradual reduction of their biodiversity also due to the upsurge of tree pathogen outbreaks, among which particularly several species of *Phytophthora*. In the present work, after a brief overview of the main diseases caused by these pathogens worldwide, are reported those that are more closely threatening the Italian forests. In chestnut stands an increased incidence of chestnut ink disease caused by *P. cambivora*, *P. cinnamomi* and congeneric species, including the uncultured detection of *P. ramorum*, reported only at a molecular level. *P. ramorum* has been recently isolated from infected plant material in some nurseries in Tuscany. In oak stands, notable among the new records is the spread of *P. cinnamomi* responsible for the severe mortality of oak trees in Sardinia and Latium regions. Many of the records involving conifer trees reflected locally severe episodes of root and collar rot including the detection of *P. cryptogea* and *P. humicola* on plantations of *Pinus radiata* and *Pinus pinea*, respectively.

Noteworthy is the detection of two new *Phytophthora* species, named *P. acerina* on maple and *P. parvispora* on strawberry tree. Collectively, these results together indicate an increasing in the detection of *Phytophthora* species in our forests.

This is likely due to both a refinement of diagnostic methods and to global changes occurring in the Mediterranean, responsible for the arrival of new invasive species.

BIBLIOGRAFIA

- Abad Z.G., Abad J.A., Cacciola S.A., Pane A., Faedda R., Moralejo E., Pérez-Sierra A., Abad-Campos P., Alvarez-Bernaola L.A., Bakonyi J., Józsa A., Herrero M.L., Burgess T.I., Cunningham J.A., Smith I.W., Balci Y., Blomquist C., Henricot C., Denton G., Spies C., Mcleod A., Belbahri L., Cooke D., Kageyama K., Uematsu S., Kurbetli I., Değirmenci K., 2014 – *Phytophthora niederhauserii* sp. nov., a polyphagous species associated with ornamentals, fruit trees and native plants in 13 countries. *Mycologia*, 106: 431-447. <http://dx.doi.org/10.3852/12-119>
- Brasier C.M., 1992 – *Oak tree mortality in Iberia*. *Nature*, 360: 539. <http://dx.doi.org/10.1038/360539a0>
- Brasier C.M., Scott J.K., 1994 – *European oak declines and global warming: a theoretical assessment with special reference to the activity of Phytophthora cinnamomi*. *EPPD Bulletin*, 24: 221-232. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2338.1994.tb01063.x>
- Brasier C.M., Jung T., 2006 – *Recent developments in Phytophthora diseases of trees and natural ecosystems in Europe*. In: Brasier C.M., Jung T., Oswald W., eds. *Progress in Research on Phytophthora Diseases of Forest Trees*. Farnham, UK: Forest Research, pp. 5-16.
- Brasier C.M., 2008 – *The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants*. *Plant Pathology*, 57: 792-808. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01886.x>
- Brasier C.M., Webber J.F., 2010 – *Sudden larch death*. *Nature*, 466: 824-825. <http://dx.doi.org/10.1038/466824a>
- Cacciola S.O., Pennini A.M., Pane A., Buffa R., Magnano di San Lio G., 2003 – *Phytophthora palmivora un problema emergente nei vivai di piante ornamentali in Italia*. In: *Problemi fitopatologici emergenti e implicazioni per la difesa delle colture*. Convegno AIPP, Sanremo (IM), 27-29 novembre 2003.
- Cacciola S.O., Scibetta S., Pane A., Faedda R., Rizza C., 2009 – *Callistemon citrinus and Cistus salvifolius two new hosts of Phytophthora taxon niederhauserii in Italy*. *Plant Disease*, 93: 1075. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-93-10-1075A>
- Dunstan W.A., Rudman T., Shearer B.L., Moore N.A., Paap T., Calver M.C., Dell B., Hardy G.E. St. J., 2010 – *Containment and spot eradication of a highly destructive, invasive plant pathogen (Phytophthora cinnamomi) in natural ecosystems*. *Biological Invasions*, 12: 913-925. <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-009-9512-6>
- Erwin D.C., Ribeiro O.K., 1996 – *Phytophthora diseases worldwide*. American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota, Stati Uniti, pp. 562.
- Franceschini A., Corda P., Maddau L., Marras F., 1999 – *Observations sur Diplodia mutila, pathogene du chêne-liège en Sardaigne (Italie)*. *IOBC/wprs Bulletin* 22 (3): 5-12.
- Franceschini A., Linaldeddu B.T., Scanu B., 2012 – *Serious outbreak of holm oak decline on Caprera Island, Italy*. *IOBC/wprs Bulletin*, 76: 101-108.
- Ginetti B., Uccello A., Bracalini M., Ragazzi A., Jung T., Moricca S., 2012 – *Root Rot and Dieback of Pinus pinea caused by Phytophthora humicola in Tuscany, central Italy*. *Plant Disease*, 96 (11): 1694.
- Ginetti B., Carmignani S., Ragazzi A., Moricca S., 2014a – *Phytophthora taxon Pgchlamydo is a cause of shoot blight and root and collar rot of Viburnum tinus in Italy*. *Plant Disease*, 98 (10): 1432.
- Ginetti B., Carmignani S., Ragazzi A., Werres S., Moricca S., 2014b – *Foliar blight and shoot dieback caused by Phytophthora ramorum on Viburnum tinus in the Pistoia area, Tuscany, central Italy*. *Plant Disease*, 98 (3): 423.
- Ginetti B., Moricca S., Squires J.N., Cooke D.E.L., Ragazzi A., Jung T., 2014c – *Phytophthora acerina sp. nov., a new species causing bleeding cankers and dieback of Acer pseudoplatanus trees in planted forests in Northern Italy*. *Plant Pathology*, 63: 858-876. <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12153>
- Greslebin A.G., Hansen E.M., Sutton W., 2007 – *Phytophthora austrocedrae sp. nov., a new species associated with Austrocedrus chilensis mortality in Patagonia (Argentina)*. *Mycological Research*, 111: 308-316. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mycres.2007.01.008>
- Gullino C., Garofalo M.C., Moretti F., Gianetti G., Mainenti E., 2003 – *Rinvenimento su rododendro di*

- Phytophthora ramorum. L'Informatore Agrario, 19: 87-89.
- Jung T., Blaschke H., Neumann P., 1996 – *Isolation, identification and pathogenicity of Phytophthora species from declining oak stands*. European Journal of Forest Pathology, 26: 253-272.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0329.1996.tb00846.x>
- Linaldeddu B.T., Scanu B., Maddau L., Franceschini A., 2014 – *Diplodia corticola and Phytophthora cinnamomi: The main pathogens involved in holm oak decline on Caprera Island (Italy)*. Forest Pathology, 44: 191-200.
<http://dx.doi.org/10.1111/efp.12081>
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B., Kent J., 2000 – *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Nature, 403: 853-858.
<http://dx.doi.org/10.1038/35002501>
- Panconesi A., Moricca S., Ragazzi A., Dellavalle I., Tiberi R., Croci F., Bracalini F., Ginetti B., Vettori G., 2014 – *Parassiti delle piante arboree forestali ed ornamentali. Specie introdotte e di temuta introduzione*. Pàtron Editore, Bologna, pp. 448.
- Pane A., Cacciola S.O., Badalà F., Martini P., Magnano di San Lio G., 2006 – *Il marciume radicale da Phytophthora nei vivai di piante ornamentali*. Terra e Vita, 18, Supplemento Anno XLVII: 24-28.
- Pane A., Faedda R., Cacciola S.O., Rizza C., Scibetta S., Magnano di San Lio G., 2010 – *Root and basal stem rot of mandevillas caused by Phytophthora spp. in Eastern Sicily*. Plant Disease, 94 (11): 1374.
<http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-06-10-0464>
- Pérez Sierra A., León M., Álvarez L.A., Alaniz S., Berbegal M., García-Jiménez J., Abad-Campos P., 2010 – *Outbreak of a new Phytophthora sp. associated with severe decline of almond trees in eastern Spain*. Plant Disease, 94: 534-541.
<http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-94-5-0534>
- Picco A.M., Angelini P., Ciccarone C., Franceschini A., Ragazzi A., Rodolfi M., Varese G.C., Zotti M., 2011 – *Biodiversity of emerging pathogenic and invasive fungi in plants, animals and humans in Italy*. Plant Biosystems, 145: 988-996.
<http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2011.633118>
- 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 Disease, 86: 205-214. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.3.205>
- Sánchez M.E., Caetano P., Ferraz J., Trapero A., 2002 – *Phytophthora disease of Quercus ilex in south-western Spain*. Forest Pathology, 32: 5-18.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00261.x>
- Scanu B., Linaldeddu B.T., Franceschini A., 2010 – *First report of Phytophthora pseudosyringae associated with ink disease of Castanea sativa in Italy*. Plant Disease, 94: 1068.
<http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-94-8-1068B>
- Scanu B., Linaldeddu B.T., Franceschini A., 2011 – *A new Phytophthora sp. causing root and collar rot on Pistacia lentiscus in Italy*. Plant Disease, 95: 618.1.
- Scanu B., Linaldeddu B.T., Franceschini A., Anselmi N., Vannini A., Vettraino A.M., 2013 – *Occurrence of Phytophthora cinnamomi in cork oak forests in Italy*. Forest Pathology, 43: 340-343.
<http://dx.doi.org/10.1111/efp.12039>
- Scanu B., Hunter G.C., Linaldeddu B.T., Franceschini A., Maddau L., Jung T., Denman S., 2014 – *A taxonomic re-evaluation reveals that Phytophthora cinnamomi and P. cinnamomi var. parvispora are separate species*. Forest Pathology, 44 (1): 1-20.
<http://dx.doi.org/10.1111/efp.12064>
- Sechi C., Seddaiu S., Linaldeddu B.T., Franceschini A., Scanu B., 2014 – *Dieback and mortality of Pinus radiata trees in Italy associated with Phytophthora cryptogea*. Plant Disease, 98 (1): 159.
- Turchetti T., Pennacchio F., D'Acqui L., Maresi G., Pedrazzoli F., 2012 – *Practices to manage chestnut orchards infested by the Chinese gall wasp*. Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, 9 (5): 227-235.
- Vannini A., Franceschini S., Vuono G., Natili G., Paganini R., Vettraino A.M., 2009 – *Integrated control protocol to mitigate and eradicate ink disease in chestnut orchards*. Acta Horticulturae, 844: 461-464.
- Vannini A., Breccia M., Bruni N., Tomassini A., Vettraino A.M., 2012 – *Behaviour and survival of Phytophthora cambivora inoculum in soil-like substrate under different water regimes*. Forest Pathology, 42: 362-370.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0329.2012.00768.x>
- Vannini A., Bruni N., Tomassini A., Franceschini S., Vettraino A.M., 2013 – *Pyrosequencing of environmental soil samples reveals biodiversity of the Phytophthora resident community in chestnut forests*. FEMS Microbiology Ecology, 85: 433-442.
<http://dx.doi.org/10.1111/1574-6941.12132>
- Vettraino A.M., Natili G., Anselmi N., Vannini A., 2001 – *Recovery and pathogenicity of Phytophthora species associated with a resurgence of ink disease in Castanea sativa in Italy*. Plant Pathology, 50: 90-96.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00528.x>
- Vettraino A.M., Barzanti G.P., Bianco M.C., Ragazzi A., Capretti P., Paoletti E., Luisi N., Anselmi N., Vannini A., 2002 – *Occurrence of Phytophthora species in oak stands in Italy and their association with declining oak trees*. Forest Pathology, 32 (1): 19-28.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00264.x>
- Vettraino A.M., Morel O., Perlerou C., Robin C., Diamandis S., Vannini A., 2005 – *Occurrence and distribution of Phytophthora species in European chestnut stands, and their association with Ink Disease and crown decline*. European Journal Plant Pathology, 111: 169-180.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10658-004-1882-0>
- Vettraino A.M., Jung T., Vannini A., 2008a – *First report of Phytophthora cactorum associated with beech decline in Italy*. Plant Disease, 92 (12): 1708.
<http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-92-12-1708A>
- Vettraino A.M., Flamini L., Pizzichini L., Prodi A., Nipoti P., Vannini A., Lagnese R., 2008b – *First report of root and collar rot by Phytophthora cryptogea on sweet cherry in Italy*. Plant Disease, 92 (1): 177.
<http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-92-1-0177A>