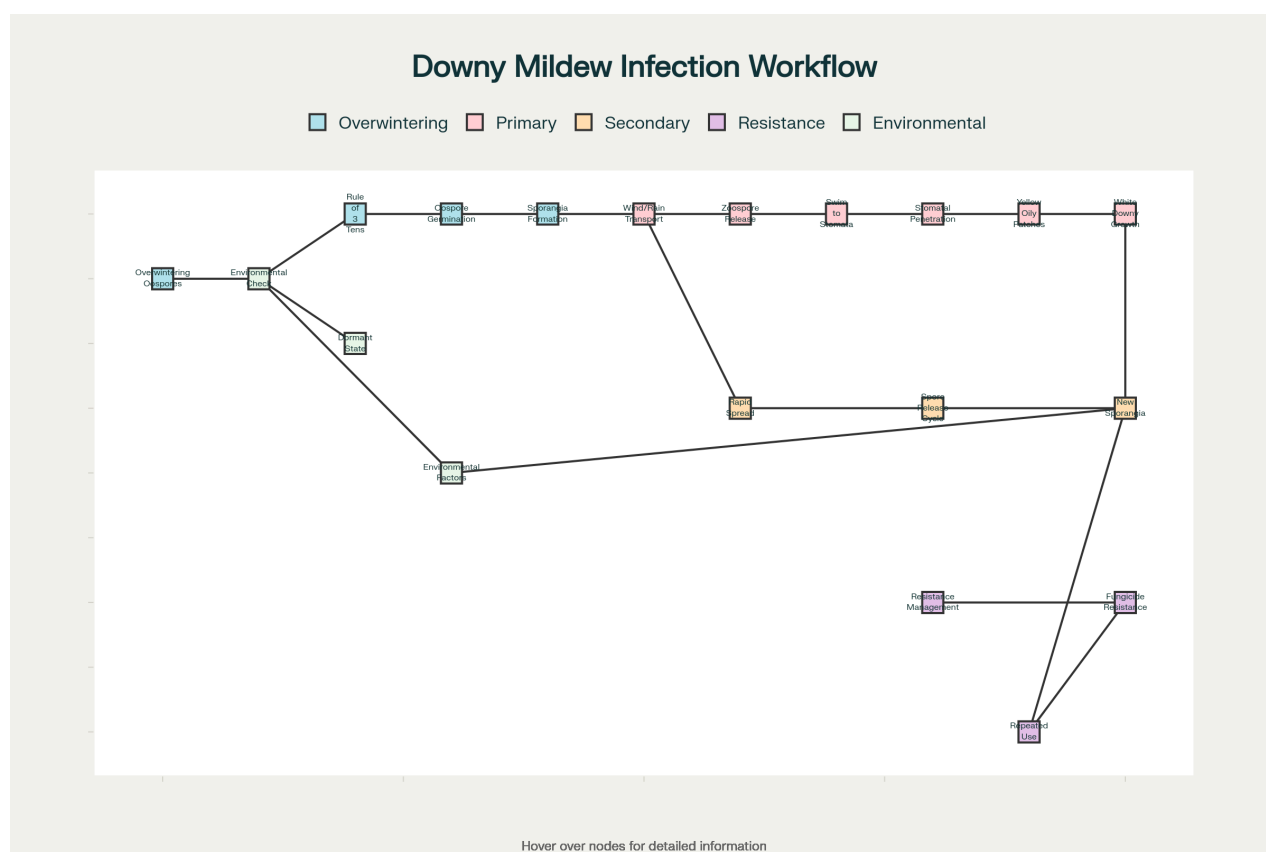




Workflow di Infezione, Contaminazione e Resistenza della Peronospora

La peronospora della vite (*Plasmopara viticola*) è una delle malattie fungine più devastanti per i vigneti, con un ciclo biologico complesso influenzato da molteplici parametri ambientali. Di seguito viene presentato il flusso completo del processo infettivo, dalla fase di svernamento fino allo sviluppo della resistenza ai trattamenti.



Workflow completo del ciclo di infezione, contaminazione e resistenza della peronospora con parametri ambientali chiave

Fase di Svernamento e Sopravvivenza

Le **oospore** della peronospora rappresentano la forma di resistenza del patogeno, capaci di sopravvivere per 3-5 anni nelle foglie cadute a terra e nei residui vegetali del vigneto. Queste strutture possiedono una parete tristratificata molto spessa che permette loro di resistere alle temperature invernali rigide, anche sotto lo zero. Paradossalmente, le nevicate favoriscono la successiva germinazione primaverile, poiché l'acqua di scioglimento crea condizioni ottimali per l'attivazione delle oospore. [\[1\]](#) [\[2\]](#) [\[3\]](#) [\[4\]](#)

Infezione Primaria: La Regola dei "Tre Dieci"

L'infezione primaria si verifica quando tre condizioni fondamentali si realizzano contemporaneamente, dando vita alla classica **regola dei "3 dieci"**:^{[2] [5]}

- **Temperatura minima di 10°C** per almeno 24 ore
- **Pioggia di almeno 10 mm** nell'arco di 24-48 ore
- **Germogli di almeno 10 cm** con stomi ben formati e recettivi

Quando queste condizioni si verificano, le oospore germinano producendo macroconidi (o zoosporangi) che vengono trasportati dal vento e dalla pioggia sulla vegetazione giovane. I macroconidi liberano numerose **zoospore flagellate**, elementi mobili che nuotano nel velo liquido presente sulla superficie fogliare fino a raggiungere gli stomi della pagina inferiore. Per il successo dell'infezione primaria è necessaria una bagnatura fogliare di almeno 2-3 ore.^{[6] [7] [4]}
^[2]

Le zoospore germinano in corrispondenza degli stomi, producendo un tubetto premicelico che penetra nella camera sottostomatica, dove il micelio inizia ad accrescersi diffondendosi negli spazi intercellulari del parenchima.^[7]

Periodo di Incubazione e Manifestazione dei Sintomi

Il **periodo di incubazione**, compreso tra l'ingresso del patogeno e la comparsa dei sintomi visibili, varia significativamente in funzione della temperatura:^{[1] [2]}

- A **temperature ottimali (20-25°C)**: 4-5 giorni
- A **temperature più basse (13-14°C)**: fino a 14-18 giorni
- A **temperature sotto i 5°C**: il ciclo si allunga considerevolmente

I primi sintomi si manifestano con **macchie giallo pallido oleose** sulla pagina superiore delle foglie, definite "oil spots". Successivamente, sulla pagina inferiore in corrispondenza delle macchie, compare una **muffetta biancastra** costituita da conidiofori che emergono dagli stomi.
^{[6] [2] [4]}

Infezioni Secondarie: Amplificazione Esponenziale

Dalla muffetta biancastra si staccano i **microconidi** (sporangii), che rappresentano la fonte delle infezioni secondarie. Questi vengono trasportati dal vento anche a grandi distanze e, quando si depositano su tessuti verdi bagnati, liberano nuove zoospore che possono infettare altre parti della pianta.^{[6] [2] [4] [8]}

Le condizioni ottimali per le infezioni secondarie includono:^{[9] [8] [6]}

- **Temperature tra 13-25°C** (ottimale 21-25°C)
- **Umidità relativa superiore al 90-95%**
- **Notti calde e umide** (18-25°C)
- **Bagnatura fogliare prolungata** di almeno 2-3 ore
- **Piogge ripetute o rugiada abbondante**

In condizioni ideali, il ciclo dalla nuova infezione alla produzione di sporangi si completa in soli **4-5 giorni**, permettendo una diffusione esponenziale della malattia. Questo spiega perché la peronospora può passare da livelli minimi a devastanti in pochissimo tempo durante periodi con condizioni meteorologiche favorevoli. ^[6] ^[9]

Parametri Ambientali Critici

L'analisi dei parametri ambientali rivela che il successo delle infezioni dipende dall'interazione complessa di più fattori: ^[1] ^[10] ^[9]

Temperatura

Il range termico di sviluppo della peronospora è compreso tra **5-26°C**, con un optimum a 20-25°C. Temperature superiori a 35°C rallentano o bloccano lo sviluppo del patogeno, mentre sotto i 10°C il ciclo si allunga ma non si arresta completamente. ^[1] ^[9] ^[8]

Umidità e Bagnatura Fogliare

L'**umidità relativa superiore all'85-90%** è essenziale per la sporulazione. La presenza di acqua libera sulla superficie fogliare è fondamentale per la mobilità delle zoospore e la penetrazione attraverso gli stomi. La durata della bagnatura fogliare necessaria varia inversamente con la temperatura: a 25°C sono sufficienti 2 ore, mentre a 13°C ne servono almeno 3. ^[2] ^[11] ^[10] ^[12]

Pioggia

Le precipitazioni svolgono un duplice ruolo: da un lato attivano la germinazione delle oospore (infezioni primarie), dall'altro trasportano e disseminano gli sporangi (infezioni secondarie). La soglia critica di 10 mm in 24-48 ore rimane un indicatore chiave per le infezioni primarie. ^[2] ^[4] ^[5]

Fattori Agronomici Predisponenti

Oltre ai parametri climatici, diversi fattori agronomici influenzano la suscettibilità alle infezioni: ^[13] ^[14] ^[15]

- **Vigoria eccessiva** e forme di allevamento che creano chiome dense e poco penetrabili dalla luce riducono l'aerazione e aumentano l'umidità locale ^[14] ^[13]
- **Irrigazione a pioggia** e pratiche che favoriscono la bagnatura prolungata delle foglie ^[16]
- **Concimazioni azotate eccessive** che stimolano una vegetazione lussureggiante ma più suscettibile
- **Portinnesti vigorosi** che aumentano la densità della chioma ^[13]

Suscettibilità Varietale e Resistenza Genetica

Non tutte le varietà di *Vitis vinifera* mostrano la stessa suscettibilità alla peronospora. Alcune cultivar manifestano resistenza moderata o buona, mentre altre sono estremamente vulnerabili. La suscettibilità può inoltre variare tra diversi organi della stessa pianta: ad esempio, il Merlot presenta bassa suscettibilità fogliare ma elevata vulnerabilità sui grappoli. ^[15]

Le varietà resistenti o tolleranti possono incorporare meccanismi di difesa costitutivi o indotti, riducendo la necessità di trattamenti fungicidi.^[13]

Sviluppo della Resistenza ai Fungicidi

La gestione ripetuta della peronospora con fungicidi ha portato allo sviluppo di **resistenza genetica stabile** in molte popolazioni del patogeno. La resistenza è definita come un adattamento genetico che riduce l'efficacia fungitossica delle molecole chimiche.^[17]

I principali fattori che favoriscono lo sviluppo di resistenza includono:^{[14] [17]}

- **Uso ripetuto dello stesso principio attivo** o di molecole con lo stesso meccanismo d'azione
- **Alta pressione di malattia** che seleziona rapidamente i ceppi resistenti
- **Trattamenti insufficienti** che permettono la sopravvivenza di individui parzialmente resistenti
- **Mancata rotazione** tra classi di fungicidi (gruppi FRAC)

Strategie Antiresistenza

Per gestire efficacemente il rischio di resistenza è necessario implementare strategie integrate:^{[14] [17]}

- **Rotazione di fungicidi** con diversi meccanismi d'azione (diversi gruppi FRAC)
- **Applicazioni preventive** mirate prima degli eventi infettanti, mantenendo l'inoculo al minimo
- **Uso di modelli previsionali** per ottimizzare la tempistica dei trattamenti^{[10] [8]}
- **Integrazione con pratiche agronomiche** che riducono le condizioni favorevoli al patogeno
- **Impiego di varietà resistenti** quando possibile

Modelli Previsionali e Gestione Integrata

La conoscenza dettagliata del ciclo biologico del patogeno e dei parametri ambientali ha permesso lo sviluppo di **modelli previsionali** che calcolano con precisione il rischio di infezione. Questi modelli considerano:^{[10] [8] [18]}

- **Maturazione delle oospore** e tempistica delle infezioni primarie
- **Sommatorie termiche** per prevedere la durata del periodo di incubazione
- **Indici di rischio** basati su temperatura, umidità relativa e bagnatura fogliare
- **Evoluzione delle infezioni secondarie** e necessità di interventi preventivi

L'utilizzo di modelli previsionali di nuova generazione (4.0) permette di superare i limiti della tradizionale "regola dei 3 dieci", integrando dati meteo in tempo reale e previsioni a breve termine per intervenire in modo mirato prima degli eventi piovosi infettivi.^[5]

In sintesi, il controllo efficace della peronospora richiede un approccio integrato che combini la comprensione approfondita del ciclo biologico del patogeno, il monitoraggio accurato dei

parametri ambientali, l'impiego razionale di fungicidi con strategie antiresistenza, e l'adozione di pratiche agronomiche che riducano la suscettibilità delle piante. [1] [14] [10]

**

1. <http://www.sar.sardegna.it/documentazione/agro/peronosporavite.asp>
2. <https://www.auroras.eu/peronospora-della-vite-cosa-sapere-come-difendersi/>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=n0-vYPkhMzk>
4. <https://www.safj.co.za/downy-mildew-on-grapevines/>
5. <https://www.wiforagri.com/2022/06/17/fitopatologia-agricola-modello-previsionale-peronospora-vigneto/>
6. <https://extension.umd.edu/resource/downy-mildew-management>
7. https://elearning.unite.it/pluginfile.php/316378/mod_folder/content/0/peronospora_speciale.pdf?forcedownload=1
8. <https://wiki.wiforagri.com/wiki/modelli-previsionali>
9. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9866057/>
10. <https://www.regione.lazio.it/sites/default/files/2024-06/Avversita-piante-Plasmopara-viticola.pdf>
11. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/bp/bp-68-w.pdf>
12. <https://www.horticulture.com.au/globalassets/hort-innovation/resource-assets/ny11001-downy-mildew.pdf>
13. [https://tesi.univpm.it/retrieve/aa193c41-df7e-4b59-9f34-8f0b4eb4a8d7/Tesi Alessio Furlotti.pdf](https://tesi.univpm.it/retrieve/aa193c41-df7e-4b59-9f34-8f0b4eb4a8d7/Tesi%20Alessio%20Furlotti.pdf)
14. http://www.ersa.fvg.it/export/sites/ersa/aziende/in-formazione/notiziario/allegati/2017/1/7_PERONOSPORA-DELLA-VITE.pdf
15. <https://repository.regione.veneto.it/public/312cdf5c03f07a9b367160ced26027fe.php?dl=true>
16. <https://veganic.bio/it/come-prevenire-la-peronospora-del-pomodoro-metodi-ecologici-ed-efficaci/>
17. [https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/fitosanitario/difesa-sostenibile/uso-sostenibile/prodotti-fitosanitari/Manuale-basso-impatto/documenti/15-5-1-resistenza-fungicidi-14_03_24.pdf/@download/file/15.5.1 Resistenza fungicidi 14_03_24.pdf](https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/fitosanitario/difesa-sostenibile/uso-sostenibile/prodotti-fitosanitari/Manuale-basso-impatto/documenti/15-5-1-resistenza-fungicidi-14_03_24.pdf/@download/file/15.5.1%20Resistenza%20fungicidi%2014_03_24.pdf)
18. [https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/fitosanitario/difesa-sostenibile/uso-sostenibile/prodotti-fitosanitari/Manuale-basso-impatto/documenti/6-1-2-modelli-previsionali-per-funghi-e-batteri-14_03_24.pdf/@download/file/6.1.2 Modelli previsionali per funghi e batteri 14_03_24.pdf](https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/fitosanitario/difesa-sostenibile/uso-sostenibile/prodotti-fitosanitari/Manuale-basso-impatto/documenti/6-1-2-modelli-previsionali-per-funghi-e-batteri-14_03_24.pdf/@download/file/6.1.2%20Modelli%20previsionali%20per%20funghi%20e%20batteri%2014_03_24.pdf)
19. <https://farmagricolaweb.com/it/approfondimenti/articolo/46-prevenire-e-trattare-la-peronospora-della-vite-malattie-fungine-e-fungicidi.html>
20. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9316467/>