

Nematodi fitoparassiti in Svizzera

Generi principali, sintomi d'infestazione e misure di lotta

Autori: Tobias Stucky, Silvan Meyer, Thyda Sy e Paul Dahlin

Introduzione

I nematodi, noti anche come vermi filiformi, costituiscono un gruppo animale molto diversificato e diffuso in tutto il mondo. Sono presenti in quasi tutti gli ambienti, dove rappresentano una componente importante della biodiversità. Sebbene siano particolarmente abbondanti nel suolo, si trovano anche negli ambienti acquatici e possono adattarsi a condizioni ambientali sfavorevoli.

Grazie alla loro straordinaria diffusione e all'elevata diversità ecologica che li contraddistingue, i nematodi rappresentano uno dei gruppi animali più numerosi e rilevanti del pianeta, costituendo una componente fondamentale della fauna del suolo. Dal punto di vista ecologico, svolgono un ruolo cruciale nel ciclo dei nutrienti, contribuendo alla regolazione delle comunità microbiche e favorendo la decomposizione e il riciclo della sostanza organica.

I nematodi rivestono anche un'importanza significativa in ambito agricolo. Infatti, se da un lato, alcune specie vengono impiegate come agenti di controllo biologico per contrastare insetti dannosi alle colture, dall'altro, numerose specie sono fitoparassite e possono provocare ingenti perdite di resa. A causa delle loro dimensioni generalmente microscopiche, i nematodi passano sovente inosservati nei campi, nonostante possano esercitare effetti rilevanti, sia positivi sia negativi, sugli ecosistemi agricoli.

Nematodi fitoparassiti

I nematodi fitoparassiti sono parassiti obbligati delle piante, ampiamente diffusi nei suoli agricoli di tutto il mondo. Possono attaccare quasi tutte le principali colture di interesse agronomico. Sebbene rappresentino circa il 10–15% delle specie di nematodi conosciute, solo una piccola parte di queste, pari allo 0,5–1%, è considerata economicamente rilevante. Nonostante ciò, i nematodi fitoparassiti possono causare ingenti perdite di produzione a livello globale, stimate in circa 80 miliardi di dollari all'anno. L'entità dei danni dipende principalmente dalla specie coinvolta, dalla densità della popolazione, dalla densità iniziale nel suolo e dalla coltura interessata.

In Svizzera, tra i generi più importanti di nematodi fitoparassiti troviamo i nematodi galligeni (*Meloidogyne* spp.), i nematodi a cisti (*Heterodera* spp. e *Globodera* spp.), i nematodi degli steli

(*Ditylenchus* spp.) e i nematodi delle lesioni radicali (*Pratylenchus* spp.). La loro importanza è legata all'ampio spettro di piante ospiti, alla loro notevole diffusione e al considerevole potenziale di danno per le colture. I nematodi galligeni sono particolarmente dannosi per le colture orticole, quali pomodoro, cetriolo, carota e patata. La loro presenza causa la formazione di galle sulle radici, compromettendo l'assorbimento di acqua e nutrienti, nonché favorendo, in alcuni casi, le infezioni secondarie.

I danni possono essere molto rilevanti, fino alla perdita completa del raccolto. I nematodi a cisti attaccano diversi seminativi, tra cui la barbabietola da zucchero e la patata. In Svizzera, i nematodi a cisti della patata *Globodera rostochiensis* e *Globodera pallida* sono considerati organismi di quarantena, quindi soggetti a specifiche misure di controllo, poiché possono causare danni economici considerevoli. Oltre ai generi *Meloidogyne*, *Globodera*, *Heterodera*, *Ditylenchus* e *Pratylenchus*, rivestono particolare importanza anche alcuni nematodi vettori di virus, come *Xiphinema* e *Longidorus*, soprattutto nell'ambito delle colture speciali.

L'infestazione da nematodi è spesso difficile da individuare, poiché i sintomi sono aspecifici e possono essere facilmente confusi con quelli causati da carenze nutrizionali o da altri fattori. La lotta contro questi parassiti è particolarmente complessa perché infestano un ampio spettro di piante ospiti, persistono a lungo nel suolo e si diffondono facilmente attraverso macchinari e materiale vegetale contaminato. Poiché le strategie di lotta dipendono dalla specie coinvolta, una corretta identificazione del nematode presente rappresenta il presupposto fondamentale per gestirlo efficacemente. Non è, infatti, soltanto la densità della popolazione a determinare il livello di rischio e la strategia di lotta più appropriata, quanto soprattutto la combinazione delle specie presenti. Per questo motivo, la prevenzione e il monitoraggio regolare rivestono un ruolo fondamentale nella gestione di questi fitoparassiti.

Biologia ed ecologia

Il ciclo vitale dei nematodi fitoparassiti conta sei fasi di sviluppo: uovo, quattro stadi giovanili (J1–J4) e stadio adulto. Lo sviluppo embrionale avviene all'interno dell'uovo, dove si forma il primo stadio giovanile (J1). La prima muta avviene anch'essa solitamente all'interno dell'uovo, dalla schiusa emerge direttamente il secondo stadio giovanile (J2) (fig. 1).



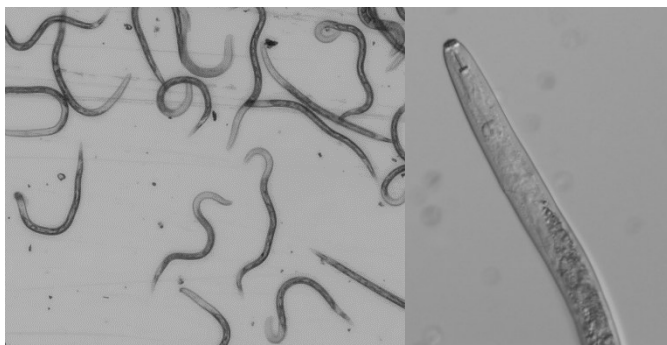


Fig. 1: *Pratylenchus* spp., individui giovanili infettivi allo stadio J2, con stiletto fortemente sviluppato (fotografie: Agroscope).

Per molti endoparassiti sedentari di rilevanza economica, quali le specie dei generi *Meloidogyne*, *Heterodera* e *Globodera*, lo stadio J2 rappresenta il principale stadio infettivo. Dopo la schiusa, queste forme giovanili cercano attivamente piante ospiti ricettive, penetrando nei loro tessuti radicali con l'aiuto dello stiletto. All'interno o sulla superficie esterna della pianta avvengono ulteriori mute (J3 e J4), che portano infine allo stadio adulto. Negli endoparassiti sedentari si nota chiaramente un marcato dimorfismo sessuale, con femmine sessili e maschi mobili: mentre le femmine rimangono immobili nei tessuti vegetali, i maschi sono liberi di muoversi nel suolo o nella rizosfera.

I nematodi fitoparassiti si differenziano sostanzialmente per le loro abitudini alimentari e strategie di vita (fig. 2). Una prima classificazione si basa sull'organo vegetale infestato (foglia, fusto o radice) e sul comportamento delle specie, distinguendo tra forme migratorie e sedentarie. Le specie migratorie si muovono attivamente all'interno dei tessuti vegetali, nutrendosi di più cellule, mentre quelle sedentarie inducono la formazione di una struttura alimentare permanente e rimangono nello stesso punto durante il loro intero ciclo di sviluppo. In base alla loro modalità di nutrizione, i nematodi fitoparassiti si possono anche suddividere in ectoparassiti, che si nutrono dall'esterno dei tessuti vegetali, nel suolo o sulla superficie delle radici, e endoparassiti, che si alimentano all'interno dei tessuti della pianta ospite.

Gli endoparassiti migratori, come le specie del genere *Pratylenchus*, penetrano tipicamente nei tessuti radicali attraverso l'apice o i peli radicali, per poi muoversi liberamente all'interno della radice, dove si nutrono delle cellule, distruggendole, e si riproducono. Altri generi, come *Aphelenchoides* spp. e *Ditylenchus* spp., raggiungono le parti aeree della pianta attraverso aperture naturali, quali gli stomi, colonizzando foglie e fusti. Alcune specie di nematodi fitoparassiti delle parti aeree, in particolare appartenenti ai generi *Anguina*, *Ditylenchus* e *Aphelenchoides*, sono in grado di entrare in anidrobiosi riuscendo così a sopravvivere per anni nel materiale vegetale secco, nei semi o nei residui vegetali.

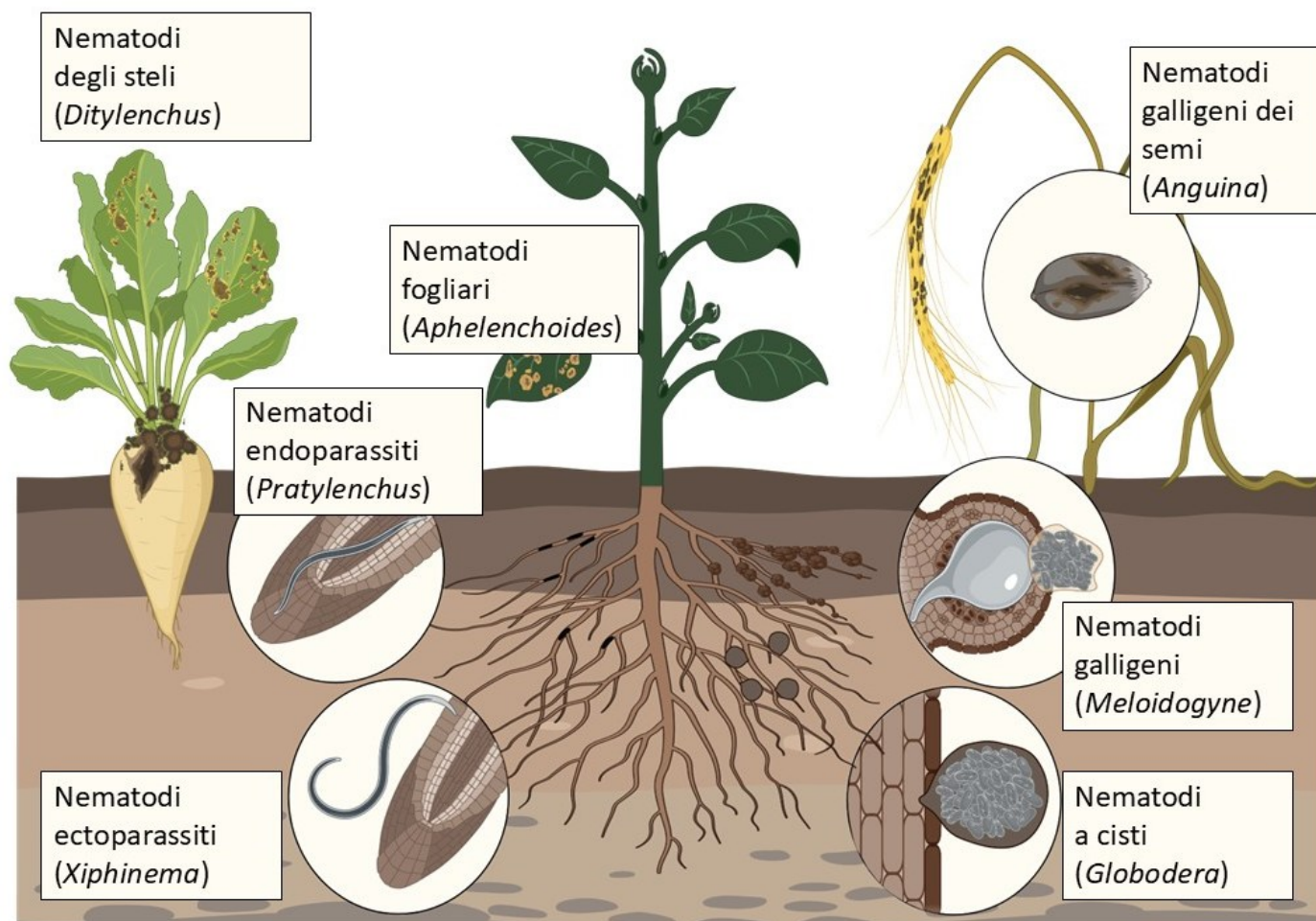


Fig. 2: Panoramica delle strategie di vita e dei sintomi causati dall'attacco dei principali generi di nematodi fitoparassiti presenti in Svizzera.

Questa loro capacità contribuisce significativamente ad aumentarne la persistenza e la diffusione. Tra gli endoparassiti sedentari figurano, in particolare, i nematodi galligeni (*Meloidogyne* spp.) e quelli a cistici (*Globodera* spp.). Le specie del genere *Meloidogyne* penetrano nelle radici in prossimità dell'apice radicale, quindi si spostano per via intercellulare fino al cilindro centrale, dove inducono la formazione di cellule giganti specializzate, che fungono da fonte permanente di nutrimento e sono responsabili delle caratteristiche galle radicali.

I nematodi a cisti, quali le specie del genere *Globodera*, invece, si nutrono inducendo la formazione di un sincizio. Durante lo sviluppo, la femmina si ingrossa notevolmente, tanto che la parte posteriore del corpo fuoriesce dalla radice, mentre quella anteriore rimane ancorata al sincizio. Dopo la fecondazione da parte dei maschi mobili, le uova si sviluppano all'interno del corpo della femmina. Con la morte della femmina, la sua cuticola si indurisce formando una cisti resistente, che contiene numerose uova. In condizioni favorevoli, le cisti possono sopravvivere nel suolo per molti anni (in alcuni casi fino a due decenni), mantenendo le uova vitali e rappresentando così un rischio fitosanitario a lungo termine.

Influenza della temperatura e di altri parametri ambientali legati al suolo sulla dinamica delle popolazioni

La dinamica delle popolazioni di nematodi fitoparassiti è influenzata in modo determinante dai fattori ambientali. In particolare, la temperatura e l'umidità del suolo, la sua struttura e la disponibilità di ossigeno ne influenzano l'attività, la schiusa, lo sviluppo e il tasso di riproduzione. Poiché i nematodi sono organismi eterotermi, il loro sviluppo avviene solo entro un intervallo di temperatura specifico per ciascuna specie. Generalmente, l'aumento della temperatura accelera il loro tasso di sviluppo, il che può comportare un maggior numero di generazioni durante il periodo vegetativo.

Anche le caratteristiche fisiche del suolo ne influenzano la riproduzione e la diffusione. In particolare, l'umidità svolge un ruolo fondamentale nella loro diffusione, poiché la loro mobilità dipende dalla presenza di film d'acqua continui nel suolo.

Queste interazioni ecologiche rivestono grande importanza per la gestione dei nematodi, poiché numerose strategie di controllo, tra cui la scelta dell'epoca di semina, l'impiego di piante trappola, colture intercalari o dell'incolto, nonché la biofumigazione e i trattamenti termici, agiscono direttamente o indirettamente modificando le condizioni ambientali e, di conseguenza, influenzando lo sviluppo delle popolazioni di nematodi.

Sintomatologia

I nematodi fitoparassiti causano un'ampia varietà di sintomi nelle piante attaccate. Per convenzione, questi vengono suddivisi in sintomi che interessano la parte aerea (epigei) e l'apparato radicale (ipogei) (figg. 2 e 3). Di seguito se ne riportano i principali.

Parte aerea

I sintomi che si manifestano sulla parte aerea delle piante sono spesso aspecifici e facilmente confondibili con quelli causati da altre avversità biotiche o abiotiche. In molti casi, l'infestazione viene individuata solo quando i nematodi si sono già insediati nel suolo e hanno provocato danni di una certa gravità.

- **Crescita ridotta:** le piante infestate presentano generalmente una crescita ridotta o alterata.
- **Ingiallimento (clorosi) e appassimento:** le lesioni radicali compromettono l'assorbimento di acqua e nutrienti, facendo ingiallire e appassire parzialmente le foglie, nonché causando un indebolimento complessivo della pianta colpita.
- **Calo di resa:** la resa può diminuire a causa della produzione di frutti e ortaggi più piccoli e meno numerosi.
- **Decolorazione delle foglie:** alcuni nematodi possono causare decolorazioni aspecifiche e macchie clorotiche sulle foglie.
- **Alterazione della crescita:** *Ditylenchus* spp. e altri nematodi fogliari e degli steli causano ingrossamenti, torsioni dei fusti e concrecimento dei tessuti, determinando uno sviluppo anomalo delle foglie.
- **Galle dei semi:** tipico sintomo causato dall'infestazione di *Anguina tritici*.

All'interno di una singola parcella, i danni si manifestano spesso sotto forma di focolai, che tendono ad ampliarsi di anno in anno e possono indicare una distribuzione non uniforme della popolazione di nematodi fitoparassiti nel suolo.

Apparato radicale

I sintomi variano a seconda della specie e possono sfociare in danni considerevoli alle colture. La natura e la gravità dei sintomi dipendono dalle modalità di vita del nematode (endoparassita o ectoparassita), nonché dalla pianta ospite.

- **Galle radicali:** il sintomo più caratteristico dell'infestazione da nematodi galligeni del genere *Meloidogyne* è la formazione di galle e di evidenti ispessimenti sulle radici.
- **Lesioni radicali:** i nematodi delle lesioni radicali possono causare la comparsa di aree di colore marrone-nero sulla superficie delle radici, dovute alla necrosi dei tessuti.
- **Eccessiva ramificazione dell'apparato radicale:** il danneggiamento degli apici radicali può favorire la formazione di numerose radici laterali, dando origine ad apparati radicali molto ramificati e spesso atrofizzati, noti anche come «barba radicale».
- **Atrofia dell'apparato radicale:** l'infestazione può ridurre lo sviluppo dell'apparato radicale, limitando la presenza di radichette e capillizi con conseguente diminuzione dell'assorbimento di acqua e sostanze nutritive.
- **Cisti:** in caso di infestazione da nematodi a cisti (*Heterodera* spp., *Globodera* spp.), sulla superficie delle radici si possono osservare a occhio nudo piccole cisti sferiche delle dimensioni di una capocchia di spillo, di colore variabile dal giallo chiaro al marrone.

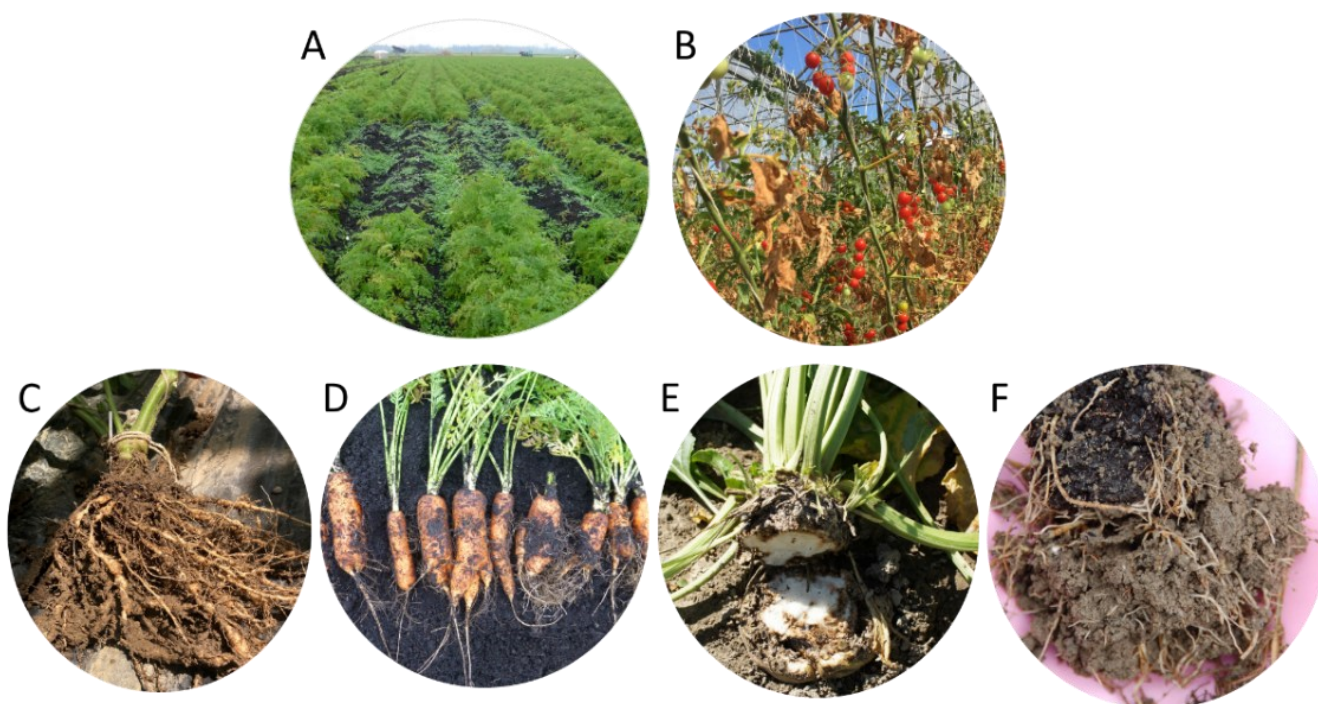


Fig. 3: Sintomatologia della parte aerea e dell'apparato radicale associata all'infestazione di nematodi. (A) Carota: focolai di piante che evidenziano una crescita stentata attribuibile all'infestazione di *Heterodera carotae*. (B) Pomodoro: appassimenti e ingiallimenti su piante attaccate da nematodi galligeni. (C) Pomodoro: formazione di galle sulle radici causata da *Meloidogyne arenaria*. (D) Carota: radici di piccole dimensioni, fortemente ramificate e con numerose radichette, dovute all'infestazione di *Pratylenchus* spp. (E) Bietola da zucchero: marciume radicale causato dall'attacco di *Ditylenchus dipsaci*. (F) Finocchio: lesioni radicali causate da *Paratylenchus* spp. (Fotografie: Lutz Collet, Grangeneuve, Reinhard Eder, Tobias Stucky).

Effetti secondari

I nematodi fitoparassiti possono danneggiare le piante sia direttamente sia indirettamente, poiché le lesioni che causano su radici, tuberi o alla base del fusto possono favorire la penetrazione di funghi, batteri e altri patogeni del suolo, causando marciumi radicali, dei tuberi o del fusto. I nematodi possono quindi favorire o aggravare l'insorgenza di complessi patologici, in particolare attraverso interazioni nematode-fungo e nematode-batterio. Per esempio, i nematodi delle lesioni radicali (*Pratylenchus* spp.) favoriscono le infezioni da parte di diverse specie di *Fusarium*, mentre *Ditylenchus dipsaci* può favorire i marciumi batterici. I danni causati da un'infestazione da nematodi sono quindi spesso amplificati dall'interazione con altri agenti patogeni.

Oltre a ciò, alcune specie di nematodi fitoparassiti fungono da vettori di virus fitopatogeni. Specie appartenenti ai generi *Xiphinema*, *Longidorus* e *Trichodorus* sono note come vettori di virus dei gruppi NEPO e NETO, responsabili di gravi malattie virali in diverse colture.

Importante: l'ampiezza dei sintomi visibili non è sempre direttamente correlata alla densità di popolazione dei nematodi. Anche basse densità di popolazione possono causare danni considerevoli in condizioni di crescita sfavorevoli per le piante, mentre, in condizioni ottimali, le piante possono compensare in parte anche densità di nematodi più elevate.

Prevenzione

La prevenzione può ridurre significativamente l'introduzione, l'insediamento e la diffusione dei nematodi fitoparassiti nei sistemi agricoli. Una rigorosa igiene aziendale, un'attenta scelta delle varietà, la promozione della salute biologica del suolo attraverso l'apporto di sostanza organica e il monitoraggio regolare della presenza di nematodi costituiscono, nel loro insieme, la base per una gestione efficace di questi pericolosi parassiti.

Igiene aziendale

I nematodi fitoparassiti possono spostarsi attivamente nel suolo solo per brevi distanze. La loro introduzione e diffusione avvengono quindi in gran parte a causa delle attività umane. Attrezzature agricole, utensili, veicoli e calzature possono essere contaminati da suolo o materiale vegetale infestato, contribuendo così alla loro diffusione. Anche l'acqua di irrigazione e le acque superficiali, così come la movimentazione di terra, possono favorirne la diffusione. Misure igieniche rigorose e precauzioni fitosanitarie, quali tappetini disinfettanti, calzature dedicate e un'accurata pulizia dei macchinari per la lavorazione del suolo prima e dopo l'uso, sono quindi essenziali per prevenirne l'introduzione e la diffusione.

Impiego di sementi e piante certificate

L'introduzione dei nematodi fitoparassiti in azienda avviene spesso attraverso materiale vegetale contaminato, quale sementi, piantine, tuberi, talee o rizomi. L'utilizzo di sementi e

materiale vegetale certificati, sottoposti a controlli per la presenza di nematodi e privi di popolazioni di specie nocive rilevanti, riduce significativamente questo rischio. La scelta mirata di varietà resistenti o tolleranti ai principali gruppi di nematodi completa questa misura e contribuisce al contenimento a lungo termine delle popolazioni.

Lotta contro le malerbe

Molte malerbe possono fungere da ospiti alternativi per i nematodi fitoparassiti, favorendone la sopravvivenza e la riproduzione. Un controllo sistematico delle infestanti riduce quindi il numero di potenziali piante ospiti e può contribuire a diminuire il rischio di infestazione nel lungo periodo.

Incremento dell'attività biologica del suolo attraverso la distribuzione di sostanza organica

L'apporto e l'incorporazione di sostanza organica nel suolo (per esempio sovesci, letame e scarti della lavorazione dei semi) possono contribuire a ridurre le popolazioni di nematodi fitoparassiti. L'arricchimento del terreno in sostanza organica favorisce l'attività microbica e la colonizzazione da parte di antagonisti naturali dei nematodi fitoparassiti, quali funghi nematofagi e batteri antagonisti. Inoltre, la maggiore disponibilità di nutrienti favorisce il vigore e la tolleranza delle colture allo stress causato dai nematodi, mentre la decomposizione di alcuni materiali organici può rilasciare composti nematicidi in grado di inibirne la crescita e la riproduzione. L'effetto della sostanza organica sui nematodi fitoparassiti dipende tuttavia fortemente dalle condizioni pedoclimatiche locali, dalla popolazione iniziale di nematodi e dal tipo di materiale organico distribuito.

Monitoraggio

L'analisi periodica dei suoli agricoli, mirata al rilevamento dei nematodi fitoparassiti, consente di individuare tempestivamente eventuali infestazioni, prevenirne la diffusione e, se necessario, intervenire prontamente. Per ottenere una diagnosi affidabile è essenziale eseguire un campionamento rappresentativo. Poiché i nematodi fitoparassiti sono spesso distribuiti in modo irregolare nelle parcelle, i campioni di suolo dovrebbero essere prelevati da diversi punti e successivamente riuniti in un unico campione rappresentativo. L'identificazione delle specie presenti è fondamentale per adottare efficaci misure di lotta e prevenzione.

Misure di lotta

In caso di infestazione in corso, è possibile controllare le popolazioni di nematodi fitoparassiti applicando diverse misure di lotta integrata, tra cui pratiche agronomiche, quali la rotazione colturale e l'impiego di varietà resistenti o tolleranti, metodi fisici, quali la sterilizzazione termica del suolo e la biofumigazione, nonché tecniche biologiche basate sull'impiego di antagonisti naturali. I metodi chimici, invece, sono disponibili in Svizzera solo in misura molto limitata e sono soggetti a severe disposizioni di legge. Di conseguenza, la gestione dei nematodi si basa principalmente sulla prevenzione e su misure di carattere agronomico, mentre il ricorso ai prodotti chimici è consentito solo in casi eccezionali e nel rispetto di specifici requisiti (stato: maggio 2026).

Rotazione colturale

I nematodi fitoparassiti possono sopravvivere nel suolo o nei residui colturali, attaccando poi le colture successive. Una delle misure più importanti ed efficaci per limitarne le popolazioni nelle colture annuali consiste nel gestire in modo mirato la rotazione colturale. L'inserimento di colture non ospiti o di varietà resistenti impedisce ai nematodi di riprodursi, o ne limita fortemente la riproduzione, determinandone la riduzione delle popolazioni. Il numero di anni necessario affinché questa pratica risulti efficace dipende, però, in larga misura dalla specie di nematode e dal livello iniziale delle popolazioni presenti nel suolo.

Ridurre l'entità delle popolazioni iniziale favorisce inoltre le colture sensibili, poiché una bassa pressione di nematodi ne migliora l'attecchimento, la crescita e la resa. La rotazione colturale è particolarmente efficace contro le specie di nematodi con uno spettro di ospiti ristretto, come i nematodi a cisti della patata (*Globodera rostochiensis* e *G. pallida*), le cui popolazioni possono essere ridotte in modo mirato mediante la coltivazione di piante non ospiti o di varietà resistenti.

Al contrario, i generi polifagi, come i nematodi galligeni (specie del genere *Meloidogyne*), rendono più complessa la scelta di rotazioni colturali adeguate a causa del loro ampio spettro di piante ospiti. Le cose si fanno ancora più difficili in presenza di popolazioni miste di diverse specie di nematodi, in grado di ampliare ulteriormente lo spettro di piante sensibili. Di conseguenza, una coltura può essere resistente o poco sensibile a una specie di nematode, ma fungere al contempo da ospite per altre, complicando la pianificazione della rotazione. Per molte specie di nematodi, infine, lo spettro completo delle piante ospiti non è ancora stato definito con certezza.

Per rendere più agevole la pianificazione della rotazione colturale è disponibile «Best4Soil» (www.best4soil.eu), una banca dati online costantemente aggiornata, che raccoglie informazioni scientifiche sulle piante ospiti e sulle varietà resistenti ai nematodi, costituendo un utile strumento di supporto alle decisioni richieste dallo svolgimento delle attività agricole.

Culture intercalari

L'inserimento di colture intercalari, scelte tra specie non ospiti, piante trappola, piante nematicide oppure destinate alla biofumigazione (rafano oleifero, senape bianca, avena strigosa, ecc.), tra due colture principali riduce le popolazioni di nematodi fitoparassiti, previene l'erosione e favorisce significativamente la vita nel suolo. L'efficacia di questa misura dipende in larga misura dalla scelta e dalla durata della coltura intercalare, nonché dalla specie di nematode presente.

Piante trappola

La coltivazione di colture intercalari che agiscano da piante trappola costituisce una strategia efficace contro i nematodi fitoparassiti sedentari, soprattutto quelli galligeni o a cisti. La tecnica consiste nel coltivare una pianta ospite sensibile prima della coltura principale, per attirare i nematodi, che penetrano nelle radici e vi iniziano il proprio sviluppo. Le piante trappola vengono quindi distrutte prima della deposizione delle uova o del completamento del ciclo riproduttivo, impedendo ai

nematodi di moltiplicarsi. Il successo del metodo dipende in larga misura dal momento della distruzione delle piante e dalla durata dello sviluppo dei nematodi. L'epoca ideale per trinciare le piante trappola dipende quindi dalla specie di nematode e dalle sue esigenze termiche. È pertanto fondamentale intervenire prima della deposizione delle uova o del completamento del ciclo vitale. Se la coltura intermedia rimane in campo troppo a lungo o non viene completamente distrutta, i nematodi possono completare il proprio ciclo, causando invece un aumento della popolazione.

Tra le piante trappola che si sono dimostrate efficaci figurano crucifere come colza, senape e rafano oleifero, cucurbitacee come la zucca a fiasco e leguminose, tra cui la veccia (varietà 976).

Piante nematicide

L'impiego di piante nematicide come colture intercalari rappresenta una strategia ecocompatibile per contrastare determinate specie di nematodi fitoparassiti. I composti bioattivi di queste piante vengono rilasciati attraverso gli essudati radicali o in risposta alla penetrazione dei nematodi. Tra le più efficaci figurano i tageti (*Tagetes patula* e *Tagetes erecta*), particolarmente attivi nei confronti dei nematodi delle lesioni radicali del genere *Pratylenchus*. La loro azione nematicida è dovuta alla produzione di composti bioattivi, in particolare l' α -tertienile, che vengono attivati dalla luce o da processi enzimatici, esercitando un effetto tossico a contatto con i nematodi o dopo la loro penetrazione nelle radici.

Varietà resistenti

L'impiego di varietà resistenti o tolleranti, ove disponibili, rappresenta una delle misure più efficaci ed ecocompatibili per il controllo dei nematodi fitoparassiti. Il loro utilizzo consente di ridurre significativamente la proliferazione e i danni riscontrati sulle colture. Le varietà resistenti, per esempio, impediscono la penetrazione o l'insediamento dei nematodi nelle radici delle piante ospiti, limitandone lo sviluppo e la riproduzione e, di conseguenza, riducendone la densità nel suolo. In colture come il pomodoro e la patata sono già disponibili varietà dotate di specifici geni di resistenza, come Mi nel pomodoro e Gpa2 nella patata. Tuttavia, per molte specie orticole l'offerta di varietà resistenti è ancora limitata, ostacolando l'applicazione di questa strategia. Inoltre, l'uso prolungato ed esclusivo della stessa fonte di resistenza può favorire la selezione di popolazioni di nematodi più virulente, capaci di superarla. Si raccomanda pertanto di alternare varietà resistenti con varietà tolleranti o sensibili e di integrare questa misura con la rotazione colturale e un'adeguata gestione del suolo, così da garantirne l'effetto nel tempo.



Fig. 4: Senape da sovescio trinciata accuratamente e subito incorporata nel suolo per mezzo di una vangatrice. (Fotografia: Agroscope).

Biofumigazione

La biofumigazione è un metodo di lotta ecologico che sfrutta i meccanismi di difesa naturali di alcune piante. La tecnica si basa sull'impiego di specie vegetali ad elevato contenuto di glucosinolati. Al culmine della fioritura, le piante vengono trinciate finemente e immediatamente incorporate nel suolo (fig. 4). In questo modo, si sviluppa una reazione enzimatica tra i glucosinolati e la mirosinasi, normalmente separati all'interno della cellula, che porta al rilascio di composti volatili, in particolare isotiocianati e tiocianati, in grado di esercitare un effetto tossico sui nematodi fitoparassiti e su altri agenti patogeni presenti nel suolo. Si utilizzano soprattutto alcune varietà di senape, colza e rafano oleifero, tutte specie appartenenti alla famiglia delle crucifere. Per limitare la dispersione dei composti volatili, il suolo può essere coperto con un telo di plastica impermeabile ai gas. Il conseguente effetto di solarizzazione può rafforzare ulteriormente l'azione nematicida, grazie all'aumento della temperatura del suolo. Alcune colture intercalari, per esempio determinate varietà di rafano oleifero o di senape, possono contribuire, a seconda della varietà e della specie di nematode, sia alla biofumigazione sia alla riduzione diretta dei nematodi fitoparassiti.

Maggese nudo

I nematodi fitoparassiti sono organismi biotrofici. Dipendono, quindi, dalla presenza di piante ospiti per la loro sopravvivenza. La pratica del maggese nudo, ovvero l'assenza deliberata di colture su una parcella agricola per un determinato periodo, ha lo scopo di privare i nematodi presenti nel suolo della loro fonte di nutrimento e provocarne così la morte per inedia. Questa misura è particolarmente indicata nel caso di nematodi con un ampio spettro di ospiti. La sua efficacia dipende quindi dalla specie di nematode, dalla durata della misura e dal controllo sistematico delle infestanti. Per ridurre efficacemente la popolazione di *Meloidogyne hapla*, è necessario mantenere il maggese nudo per almeno un anno, durante il quale le infestanti devono essere eliminate regolarmente e con assiduità.



Fig. 5: Serra di pomodori hors-sol presso Agroscope.

Il maggese nudo è particolarmente efficace durante le stagioni più calde dell'anno, poiché favorisce l'attività biologica dei potenziali antagonisti e aumenta il metabolismo dei nematodi, che consumano così più rapidamente le proprie riserve alimentari. Importanti svantaggi legati alla pratica del maggese nudo sono il dilavamento delle sostanze nutritive e il maggiore rischio di erosione del suolo.

In caso di infestazione da nematodi nelle colture in serra, è possibile ricorrere in alternativa alla coltivazione hors-sol, nella quale le piante vengono coltivate su un substrato isolato dal suolo mediante un telo (fig. 5).

Epoca di semina

Lo sviluppo dei nematodi fitoparassiti dipende fortemente dalla temperatura. Il completamento del loro ciclo vitale è possibile solo al di sopra di una temperatura minima, specifica per ciascuna specie, e dopo il raggiungimento di una determinata somma termica, necessaria per la schiusa delle uova. Quando la temperatura del suolo è bassa, invece, i nematodi sono inattivi o la loro attività risulta fortemente ridotta.

Seminare/piantare precocemente le colture in campo aperto, quando le temperature esterne sono ancora basse, può contribuire a limitare i danni causati dai nematodi. Se le plantule attecchiscono precocemente e si sviluppano rapidamente, la tolleranza ai nematodi aumenta. Contemporaneamente, il periodo vegetativo più breve limita il tempo a disposizione dei nematodi per completare il loro ciclo vitale.

Colture come la patata precoce e la bietola da zucchero sono particolarmente adatte ad essere coltivate precocemente e possono quindi contribuire a ridurre il rischio di infestazione.

Lotta biologica

Gli antagonisti naturali, come funghi e batteri, contribuiscono a regolare le popolazioni di nematodi fitoparassiti presenti nel suolo. La loro efficacia in campo è tuttavia fortemente influenzata da fattori quali la temperatura e l'umidità del suolo, nonché dalla composizione del microbioma. Di conseguenza, gli effetti ottenuti in campo possono variare notevolmente sia da un sito sia da un anno all'altro. Tra i principali antagonisti fungini figurano specie dei generi *Arthrobotrys*, *Dactylaria*, *Dactylella* e *Monacrosporium*, nonché funghi che parassitano le uova, quali *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*.

Il prodotto biologico BioAct WG (Andermatt Biocontrol), autorizzato in Svizzera, contiene spore del fungo *Purpureocillium lilacinum*, che attacca soprattutto le uova dei nematodi fitoparassiti. Gli antagonisti batterici, in particolare alcune specie dei generi *Bacillus* e *Pasteuria*, agiscono contro i nematodi producendo metaboliti nematocidi, parassitandoli direttamente o inibendone lo sviluppo, contribuendo così a ridurre la popolazione nel suolo.

Una specie particolarmente studiata è *Pasteuria penetrans*, in grado di parassitare direttamente diverse specie del genere *Meloidogyne*. Le spore di questo antagonista si attaccano alla cuticola dei nematodi, penetrano nel loro corpo e vi si sviluppano, contribuendo così al controllo a lungo termine delle popolazioni.

Disinfezione a vapore

Questo efficace metodo di lotta prevede il riscaldamento del suolo mediante l'immissione di vapore acqueo, fino al raggiungimento di temperature comprese tra 50 e 80 °C. A tali temperature vengono inattivati i nematodi, diverse specie di batteri, i semi delle malerbe e gli insetti. Uno svantaggio significativo è la non selettività del metodo che riduce drasticamente anche le popolazioni dei microrganismi utili presenti nel suolo, il che, a lungo termine, può alterare le comunità microbiche e il ciclo dell'azoto. Soprattutto i batteri nitrificanti possono subire gravi danni per settimane o mesi. Un ulteriore svantaggio della disinfezione a vapore del suolo è che le alte temperature possono favorire il rilascio di sostanze fitotossiche. Il calore induce poi anche la mineralizzazione della sostanza organica, facendo aumentare in particolare le concentrazioni di azoto ammoniacale e di manganese scambiabile, nonché favorendo l'accumulo di elevate concentrazioni di sali solubili e di forme di azoto nitrico, che possono compromettere la crescita delle piante. Il processo richiede, infine, un elevato impiego di manodopera ed energia e, rispetto ad altri metodi di disinfezione del suolo, comporta spesso costi considerevoli.

Lotta chimica

L'impiego di nematicidi chimici comporta rischi significativi per l'uomo e l'ambiente, motivo per cui il loro utilizzo è sempre più limitato. In Svizzera, attualmente, il Basamid è l'unico nematicida chimico omologato. Il suo utilizzo è regolamentato rigorosamente e limitato alle superfici e ai substrati nelle colture orticole. Il Basamid è disponibile in forma granulare e può essere utilizzato sulla stessa particella solo una volta ogni tre anni. Il principio attivo dazomet (DMTT), oltre all'azione nematocida, presenta anche attività fungicida ed erbicida, il che gli conferisce un ampio spettro d'azione, esponendo ai suoi effetti anche diversi organismi utili. In Svizzera, la lotta chimica contro i nematodi fitoparassiti riveste oggi un ruolo soltanto marginale, a causa degli elevati requisiti in materia di protezione degli utilizzatori, compatibilità ambientale ed economicità.

Gestione integrata

La gestione integrata dei nematodi parassiti delle piante si fonda su un approccio multifattoriale che combina in modo mirato diverse misure di controllo, poiché i singoli metodi hanno generalmente un'efficacia limitata. L'obiettivo non è l'eradicazione completa dei nematodi, bensì mantenere le loro popolazioni al di sotto della soglia d'intervento economico, così da ridurre al minimo le perdite di resa e, al contempo, limitare l'impatto ecologico degli interventi. Per riuscirci bisogna considerare le condizioni specifiche stazionali e le specie di nematodi presenti, in modo da adattare le strategie gestionali alla composizione della popolazione di nematodi, alla rotazione colturale, al tipo di suolo e alle tecniche colturali utilizzate. Grazie a questo approccio integrativo e adattivo, la gestione contribuisce in modo significativo alla stabilità a lungo termine degli ecosistemi agricoli.

Impressum

Editore	Agroscope Rte de la Tioleyre 4, Casella postale 64 1725 Posieux www.agroscope.ch
Informazioni	Paul Dahlin, paul.dahlin@agroscope.admin.ch
Traduzione	Servizio linguistico Agroscope
Fotografie	Agroscope
Informazioni complementari	nematologie.agroscope.ch
Copyright	© Agroscope 2026

Esclusione di responsabilità

Agroscope declina ogni responsabilità per eventuali danni legati all'applicazione delle informazioni contenute in questa scheda tecnica. Si applica la giurisprudenza svizzera aggiornata.