

Corso di Patologia Vegetale

- 64 ore
- Marzo-Giugno
- 1 esonero
- 1 journal club
- Esame finale orale
- Corrado Fanelli, Università "La Sapienza" - Roma, Dipartimento Biologia Vegetale

Introduzione

- La Patologia Vegetale è la scienza che studia le malattie delle piante e tenta di migliorarne le possibilità di sopravvivenza.
- Le malattie causate da insetti e microbi insieme causa una perdita della produzione mondiale compresa tra il 31-42%
- Le piante costituiscono la base alimentare per gli uomini e gli animali

Perdite (stimate) a causa delle malattie	
Produzione agricola raggiungibile	1.5 trillioni \$
Produzione agricola attuale	950 bilioni \$
Produzione senza protezione	455 bilioni \$
Perdite evitate dalla protezione	415 bilioni \$
Perdite annuali nella produzione agricola	550 bilioni \$
Perdite annuali dovute solo alle malattie (14.1%)	220 bilioni \$

Agroecosistema

- Un agroecosistema può essere concettualizzato come una serie di funzioni fisiche, biologiche e gestionali, collegate tra loro nel determinare la produzione di una popolazione di piante coltivate
- Gli agenti dannosi (patogeni, insetti, erbe infestanti) sono importanti elementi del sistema che interagiscono sia tra di loro che con gli altri componenti del sistema. Gli agenti dannosi non sono elementi isolati dell'agroecosistema per cui la lotta a questi agenti va considerata non come un obiettivo primario da perseguire sempre e comunque ma solo quando essi provocano una riduzione della produttività della coltura di valore maggiore rispetto al costo dell'intervento (soglia economica)

Perdite di produzione

- Produzione massima ottenibile
 - È la produzione teorica che potrebbe essere ottenuta se la coltivazione fosse eseguita in condizioni ambientali ottimali unitamente alle strategie di controllo delle malattie biotiche. Il fattore limitante è solo la costituzione genetica della specie
- Produzione ottenibile
 - È la produzione conseguibile in una determinata località quando tutte le strategie di controllo delle malattie biotiche vengono praticate. Fattori ambientali abiotici quali la fertilità del suolo, la disponibilità idrica, la luce...possono essere fattori limitanti
- Produzione economica
 - È la produzione conseguibile che assicura la massima convenienza economica delle spese effettuate per il controllo delle malattie biotiche
- Produzione attuale
 - È la produzione conseguibile dall'agricoltore impiegando le normali tecniche di controllo delle malattie, per cui altri fattori ambientali, erbe infestanti, malattie ed insetti possono costituire fattori limitanti della produzione
- Produzione primitiva
 - È la produzione conseguibile senza l'impiego di alcun metodo di lotta alle malattie e agli insetti

Principali cause di perdita di raccolto

Disease	Location	Comments
Fungal		
1. Cereal rusts	Worldwide	Frequent severe epidemics; huge annual losses
2. Cereal smuts	Worldwide	Continuous, although lesser, losses on all grains
3. Ergot of rye and wheat	Worldwide	Infrequent, poisonous to humans and animals
4. Late blight of potato	Cool, humid climates	Annual epidemics, e.g., Irish famine (1845–1846)
5. Brown spot of rice	Asia	Epidemics, e.g., the great Bengal famine (1943)
6. Southern corn leaf blight	U.S.	Historical interest, epidemic 1970, \$1 billion lost
7. Powdery mildew of grapes	Worldwide	European epidemics (1840s–1850s)
8. Downy mildew of grapes	U.S., Europe	European epidemic (1870s–1880s)
9. Downy mildew of tobacco	U.S., Europe	European epidemic (1950s–1960s); epidemic in North America (1979)
10. Chestnut blight	U.S.	Destroyed almost all American chestnut trees (1904–1940)
11. Dutch elm disease	U.S., Europe	Destroying American elm trees (1918 to present)
12. Pine stem rusts	Worldwide	Causing severe losses in many areas
13. Dwarf mistletoes	Worldwide	Serious losses in many areas
14. Coffee rust	Asia, South America	Destroyed all coffee in southeast Asia (1870s–1880s) since 1970 present in South and Central America
15. Banana leaf spot or Sigatoka disease	Worldwide	Great annual losses
16. Rubber leaf blight	South America	Destroys rubber tree plantations
17. Fusarium scab of wheat	North America	Severe losses in wet years
Viral		
18. Sugar cane mosaic	Worldwide	Great losses on sugar cane and corn
19. Sugar beet yellows	Worldwide	Great losses every year
20. Citrus tristeza (quick decline)	Africa, Americas	Millions of trees being killed
21. Swollen shoot of cacao	Africa	Continuous heavy losses
22. Plum pox or sharka	Europe, North America	Spreading severe epidemic on plums, peaches, apricots
23. Barley yellow dwarf	Worldwide	Important on small grains worldwide
24. Tomato yellow leaf curl	Mediterranean countries, Caribbean Basin, U.S.	Severe losses of tomatoes, beans, etc.
25. Tomato spotted wilt virus	Worldwide	On tomato, tobacco, peanuts, ornamentals, etc.
Bacterial		
26. Citrus canker	Asia, Africa, Brazil, U.S.	Caused eradication of millions of trees in Florida in 1910s and again in the 1980s and 1990s
27. Fire blight of pome fruits	North America, Europe	Kills numerous trees annually
28. Soft rot of vegetables	Worldwide	Huge losses of fleshy vegetables
Phytoplasmal		
29. Peach yellows	Eastern U.S., Russia	Historical, 10 million peach trees killed
30. Pear decline	Pacific coast states and Canada (1960s), Europe	Millions of pear trees killed
Nematode diseases		
31. Root knot	Worldwide	Continuous losses on vegetables and most other plants
32. Sugar beet cyst nematode	Northern Europe, Western U.S.	Continuous severe annual losses on sugar beets
33. Soybean cyst nematode	Asia, North and South America	Continuous serious losses on soybean

Le malattie riducono la quantità e qualità della produzione agricola

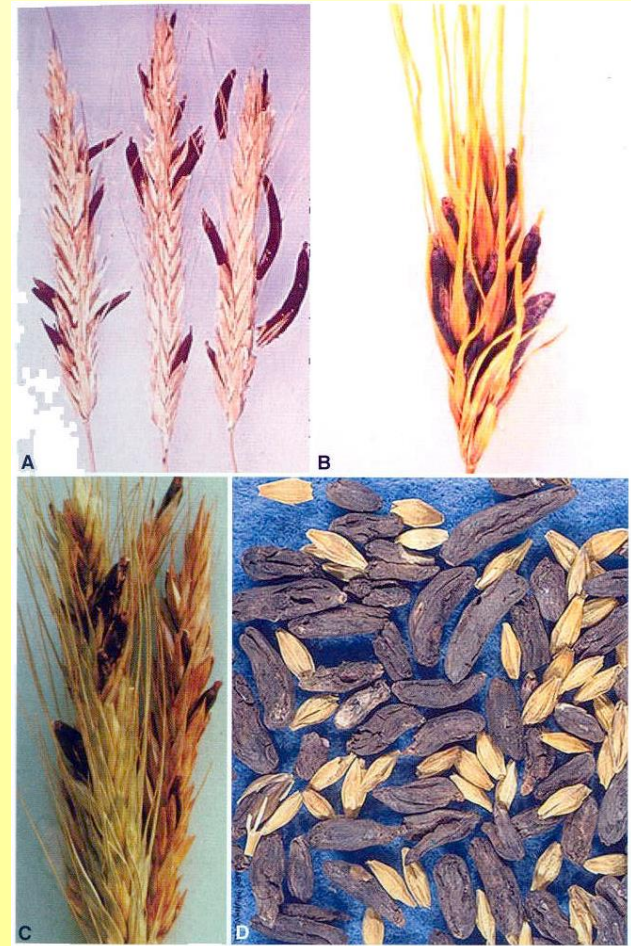
- Il tipo e la quantità di perdite causate dalle malattie delle piante varia a seconda delle piante o dei prodotti vegetali, il tipo di patogeno, la località, l'ambiente, le misure di controllo e la combinazione di questi fattori
- La quantità delle perdite quindi può essere lieve o del 100%
- Frequentemente perdite severe nel raccolto possono avvenire a causa della riduzione nella qualità del prodotto, ad esempio la comparsa di scabbia sulla mela anche solo sul 5% della superficie può far diminuire il prezzo del 50%

Esempi di malattie che limitano lo sfruttamento economico di alcune piante

- *Plasmopara viticola*
 - Agente causale della muffa della vite, riduce la produttività di un vitigno e la qualità dell'uva, uccide le piante più giovani
- *Cryphonectria parasitica*
 - Agente causale del disseccamento del castagno, attacca e uccide la corteccia dei rami e dei fusti creando dei cancri lungo tutto il fusto causando l'appassimento di tutte le foglie al di sopra delle lesioni
- *Ophiostoma ulmi*
 - Agente causale della malattia dell'olmo si riproduce nel sistema vascolare dell'olmo e ostruisce i vasi, portando a morte prima parti della pianta e poi l'intero albero.

Esempi di malattie che rendono le piante dannose per gli animali e per l'uomo

- L'ergotismo: per secoli persone ed animali domestici in diverse parti del mondo hanno sofferto periodicamente di disturbi classificati come "fuoco di sant'antonio"
- L'ergotismo ha ucciso finora centinaia di migliaia di persone
- Il fungo *Claviceps purpurea* infettando diversi cereali (principalmente la segale) differenzia al posto dei semi delle strutture chiamati sclerozi
- Tali strutture contengono un alto numero di potenti alcaloidi (tra cui la dietilammide dell'acido lisergico) capaci di causare danni al sistema nervoso e a quello circolatorio



Esempi di malattie che rendono le piante dannose per gli animali e per l'uomo

- Le micotossine: sono metaboliti secondari prodotti da molti funghi di diversi generi (tra cui *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*) durante l'infezione di piante sia in campo che durante lo stoccaggio
- Sono capaci di alterare il funzionamento di enzimi, di indurre mutazioni puntiformi nel DNA e di indurre reazioni allergiche negli animali e nell'uomo.



Cenni storici

- Omero nel 1000 a.c. menziona le proprietà terapeutiche dello zolfo nelle malattie delle piante
- Democrito nel 470 a.c. raccomandava il controllo dell'avvizzimento delle piante con le acque di vegetazione delle olive
- Teofrasto, filosofo greco del 300 a.c., che nel libro "Ragioni di una crescita vegetale" include capitoli sulle malattie e la morte delle piante.
- Solo nel 1200 d.c. una pianta, il vischio, è stata riconosciuta come parassita di altre piante.
- A metà del 1600 un gruppo di agricoltori francesi notò che la comparsa di una malattia chiamata "ruggine" del grano era associata alla vicinanza di una pianta ospite: il crespino

Cenni storici

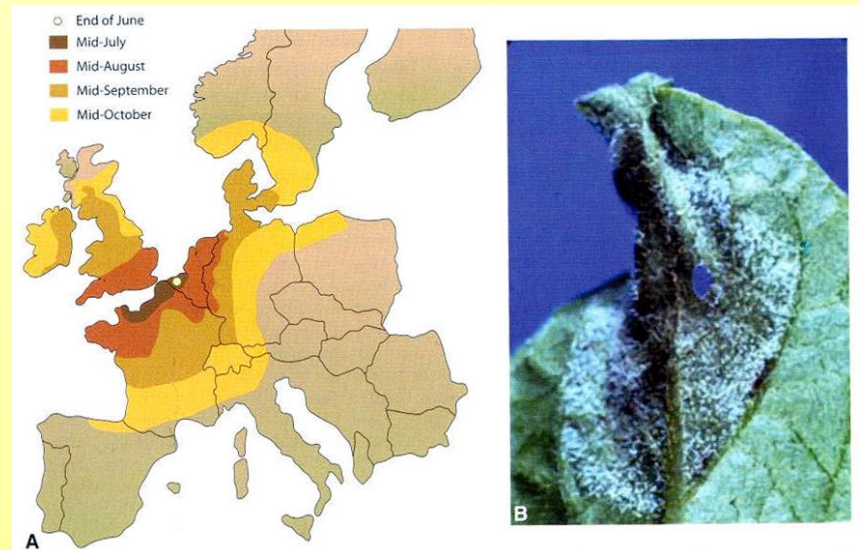
- Nel 1670 Thoullier osservò che l'ergotismo o "fuoco sacro" non era trasmesso da un malato ad un altro ma era piuttosto associato al consumo di cereali contaminati
- Nel frattempo Robert Hooke inventa il microscopio e con esso l'osservazione delle strutture cellulari
- Nel 1729 Micheli descrive molti generi di funghi e illustra le loro strutture riproduttive
- Nel 1743 Needham osserva dei nematodi all'interno di anormali chicchi di grano, ma non fa 2+2...
- Nel 1755 Tillet aumentava il numero di piante di grano malate spolverando della "polvere" (spore) di un fungo che aveva ritrovato su una pianta malata, ed era inoltre in grado di minimizzare i sintomi della malattia trattando le piante con solfato di rame, ma anche lui non fece 2+2...
- Finalmente nel 1807, Prevost riprende in mano gli esperimenti di Tillet e attribuisce i sintomi della malattia del grano alle teliospore del fungo *Tilletia*...ma a causa dello "spontaneismo" non viene preso sul serio.

Cenni storici

- Finalmente nel 1861 DeBary provò che il marciume della patata era causato da un fungo (cromista) mentre Pasteur dimostrava che i microrganismi sono generati da microrganismi preesistenti e che la maggior parte delle malattie è causata dai germi...dallo spontaneismo si passa alla "germ theory of disease"
- Nel frattempo Petri iniziava ad isolare microrganismi patogeni in speciali capsule (le capsule Petri per l'appunto..) e usando mezzi colturali artificiali e Koch indicava alcuni postulati che consentivano di stabilire se un dato organismo era l'agente patogeno di una data malattia

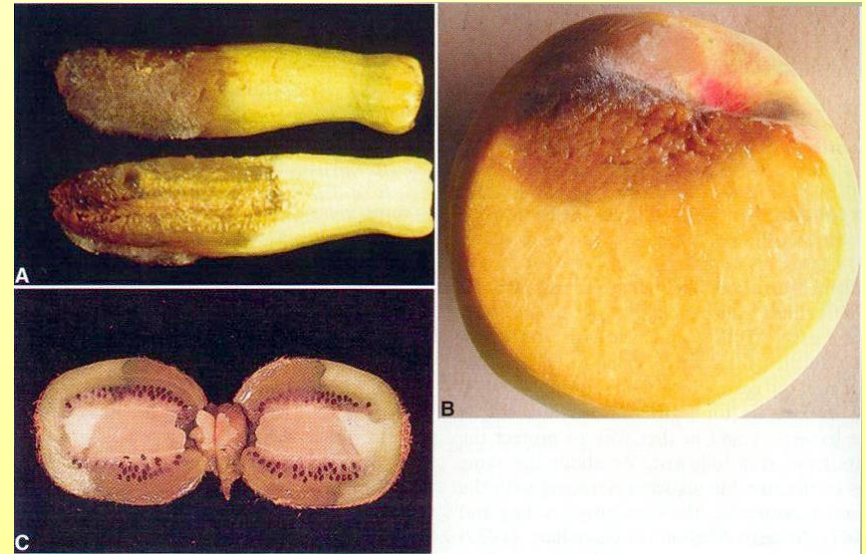
Potato late blight disease

- In Irlanda, nel 1800 la coltivazione della patata sostituì quasi completamente le altre colture
- Dal 1845-1846 i raccolti di patate furono completamente distrutti sia in campo che in magazzino dal cromista *Phytophthora infestans*
- Morirono 1.5 milioni di irlandesi e altrettanti migrarono in america
- Solo nel 1861 deBary trovò che questo cromista era la causa della malattia.



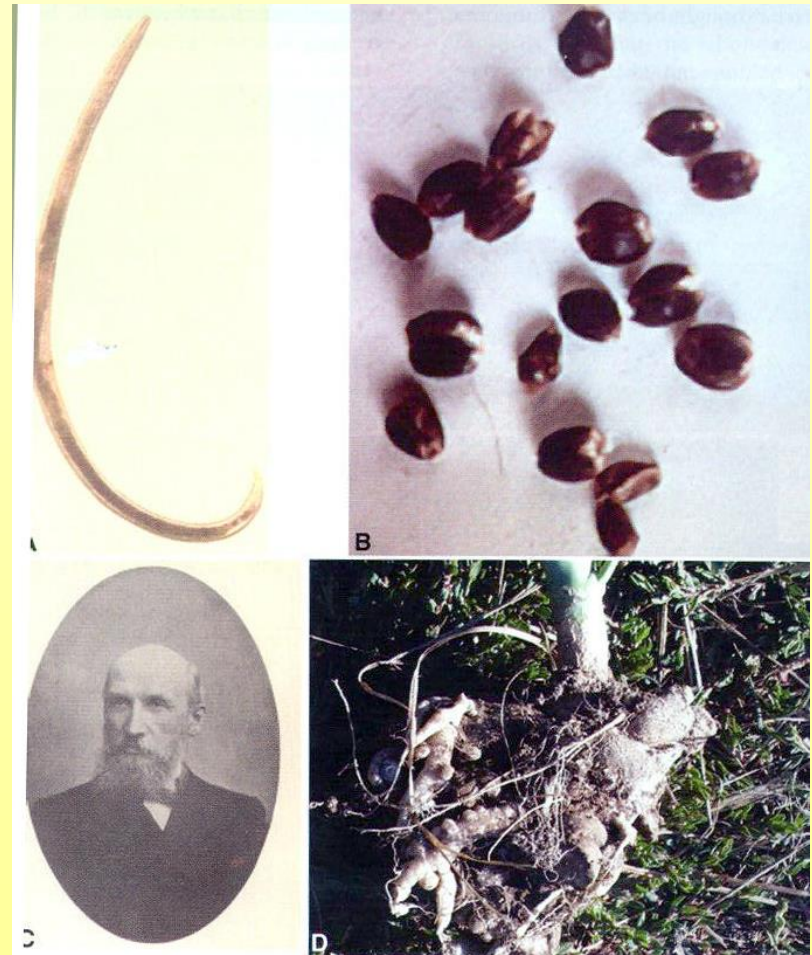
I funghi come cause di malattia delle piante

- Sempre deBary isola molti funghi che causano muffe biancastre come diverse specie del genere *Sclerotinia*



Nematodi e protozoi come cause di malattia delle piante

- Needham nel 1743 isola dei nematodi da semi di grano malati
- Woronin nel 1878 dimostra che il "clubroot disease" del cavolo è provocato da un protozoo: *Plasmodiophora brassicae*



I batteri come cause di malattia delle piante

- Burril, 1876, dimostra che il batterio *Erwinia amylovora* causa il fire blight disease della pera e della mela
- Smith invece nel 1890 stabilisce una correlazione tra la presenza del tumore di colletto e il batterio *Agrobacterium tumefaciens*



I virus come cause di malattia delle piante

- Mayer nel 1886 inietta succo di foglie di tabacco malate (mosaico del tabacco) in foglie sane che dopo mostrano gli stessi sintomi, ma non isola nessun patogeno conosciuto.
- Nel 1898 Beijerinck conclude che la malattia non è provocata da microrganismi ma da un "contagious living fluid" che chiama virus
- Servono altri 40 anni perché Stanley isoli il TMV, tobacco mosaic virus.



La Patologia Vegetale è lo studio di

1. Entità viventi e condizioni ambientali che causano malattia nelle piante (quindi sia agenti biotici che abiotici)
2. Meccanismi attraverso i quali questi fattori producono malattia nelle piante
3. Interazioni tra gli agenti che causano la malattia e la pianta malata
4. Metodi per prevenire la malattia, alleviando il danno che essa causa o controllando una malattia prima o dopo che questa si sviluppi in una pianta

- Quindi la patologia vegetale riguarda lo studio dell'interazione di 2 organismi viventi: è quindi necessario conoscere entrambe separatamente e studiare in base a queste conoscenze cosa succede ai 2 organismi quando interagiscono tra loro
- Ovviamente la patologia vegetale studia un tipo di interazione che è diversa peculiarmente da quella simbiotica in quanto provoca l'insorgenza della malattia, provocando cioè una deviazione dalla normale fisiologia cellulare.
- L'interazione tra ospite e patogeno è più di una semplice somma tra i due partners in quanto le proprietà di ciascuno sono modificate dalla presenza dell'altro

Piante e malattie

- Le piante in natura si ammalano raramente e più diventano "vecchie" e meno si ammalano
- Il problema sono però le piante coltivate, l'elevato sfruttamento dei suoli, le monocolture e l'alta densità di popolazione "fiaccano" la resistenza naturale delle piante
- Le piante si ammalano per gli stessi motivi per cui ci ammaliamo noi, batteri, virus, funghi, abbassamenti repentini della temperatura, lunga esposizione ad ambienti inquinati...
- Negli ultimi 100 anni quasi tutta la lotta alle malattie è stata condotta mediante l'uso di pesticidi chimici, altamente inquinanti....

Il concetto di malattia

Una pianta viene considerata sana quando espleta le sue funzioni fisiologiche al meglio delle sue potenzialità genetiche (Agrios)

1. **Owens:** la malattia è un disturbo od una deviazione dalla struttura normale o dalla normale fisiologia della pianta, localizzata o generalizzata, riconoscibile da qualche sintomo o segno e che produce un qualche danno alla pianta
2. **Wilson:** la malattia è un'interazione dinamica tra un patogeno ed un ospite che avviene nelle cellule dell'ospite e del patogeno
3. **Goidanich:** la malattia è una deviazione operata da fattori animati od inanimati, dallo stato di armonia nello svolgimento delle funzioni vitali di un organismo
4. **Bateman:** la malattia è un'alterazione nociva di uno o più coordinati e concatenati processi di utilizzazione o liberazione di energia in un sistema vivente, causata dalla continua irritazione da parte di uno o più fattori eziologici primari
5. **Bos e Parlevliet:** la malattia è una deviazione dal normale funzionamento dei processi fisiologici, di sufficiente durata da causare disturbo o cessazione dell'attività vitale oppure è un processo dinamico comportante una serie di sintomi che occorrono simultaneamente o in sequenza e costituiscono la sindrome

- Le cellule meristematiche di una pianta sana si dividono e si differenziano secondo le necessità, ed altri tipi cellulari assorbono acqua e nutrienti del suolo, traslocano questi ad altre parti della pianta, portano avanti la fotosintesi, metabolizzano o immagazzinano i fotosintetati, e producono semi ed altri organi riproduttivi necessari alla sopravvivenza e alla moltiplicazione.
- Quando l'abilità di una pianta (o parte di essa) di portare avanti una o più di queste funzioni essenziali viene perduta a causa di una interferenza dovuta ad un patogeno o ad un fattore ambientale avverso la pianta diventa malata.
- Come si vede? Purtroppo è difficile mettere in evidenza una malattia quando siamo in una fase precoce dell'alterazione....Difficile ma attualmente non impossibile. Fino a 10 anni fa la diagnosi era "occhiometrica" sintomo evidente=malattia.

- Un punto di partenza per una definizione del concetto di malattia è l'identificazione dei processi che si hanno durante la crescita e lo sviluppo della pianta "sana", quindi il concetto di malattia come deviazione dal concetto di salute.
- Quindi in un senso più strettamente metabolico e comunque sempre in senso generale, è un turbamento dell'omeostasi cellulare (che dal livello cellulare può trasmettersi ad un tessuto e successivamente ad un organo e poi all'intera pianta)

Crescita della pianta

- L'analisi della normale crescita e sviluppo di una pianta può essere condotto a 3 differenti livelli:
 - La sequenza di eventi che comprendono un normale ciclo vitale.
 - I processi fisiologici coinvolti nella crescita e nello sviluppo.
 - Le reazioni molecolari che sottostanno a questi processi.

...momenti critici

- Nello sviluppo di una pianta da raccolto, la germinazione dei semi, lo sviluppo delle strutture vegetative, la formazione delle strutture vegetative, lo sviluppo dei frutti e dei semi sono tutte fasi critiche in cui la malattia si può manifestare o assumere particolare significato.
- Infatti a ciascuno stadio di questa sequenza di sviluppo (fasi del ciclo vitale) l'integrazione di vari processi fisiologici (divisione cellulare e differenziamento, fotosintesi e biosintesi, traspirazione e traslocazione) è essenziale per il successivo sviluppo della pianta.
- Quindi la malattia è quell'evento che può interrompere (o mettere in disordine) lo sviluppo "normale" di una pianta ad uno o più di questi livelli.
- Alcuni disordini causano solo sottili alterazioni metaboliche tali da non influenzare il completamento del ciclo vitale della pianta (es. virus X della patata)

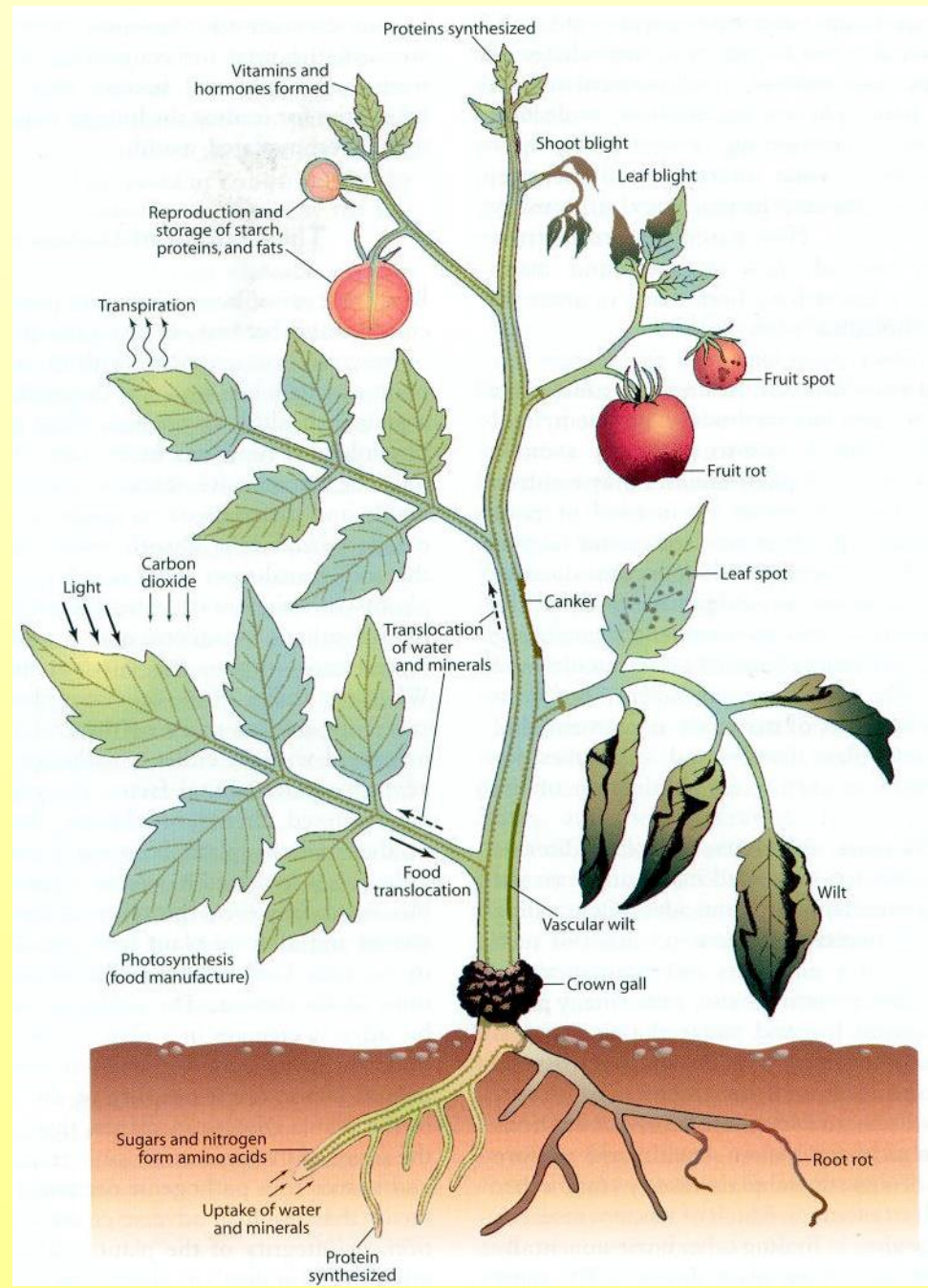
La patologia vegetale nel XX secolo

- Fase descrittiva (Koch, Petri..)
- Fase sperimentale
- Fase eziologica
- Fase di controllo della malattia
 - Controllo chimico (mistura bordolese, mercurio organico, fungicidi di contatto e sistemici)
 - Strategie alternative di controllo...

Sintomi di malattia

- Le cause primarie della malattia sono i patogeni (funghi, virus, batteri...) o i fattori fisici ambientali. All'inizio la reazione della pianta all'agente patogeno è nel sito di penetrazione, è di natura chimica ed è invisibile.
- Presto comunque la reazione diventa più diffusa ed interessa cambiamenti istologici che si manifestano a livello macroscopico e costituiscono i **sintomi della malattia**.
- Tali sintomi possono manifestarsi a livello macroscopico in diversi momenti del ciclo vitale della pianta e l'esito della malattia dipende anche molto da questo.
- Non sempre però un fenomeno macroscopico di malattia è facilmente riconducibile ad un'unica causa.

- Shoot-Leaf Blight: Avvizzimento senza marciume
- Fruit Rot: marciume
- Fruit Spot: macchie
- Wilt: appassimento
- Crown gall: tumore del colletto



Classificazione delle malattie

- Decine di migliaia di malattie colpiscono sia le piante coltivate che non. Ogni tipo di pianta coltivata può essere colpita da centinaia di malattie. Alcuni patogeni infettano solo 1 varietà di pianta (pathovar). Altri patogeni sono in grado di colpire centinaia di piante diverse
- Le malattie possono essere raggruppate per
 - Sintomi: marciume, appassimento, avvizzimento
 - Organo della pianta colpito: malattie dell'apparato radicale...
 - Tipo di pianta infettata: alberi da frutto, piante da seme.
- Un criterio utile per raggruppare le malattie è indicare il tipo di patogeno che causa la malattia. Il vantaggio di questo metodo consiste nell'immediata "contromossa" che può essere operata per evitare lo sviluppo della malattia

Criterio eziologico del Goidanich

1. **Malattie di natura non infettiva e non parassitaria** (impropriamente dette "fisiopatie"): sono quelle causate da fattori abiotici, siano essi nutrizionali, ambientali o sostanze chimiche. In queste malattie non esiste rapporto parassitario tra patogeno e ospite né possibilità di contagio da una pianta all'altra
2. **Malattie di natura infettiva da agenti non macrorganici né microrganici**: sono quelle causate da entità non definibili come organismi viventi come i **virus**, viroidi. Provocano malattie infettive poiché le alterazioni da essi causate sono trasmissibili, sia pure tramite i vettori (insetti, uomo) da una pianta all'altra
3. **Malattie di natura infettiva da agenti microrganici**: sono causate da funghi, da batteri, da organismi batterio-simili (rickettsie, clamidie), da micoplasmi.
4. **Malattie di natura infettiva da agenti vegetali macrorganici**: sono causate da fanerogame parassite (cuscute, vischio, orobanche, striga...) ed alghe
5. **Malattie di natura infettiva da agenti animali, compresi i protozoi**

Criterio fisopatologico (Baldacci)

1. **Malattie trofiche**

- Esiste un rapporto nutrizionale tra patogeno ed ospite che compromette soprattutto l'assimilazione fotosintetica della pianta. Responsabili di queste malattie sono i funghi

2. **Malattie auxoniche**

- Abbiamo una deviazione dal normale equilibrio ormonico dell'ospite. Fattori biotici ed abiotici

3. **Malattie necrotiche**

- La morte della cellula per alterazione della normale permeabilità di membrana causata da fattori viventi od inanimati. In questo caso il danno è mediato da tossine, alcune delle quali sono così specifiche che volendo impostare un programma di miglioramento genetico non si può prescindere dal modo di bloccarne il meccanismo patogene

4. **Malattie vascolari**

- Alterazioni del sistema vascolare, la funzione alterata è il trasporto della linfa. Tali alterazioni possono essere causate sia da funghi (tracheomicosi) che da batteri (tracheobatteriosi) e provocano, come primo sintomo un avvizzimento seguito da appassimento.

5. **Malattie litiche**

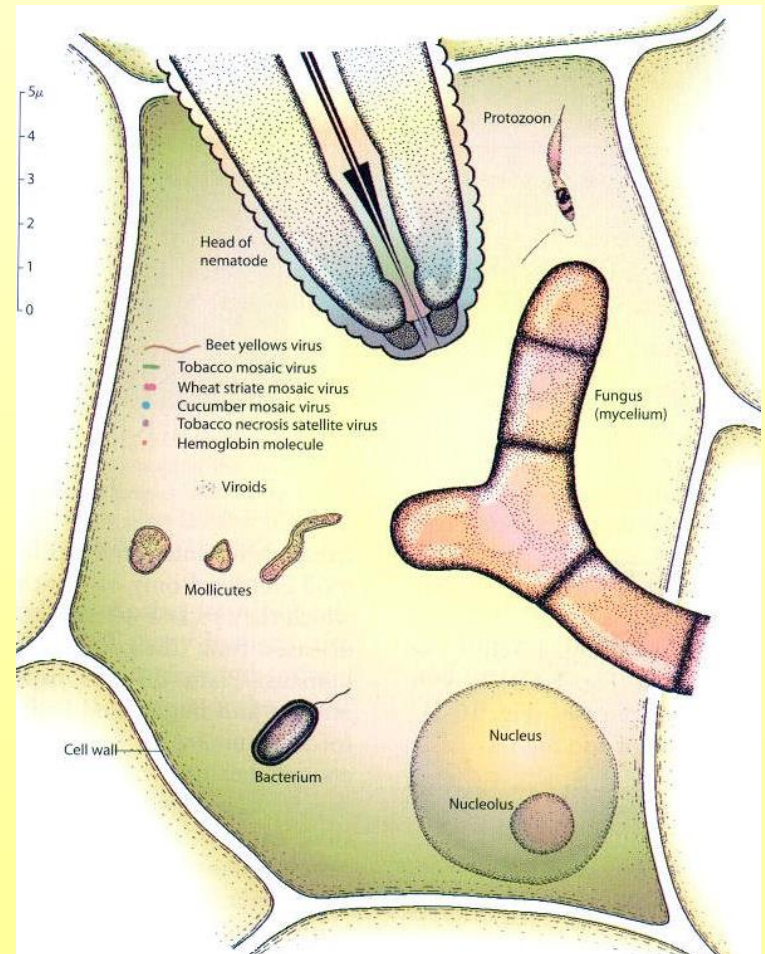
- L'evento sostanziale è il rammollimento degli organi dovuto ad idrolisi, catalizzata da enzimi pectolitici prodotti dal patogeno, della lamella mediana la quale costituisce la matrice d'unione tra le cellule dei tessuti dell'ospite. Funghi e Batteri

6. **Malattie ipnochereutiche**

- Danno luogo a flussi gommosi dalla degenerazione del legno e riguardano soprattutto tessuti adulti

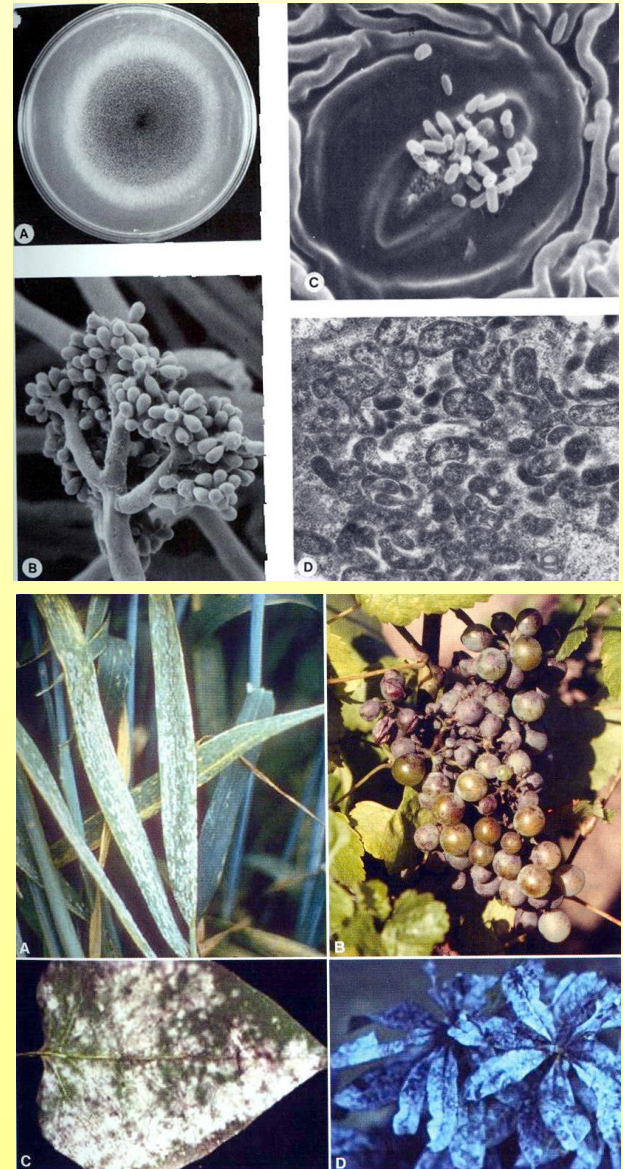
Cause di malattia

- 1. Agenti Biotici:** microrganismi patogeni che possono causare malattie nelle piante disturbando il metabolismo delle cellule vegetale attraverso enzimi, tossine, regolatori della crescita e altre sostanze da loro secrete e assorbendo nutrienti dall'ospite. Altri patogeni possono causare la malattie anche crescendo e moltiplicandosi nei tessuti vascolari dell'ospite, impedendo quindi il normale flusso di acqua e nutrienti



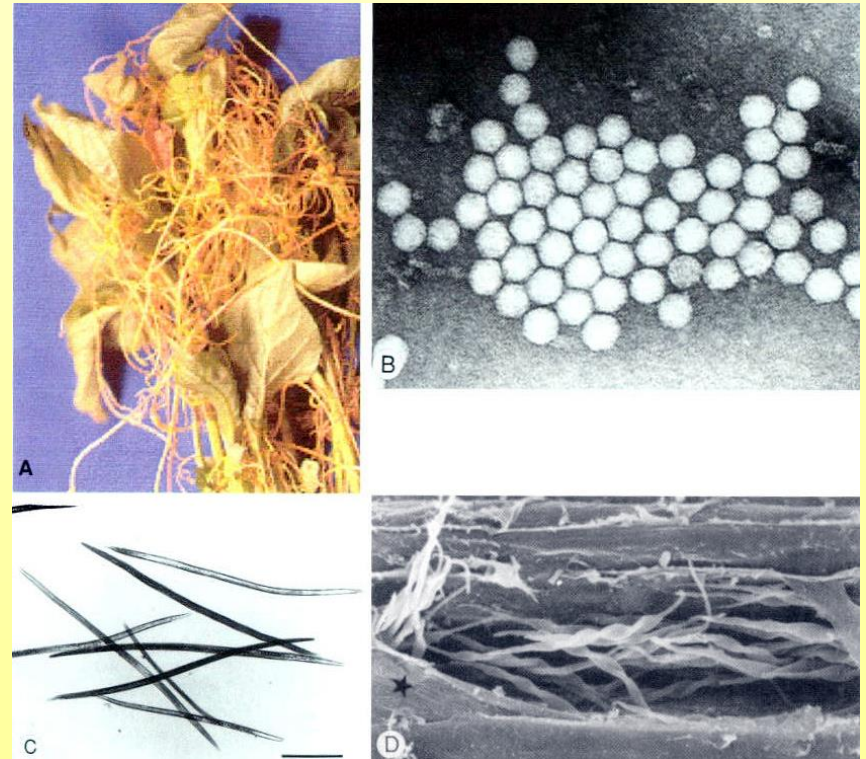
Agenti patogeni biotici

- Malattie causate da funghi (*Botrytis cinerea*)
- Malattie causate da procarioti (batteri, fitoplasmi)




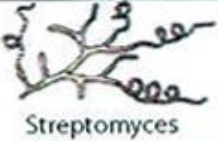













Agenti patogeni biotici

- Malattie causate da piante parassite (Cuscuta)
- Malattie causate da virus e viroidi (Tobacco ringspot virus)
- Malattie causate da nematodi (Ditylenchus)
- Malattie causate da protozoi (Phytomonas)



Morfologia e moltiplicazione di alcuni gruppi di patogeni

Fungi	 <p>Plasmodium Spore Types of mycelium Colony Spores</p>				
Bacteria	 <p>Morphology and flagellation</p>		 <p>Fission</p>	 <p>Streptomyces</p>	
Mollicutes	 <p>Morphology</p>		 <p>Multiplication</p>		 <p>Spiroplasma</p>
Parasitic higher plants	 <p>Dodder</p>	 <p>Witchweed</p>	 <p>Dwarf mistletoe</p>	 <p>Broomrapes</p>	
Viruses	 <p>Morphology</p>				 <p>Viroids</p>
Nematodes	 <p>Adults Egg Juvenile</p>			 <p>Protozoa (flagellates)</p>	

Postulati di Koch

1. Il sospetto patogeno deve trovarsi costantemente associato con l'organismo sul quale viene rilevata la sindrome
2. Il patogeno deve venire isolato in coltura axenica e caratterizzato
3. Il patogeno, reinoculato su un ospite sano deve riprodurre su quest'ultimo la sindrome
4. Il patogeno deve venire reisolato dal nuovo ospite e di nuovo caratterizzato

Fattori abiotici di malattia

- Le piante verdi, in comune con tutti gli altri organismi, sono in grado di "prosperare" entro uno stretto range di condizioni ambientali
- Nella pianta, le singole cellule sono in grado di esercitare un controllo nei riguardi del loro ambiente interno e in questo modo di mantenere le condizioni favorevoli per il normale metabolismo
- La capacità di resistenza delle piante alle fluttuazioni ambientali è limitata
- Inoltre non potendo muoversi le piante "subiscono" le fluttuazioni ambientali negative senza poter cambiare rapidamente ambiente

Fattori abiotici di malattia

- Gli stress abiotici si possono dividere in
 1. Temperatura troppa alto o troppo bassa
 2. Estrema aridità o umidità del suolo
 3. Mancanza o eccesso di luce
 4. Mancanza o eccesso di O_2
 5. Inquinamento dell'aria
 6. Carenze nutritive
 7. Tossicità dovuta a un eccesso di minerali
 8. Elevata acidità o basicità del suolo
 9. Pesticidi
 10. Pratiche culturali improprie

Strategie alternative di controllo

- Necessità di sostituire la lotta chimica alle malattie a causa del suo elevato impatto sull'ambiente e sulla salute
- Primi tentativi di controllo biologico usando funghi antagonisti non patogeni
- Uso di ceppi batterici o virali ipovirulenti
- Studi più approfonditi sull'interazione pianta-patogeno
 - Teoria gene per gene
 - DNA ricombinante
 - Piante transgeniche

Significato della malattia

- Nelle comunità naturali, la malattia è proprio uno dei fattori che regolano le popolazioni e quindi determina lo spettro di specie che hanno successo in ogni ambiente
- I patogeni attaccano infatti più facilmente e con successo ospiti che stanno crescendo al di sotto di condizioni ottimali
- Quindi la malattia può indurre cambiamenti entro una comunità vegetale stabilita