

## Processo infettivo

---

- Il processo attraverso il quale un patogeno stabilisce un rapporto trofico con le cellule o con i tessuti dell'ospite.
  - Inoculazione e Penetrazione
  - Infezione e Colonizzazione
  - Riproduzione
  - Disseminazione o Sopravvivenza

# IL PROCESSO INFETTIVO

---

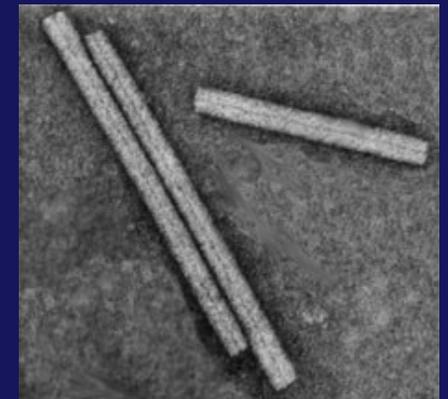
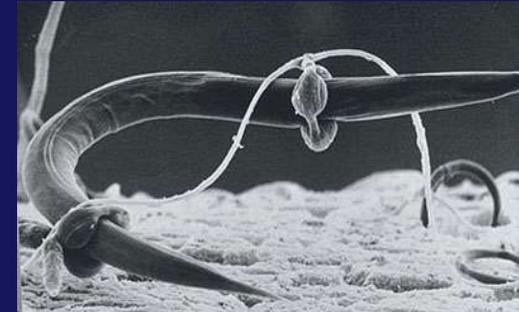
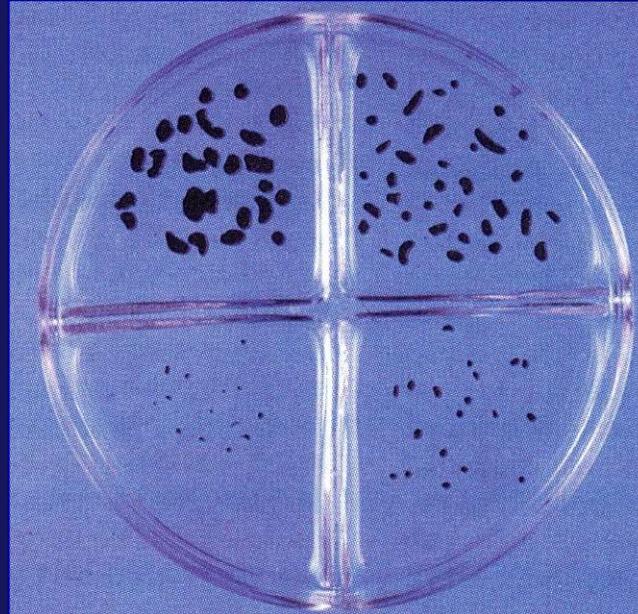
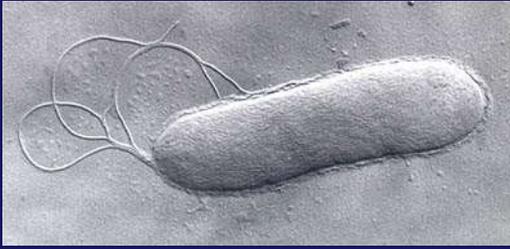


# Processo infettivo



- **Inoculazione** : contatto iniziale ospite/patogeno
- **Penetrazione**: fase durante la quale il patogeno supera le barriere protettive esterne della pianta ospite.
- **Infezione e Colonizzazione** : fase durante cui il patogeno stabilisce un rapporto trofico con i tessuti dell'ospite superando le barriere interne della pianta.
- Il patogeno quindi si **accresce** e si **riproduce** nei tessuti infetti.

# PROPAGULI : Qualsiasi parte del patogeno che può dare origine al processo infettivo



# AGENTI DI MALATTIE INFETTIVE

## AGENTI

- **Miceti/Cromista**
- **Batteri**
- **Fitoplasmi**
- **Virus**
- **Viroidi**

## PROPAGULI

- **Micelio/spore e conidi**
- **Cell. batterica**
- **Cell. fitoplasmale**
- **Part. virale**
- **Part. viroidale**



# PRE-PENETRAZIONE

(post DORMIENZA) :

GERMINAZIONE DI SPORE



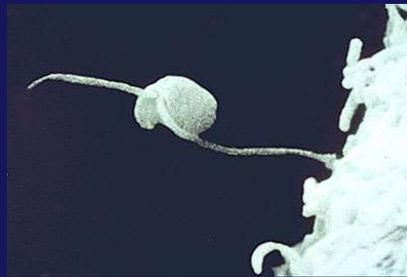
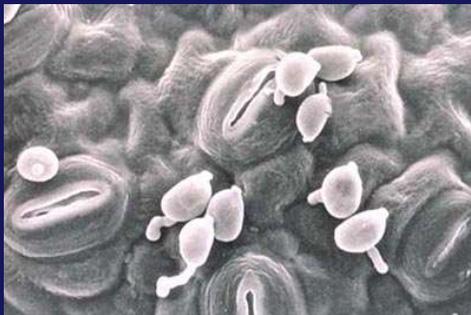
**DIREZIONE** — **Tubulo germinativo**  
— **Zoospore**

**umidità** (es. non raccogliere con rugiada)

**stimoli tigmotropici** →

**stimoli nutrizionali (chimici)**

provenienti da ferite, stomi, lenticelle



# PENETRAZIONE

**PENETRAZIONE ATTIVA** ⇒ **SUPERFICIE INTEGRA**

**FUNGHI**

- **Forze meccaniche**
- **Attività enzimatiche**

**CON O SENZA APPRESSORIO**

**PENETRAZIONE PASSIVA**

- **FERITE**

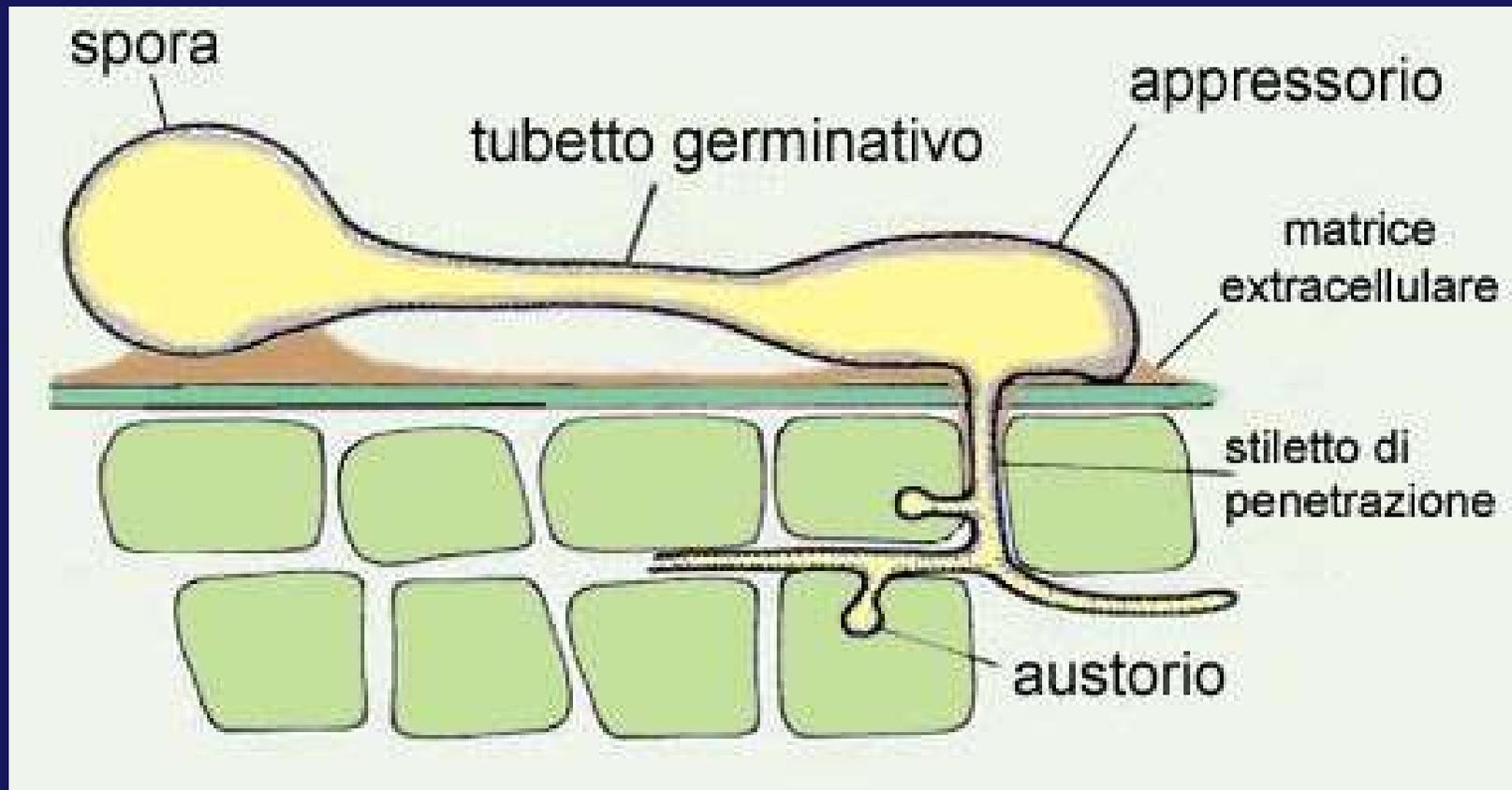
**FUNGHI, BATTERI, VIRUS, VIROIDI E FITOPLASMI**

- **APERTURE NATURALI (stomi, lenticelle, idatodi e nettari)**

**FUNGHI E BATTERI**

Assente nelle malattie epifitiche

# CARATTERISTICHE DELL'APPRESSORIO

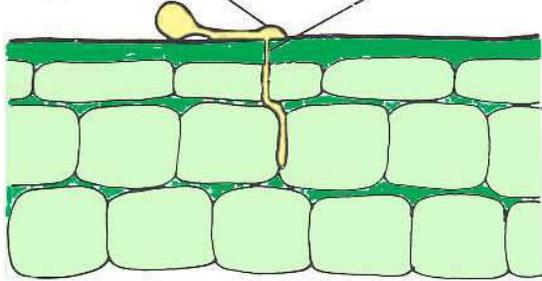


- IFA SPECIALIZZATA PER L'ADESIONE
- SI FORMA IN PROSSIMITA' DI UNO STOMA O SULL'EPIDERMIDE
- IN ALCUNI FUNGHI E' INDISPENSABILE LA SUA MELANIZZAZIONE
- SVILUPPA UN'ELEVATA PRESSIONE DI TURGORE CHE GENERA LA FORZA FISICA PER LA PENETRAZIONE
- LA SUA FORMAZIONE E' STIMOLATA DA SEGNALI CHIMICI E TIGMOTROPICI

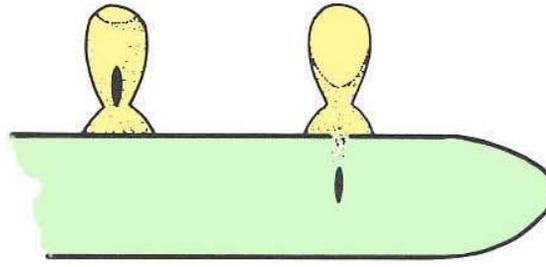
# PENETRAZIONE DEI FUNGHI

## Attiva

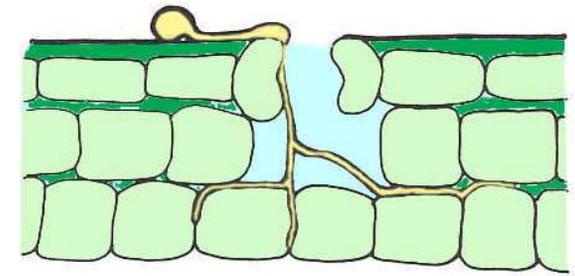
Appressorio Stiletto d'infezione



diretta  
(meccanico-enzimatica)



diretta  
(meccanica)

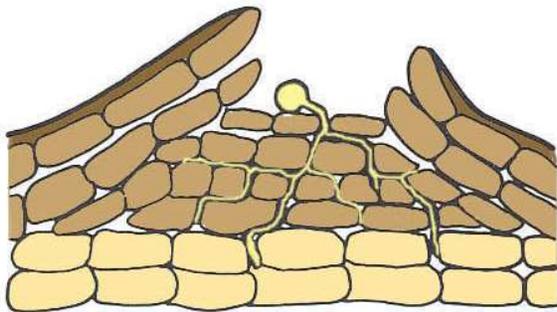


stomatica

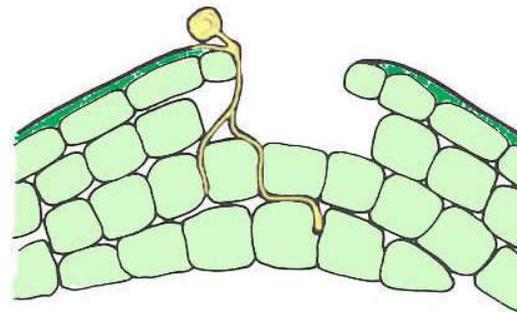
Es. Oidio della vite

Es. Peronospora della vite

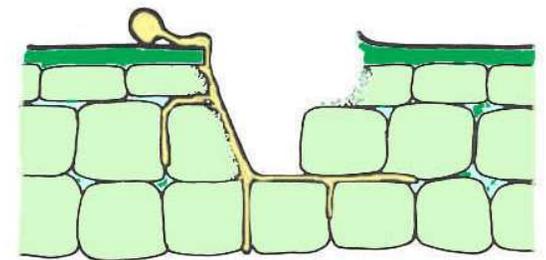
## Passiva : da aperture naturali



attraverso lenticelle



attraverso idatodi

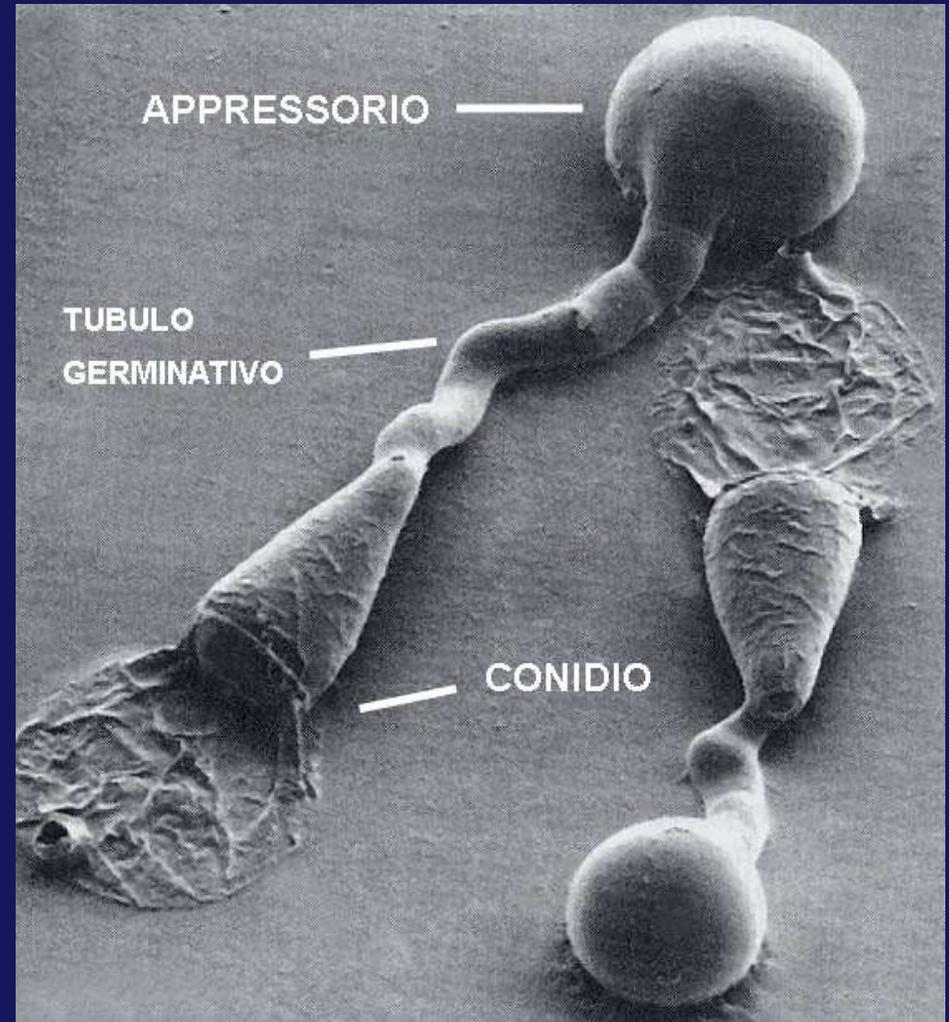


attraverso ferite

# PENETRAZIONE ATTIVA

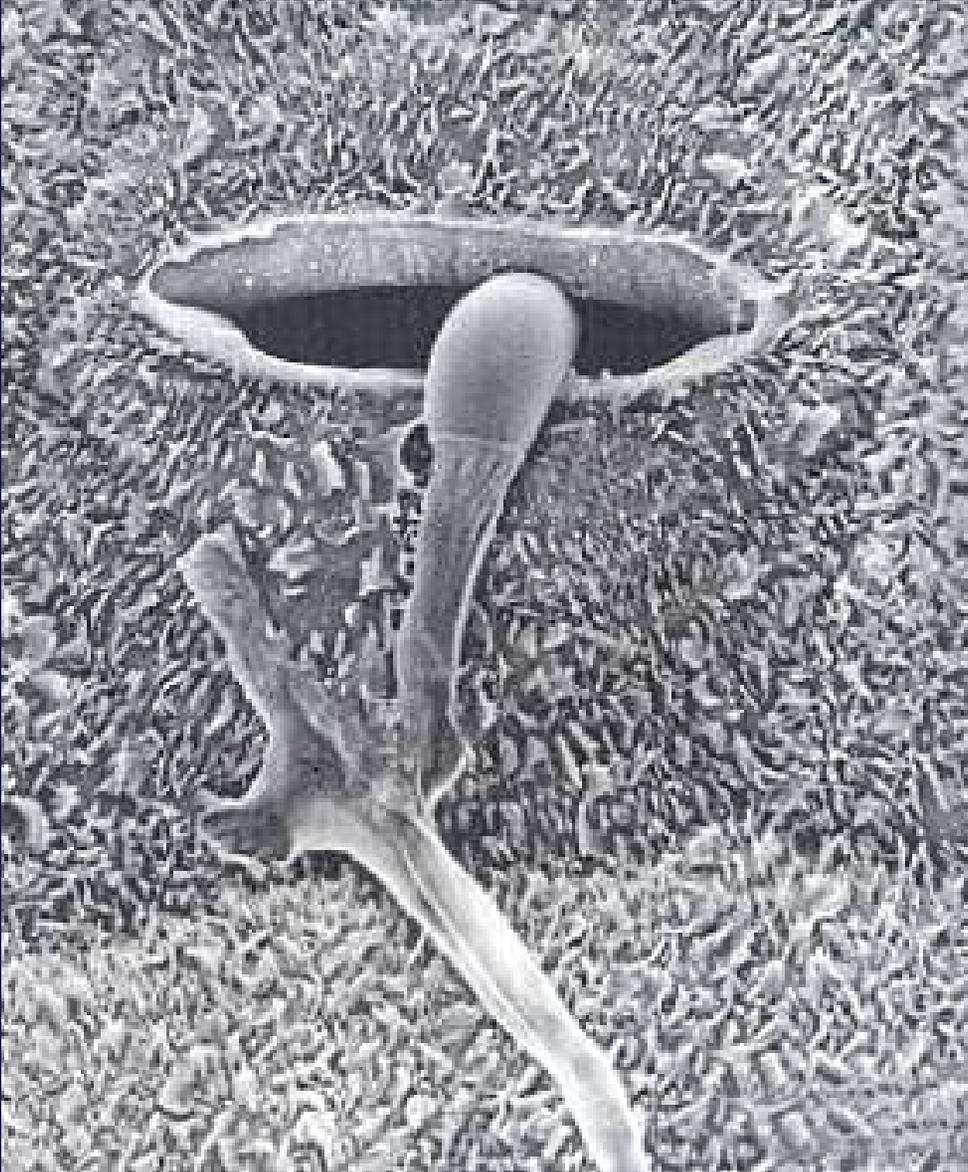


Zoospore incistidate di *Plasmopara lactucae radices*. All'estremità del tubulo germinativo si differenzia un'ifa di penetrazione

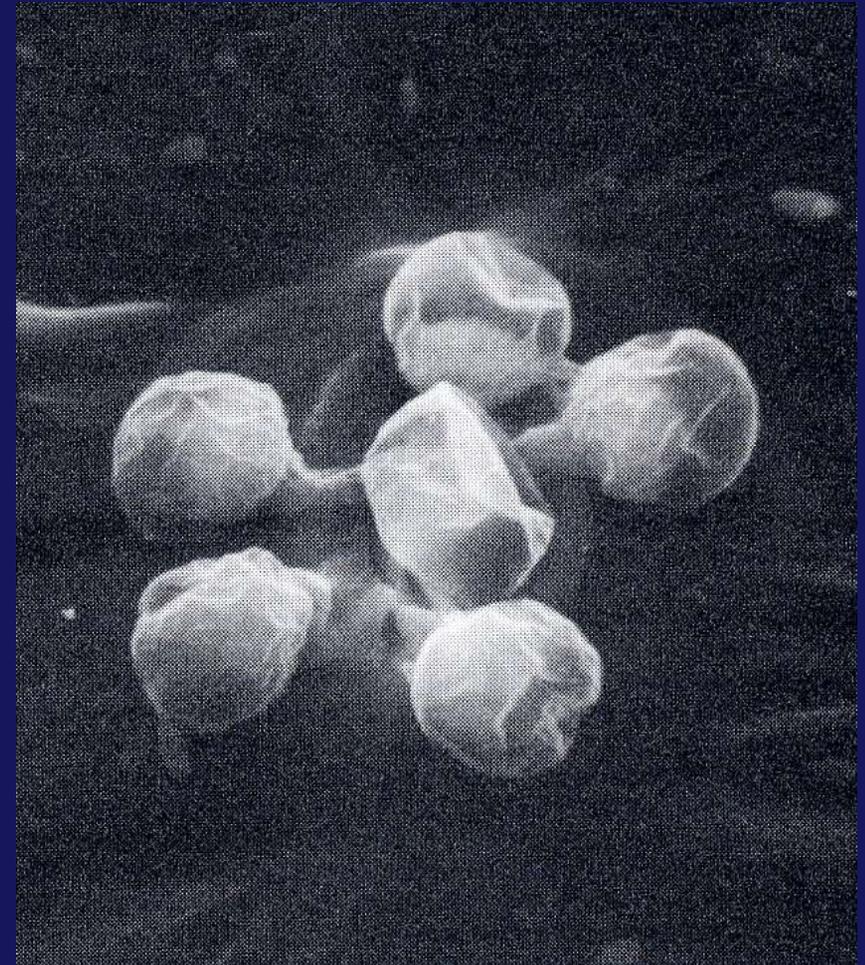


Differenziazione dell'appressorio in *Magnaporthe grisea*. Si osserva il collasso del conidio e la formazione del tubulo germinativo

## PENETRAZIONE ATTRAVERSO GLI STOMI

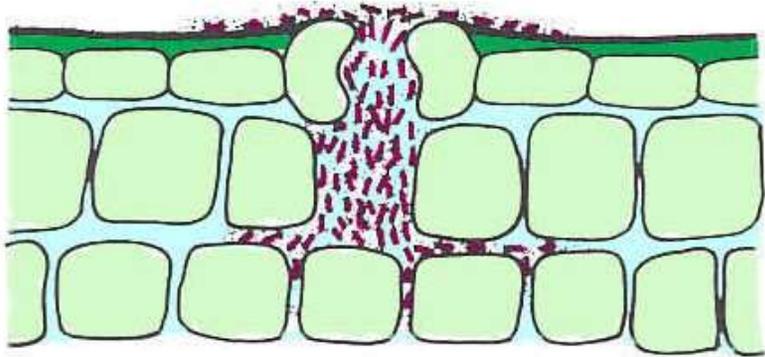


Differenziazione dell'appressorio di *Melampsora lini* sullo stoma di una foglia di lino

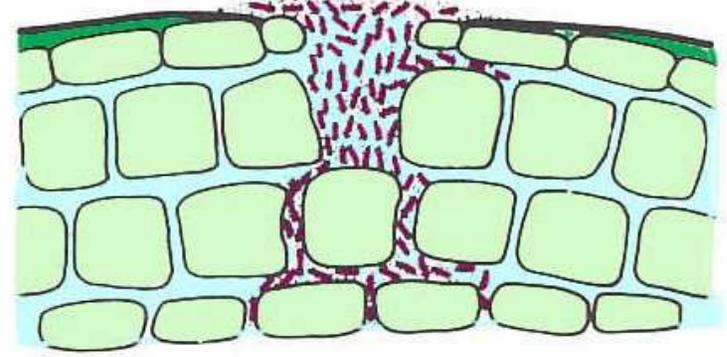


Penetrazione di zoospore di *Plasmopara viticola* attraverso lo stoma di una foglia di vite mediante la formazione del tubulo germinativo

# PENETRAZIONE DEI BATTERI

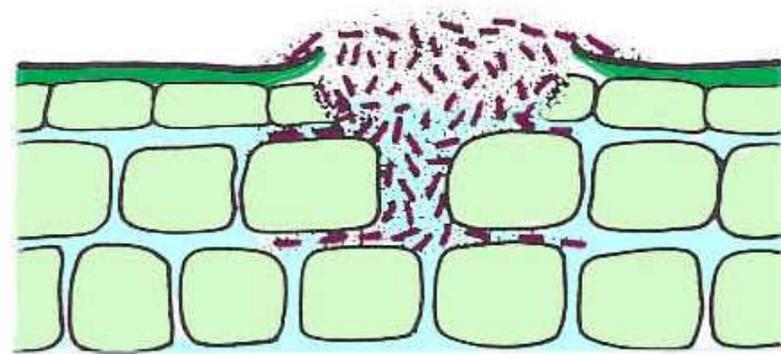


stomatica

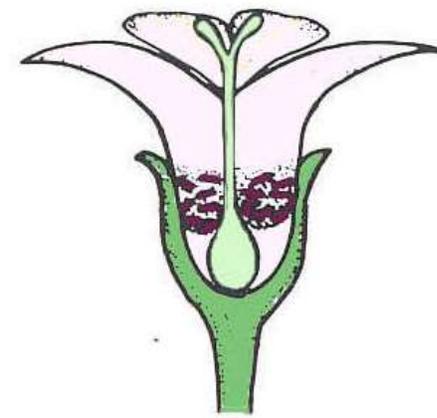


attraverso idatodi

Es. Marciume nero del cavolo



attraverso ferite



attraverso i nettari

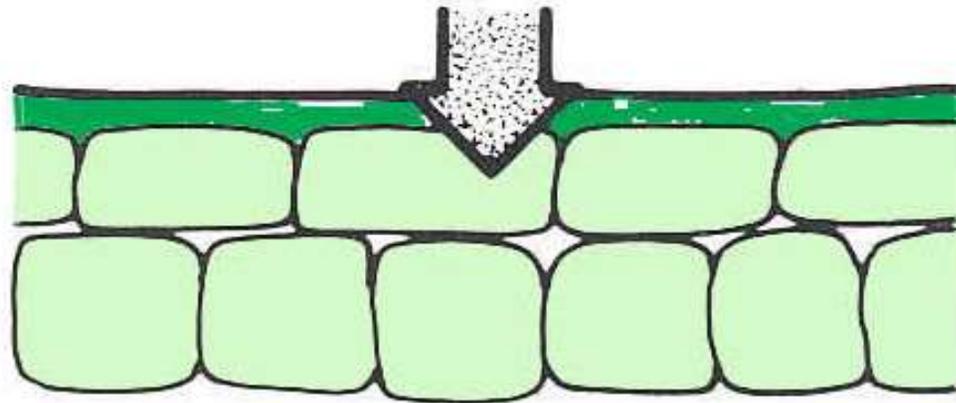
Es. Botrytis cinerea

# MARCIUME NERO DEL CAVOLO

Agente causale: *Xanthomonas campestris* pv *campestris*



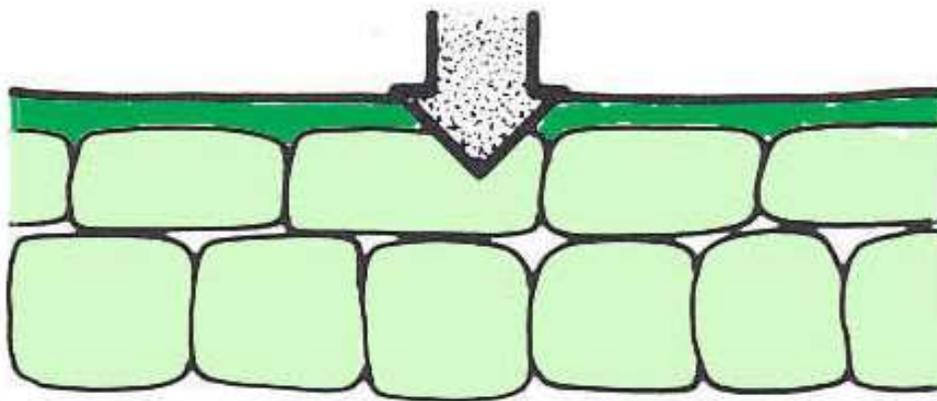
# PENETRAZIONE DEI VIRUS



Inoculazione meccanica

Es. Innesto

ToMV del pomodoro



Vettore biologico



# MALATTIA EPIFITICA: nessuna penetrazione



Fumaggini su foglia (A) e frutti di agrumi (B)

Il fungo non stabilisce rapporti trofici con l'ospite

# IL PROCESSO INFETTIVO

---



# INFEZIONE

**PROCESSO ATTRAVERSO IL QUALE IL PATOGENO STABILISCE UN CONTATTO CON LE CELLULE O I TESSUTI SUSCETTIBILI DELL'OSPITE E SI PROCURA I NUTRIENTI DA ESSI**

**IL PATOGENO SI ACCRESCE, SI MOLTIPLICA, INVADE E COLONIZZA LA PIANTA**

Prima fase infettiva - INFEZIONE LATENTE: stato in cui l'ospite infetto non mostra alcun sintomo

**PERIODO DI INCUBAZIONE**

**PERIODO DI LATENZA**

durata

Condizioni ambientali

Combinazione ospite/patogeno

Stadio ospite



**COMPARSA DEI SINTOMI**

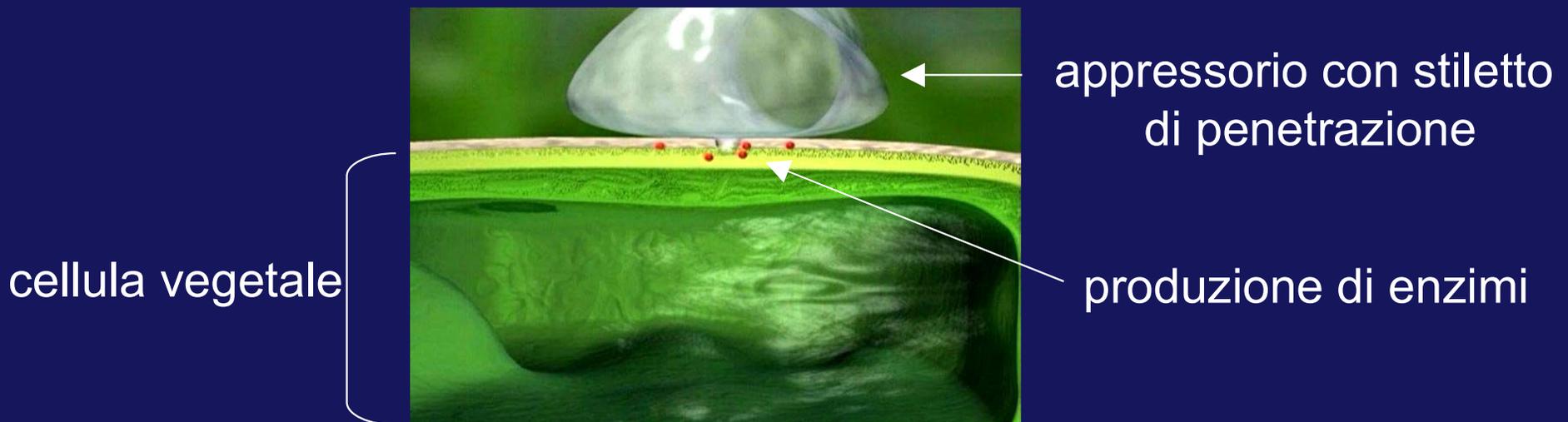
# INFEZIONE

**I patogeni durante l'infezione possono**

**Produrre sostanze biologicamente attive (enzimi, tossine, fitormoni)**



**Alterazione dell'integrità strutturale o fisiologica dell'ospite**



**OSPITE REAGISCE**  **MECCANISMI DI DIFESA**

# IL PROCESSO INFETTIVO



# COLONIZZAZIONE

---

**INVASIONE**



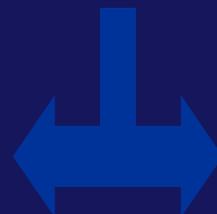
**LOCALIZZAZIONE**

- Sulla superficie con invio di austori
- Subcuticolare
- Intracellulare
- Intercellulare
- Xilema
- Floema



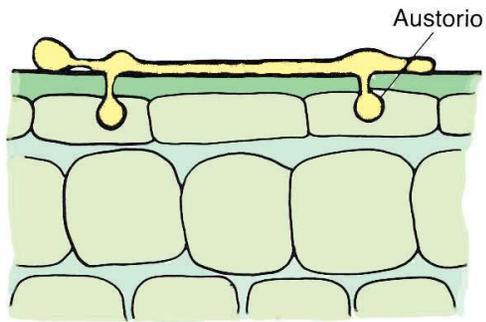
**COLONIZZAZIONE**

**LOCALIZZATA**

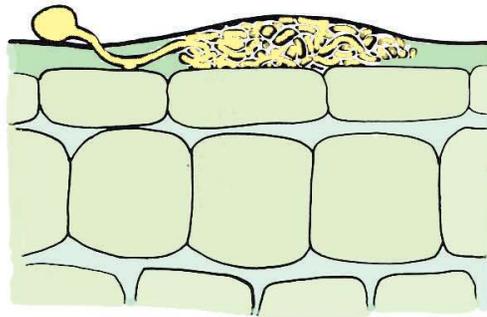


**SISTEMICA**

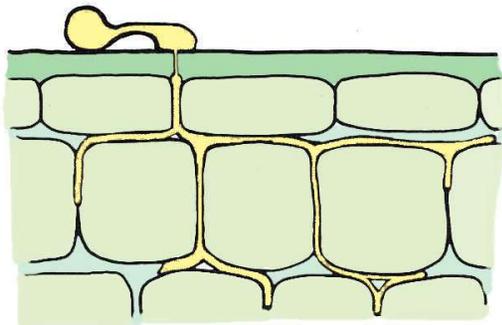
ECTOPARASSITA (ectofita)



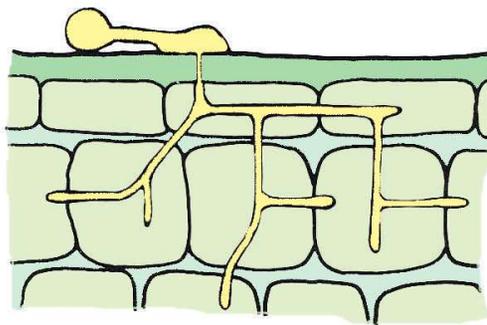
SUBCUTICOLARE



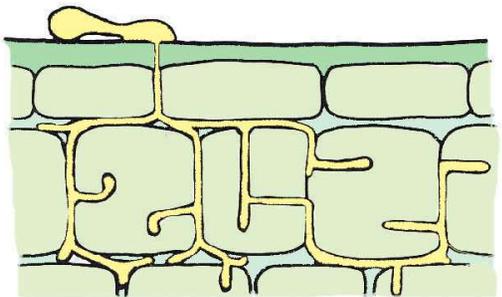
ENDOPARASSITA (endofita)



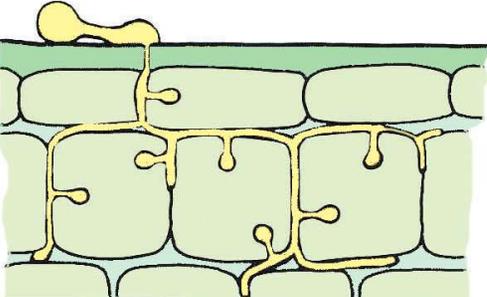
Intercellulare



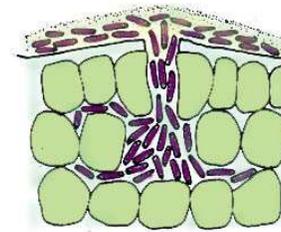
Intracellulare



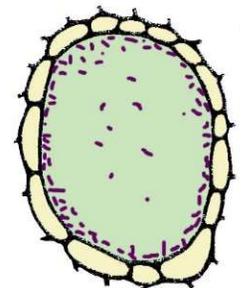
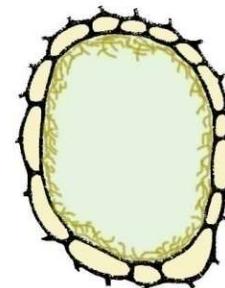
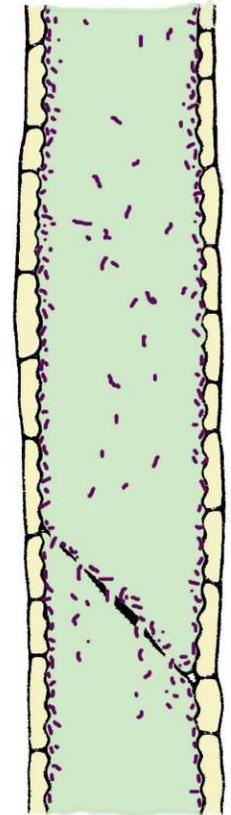
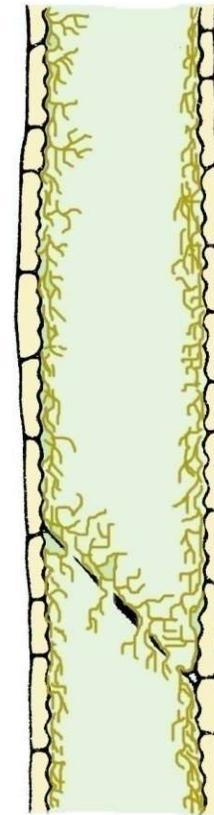
Inter-intracellulare



Intercellulare con austori



Batteri negli spazi intercellulari



Colonizzazione sistemica di funghi e batteri

# RIPRODUZIONE e DISSEMINAZIONE

Modalità differenti di riproduzione

Sessuata

Aessuata

Sulla superficie o all'interno della pianta

Velocità diverse di riproduzione



**EVASIONE/DISSEMINAZIONE : emissione dei propaguli riproduttivi**

- APERTURE NATURALI es. *Plasmopara viticola*
- DISFACIMENTO DEI TESSUTI es. *Penicillium spp.*

Spesso mediata da vettori per VIRUS E FITOPLASMI



# DISSEMINAZIONE

**ATTIVA (zoospore, batteri e rizomorfe)**

**PASSIVA (vento, insetti, acqua, semi, animali, uomo)**

**ARIA**

**E' il veicolo più efficiente nella disseminazione a lunga distanza SPORE FUNGINE (es. uredospore) , SEMI, VETTORI**

**Trasporta anche gocce di pioggia con batteri o spore**

**ACQUA**

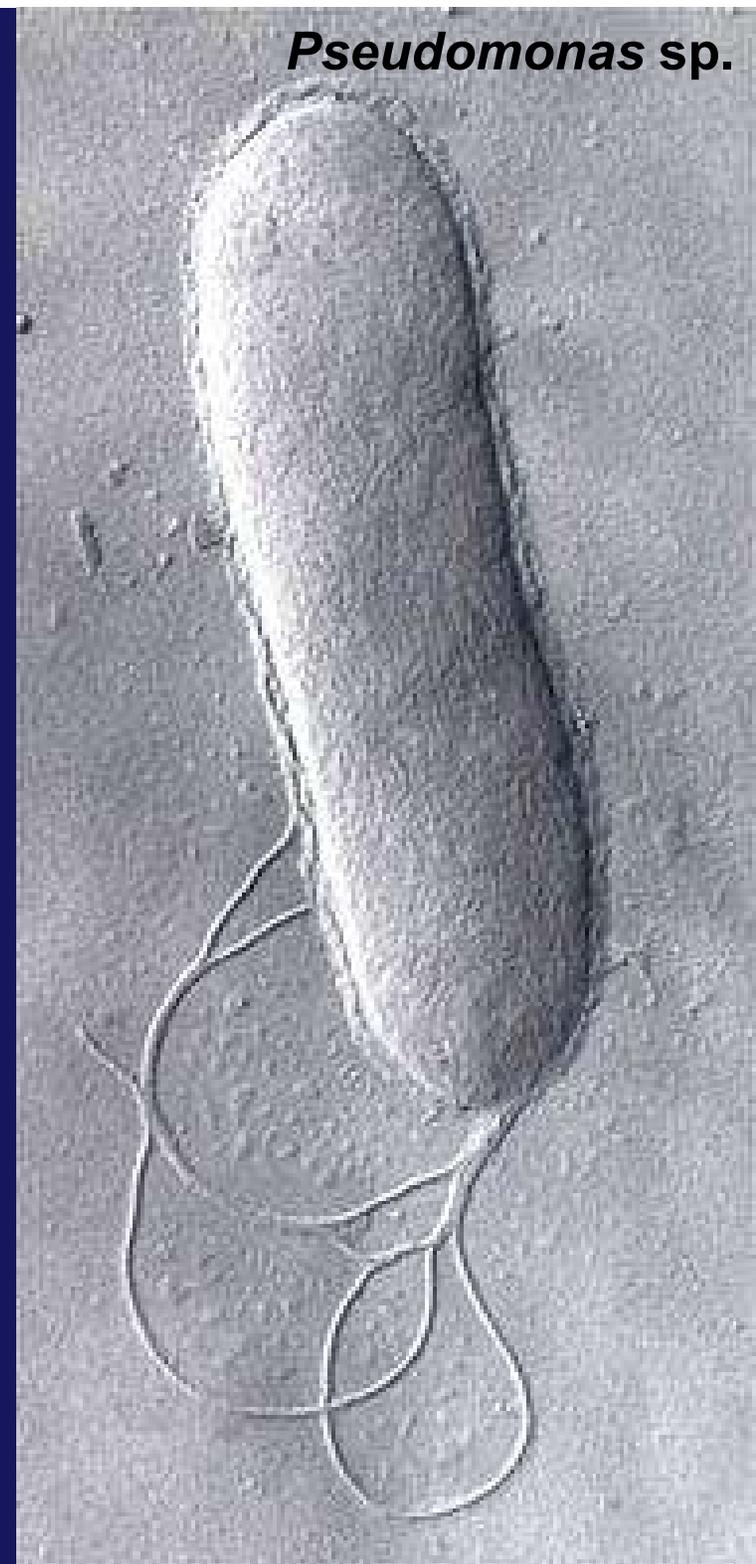
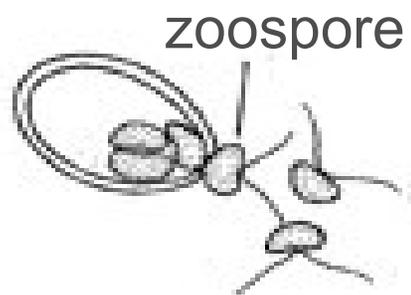
**E' il veicolo più efficiente nella disseminazione a breve distanza BATTERI, SPORE, FRAMMENTI DI MICELIO, ESSUDATI MUCILLAGINOSI CON BATTERI E SPORE**



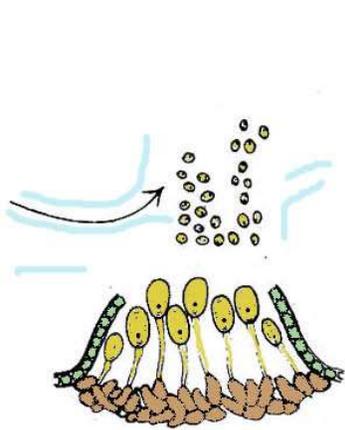
# DISSEMINAZIONE ATTIVA



Rizomorfe di *Armillaria* sp.



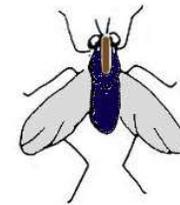
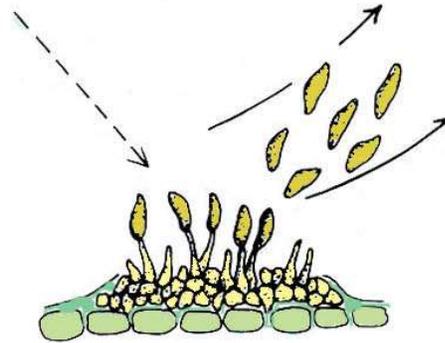
# MEZZI DI DISSEMINAZIONE PASSIVA



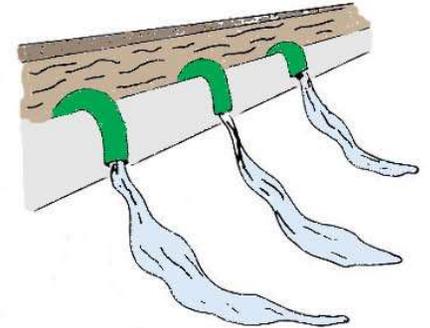
Vento



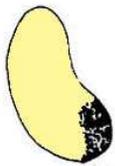
Schizzi di pioggia



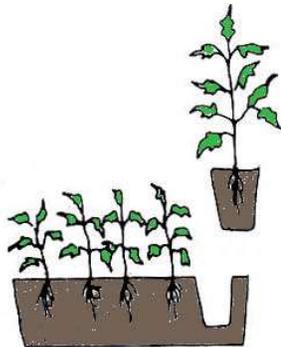
Insetti



Irrigazione



Semi contaminati



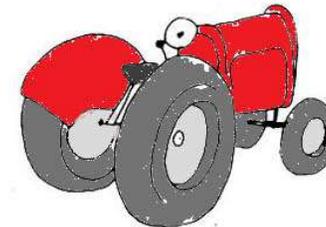
Piante od organi di propagazione infetti



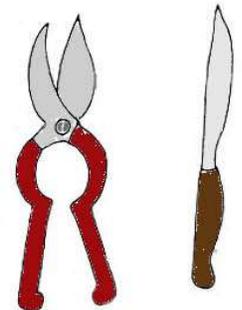
Animali



Uomo



Macchine agricole



Attrezzi di lavoro

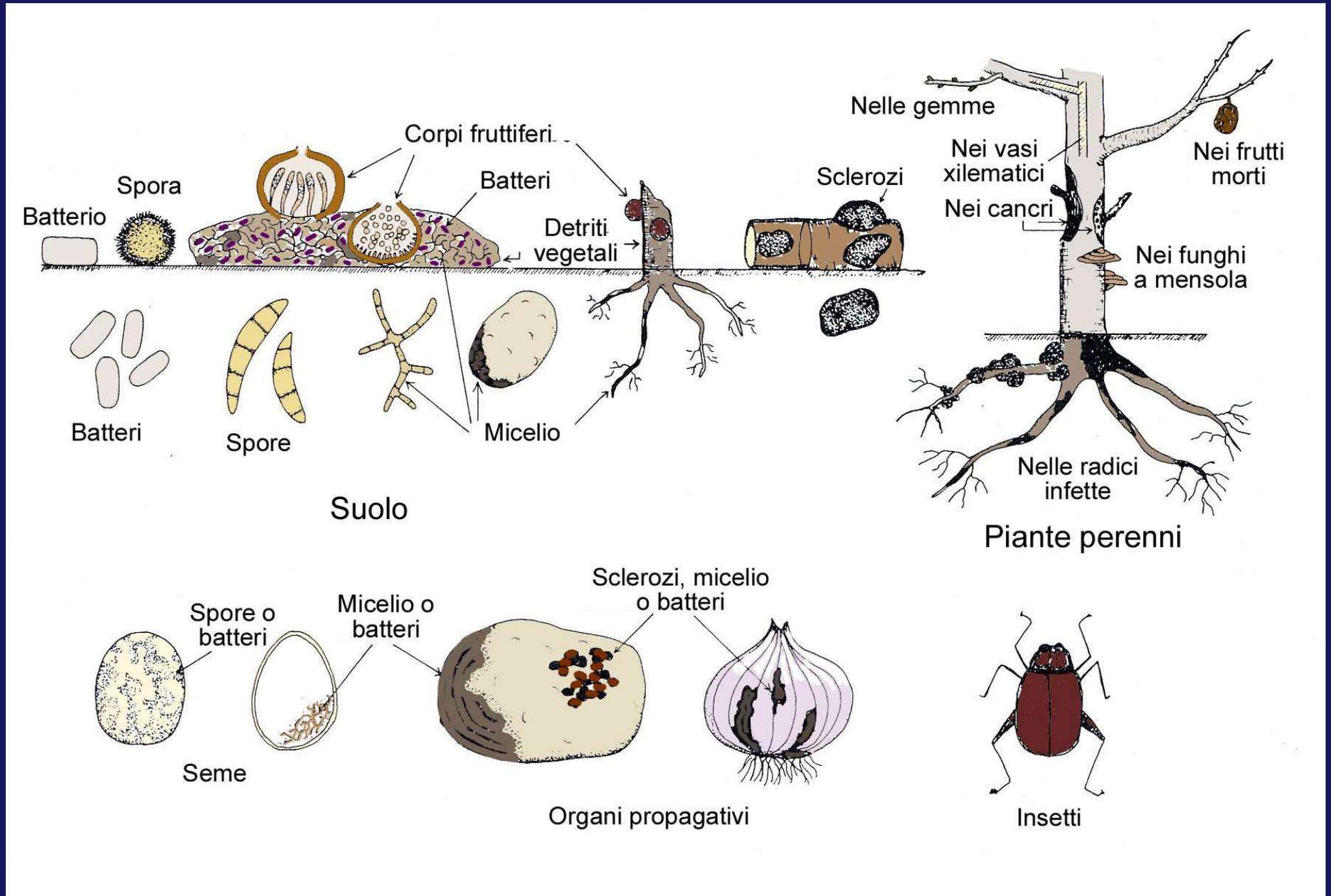


# FASI DI SVILUPPO DELLA MALATTIA



# SOPRAVVIVENZA

## FUNGHI e BATTERI



# SOPRAVVIVENZA

## VIRUS, VIROIDI e FITOPLASMI



**Tessuti vivi**



**Semi**



**Insetti vettori**

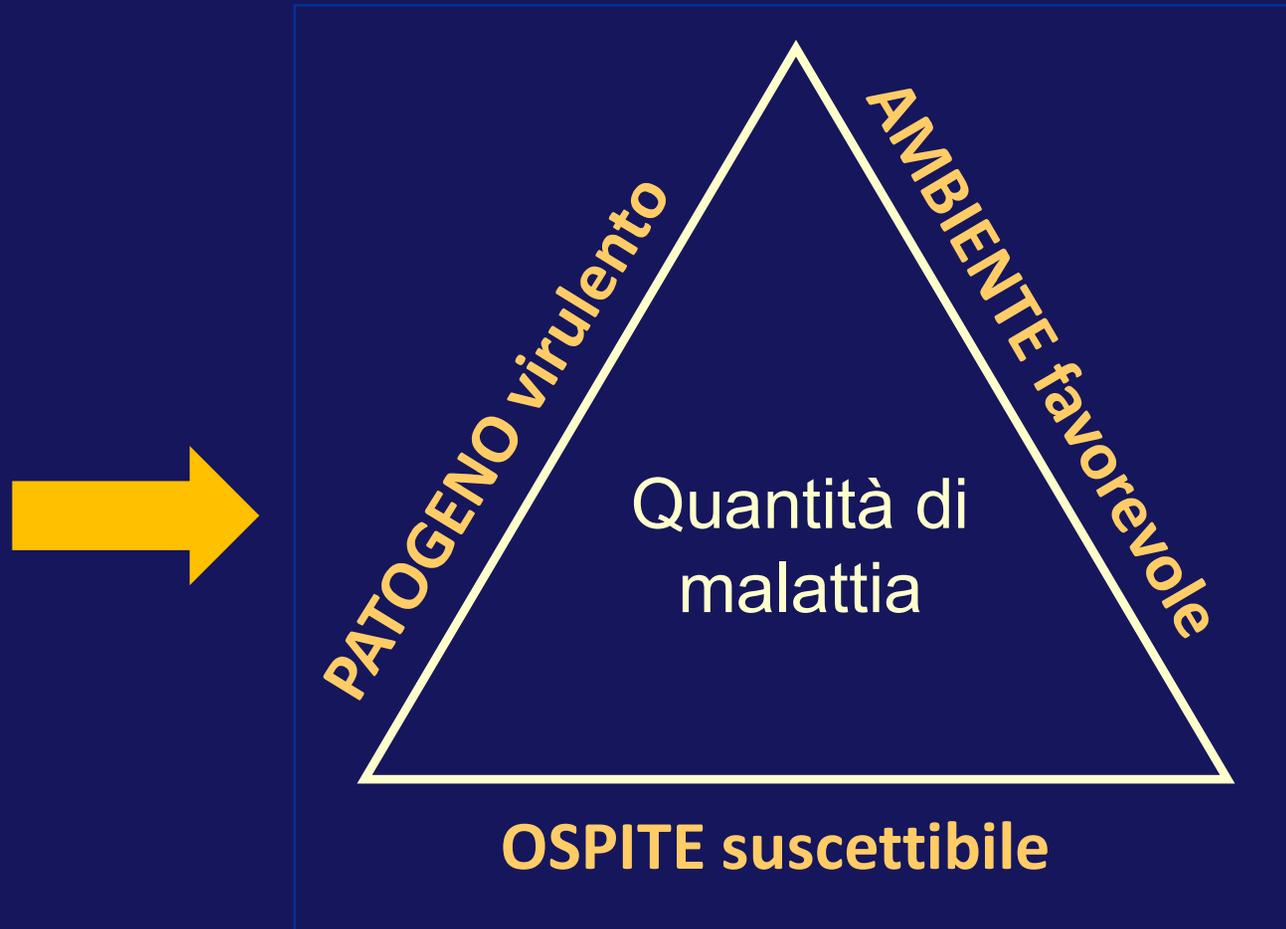


**Organi propagativi**

**LA MALATTIA E' UN EVENTO COMPLESSO  
CHE IMPLICA UNA INTERAZIONE DI TRE FATTORI**

# RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI UNA MALATTIA INFETTIVA

## IL TRIANGOLO DELLA MALATTIA



**INTERAZIONE**  **MALATTIA**

UN PATOGENO SI DEFINISCE TALE NEI CONFRONTI DI UNA SPECIE SU  
CUI CAUSA MALATTIA

DEFINITA PERCIO' "OSPITE"

PATOGENO POLIFAGO :

Ampio spettro di ospiti

*Alternaria alternata*



# COMBINAZIONI OSPITE/ PATOGENO in post raccolta

**TABLE 1**  
**The main pathogens of harvested fruits and vegetables \***

Pathogen	Disease	Primary Hosts
<i>Acremonium</i> spp.	crown rot	banana
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissler	fruit rot, dark spot, sooty mold	stone and pome fruits, grapes, papaya, tomato, pepper, eggplant, cucumber, melon, watermelon, squash, cabbage, cauliflower, broccoli, corn, pea, bean, carrot, potato, sweet potato, onion
	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissler	stem-end rot; black spot
<i>Alternaria citri</i> Ell. & Pierce	stem-end rot	citrus fruits

Polifago

Specifico

\* The main sources of the information in this Table are: Barkai-Golan, 1981; Dennis, 1983; Bartz and Eckert, 1987; Snowdon, 1990, 1992.



*Alternaria alternata*



*Alternaria citri*

UN PATOGENO SI DEFINISCE TALE NEI CONFRONTI DI UNA SPECIE SU  
CUI CAUSA MALATTIA

DEFINITA PERCIO' "OSPITE"

PATOGENO ad elevata specializzazione



Penicillium expansum



P. digitatum

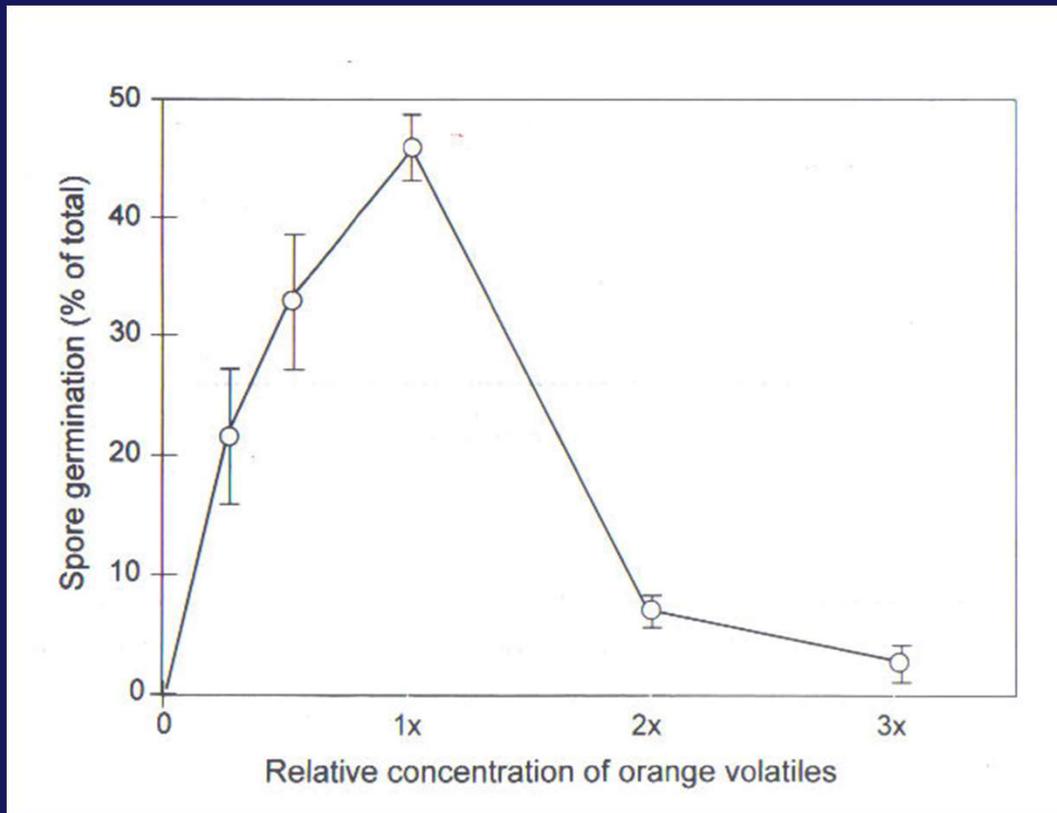


P. italicum

## LA VIRULENZA DEL PATOGENO DIPENDE ANCHE DALLA INTERAZIONE OSPITE- PATOGENO-AMBIENTE :

In magazzino i prodotti modificano l'ambiente stimolando il patogeno ad infettare

I conidi dei patogeni germinano maggiormente e più velocemente in presenza di sostanze emesse dall'ospite



**Effetti della concentrazione di sostanze volatili delle arance ( ferite :1X) sulla germinazione dei conidi di *Penicillium digitatum*.**

La concentrazione 1x corrisponde a quella tipica dell'ambiente circostante le arance ferite .

# RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI UNA MALATTIA INFETTIVA

## IL TRIANGOLO DELLA MALATTIA: INTERAZIONI NELLA FASE POST RACCOLTA



**INTERAZIONE**  **MALATTIA**

# FATTORI CHE DETERMINANO LA SUSCETTIBILITA' DELL'OSPITE

- VARIETA'
- STADIO FENOLOGICO
- CONTENUTO IN ACQUA/CONSISTENZA
- INTEGRITA' DEL TESSUTO
- COMPOSIZIONE

# OSPITE

## suscettibilità variabile con lo STADIO FENOLOGICO

Nei frutti durante la fase post raccolta si riduce il contenuto di sostanze antimicrobiche ed aumenta la suscettibilità alle infezioni.

TOMATINA : fitoalessina del pomodoro che inibisce la germinazione conidica

Contenuto di tomatina nel pomodoro a diversi stadi di maturazione.

**TABLE 4**  
**Tomatine content of tomato fruits\***

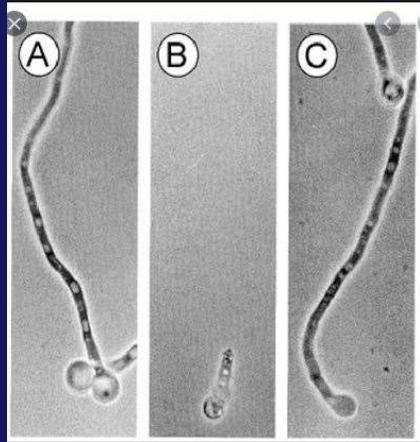
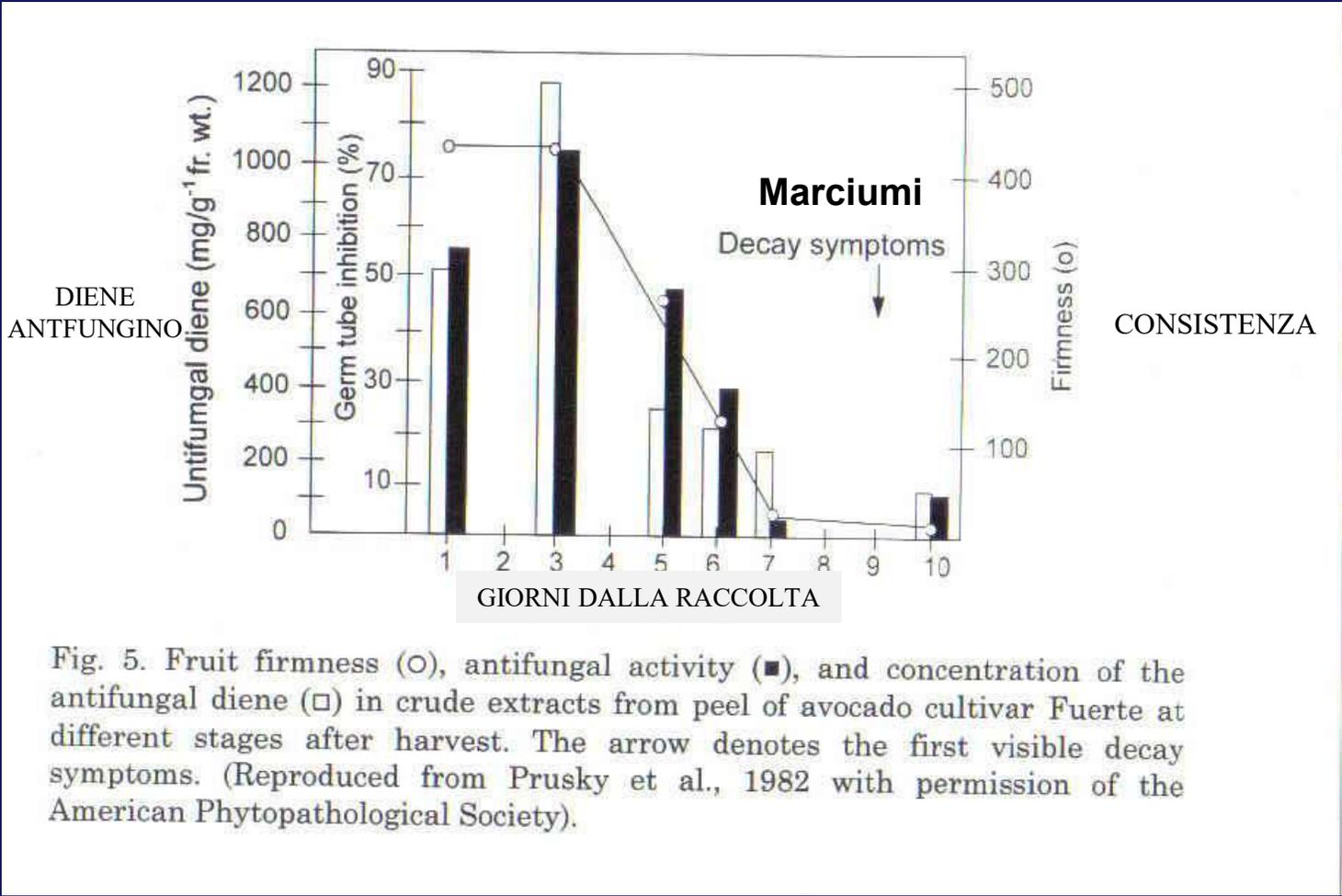
Fruit tissue	Tomatine content	
	% of dry weight	mg/100 g fresh weight
Green fruits (2-3 cm diameter)	0.5	→ 43
Skin of green fruits (2-3 cm in diameter)	0.95	→ 82
Red, ripe fruits	none	→ none

\* Reproduced from Verhoeff and Liem, 1975 with permission of Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH.

# OSPITE

## Suscettibilità variabile con la CONSISTENZA/COMPOSIZIONE

- Modificazioni fisico-chimiche dei frutti ne aumentano la suscettibilità in post-raccolta.



Tubulo germinativo di conidi

Fig. 5. Fruit firmness (○), antifungal activity (■), and concentration of the antifungal diene (□) in crude extracts from peel of avocado cultivar Fuerte at different stages after harvest. The arrow denotes the first visible decay symptoms. (Reproduced from Prusky et al., 1982 with permission of the American Phytopathological Society).

Riduzione della consistenza dei frutti (*Firmness*) e delle sostanze antifungine costitutive (*Diene*) in avocado dopo la raccolta.

# OSPITE

## Suscettibilità variabile con la durata della conservazione

### Contenuto di COLUMBIANETINA in sedano frigoconservato

La COLUMBIANETINA è tossica per *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. sclerotiorum*.

Al contrario degli PSOLARENI (FUNAROCUMARINE) che aumentano durante la conservazione (privi di effetto antimicrobico)

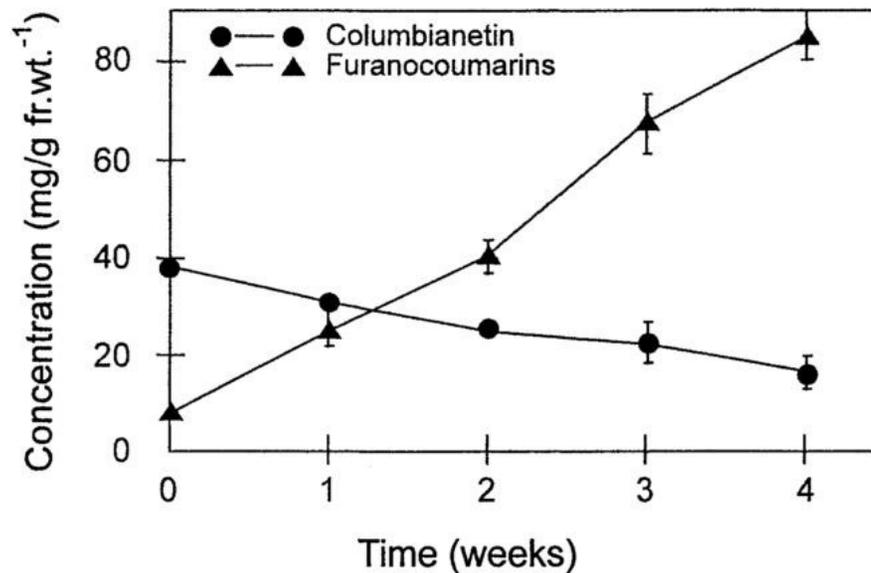


Fig. 12. Concentration of columbianetin and total furanocoumarins in celery during 4 weeks of storage at 2°C. Vertical bars indicate standard error. (Reproduced from Afek et al., 1995 with permission of Elsevier Science).

# RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI UNA MALATTIA INFETTIVA

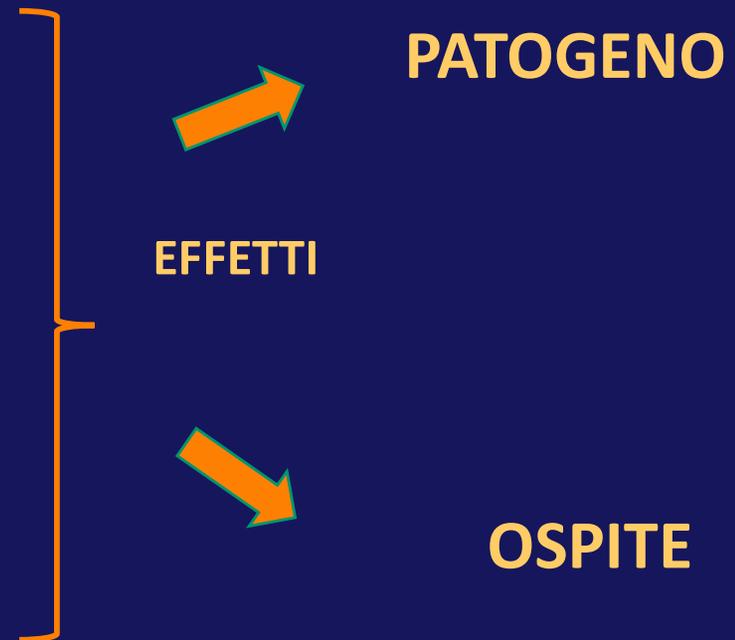
## IL TRIANGOLO DELLA MALATTIA: INTERAZIONI NELLA FASE POST RACCOLTA



**INTERAZIONE**  **MALATTIA**

# FATTORI AMBIENTALI CHE INFLUENZANO LO SVILUPPO DI MALATTIE IN POST RACCOLTA

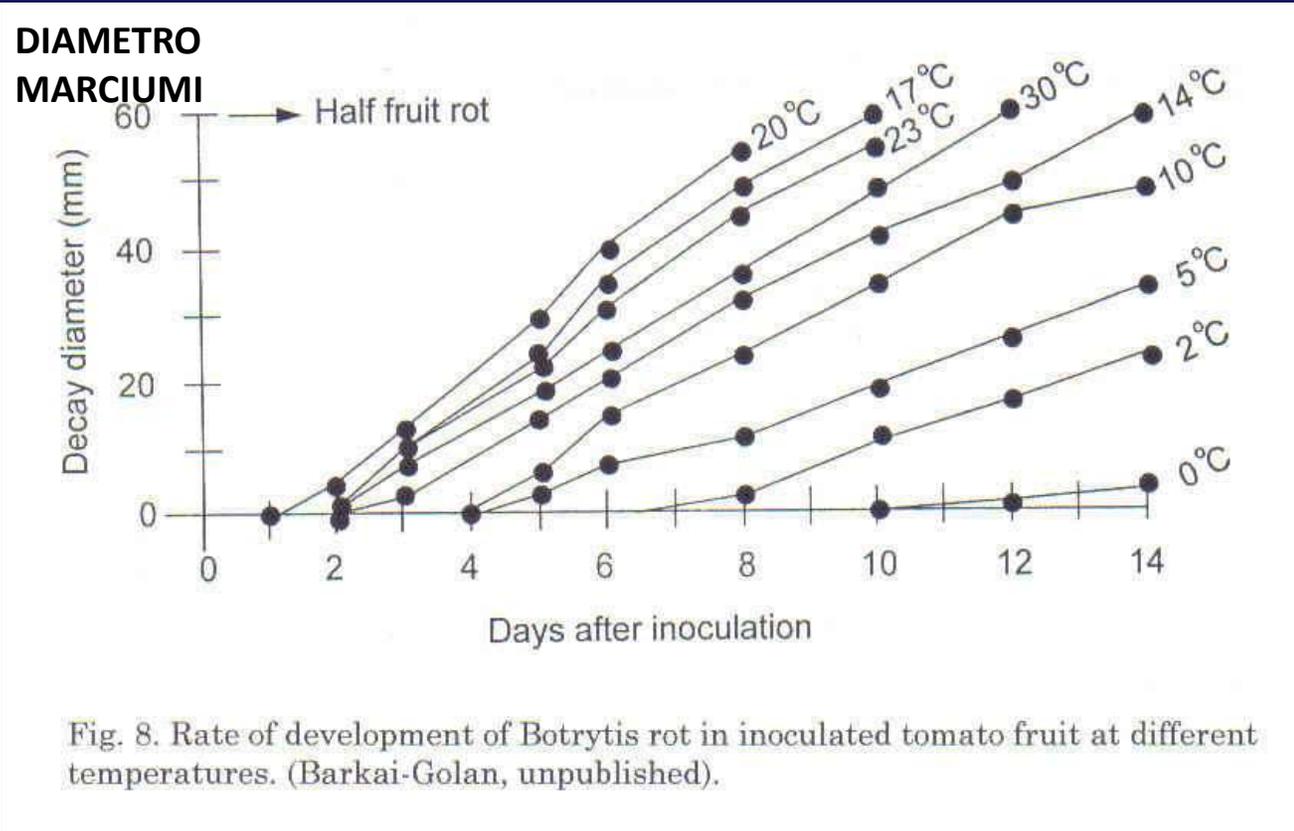
- TEMPERATURA
- pH DEI TESSUTI
- COMPOSIZIONE ATMOSFERICA
- UMIDITA' AMBIENTALE



# Esigenze ambientali per la crescita fungina



Effetti della temperatura sui marciumi dei frutti dovuti a *Botrytis cinerea*.



Barkai-Golan 2001; POSTHARVEST  
DISEASES OF FRUITS AND  
VEGETABLES ( fig.8)

**La temperatura influenza la velocità di sviluppo del marciume :  
basse temperature lo rallentano**

## AMBIENTE

La resistenza al freddo varia fra le specie fungine

Minimal temperatures for postharvest decay fungi \*

Fungus	Minimal Temperature °C
<i>Alternaria alternata</i>	-3
<i>Aspergillus niger</i>	11
<i>Botrytis cinerea</i>	-2
<i>Cladosporium herbarum</i>	-4
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	9
<i>Colletotrichum musae</i>	9
<i>Diplodia natalensis</i>	-2
<i>Geotrichum candidum</i>	2
<i>Monilinia fructicola</i>	1
<i>Penicillium digitatum</i>	3
<i>Penicillium expansum</i>	-3
<i>Penicillium italicum</i>	0
<i>Phomopsis citri</i>	-2
<i>Rhizopus stolonifer</i>	2; 5**

\* Reproduced from Sommer (1985) with permission of the Canadian Journal of Plant Pathology.

\*\* Reproduced from Dennis and Cohen (1976).



## AMBIENTE

La resistenza al freddo varia fra le specie fungine

Minimal temperatures for postharvest  
decay fungi \*

Fungus	Minimal Temperature °C
<i>Alternaria alternata</i>	-3



## AMBIENTE

La resistenza al freddo varia fra le specie fungine

Minimal temperatures for postharvest decay fungi \*

Fungus	Minimal Temperature °C
<i>Alternaria alternata</i>	-3
<i>Aspergillus niger</i>	11
<i>Botrytis cinerea</i>	-2
<i>Cladosporium herbarum</i>	-4
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	9
<i>Colletotrichum musae</i>	9
<i>Diplodia natalensis</i>	-2



## AMBIENTE

La resistenza al freddo varia fra le specie fungine

Minimal temperatures for postharvest decay fungi \*

Fungus	Minimal Temperature °C
<i>Penicillium digitatum</i>	3
<i>Penicillium expansum</i>	-3
<i>Penicillium italicum</i>	0
<i>Phomopsis citri</i>	-2
<i>Rhizopus stolonifer</i>	2; 5**

\* Reproduced from Sommer (1985) with permission of the Canadian Journal of Plant Pathology.

\*\* Reproduced from Dennis and Cohen (1976).



*P. expansum*



*P. digitatum*



*P. italicum*

# AMBIENTE

La resistenza al freddo varia fra le specie fungine

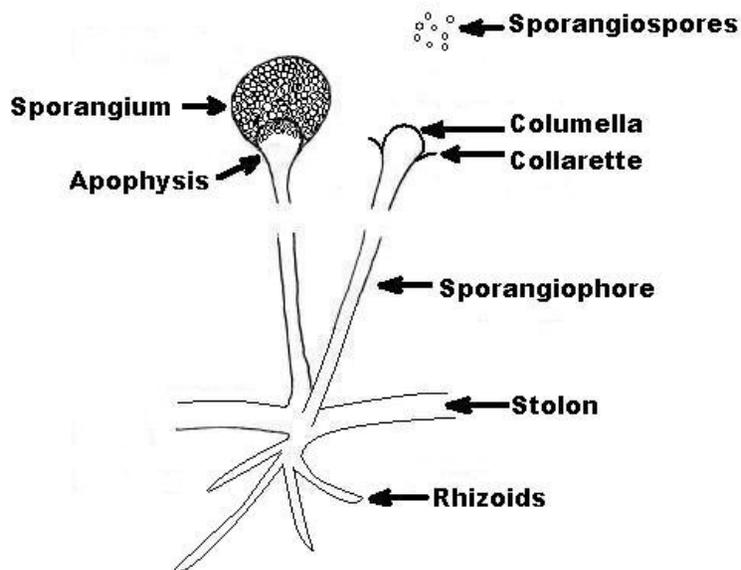
## Minimal temperatures for postharvest decay fungi \*

Fungus	Minimal Temperature °C
<i>Penicillium digitatum</i>	3
<i>Penicillium expansum</i>	-3
<i>Penicillium italicum</i>	0
<i>Phomopsis citri</i>	-2
<i>Rhizopus stolonifer</i>	2; 5**

\* Reproduced from Sommer (1985) with permission of the Canadian Journal of Plant Pathology.

\*\* Reproduced from Dennis and Cohen (1976).

*Rhizopus stolonifer*



...ma la TEMPERATURA ha EFFETTI anche sulla CONSERVAZIONE DEI FRUTTI (SULL'OSPITE)

Le temperature ottimali di conservazione DEI FRUTTI possono variare con le varietà nell'ambito di una stessa specie :

Es. le mele Golden si conservano a temperature superiori alle Granny Smith

TABLE 7

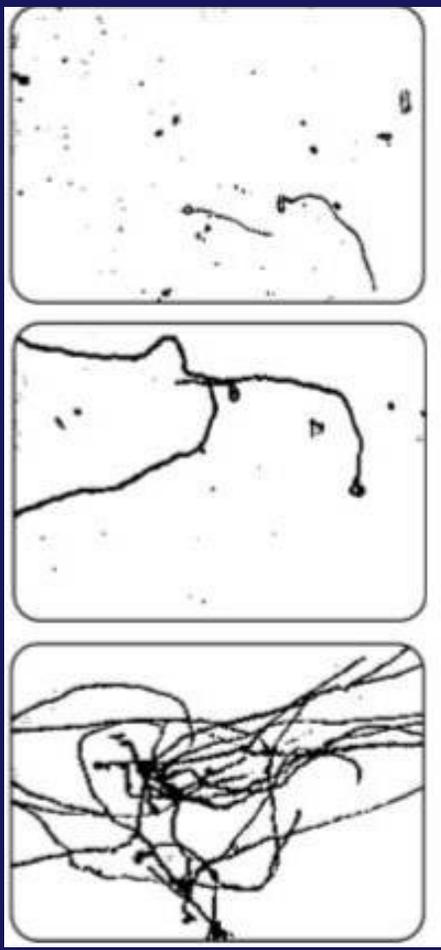
Recommended storage conditions for fruits <sup>1, 2</sup>

Commodity	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
<b>Apple</b>		
Bramley's Seedling	3 to 4	90 – 95
Cox's Orange Pippin	3 to 3.5	90 – 95
Crispin (Mutsu)	1.5-2	90 – 95
Discovery	3.5	90 – 95
Golden Delicious	1.5 to 2	90 – 95
Granny Smith	-1 to 0	90 – 95
Jonathan	3 to 3.5	90 – 95
McIntosh	1.5 to 3.5	90 – 95
Red Delicious	3.5 to 4	90 – 95
Rome Beauty	1 to 2	90 – 95
Spartan	0 to 0.5	90 – 95

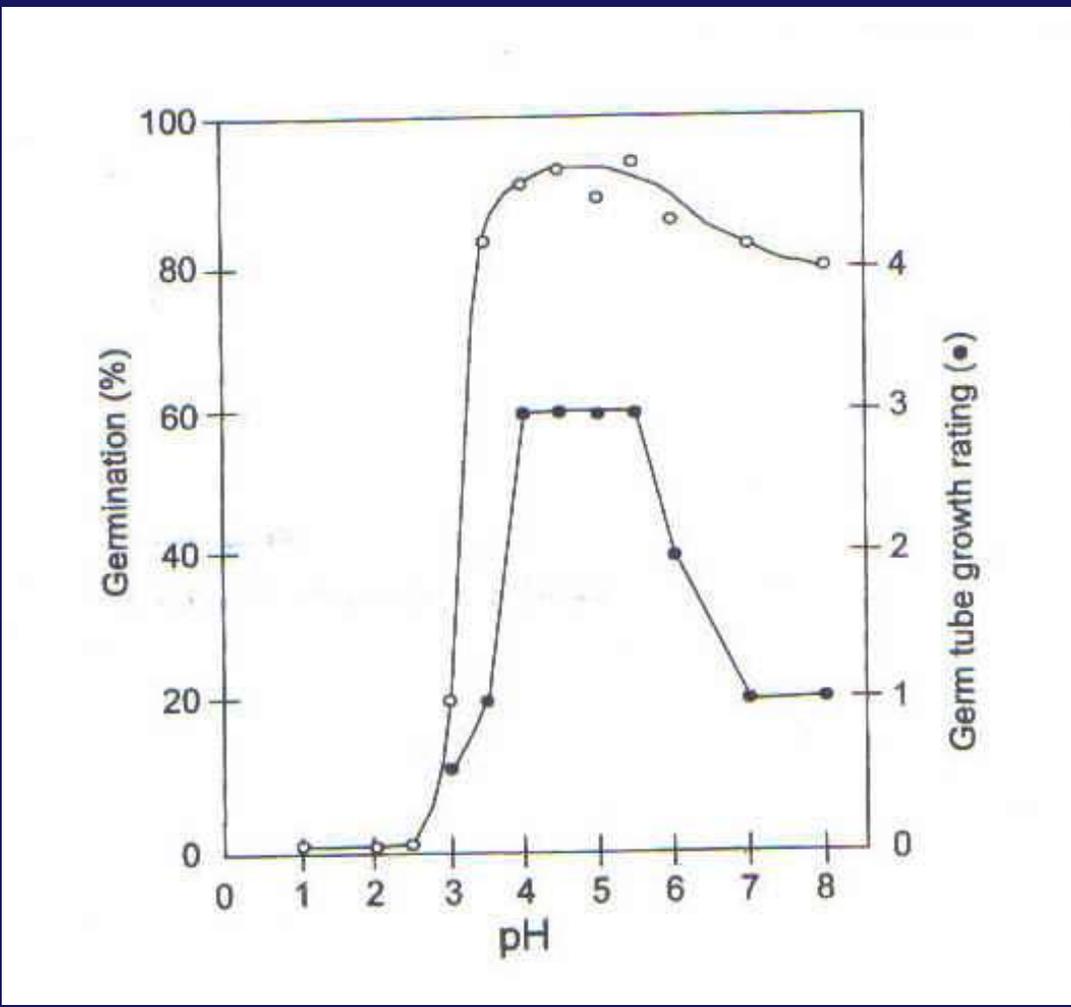
# FATTORI AMBIENTALI CHE INFLUENZANO LO SVILUPPO DI MALATTIE IN POST RACCOLTA

- TEMPERATURA
- pH DEI TESSUTI 
- COMPOSIZIONE ATMOSFERICA
- UMIDITA' AMBIENTALE

Effetti del ph sulla germinazione dei conidi e sulla lunghezza del tubulo germinativo di *P. digitatum* in succo di arancia a diversi pH



Conidi germinanti



## AMBIENTE favorevole

Il pH dell'ospite ne condiziona fortemente la suscettibilità ai marciumi

I BATTERI sono più suscettibili dei funghi alle variazioni di pH

Impediti da pH al di sotto di 5

capaci di tamponare l'ambiente in cui si sviluppano

ATTACCANO SOPRATTUTTO GLI ORTAGGI

FOGLIE, TUBERI, RADICI (A PH SUB ALCALINO)



*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*

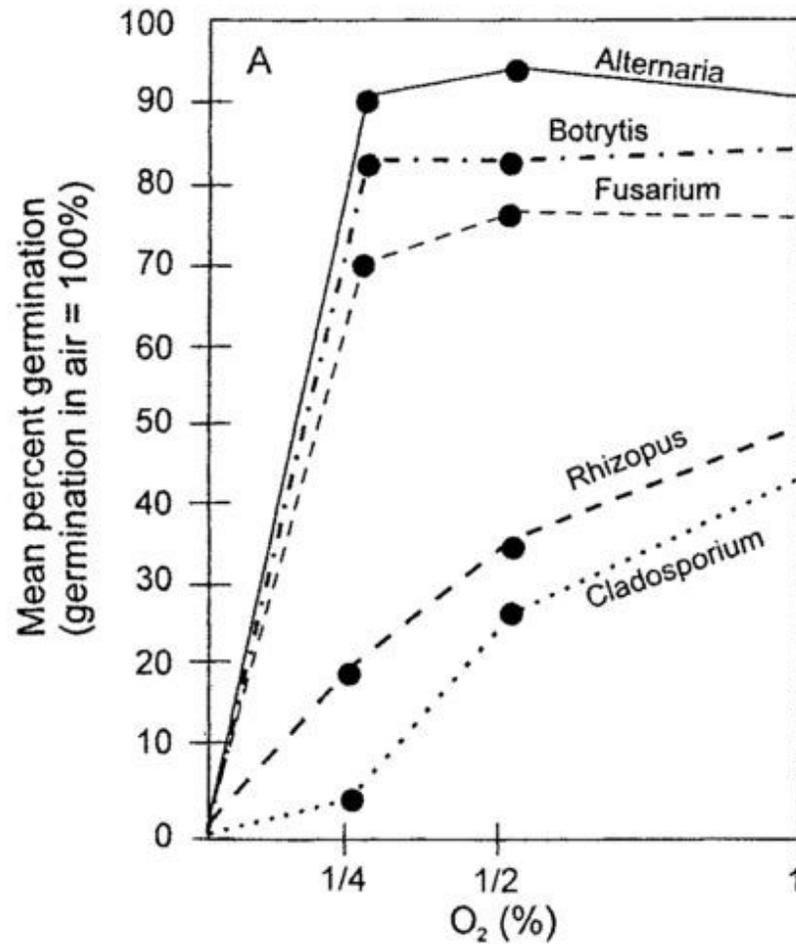
# FATTORI AMBIENTALI CHE INFLUENZANO LO SVILUPPO DI MALATTIE IN POST RACCOLTA

- TEMPERATURA
- pH DEI TESSUTI
- COMPOSIZIONE ATMOSFERICA
- UMIDITA' AMBIENTALE



# INFLUENZA DELLA COMPOSIZIONE ATMOSFERICA SUL PATOGENO : l'atmosfera modificata (riduzione O<sub>2</sub>)

Riduzione della germinazione conidica di specie patogene fungine al variare della concentrazione di ossigeno.



## INFLUENZA DELLA COMPOSIZIONE ATMOSFERICA SUL PATOGENO : l'atmosfera modificata (aumento CO<sub>2</sub>)

Riduzione della germinazione conidica di specie patogene fungine al variare della concentrazione di anidride carbonica.

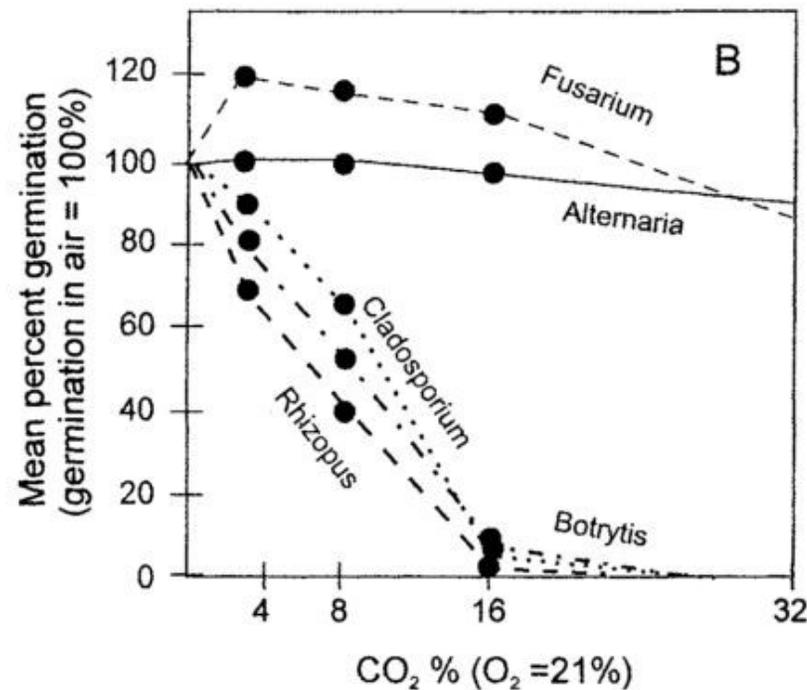


Fig. 23. Germination of *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium roseum*, and *Rhizopus stolonifer* in atmospheres containing different concentrations of oxygen (A) and different concentrations of CO<sub>2</sub> (B). Data are mean percents of controls germinated in air. (Reproduced from Wells

# FATTORI AMBIENTALI CHE INFLUENZANO LO SVILUPPO DI MALATTIE IN POST RACCOLTA

- TEMPERATURA
- pH DEI TESSUTI
- COMPOSIZIONE ATMOSFERICA
- UMIDITA' AMBIENTALE



# INFLUENZA DELL'UMIDITA' AMBIENTALE SUI PATOGENI

## SUI PATOGENI

- INFLUENZA : LA GERMINAZIONE DELLE SPORE  
LA MOLTIPLICAZIONE DEI BATTERI

## SULL'OSPITE

- INFLUENZA LA TRASPIRAZIONE ED IL TURGORE

# EFFETTI DI U.R. E TEMPERATURA SULLA RESISTENZA DELL'OSPITE



## IL CURING degli agrumi : trattamento per aumentare la conservabilità dei frutti

- TEMPERATURA 30-36 °C
- UMIDITA' AMBIENTALE 96%



- FORMAZIONE DI BARRIERA DI LIGNINA SOTTO IL FLAVEDO
- AUMENTO SOSTANZE ANTIFUNGINE
- RITARDO DELLA SENESCENZA



**AUMENTO RESISTENZA AI MARCIUMI DEI FRUTTI**

# IL CURING degli agrumi

30-36 °C Ritardo senescenza

U.R. 96% Barriera di lignina sotto il flavedo

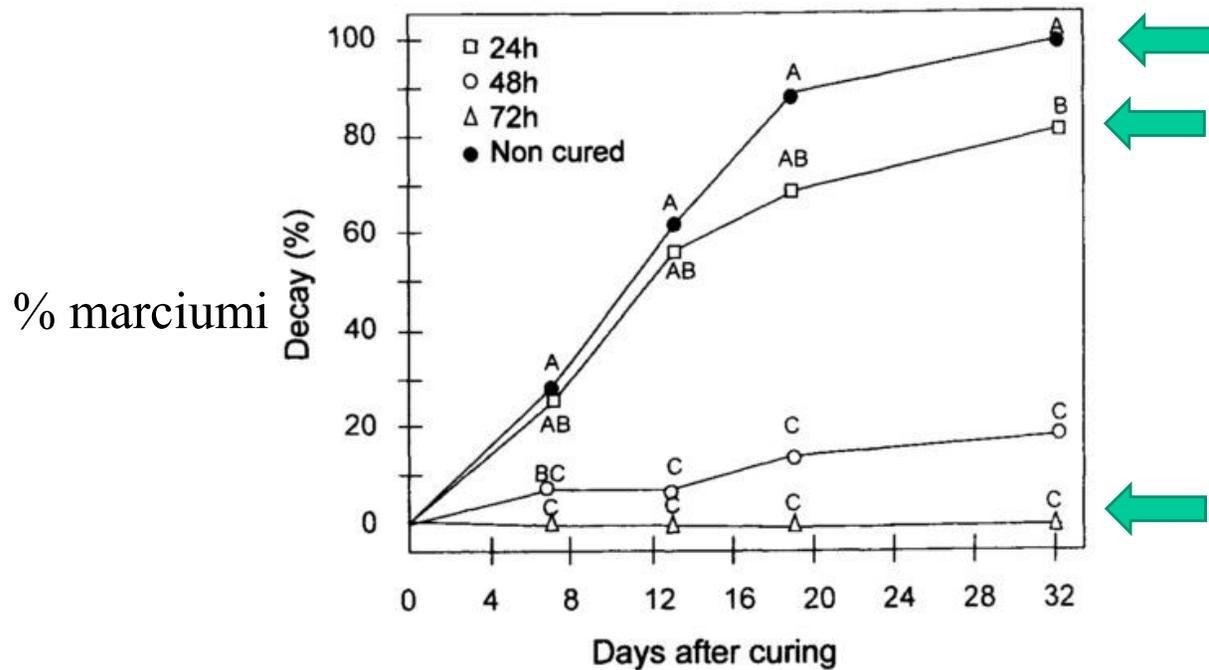


Fig. 17. Effect of duration of the curing period at 36°C on percent decay of inoculated pummelo at 17°C. (Reproduced from Ben-Yehoshua et al. 1988).

72 ore di curing riducono la % di marciumi

Riduzione dei marciumi di frutti di pummelo con trattamenti di *curing* di diversa durata (24,48 e 72 °C ore).