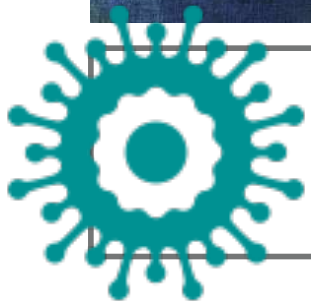


Università degli Studi di Trieste –  
A.A. 2020-2021

Corso di Studio in Scienze e  
Tecnologie Biologiche  
III anno – II Semestre

~~Aula A - Edificio A~~

M-TEAMS

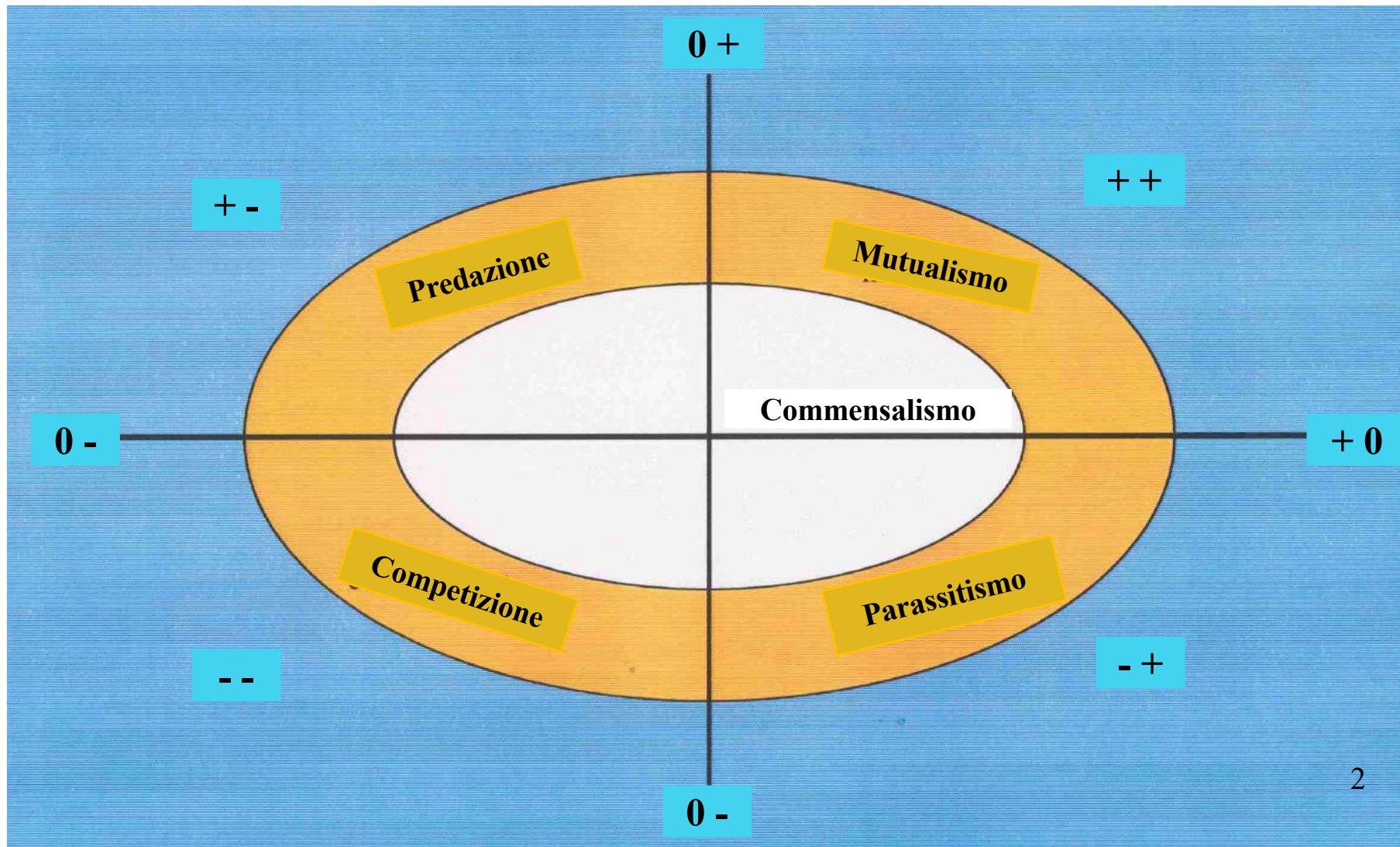


**ECOLOGIA**  
**Prof. Monia Renzi (BIO/07)**  
mrenzi@units.it

(\*) Il materiale didattico fornito dal docente può contenere parti o immagini soggette a copyright, la diffusione e/o riproduzione non è autorizzata.

# Interazioni tra due specie

L'effetto che una specie può avere sulla crescita demografica di un'altra specie può essere negativo (-), positivo (+) o nullo (0). Teoricamente quindi popolazioni di due specie possono interagire in vari modi diversi. Nella figura che segue sono indicate le principali interazioni tra due specie con gli effetti sulle popolazioni:



# PREDAZIONE E PARASSITISMO

**Predazione e parassitismo sono esempi familiari di interazioni tra due popolazioni che sfociano in effetti negativi sullo sviluppo e la sopravvivenza di una popolazione ed in effetti benefici o positivi sull'altra popolazione. Quando il predatore è un consumatore primario (normalmente un animale), e la preda o "l'ospite" è un produttore primario (una pianta), l'interazione è chiamata erbivoria.**

**Allelopatia o antibiosi sono termini comunemente usati per definire l'interazione in cui una popolazione produce sostanze pericolose per la popolazione antagonista. Parallelamente, ci sono numerose interrelazioni di tipo " + e".**

# **PREDAZIONE**

**La predazione rimuove individui dal livello trofico inferiore, e la maggiore conseguenza di questa rimozione è la prevenzione della dominanza tra le specie preda. La predazione quindi favorisce la diversità attraverso il meccanismo noto come Principio del raccolto. Questo effetto è stato dimostrato sperimentalmente rimuovendo i predatori terminali ed ottenendo una drastica riduzione della diversità nelle prede e l'insorgere di fenomeni competitivi da parte di quelle specie non più predate.**

**Gli erbivori che agiscono come predatori per le piante, nello stesso modo, favoriscono la diversità del regno vegetale. Proprio come quando il superpascolo facilita i fenomeni di invasione delle erbacce in aree coltivate con una o poche specie diverse di foraggio.**

# PREDAZIONE

**Forti tassi di predazione sui semi prodotti da alberi di uno stesso gruppo tassonomico nelle foreste tropicali, sono importanti per il mantenimento di un'elevata diversità di specie impedendo il preriempimento dello spazio aereo disponibile per la chioma degli alberi da parte di una sola specie ad elevata fitness.**

**I giaguari della foresta amazzonica sono probabilmente di vitale importanza per il mantenimento della diversità tra i granivori.**

**Lupi e leoni predano ungulati, ma il loro consumo di prede è limitato dalla efficienza degli strumenti di difesa delle prede stesse e ciò non consente a questi predatori di controllare efficacemente l'eventuale sviluppo esponenziale degli ungulati quando i pascoli sono fertili.**

# PREDAZIONE: PREDATORI E PREDE SULLA ISLE ROYALE

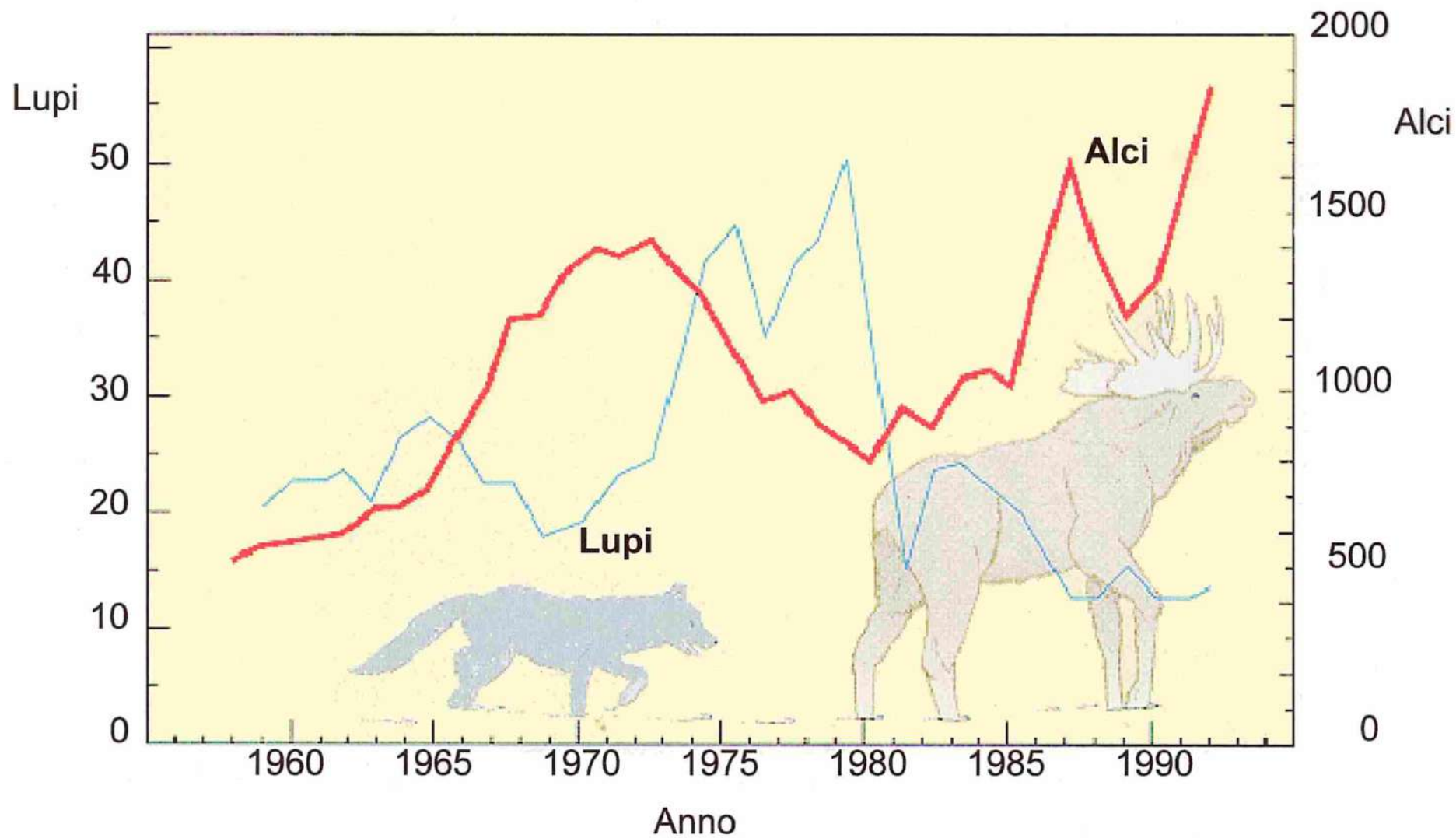
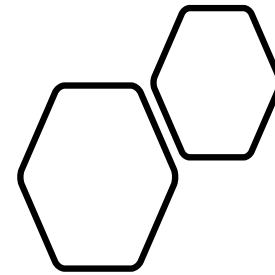






Foto del diario

© Nello Alberti



**Nello Ollen Alberti**

Particolare della Ghiandaia marina con pred

Foto del diario · 25 marzo 2013 ·

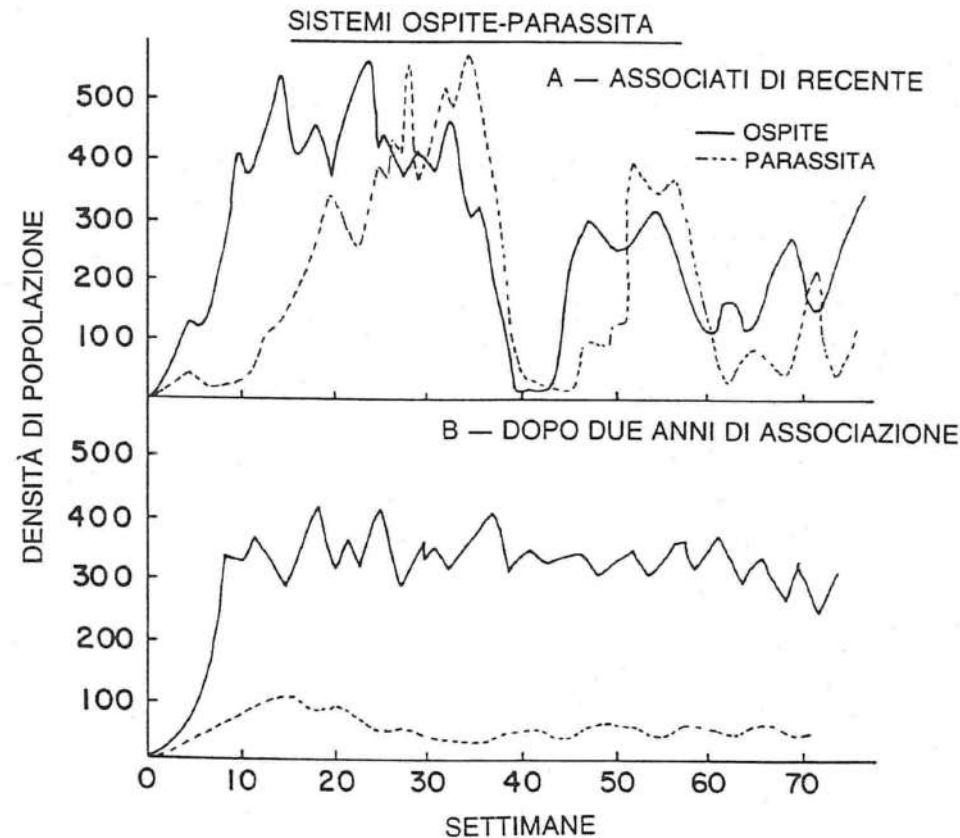


# PARASSITISMO



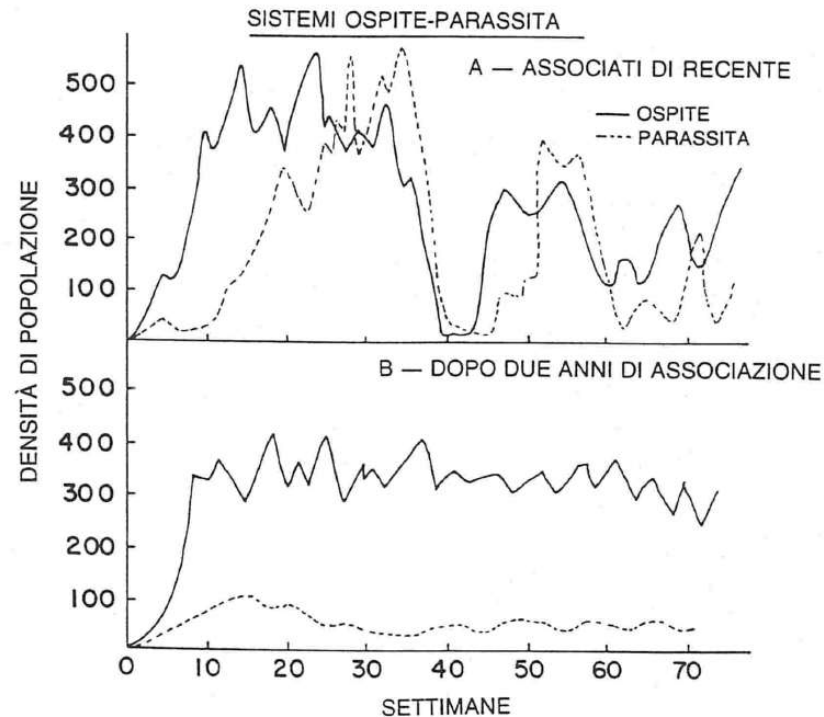
Molto di quel che è stato detto circa la predazione è valido anche per il parassitismo. Infatti, i parassiti e i predatori formano un gradiente più o meno continuo dai minuscoli batteri e virus che vivono all'interno del tessuto dell'ospite ai grandi carnivori che girano in libertà per l'ecosistema.<sup>9</sup>

Sebbene il parassitismo e la predazione siano simili in termini di interazioni ecologiche (+ -), si riscontrano differenze importanti nei punti estremi di ciascuna situazione. Gli organismi parassiti generalmente hanno tassi riproduttivi più alti e mostrano una specificità dell'ospite superiore rispetto a quanto fanno la maggior parte dei predatori. Inoltre, spesso sono più specializzati nella struttura, nel metabolismo, e nel ciclo vitale, come richiesto dal loro ambiente specifico e dal problema della diffusione da un ospite all'altro. Alcune intere classi e ordini di organismi, come i Cestodi tra i Platelmini e gli Sporozoi tra i Protozoi, si sono adattati al parassitismo. Le specie più specializzate hanno cicli vitali molto complessi che includono una successione di tessuti ospiti e addirittura un'alternanza di specie ospiti, come nel caso del Plasmodium, il parassita che causa la malaria negli uomini e negli altri animali. Le specie del Plasmodium si alternano tra le zanzare e i vertebrati durante diversi periodi del loro ciclo vitale, e ogni specie parassita un diverso ospite vertebrato.



**Sviluppo dell'omeostasi nell'interazione ospite (*Musca domestica*) e parassita (*Nasonia vitropennis*). Le due popolazioni vengono allevate in laboratorio in gabbiette a più scomparti.**

**A - Le popolazioni recentemente associate (ceppi selvatici messi insieme per la prima volta) oscillano violentemente, prima l'ospite (mosca) e poi il parassita (vespa): la densità aumenta e poi "crolla".**

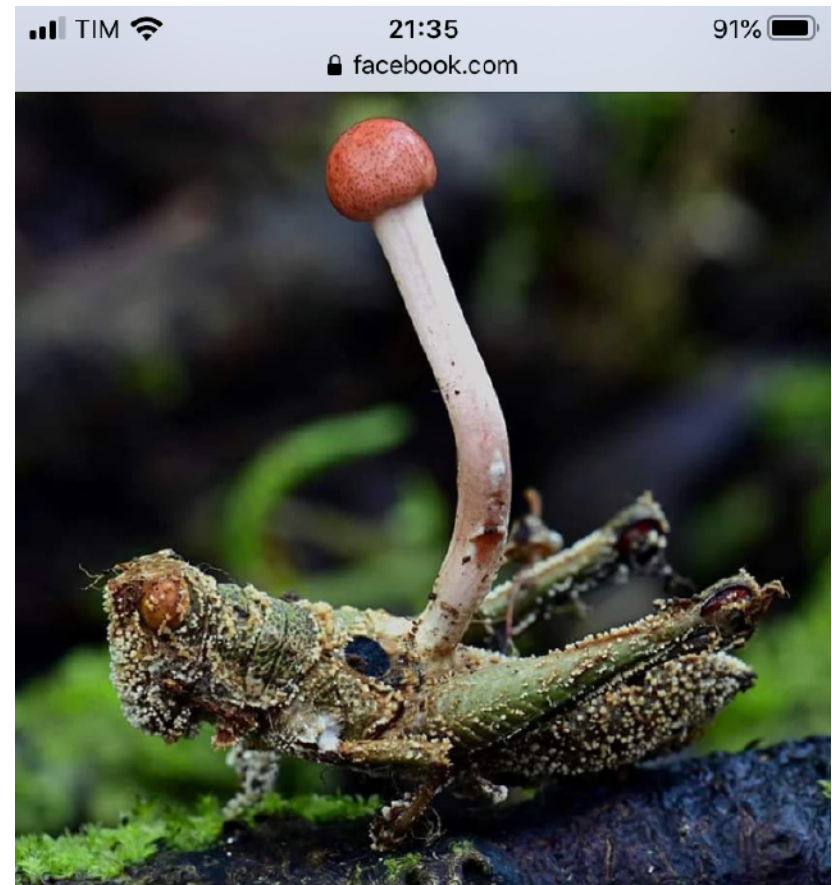


**B. Popolazioni che derivano da un'associazione di due anni, coesistono in un equilibrio più stabile, senza crolli. La resistenza adattativa che si è sviluppata nell'ospite è indicata dal fatto che la natalità del parassita è notevolmente ridotta (46 discendenti per femmina contro i 133 nel sistema associato di recente), e la popolazione parassita ha una densità molto più bassa.**

**L'esperimento dimostra che il feed-back genetico può funzionare nei sistemi di popolazione sia come meccanismo di controllo che come meccanismo di stabilizzazione.**



## LAMPREDE PARASSITI DI UN PESCE



### Biologica

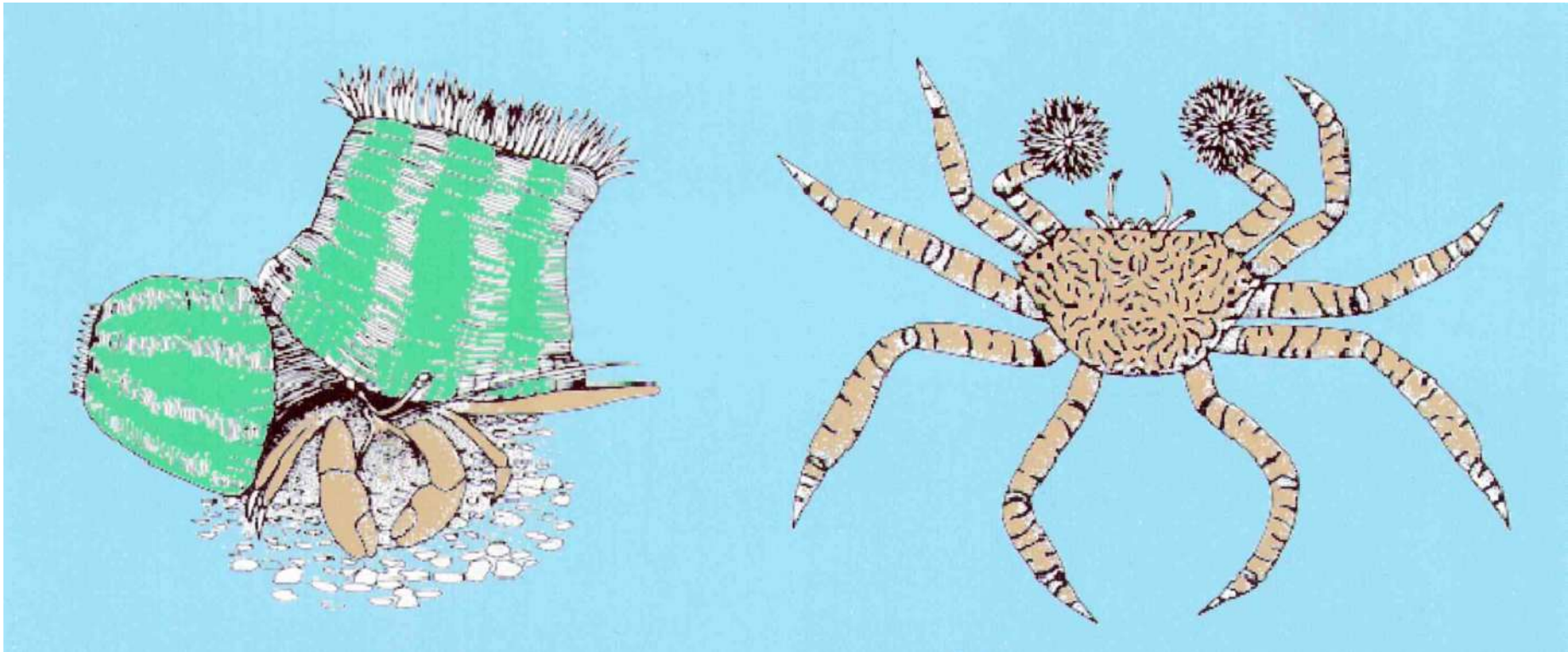
Questo fungo appartiene al genere *Ophiocordyceps* (l'autore della foto ritiene si tratti per la precisione di *Ophiocordyceps amazonica*), e lo scatto impressionante fatto in Ecuador lo mostra sbucare dalla carcassa di una cavalletta. Si tratta di funghi parassiti d'insetti, detti anche entomopatogeni. Ce ne sono molte specie, non formano un raggruppamento unitario ma sono sparsi tra famiglie, ordini e anche classi differenti, risultando evolutivamente distanti tra di loro ma accomunate dal bersagliare in maniera molto specializzata determinati insetti che uccidono e



# PROTOCOOPERAZIONE

Se le due specie si avvantaggiano l'un l'altra, ma non sono essenziali per la sopravvivenza reciproca, la relazione è solitamente chiamata **proto cooperazione (+ +)**.

**Il granchio *Lybia tessellata* porta sulle chele due anemoni del genere *Triactis***



**L'anemone *Calliactisi tricolor* sopra un granchio eremita**

# MUTUALISMO

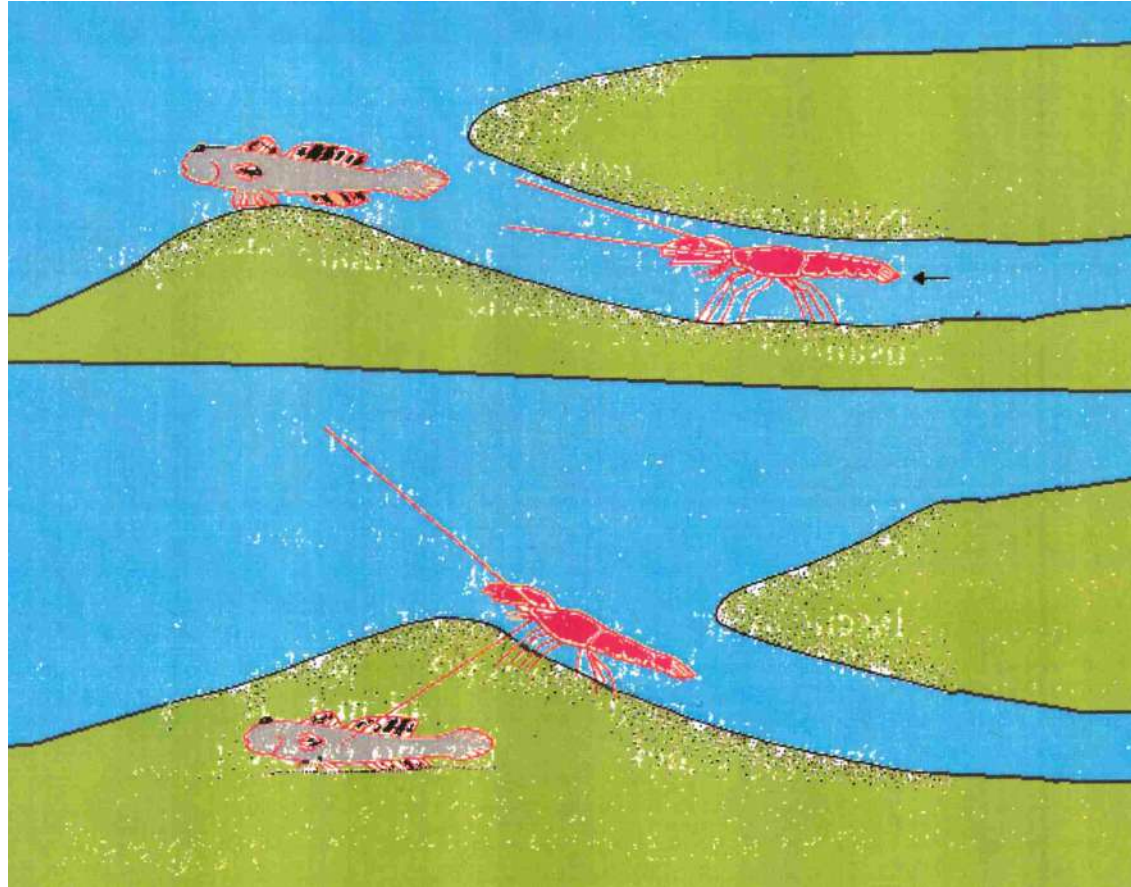
Se la relazione è così stretta, tanto da essere irreversibile e necessaria alla sopravvivenza di entrambe le specie, l'interazione viene chiamata **mutualismo** (+ +)



**LE BUFAGHE SI NUTRONO DELLE ZECHE CHE INFESTANO  
IL RINOCERONTE BIANCO IN KENIA**



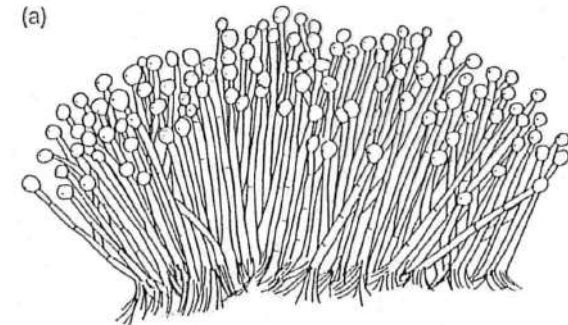
# MUTUALISMO



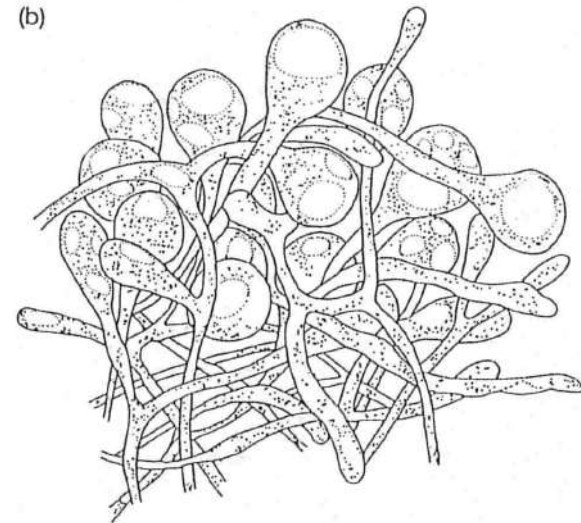
**Il gamberetto Alpheus djiboutensis e il pesce Cryptocentrus cryptocentrus.**

# MUTUALISMO

**(a) Il fungo dell'ambrosia che viene coltivato nei cunicoli dal coleottero Xyleborus xylographus.**



**(b) Una frazione del micelio nella fungaia della formica sudamericana Moellerius, in cui si possono vedere i corpuscoli rigonfi, a forma di cavolorapa, che vengono usati dalle formiche come cibo.**



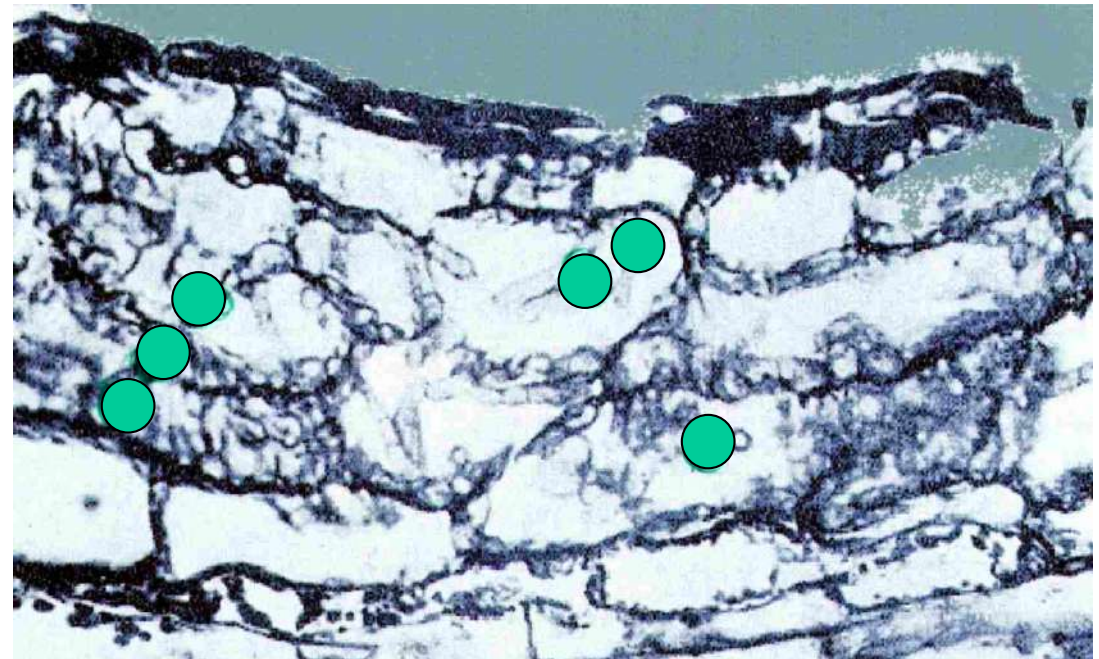
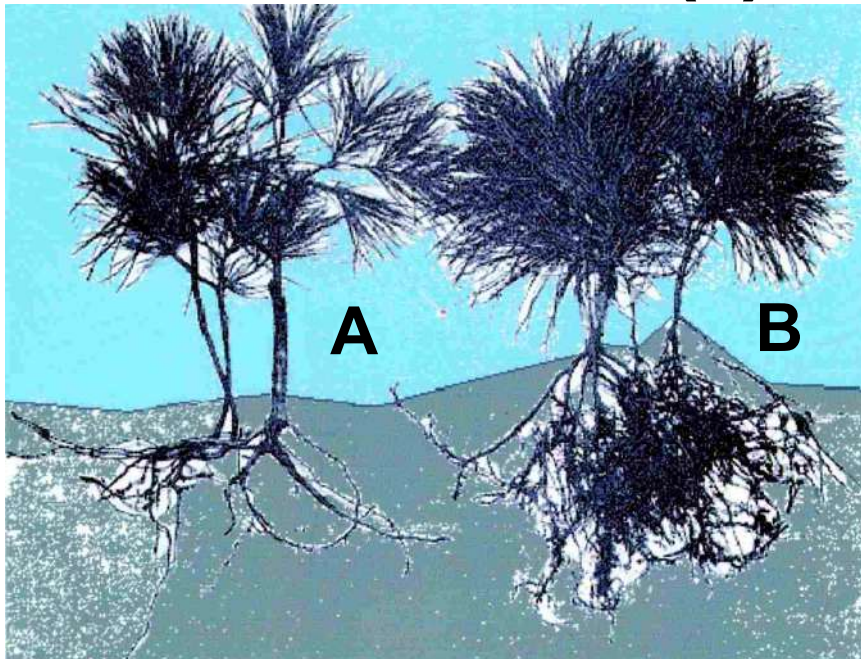


Molti casi di mutualismo coinvolgono un autotrofo e un eterotrofo; generalmente il primo opera la produzione con la fotosintesi, ed il secondo fornisce protezione e nutrienti all'organismo autotrofo.

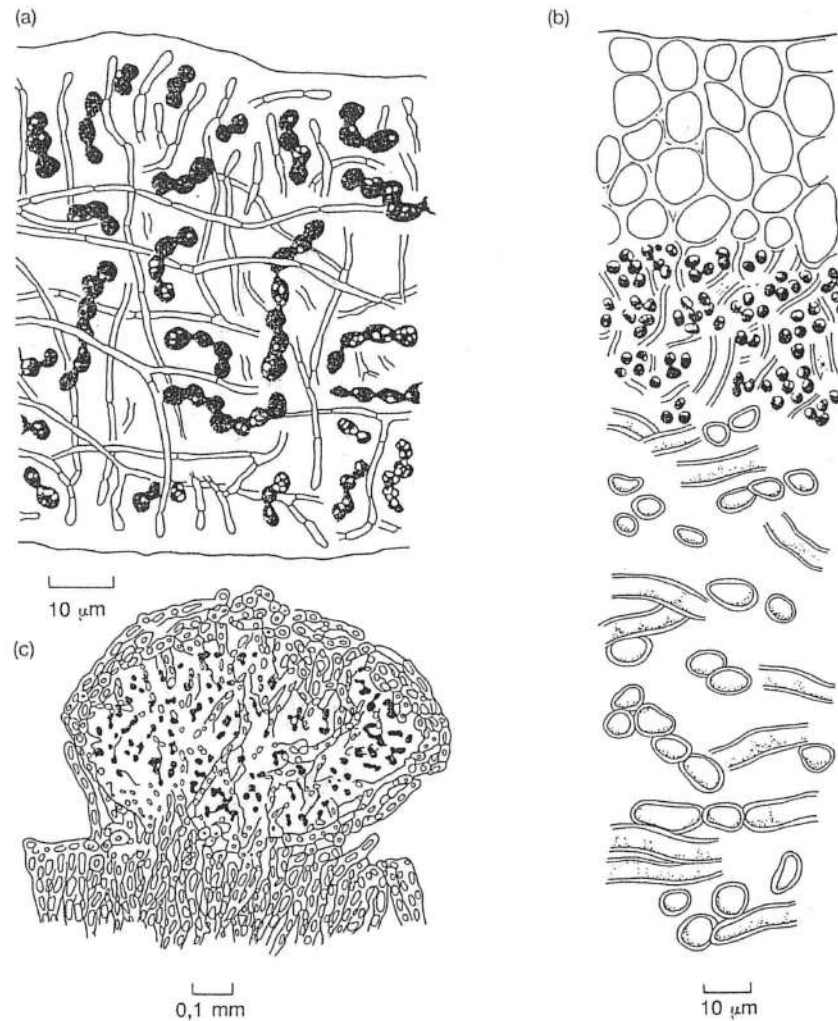
Esempi eccellenti sono i coralli e le micorrizze.

# MICORRIZZE ECTOTROFICHE ED ENDOTROFICHE

**Pianticelle di *Pinus strobus* di tre anni prive di micorrizze (A) e con micorrizze ectotrofiche (B)**

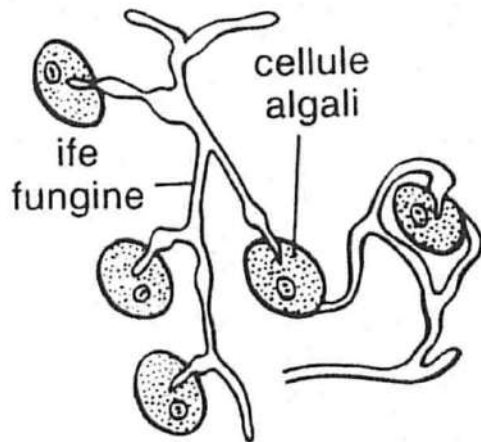


**Micorrizze endotrofiche con il micelio fungino penetrato all'interno delle cellule della radice**

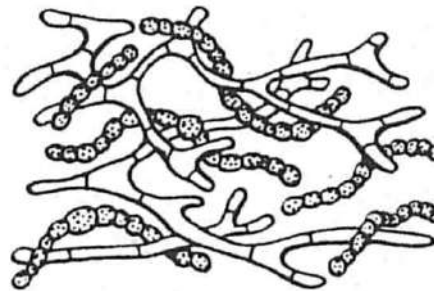


**La struttura di alcuni corpi lichenici. (a) Un semplice lichene a due membri, per esempio Collema con cellule algali distribuite in tutto il corpo fungino. (b) Un sistema più strutturato in cui le alghe sono confinate a uno strato centrale, (c) Una sezione condotta attraverso una struttura di dispersione specializzata (cefalodio) contenente cellule algali azzurre.**

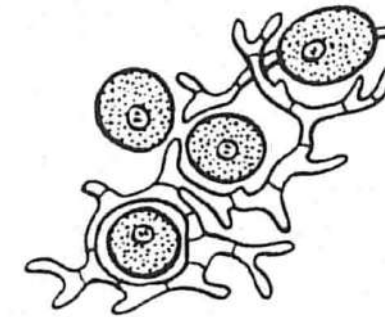
**A**  
Le ife fungine  
Penetrano  
nelle  
cellule algali



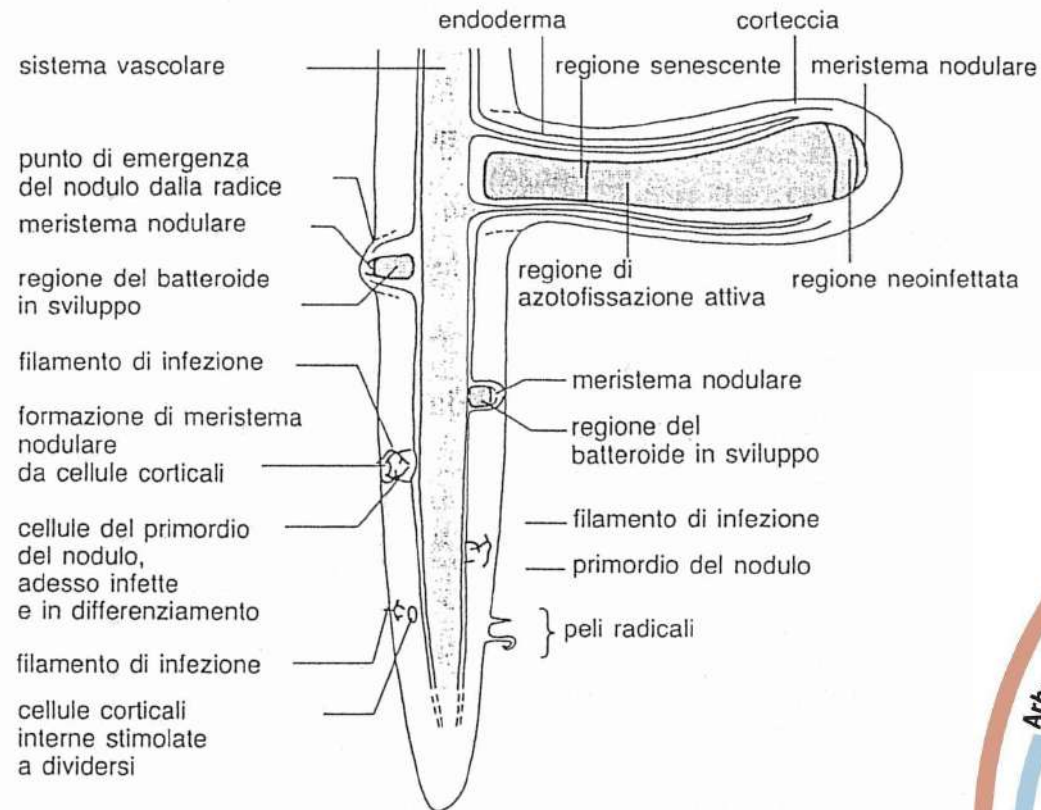
**B**  
Le ife fungine  
si mescolano  
con i  
filamenti algali



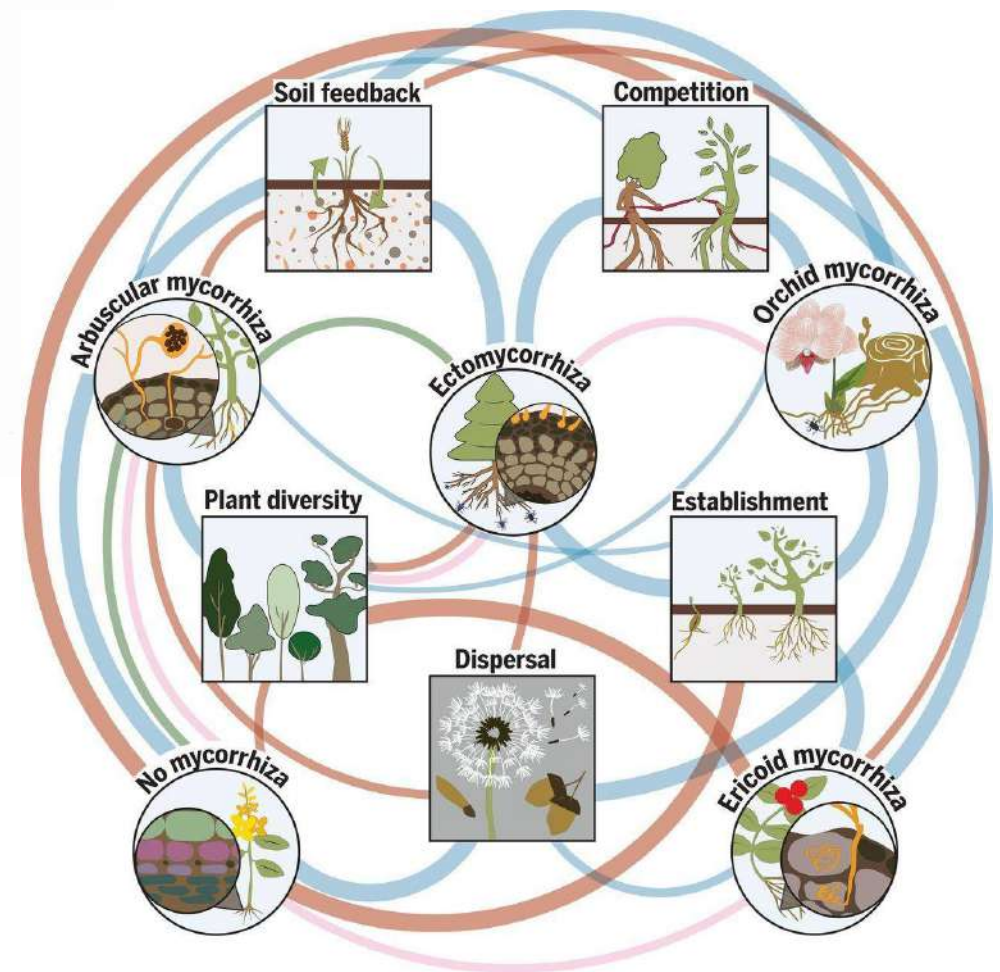
**C**  
Le ife fungine  
sono  
strettamente  
addossate alle  
cellule algali  
ma non  
penetrano  
in esse



**Evoluzione dal parassitismo al mutualismo nei licheni. In alcuni licheni primitivi (A) il fungo penetra all'interno dell'alga unicellulare; nelle specie più progredite i due organismi vivono in stretta associazione mutualistica con reciproco vantaggio (B e C).**



**Lo sviluppo della struttura del nodulo radicale nel corso dello sviluppo dell'infezione di una radice di leguminosa per opera di batteri rizobi.**





**DOMANDE??**



## 1. L'interazione tra preda e predatore



**La predazione può avere diffusi effetti ecologici, evolutivi ed economici sulle comunità biologiche sia di habitat naturali che gestiti dall'uomo.**

- 1. La predazione, per esempio, può essere una potente forza evolutiva con la selezione naturale che favorisce i predatori più efficaci e le prede meno vulnerabili.**

# 1. L'interazione tra preda e predatore



**2. I predatori possono drammaticamente influenzare l'abbondanza e la distribuzione delle popolazioni delle loro prede.**

**3. Le diverse abitudini alimentari dei predatori formano legami che sono responsabili del flusso di energia lungo le catene alimentari, influenzando quindi le dinamiche della rete trofica.**

## 1. L'interazione tra preda e predatore



**4. I predatori possono agire come specie *keystone*, prevenendo la dominanza del competitore superiore sulla comunità e promuovendo la biodiversità ad i più bassi livelli trofici.**

**5. l'invasione di ecosistemi nativi da parte di predatori esotici hanno spesso effetti veramente negativi sulle specie di preda residenti.**

## 1. L'interazione tra preda e predatore



**6. I predatori invertebrati sono stati usati come validi agenti di controllo dei parassiti delle colture, aumentando la resa dei raccolti senza le conseguenze negative dei pesticidi.**

**Quindi, in un contesto sia teorico che applicativo, è imperativo comprendere i processi di predazione ed i suoi complessi effetti sulle interazioni tra le specie, dinamiche della rete trofica, e biodiversità.**

## 2. I predatori riducono le popolazioni delle prede



**L'esclusione o l'aggiunta di predatori in una popolazione naturale di prede fornisce la prova che i predatori possono infatti ridurre le popolazioni dei loro ospiti in alcuni casi in modo significativo. I predatori rappresentano il controllo naturale delle popolazioni di prede.**

**Un esempio classico coinvolge la mandria del cervo mulo sul Kaibab Plateau sul bordo settentrionale del Grand Canyon in Arizona. Prima del 1905, la mandria di cervi mulo contava circa 4000 individui, ma è esplosa più di 10 volte nel corso dei successivi 20 anni, quando una taglia ha portato alla scomparsa dei predatori nativi dei cervi come lupi, coyote e puma.**

## 2. I predatori riducono le popolazioni delle prede



**Il controllo biologico dei parassiti delle colture a seguito del rilascio di nemici naturali fornisce ulteriori prove del fatto che i predatori riducono le popolazioni delle prede.**

**Altro esempio deriva dall'introduzione accidentale della cocciniglia cotonosa solcata (*Icerya purchasi*) dall'Australia.**

**L'industria di agrumi della California divenne seriamente minacciata da questo grave insetto parassita. Alla fine del 1800, uno scarabeo cocciniale rapace (*Rodolia cardinalis*) è stato raccolto in Australia e successivamente rilasciato negli agrumeti della California. Poco dopo l'uscita di questo efficiente predatore, l'insetto è stato completamente controllato e l'industria di agrumi salvata dalla rovina finanziaria.**

## 2. I predatori riducono le popolazioni delle prede



**E' evidente che i predatori spesso infliggono un'elevata mortalità sulle popolazioni della preda e che in assenza di predazione le popolazioni preda spesso esplodono.**

**Ma vi sono casi in cui la rimozione del predatore non risulta in un aumento della densità delle prede.**

**Perché?**

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



I cicli di popolazione si manifestano in un diverso numero di animali che vanno dai mammiferi artici agli insetti parassiti della foresta.



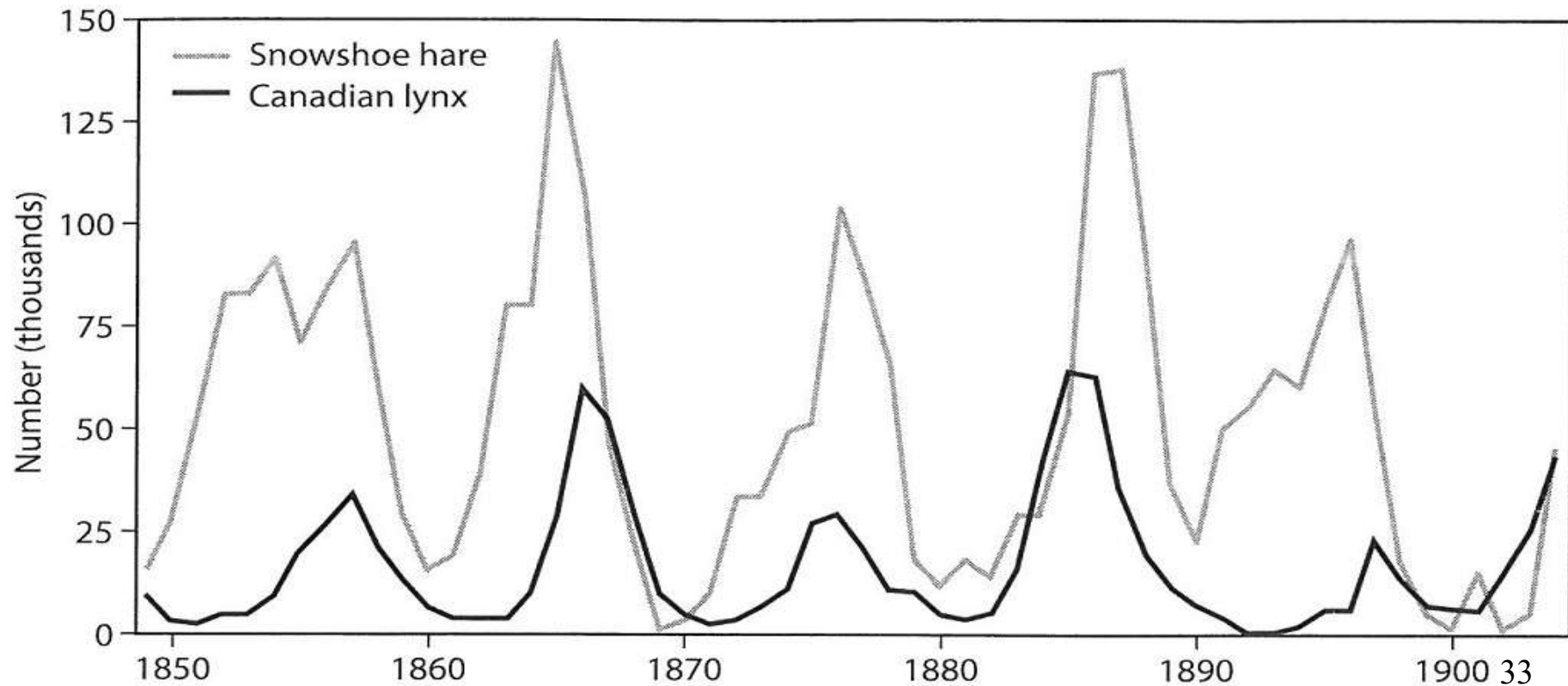
**Tradizionalmente, la predazione è uno di quei fattori che è in grado di indurre questi cicli.**





### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore

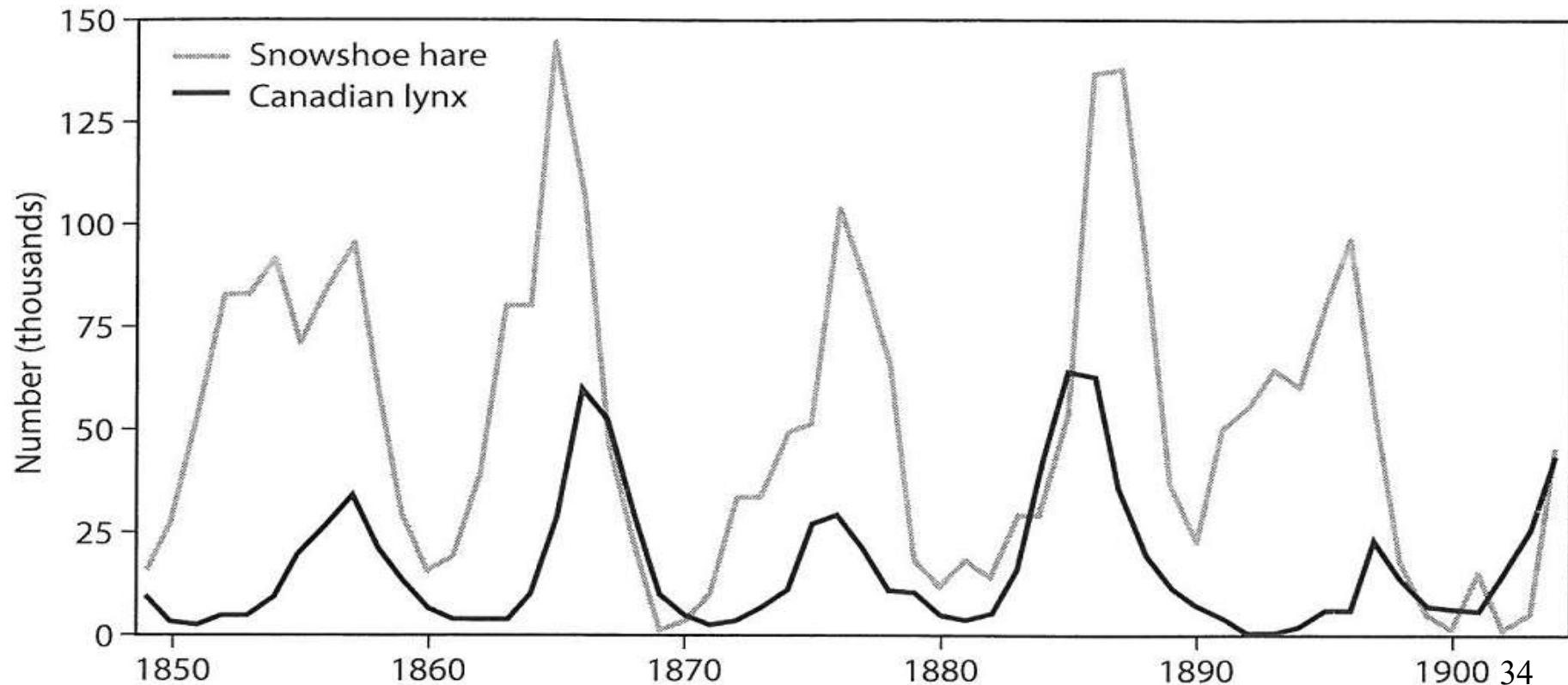
Un supporto storico secondo cui una visione accoppiata delle interazioni predatore-preda può guidare i cicli di popolazione proveniva da un'analisi di circa 100 anni di registrazioni di trappole di animali da pelliccia della Hudson Bay Company nel Canada boreale.



### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore

Un'analisi del numero di pellicce di lince e di lepri scarpa da neve ha mostrato una spettacolare ciclicità con picchi e avvallamenti dell'abbondanza che si verificano ad intervalli di 10 anni (figura sotto).

Quando le lepri erano numerose, le linci aumentavano in numero, riducendo la popolazione di lepri che a sua volta causava un declino della popolazione delle linci. Con la diminuzione della predazione, la popolazione di lepri recuperava, ed il ciclo ricominciava.

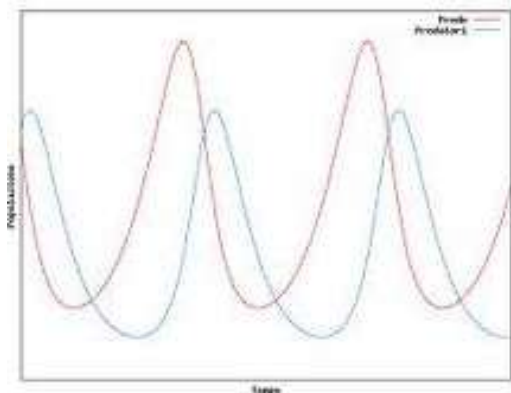


### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



I primi ecologi che modellizzarono le dinamiche cicliche delle interazioni predatore-preda furono Alfred **Lotka** (1925) e Vito **Volterra** (1926).

Entrambi derivarono indipendentemente le “equazioni preda-predatore” (**equazioni di Lotka-Volterra**).

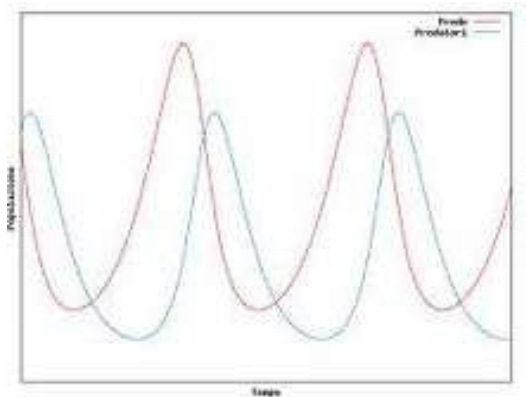


Tali equazioni descrivono le dinamiche accoppiate di un singolo predatore specializzato ed una singola preda.

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



**Le idee di Volterra erano motivate dall'osservazione dell'aumento delle popolazioni di pesci in risposta ad una diminuzione della pressione di pesca durante la I Guerra Mondiale, mentre Lotka era ispirato dall'osservazione dei cicli parassitoidi-mosche.**



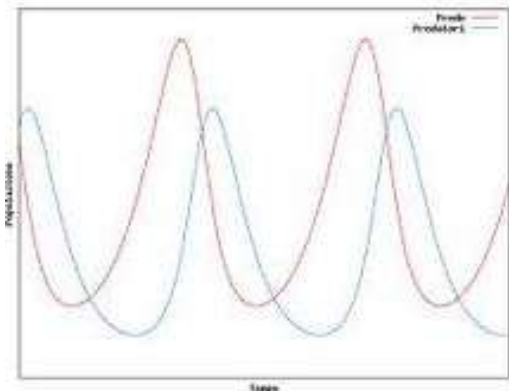
### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



Per una popolazione preda o ospite, il tasso di cambiamento della popolazione nel tempo ( $dH/dt$ ) è rappresentato dall'equazione:

$$\frac{dH}{dt} = r_h H - \alpha HP$$

dove **H** è la densità di prede,  $r_H$  è il tasso di incremento della densità delle prede (tasso di nascita),  $\alpha$  è una costante che misura la vulnerabilità delle prede e l'abilità di ricerca dei predatori, e **P** è la densità dei predatori.

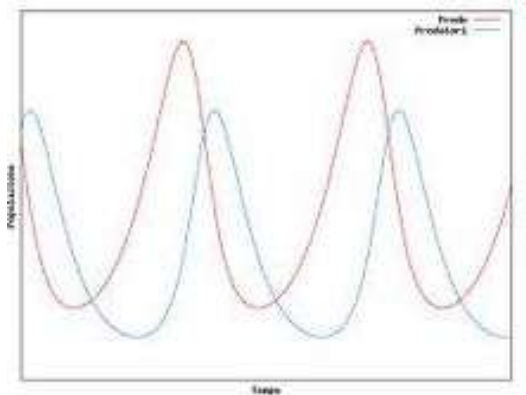


### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



$$\frac{dH}{dt} = r_h H - \alpha HP$$

Quindi l'accrescimento esponenziale della popolazione di prede ( $r_H H$ ) è bilanciata dai morti da parte dei predatori ( $\alpha HP$ ).



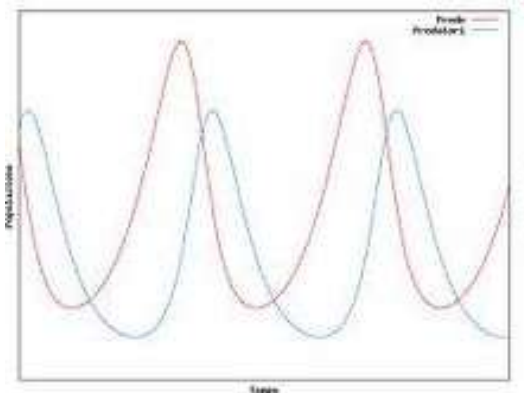
### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



Il cambiamento nella popolazione dei predatori nel tempo ( $dP/dt$ ) è mostrato da:

$$\frac{dP}{dt} = c\alpha HP - d_p P$$

Dove **c** è una costante,  **$\alpha$**  è il tasso a cui le prede sono convertite in prole della specie predatrice, e  **$dP$**  è il tasso di decremento nella popolazione dei predatori (tasso di mortalità).

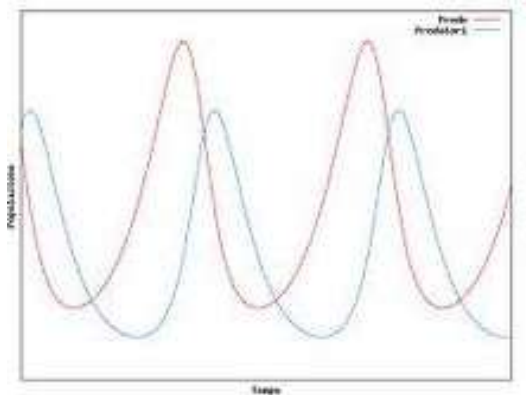


### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



$$\frac{dP}{dt} = c\alpha HP - d_p P$$

**Il tasso di mortalità della popolazione di predatori ( $-d_p P$ ) è compensato dal tasso al quale i predatori uccidono le prede e le convertono in prole ( $c\alpha HP$ ).**





### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore

Le due equazioni forniscono una soluzione periodica in cui le popolazioni di predatori e di prede oscillano in modo reciproco nel tempo (figura A). Quando le dinamiche delle popolazioni di predatori e di prede risultanti dalle equazioni di Lotka-Volterra sono tracciate in uno spazio bifasico (cioè in termini di densità del predatore vs densità della preda), risulta un neutrale ciclo limite in cui sia le popolazioni di predatori che di prede seguono un ciclo perpetuante nel tempo (figura B).

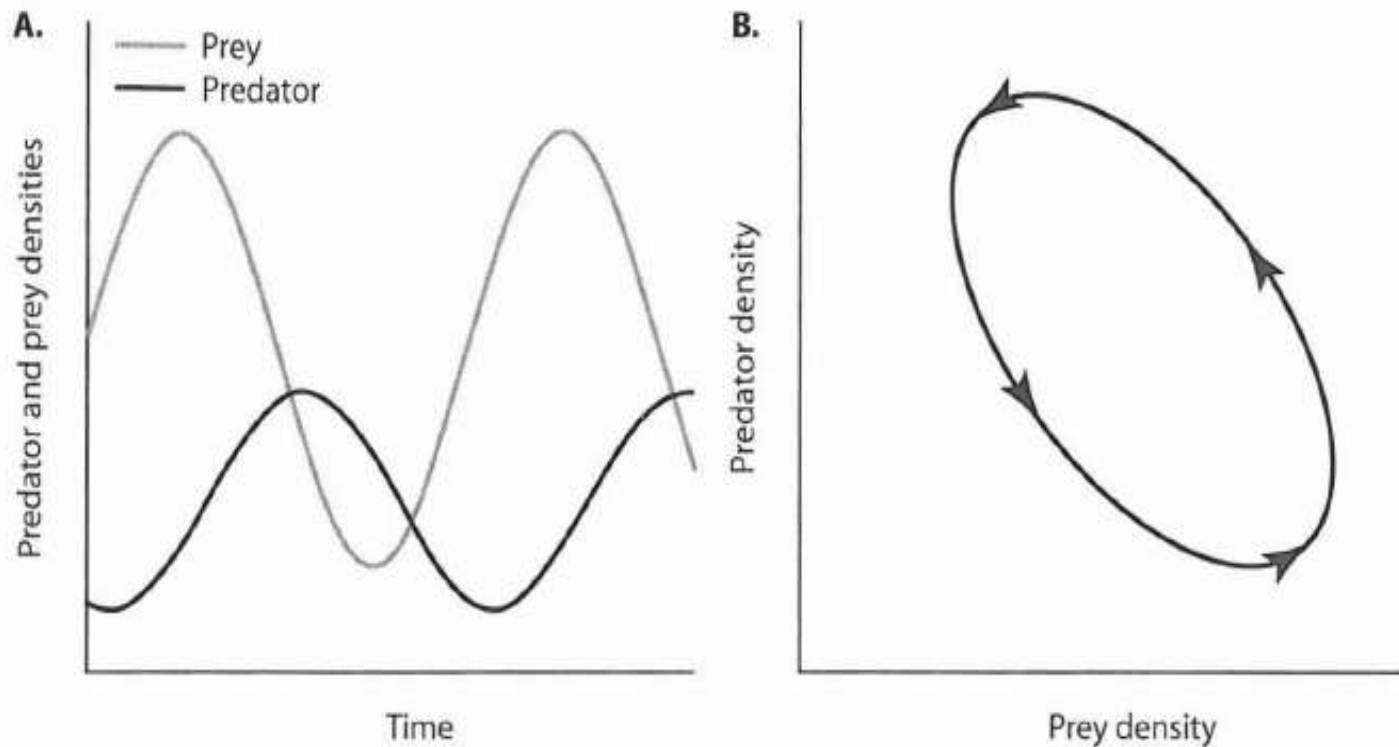


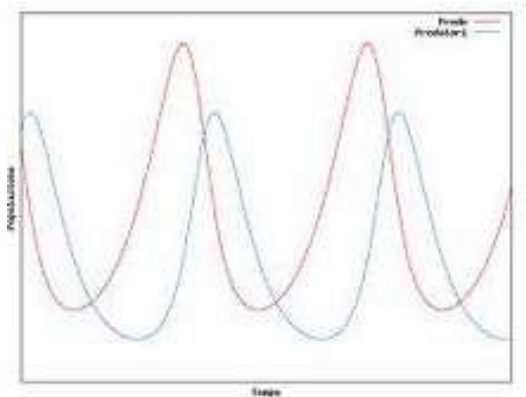
Figure 2. (A) Oscillating predator and prey populations and (B) a neutrally stable predator-prey limit cycle generated by the Lotka-Volterra equations.

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore

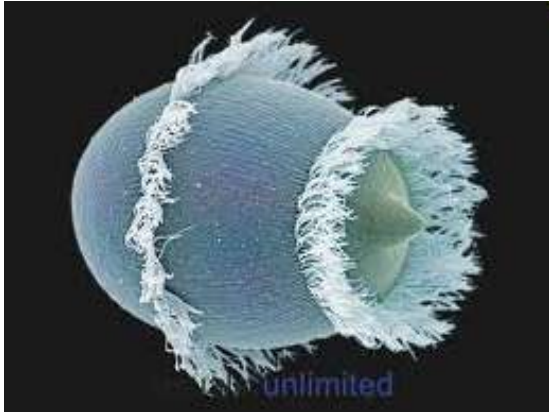


**L'osservazione che i modelli semplici potrebbero generare oscillazioni predatore-preda, ha spinto numerosi ricercatori a duplicare questi cicli persistenti in condizioni di laboratorio semplici.**

**Tuttavia, questi tentativi, spesso fallivano.**



### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*

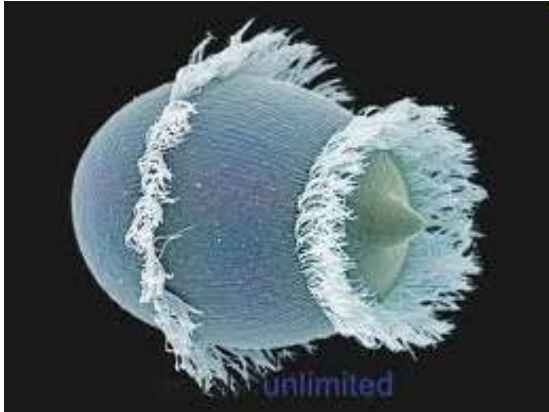
Un esempio viene da protozoo ciliato *Didinium nasutum* e la sua preda, un altro ciliato, *Paramecium caudatum*.



*Paramecium caudatum*

Cinque *Paramecium* sono stati posti in colture di laboratorio, e dopo 2 giorni sono stati aggiunti tre *Didinium*.

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*

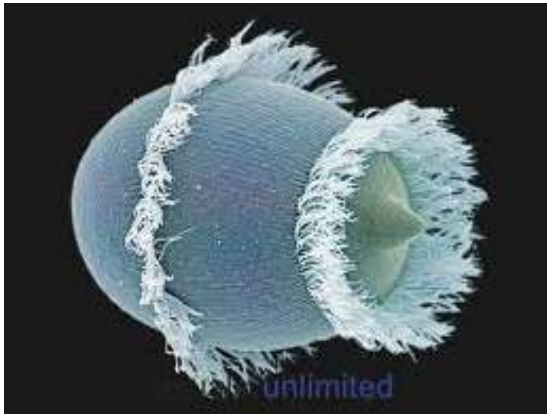
Inizialmente la popolazione di prede in assenza dei predatori è esplosa, ma con l'aggiunta dei predatori, la popolazione di *Paramecium* è stata rapidamente guidata all'estinzione.



*Paramecium caudatum*

Come conseguenza, in assenza di prede, i predatori morivano (figura A).

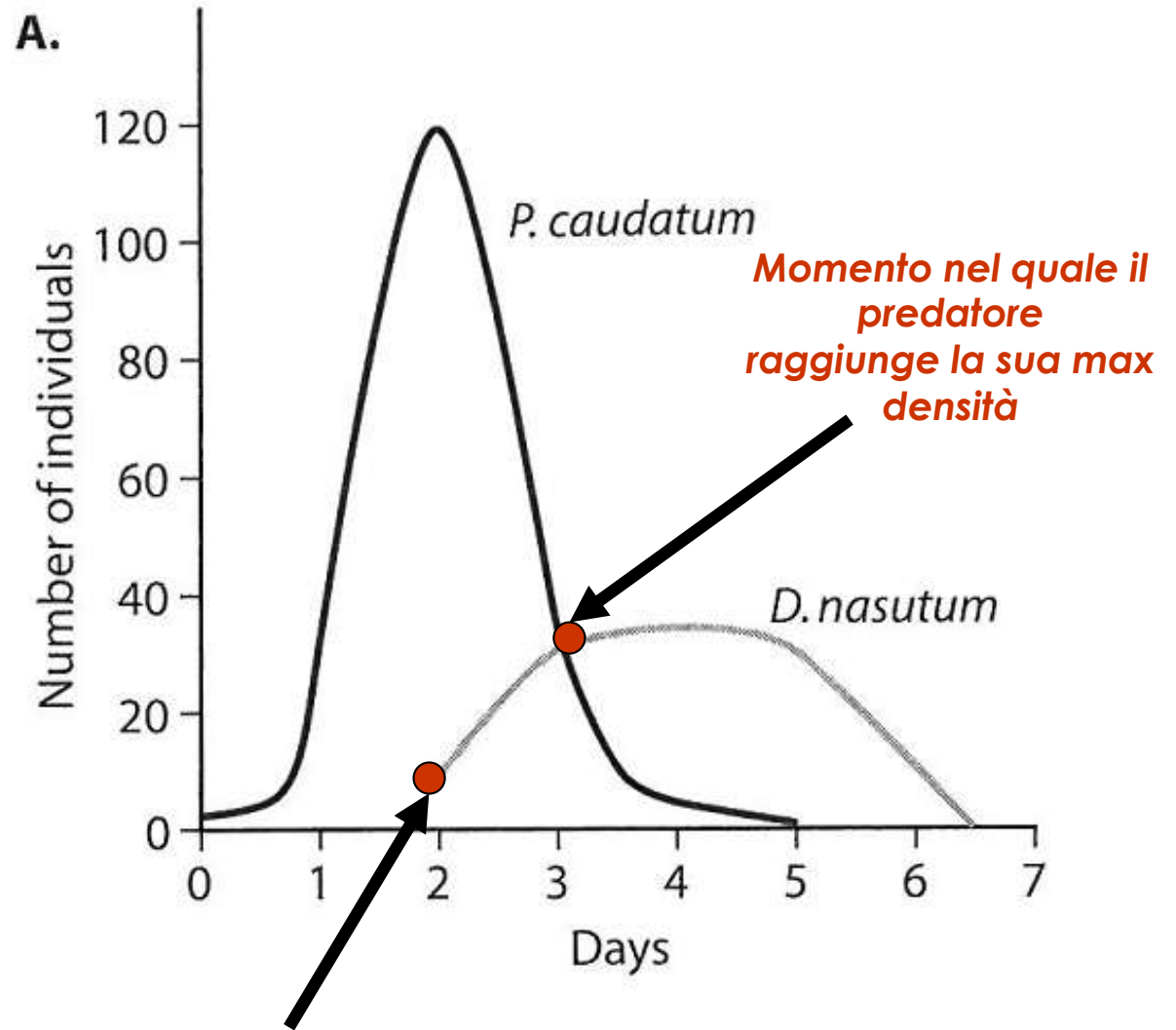
### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*  
Il predatore



*Paramecium caudatum*  
La preda



Momento di introduzione  
della preda

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



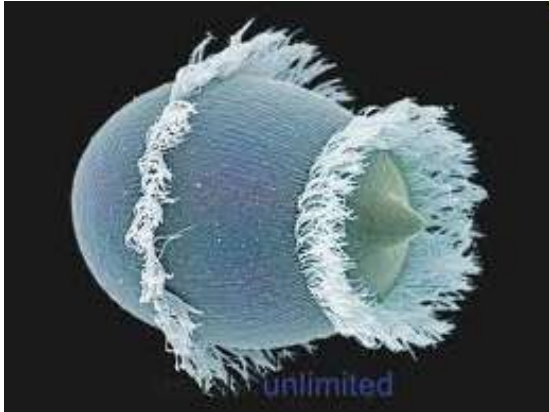
*Didinium nasutum*



*Paramecium caudatum*

Questi risultati inattesi (**ossia il fatto che il ciclo come predetto da Lotka-Volterra non si perpetuava**), e quelli provenienti da molti altri tentativi di laboratorio, hanno sollevato la domanda del perché i cicli predatore-preda non possono essere facilmente riprodotti in laboratorio, perché questi semplici sistemi sono di natura instabile, e perché le interazioni predatore-preda non persistono nel tempo.

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*

**E' necessario capire di più sul perché una preda non è guidata all'estinzione ad elevate densità del predatore e perché i predatori persistono quando le prede focali sono rare.**



*Paramecium caudatum*

**Gli ecologi hanno da tempo individuato i molteplici fattori mancanti nel modello di Lotka-Volterra.**

**Questi fattori introducono il realismo nelle interazioni predatore-preda e danno accuratezza nel predire le dinamiche del mondo reale.**

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*



*Paramecium caudatum*

Come risultato, modelli più recenti hanno incorporato caratteristiche biologiche come:

- a. risposte funzionali saturanti del predatore (**inabilità del predatore di catturare tutte le prede disponibili quando queste sono abbondanti**),
- b. risposte riproduttive non lineari,
- c. interferenza del predatore,
- d. rifugi,
- e. processi spaziali quali immigrazione,
- f. prede alternative, e
- g. livelli trofici multipli.



### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*

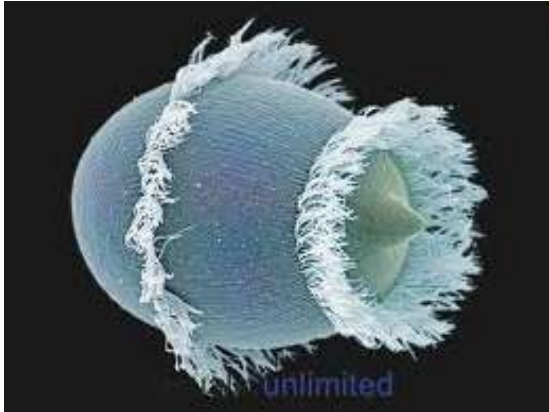
**I predatori sono limitati dal tasso nella loro abilità di catturare e processare la preda (Funzione II di Holling), il che vincola la loro abilità di ridurre la popolazione di prede presenti ad elevate densità.**



*Paramecium caudatum*

**Inoltre, i predatori spesso interferiscono con altri predatori ad elevate densità, allentando ulteriormente la pressione di predazione sulle prede.**

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*

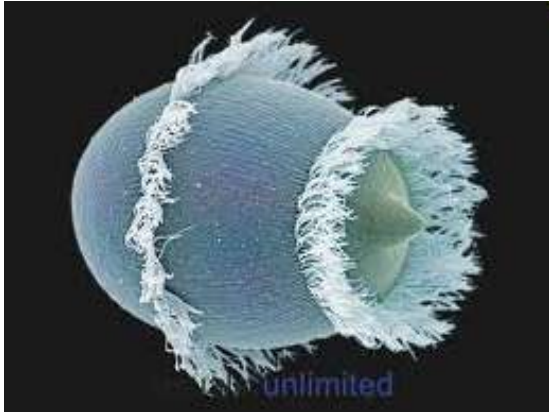
Vi è una moltitudine di altre ragioni per cui i modelli predicono inadeguatamente le dinamiche predatore-preda e non catturano la complessità in natura delle interazioni predatore-preda.



*Paramecium caudatum*

La più importante è che le interazioni predatore-preda non hanno luogo in sistemi chiusi ove ossia siano assenti processi spaziali come emigrazione ed immigrazione.

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*

Alle basse densità di prede, i predatori spesso si disperdono in quelle aree che hanno una più alta densità di prede (seguendo il Teorema del Valore Marginale di Charnov),

Questo allenterebbe quindi la predazione sulla popolazione locale di prede piuttosto che guidarla all'estinzione.



*Paramecium caudatum*

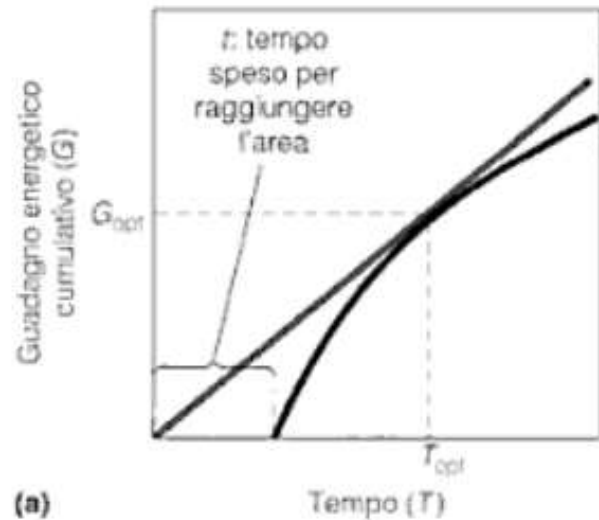
Inoltre, l'immigrazione da *patch* limitrofe può salvare il declino delle popolazioni locali.

**Uso delle patch di cibo:  
il Teorema del valore marginale (Charnov 1976)**

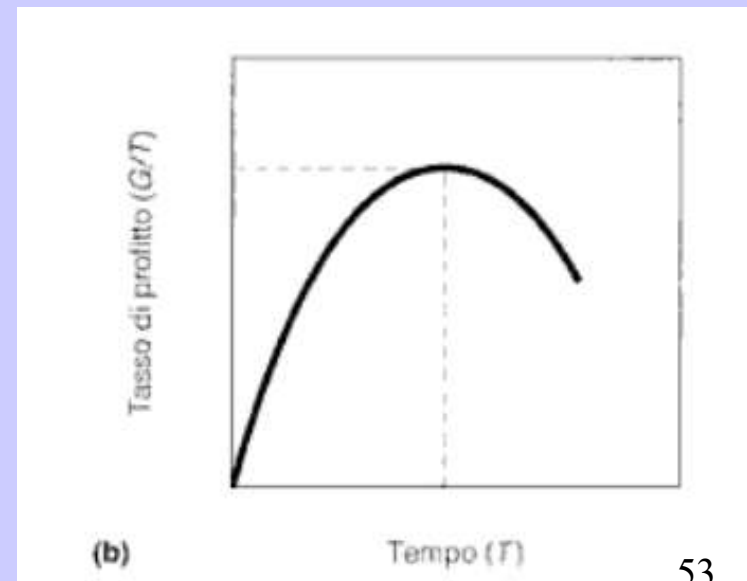
**Quanto tempo un animale deve rimanere in una  
area per cercare cibo?**

**Il teorema del valore marginale, che ha trovato  
applicazione in ambiti molto diversi, dovrebbe  
poter dare una risposta. Consideriamo una  
specie animale che trovi il suo alimento in parti  
(o "macchie", come vengono chiamate in  
ecologia) discrete dell'habitat (per esempio un  
animale che catturi le sue prede in un certo tipo  
di vegetazione distribuita in modo  
disomogeneo).**

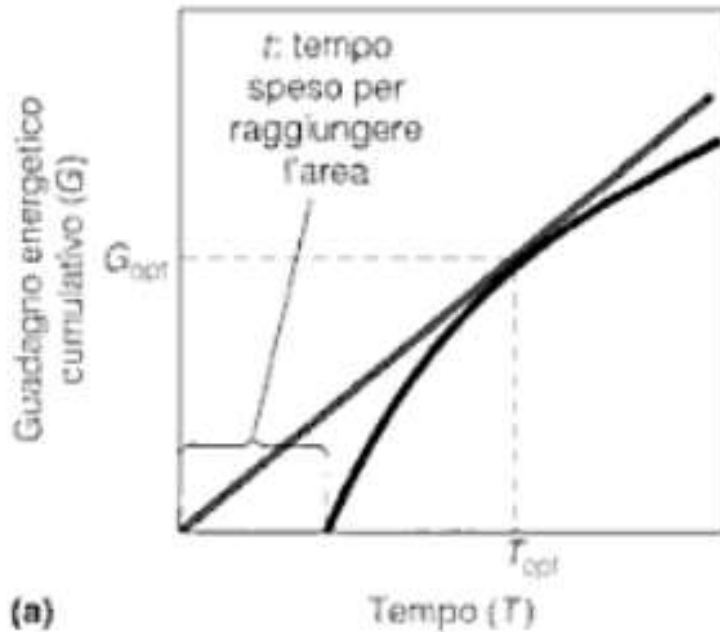
Un animale che prenda ad alimentarsi in una di queste macchie ancora non sfruttata, ottiene inizialmente molto alimento in un tempo breve; però mano a mano che il tempo trascorre, le quantità di alimento disponibile, e quindi le quantità di cibo ottenute nell'unità di tempo, diminuiscono progressivamente



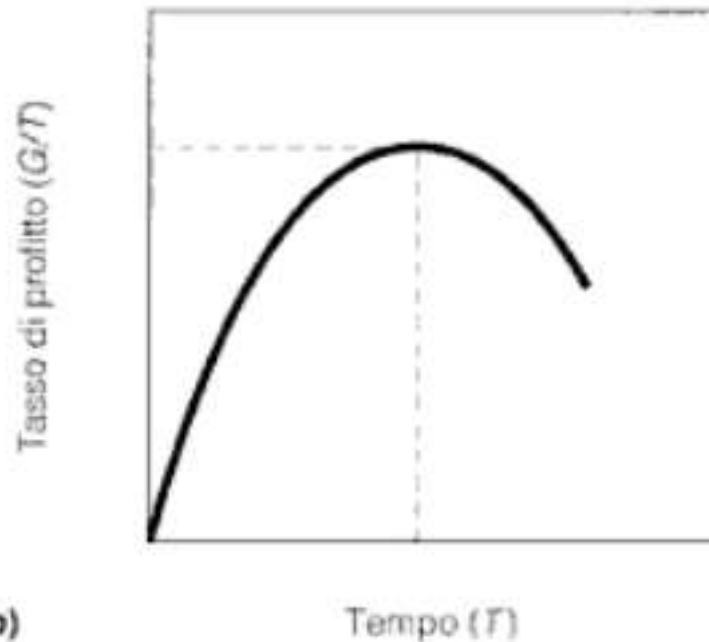
fino al punto in cui il valore energetico della quantità di cibo introitata dall'animale nell'unità di tempo è così basso (è questo il valore marginale) che è più conveniente abbandonare quella macchia e cercare cibo in un altro luogo.



a. Ricerca del cibo



(a)



(b)

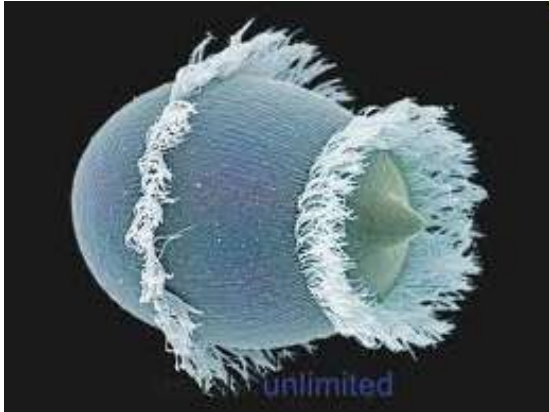
**x: Il tempo totale speso per il foraggiamento ( $T$ ) che include il tempo di spostamento all'interno dell'area**

**y: energia cumulativa guadagnata dal consumo della preda in ciascun punto del tempo  $G$**

**Il Teorema prevede che la quantità di tempo ottimale che un predatore dovrebbe spendere in una area ( $T_{opt}$ ) è pari a quel valore di  $T$  al quale il tasso di profitto è massimo.**

**Il tasso di profitto inizialmente aumenta nel tempo ma poi declina al diminuire della densità di preda dovuta alla predazione. La soluzione ottimale è rappresentato dal punto di tangenza tra la retta passante per l'origine e la curva del guadagno cumulativo nel tempo (linea curva in grafico a)**

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*



*Paramecium caudatum*

Anche in condizioni di laboratorio veramente semplici, l'immigrazione può favorire la persistenza e la ciclicità dei predatori e delle prede. Ritornando al sistema *Didinium-Paramecium*, l'aggiunta di un singolo predatore e di una preda ogni tre giorni durante l'esperimento, allungava la persistenza del ciclo predatore-preda.

Questo è raffigurato nella seguente figura.

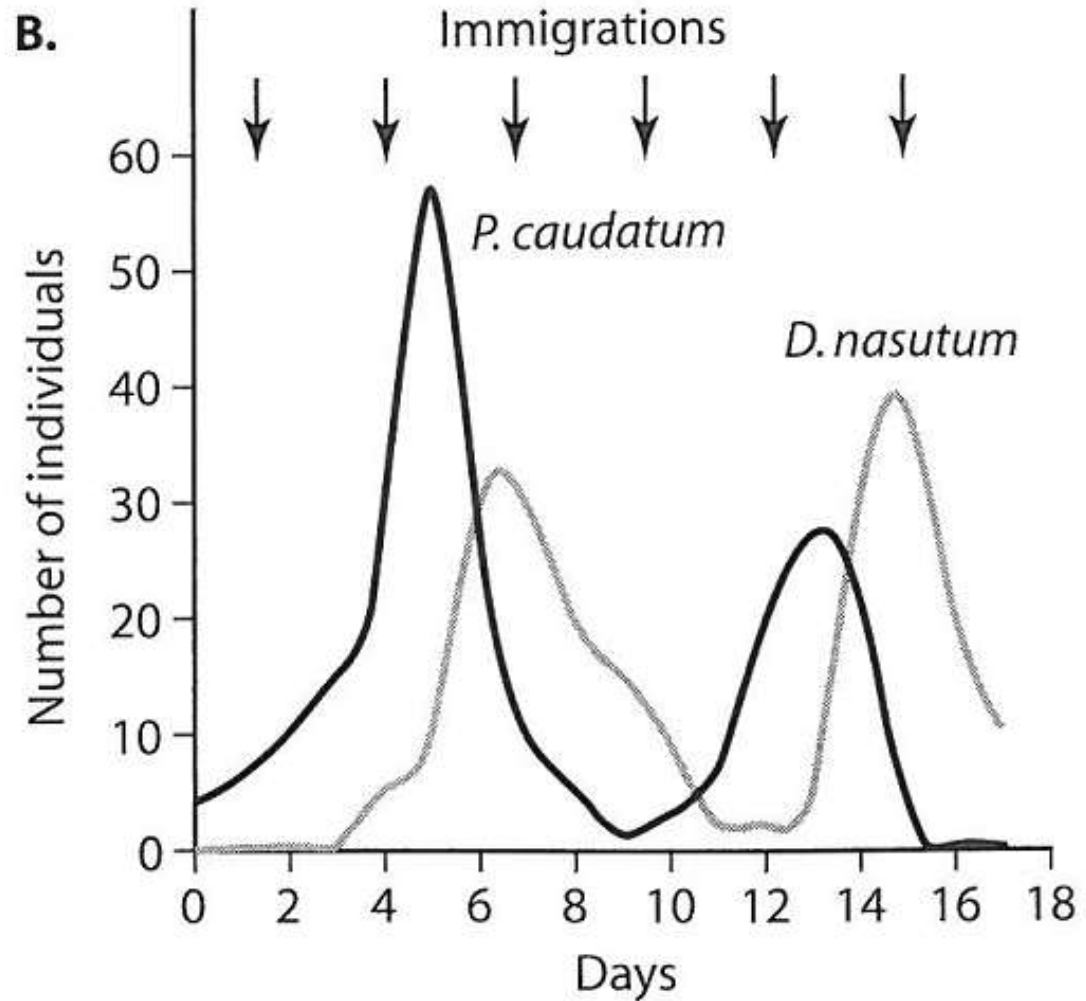
### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Didinium nasutum*



*Paramecium caudatum*





### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Eotetranychus sexmaculatus*  
**La preda**



*Typhlodromus occidentalis*  
**Il predatore**

In aggiunta ai processi spaziali, la struttura complessa dell'habitat ed il rifugio dai predatori che l'habitat fornisce alle prede, permette anche la persistenza delle interazioni predatore-preda. Un classico esempio coinvolge le interazioni tra l'acaro mangia-agrumi *Eotetranychus sexmaculatus* ed il suo acaro predatore *Typhlodromus occidentalis* (Huffaker, 1958).



### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Eotetranychus sexmaculatus*  
**La preda**

La dinamica di popolazione degli acari è stata confrontata tra due habitat sperimentali:

1. un habitat semplice che consisteva di una monocoltura di arance disposta su vassoi;
2. un habitat complesso e strutturato in cui erano state intervallate arance tra palle di gomma e piccole postazioni dalle quali le prede potevano disperdersi.

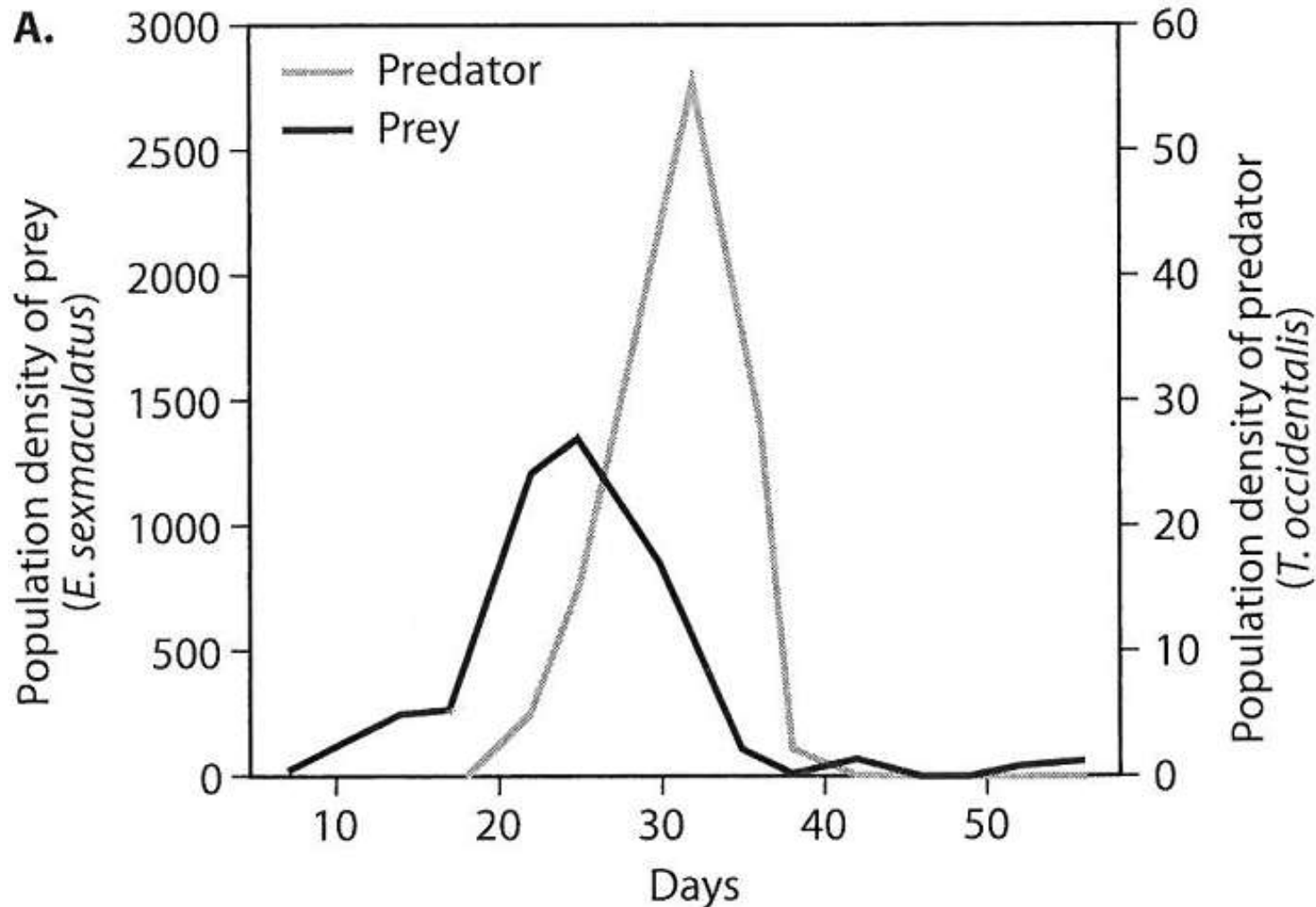


*Typhlodromus occidentalis*  
**Il predatore**

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore

Nell'habitat semplice, gli acari predatori si disperdevano facilmente tra gli habitat, le prede venivano scovate e ridotte in numero in modo che la loro densità totale diminuiva.

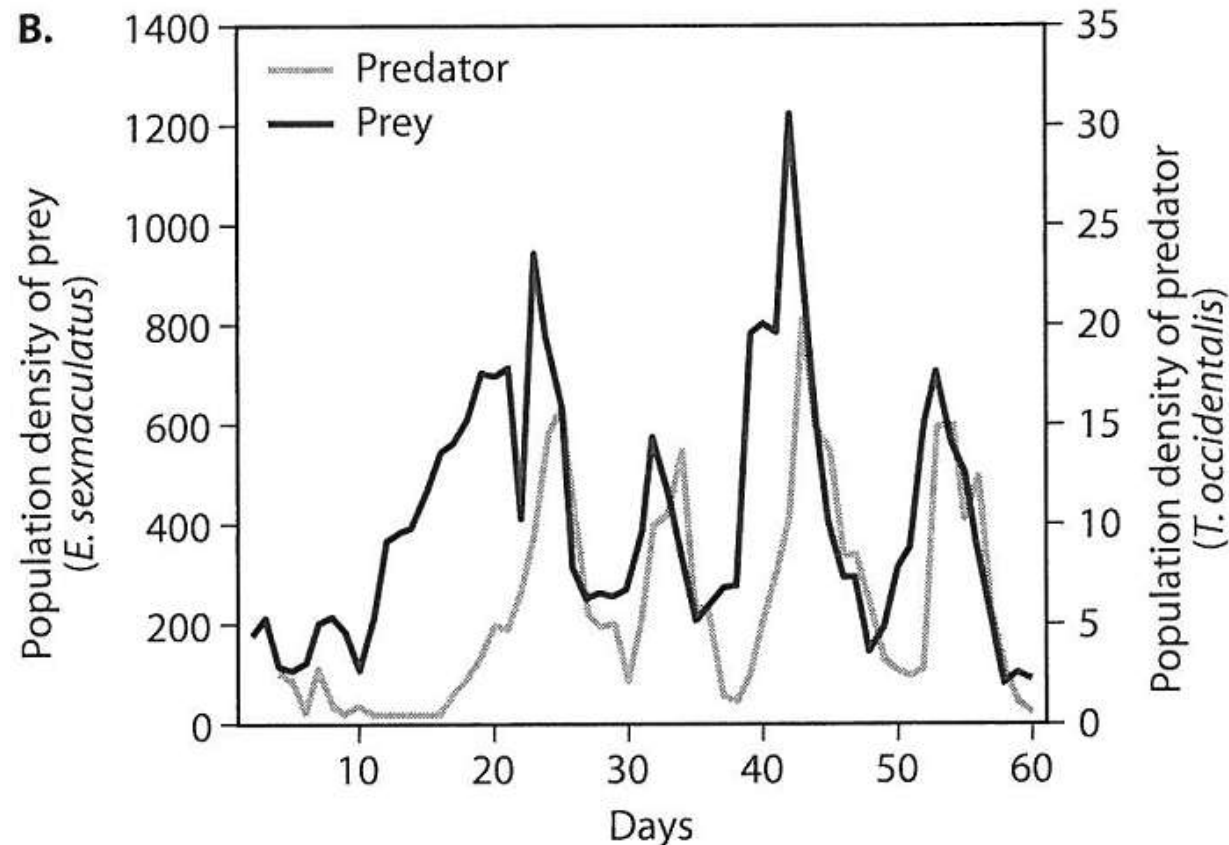
**Questo però induceva l'estinzione del predatore (figura A).**



### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore

Nell'habitat complesso, la preda trovava rifugio dalla predazione e si disperdeva, e sono stati necessari tre cicli di oscillazioni predatore-preda completi prima che il sistema andasse al collasso a causa del fatto che le arance si erano deteriorate (fig B).

Questo studio sottolinea l'importanza dei rifugi nel promuovere la coesistenza di predatori e prede, ma enfatizza anche che altri fattori come la qualità di cibo incidono sulla persistenza dell'interazione.



### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Eotetranychus sexmaculatus*  
**La preda**

Poiché sia la risposta funzionale che quella numerica **si stabilizzano a densità intermedie della preda**, ulteriori incrementi nella densità della preda risultano in una più piccola porzione crescente della popolazione della preda che è uccisa dai predatori.



*Typhlodromus occidentalis*  
**Il predatore**

**Una strategia difensiva per la preda è di saziare la popolazione del predatore emergendo in modo sincrono ad elevate densità.**

### 3. Effetti reciproci della densità e cicli preda-predatore



*Eotetranychus sexmaculatus*  
*La preda*



*Typhlodromus occidentalis*  
*Il predatore*

Combinando le risposte funzionali e numeriche del predatore nella sua risposta totale si predice la risposta globale di un predatore alle densità crescenti della preda e quindi il suo impatto totale sulla popolazione della preda.

La risposta totale di un predatore (numero di prede consumate per unità di superficie) può essere calcolata moltiplicando la sua risposta funzionale (numero di prede consumate per predatore) per la sua risposta numerica (numero di predatori per unità di superficie).



**DOMANDE??**