

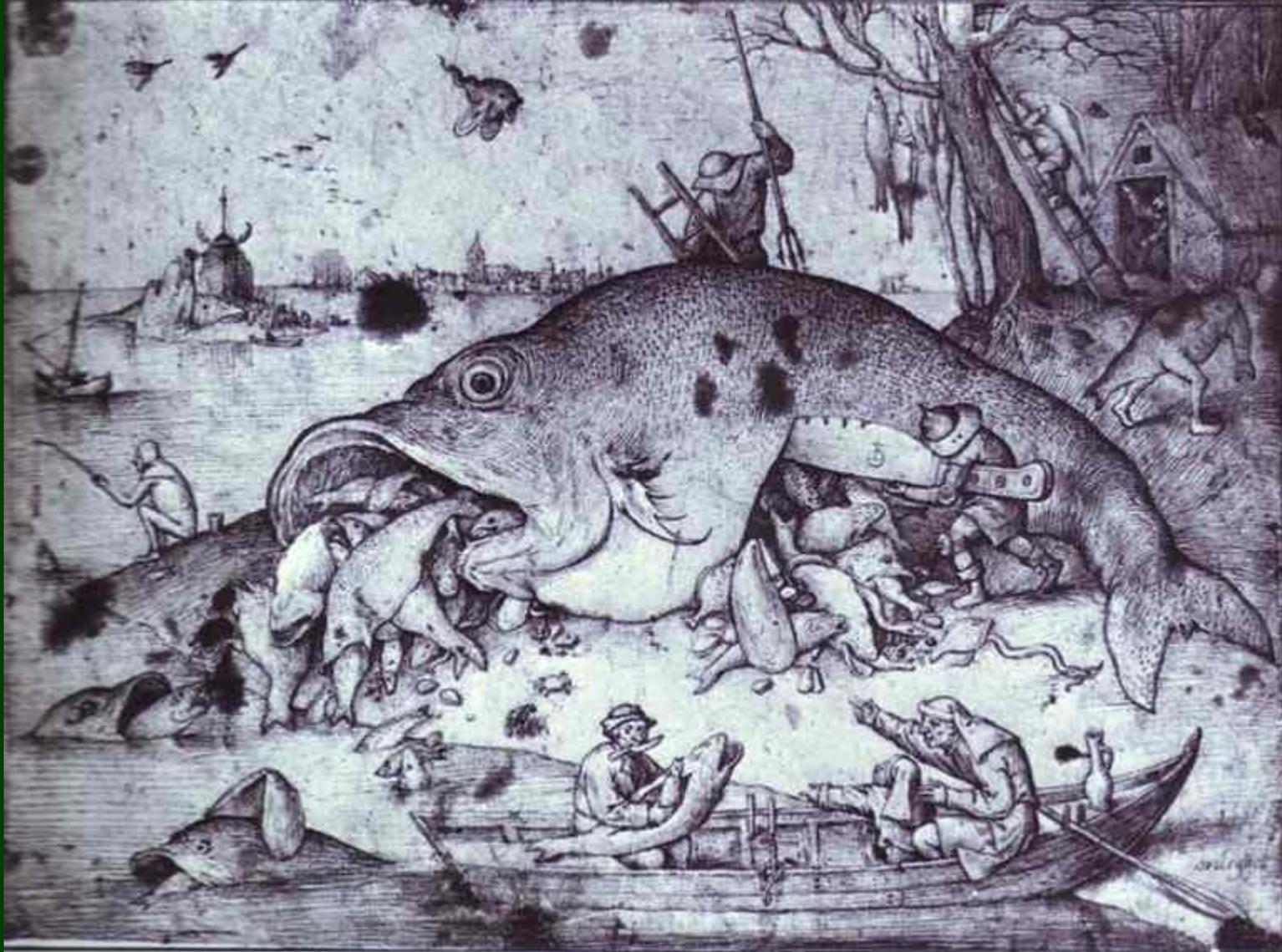
# SVILUPPO DI MODELLI PER L'ANALISI DELLA DINAMICA E LA GESTIONE DEI SISTEMI PIANTA-FITOFAGO-PREDATORE

Gilioli G.<sup>(1)</sup>, Pasquali S.<sup>(2)</sup>, Morlacchi P.<sup>(3)</sup>,  
Lozzia G.C.<sup>(3)</sup>, Baumgärtner J.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Dipartimento GESA, Università Mediterranea di Reggio Calabria,  
Reggio Calabria.

<sup>(2)</sup> CNR-IMATI, Milano.

<sup>(3)</sup> DiPSA, Dipartimento di Protezione dei Sistemi agroalimentare e  
urbano e Valorizzazione delle Biodiversità, Università di Milano.

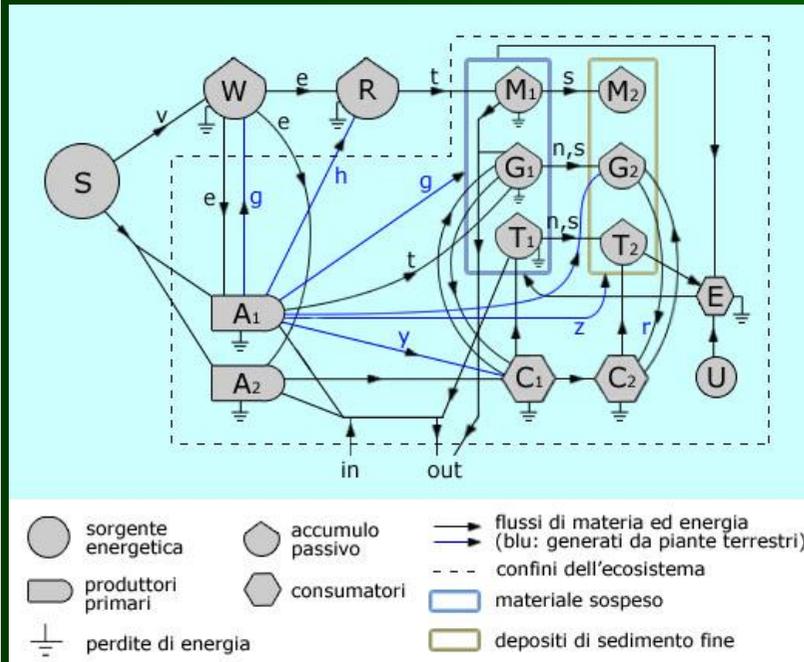


Big Fish Eat Little Fish, 1556  
Pieter Bruegel the Elder

# 1. INTRODUZIONE: RETI TROFICHE E PREDAZIONE

Diagramma di flusso di energia e di materia in un ipotetico ecosistema umido

Rete trofica semplificata per la foresta di Wytham Woods in Inghilterra (Varley, 1970).

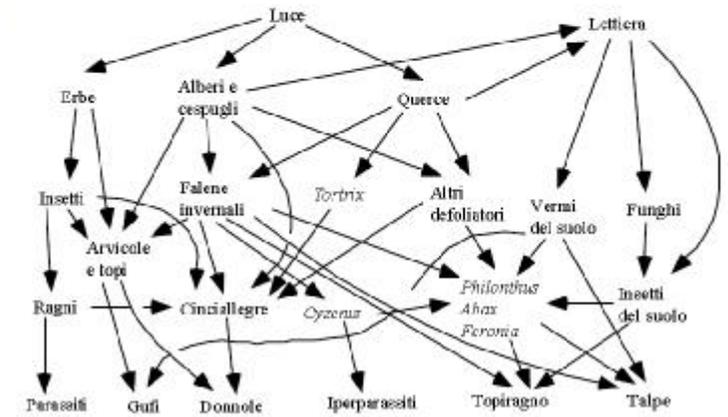


Produttori primari

Consumatori primari

Consumatori secondari

Consumatori terziari



Reti trofiche:  
La visione energetica  
(funzionalista)

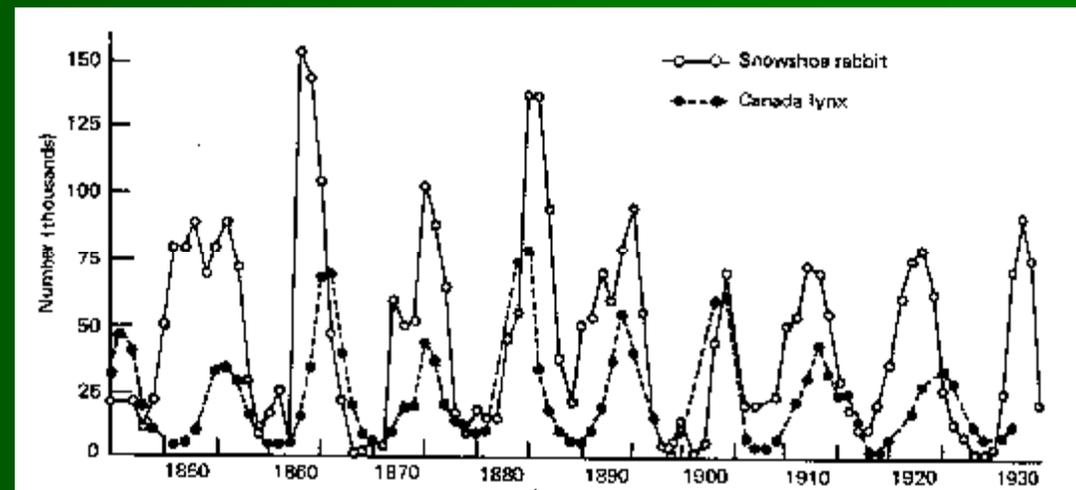
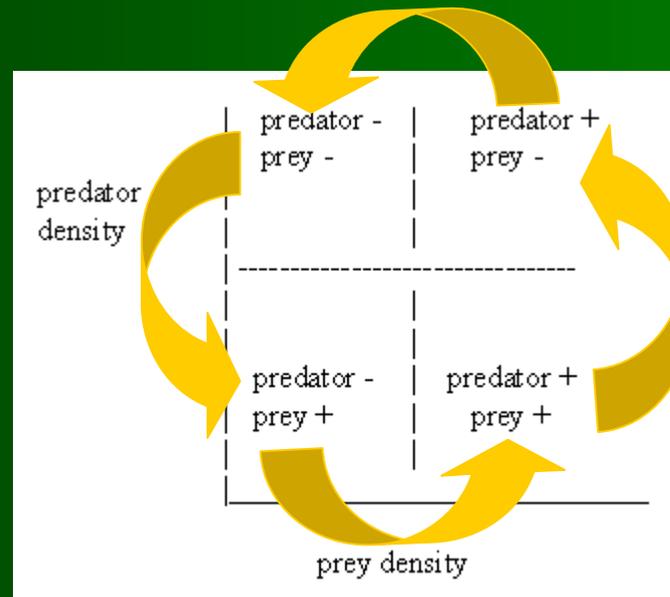
Reti trofiche:  
La visione popolazionistica

# Cosa è la predazione

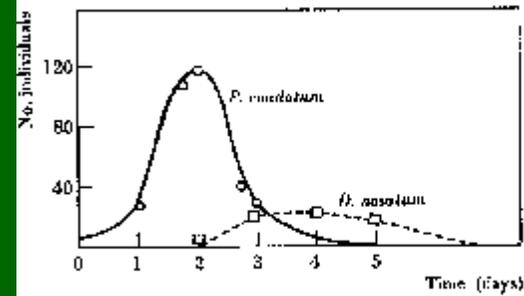
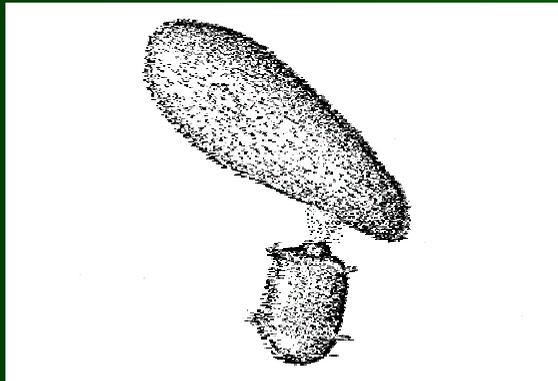
Type of Interaction	Direct Effect of Interaction*	
	Species 1	Species 2
Neutral	0	0
Commensalism	+	0
Mutualism	+	+
Interspecific competition	-	-
Predation	+	-
Parasitism	+	-

- Rimozione di una pianta o un animale da parte di un animale
  - Due individui: preda e il predatore
  - Implica il contatto tra gli organismi
  - E' un processo: ricerca, cattura, consumo
- Margini di incertezza
  - Erbivoria è predazione?
  - Parassiti e parassitoidi sono predatori?
- E' selettiva
  - Gradi di specificità
- Ha effetti ecosistemici

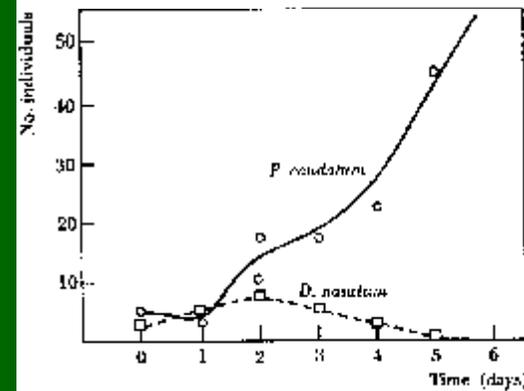
# I pattern attesi della predazione: coesistenza



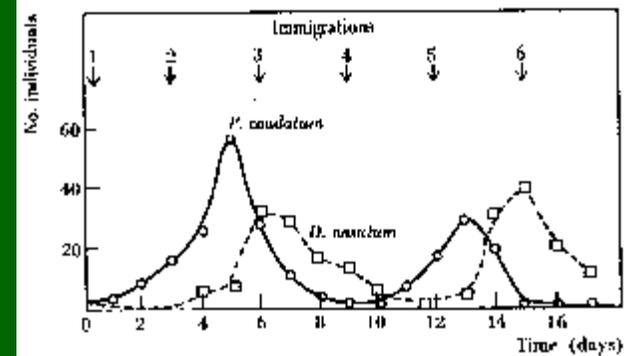
## Il pattern atteso della predazione: eliminazione



(a)



(b)

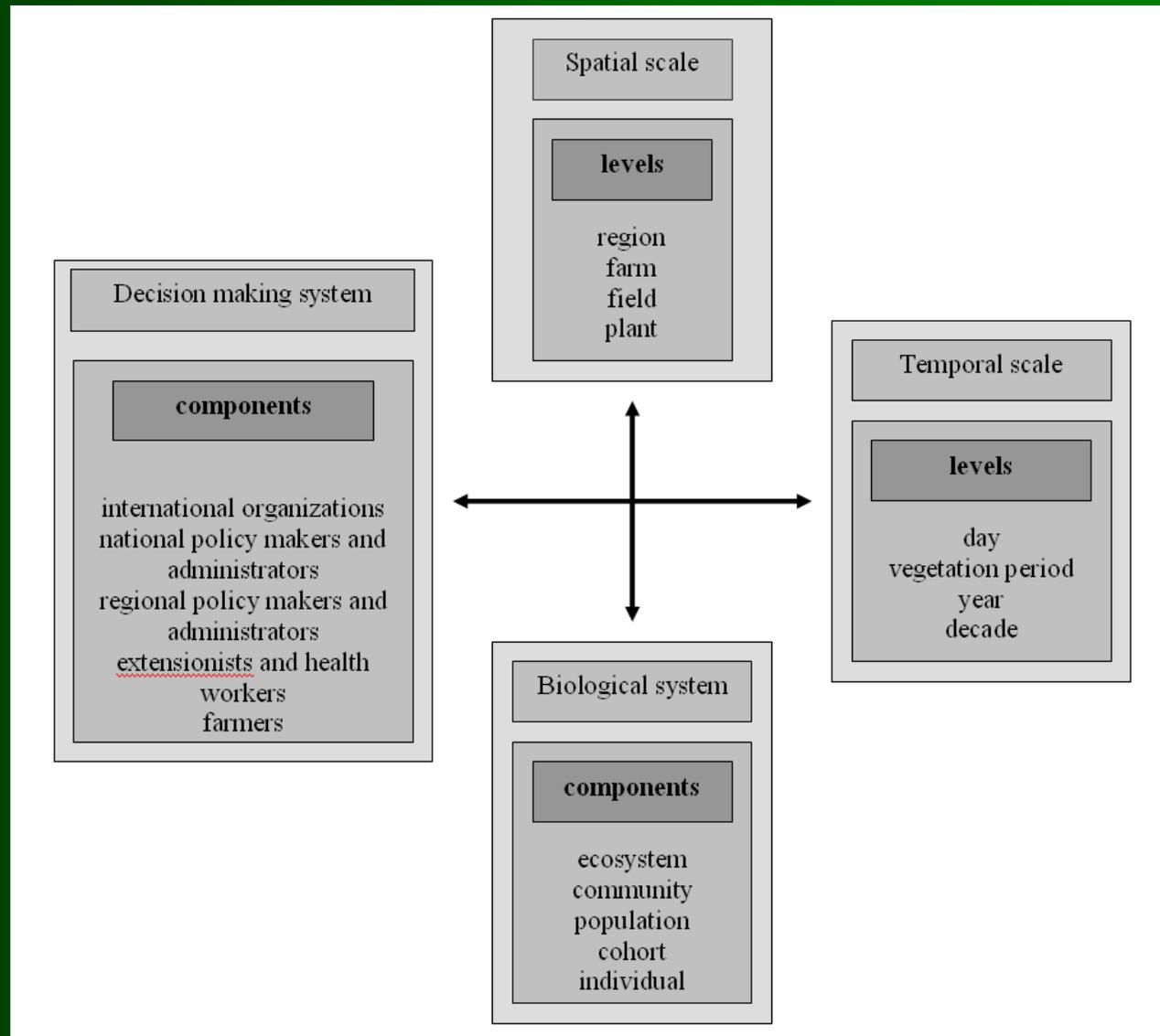


(c)

## 2. LE RETI TROFICHE IN UN CONTESTO APPLICATIVO

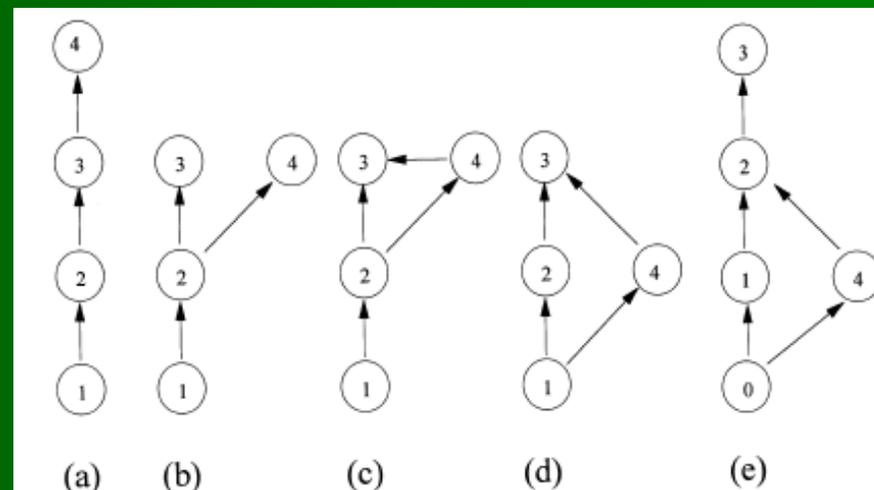
- Elementi che costituiscono l'IPM
  - Conoscenza delle dinamiche dei parassiti al fine del controllo
  - Integrazione ed eco-compatibilità dei mezzi di controllo
  - Concetto di soglia
- Per tutti e 3 gli elementi
  - E' fondamentale la conoscenza della dinamica di popolazione del fitofago e dei fattori che la influenzano
    - Fattori abiotici
    - Fattori biotici
    - Operazioni di controllo
  - Obiettivo di creare presupposto per gestione basata sulla conoscenza
- La schematizzazione degli agro-ecosistemi in un contesto applicativo
  - E' un passaggio necessario per definire il sistema sul quale si opera
  - Presupposto per lo sviluppo di strumenti concettuali di analisi a supporto della gestione

# Le dimensioni e le scale implicate nell'IPM



# La componente biotica degli agroecosistemi

- Problema dell'insieme minimo di componenti della rete trofica
  - Non ha una risposta univoca
    - Dipende ovviamente dal tipo di problema
    - Possibile considerare solo legami forti
  - La maggior parte dei modelli tratta popolazioni singole
    - Sviluppo semplice
    - Sviluppo dipendente da fattori forzanti ambientali
  - In molti contesti è necessario considerare le interazioni trofiche
    - Interazione suolo-pianta (es. regolazione bottom-up crescita)
    - Interazione pianta-fitofago (es. analisi dinamica defogliatori forestali)
    - Interazioni preda-predatore (es. controllo biologico)
- Sistemi tritrofici
  - In particolare: piante → fitofagi → nemici naturali
  - Sembra in molti casi essere un livello di approssimazione potente ed efficace
  - Il suo impiego richiede una attenta analisi dei costi e dei benefici



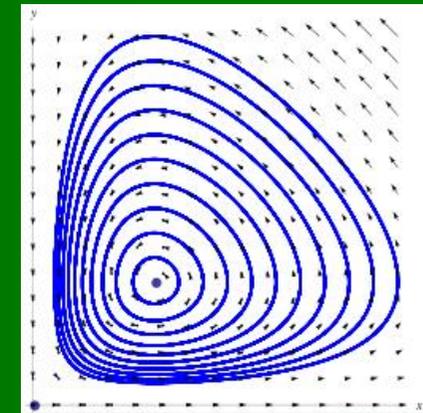
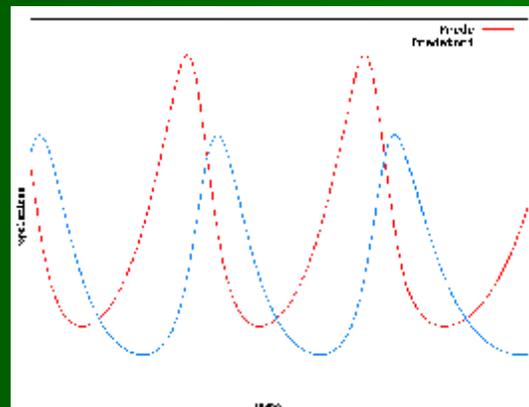
### 3. SVILUPPO DI UN APPROCCIO DEMOGRAFICO: MODELLI DI SISTEMI TROFICI

- 4 componenti del sistema
  - Risposte numeriche preda [1]
  - Risposte funzionali predatore [2]
  - Conversione di prede in predatori [3]
  - Perdite del predatore [4]
- 4 parametri fondamentali
  - $r$  à tasso intrinseco di accrescimento preda
  - $a$  à parametro di ricerca e cattura
  - $f$  à efficienza di conversione preda à predatore
  - $q$  à tasso di "mortalità" predatore

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= rP - \alpha CP \\ \frac{dC}{dt} &= f\alpha CP - qC \end{aligned}$$

[1] [2]  
[3] [4]

- Comportamenti del sistema
  - Estinzione del sistema
  - (Estinzione della preda)
  - Estinzione del predatore
  - Oscillazioni accoppiate
  - Caos



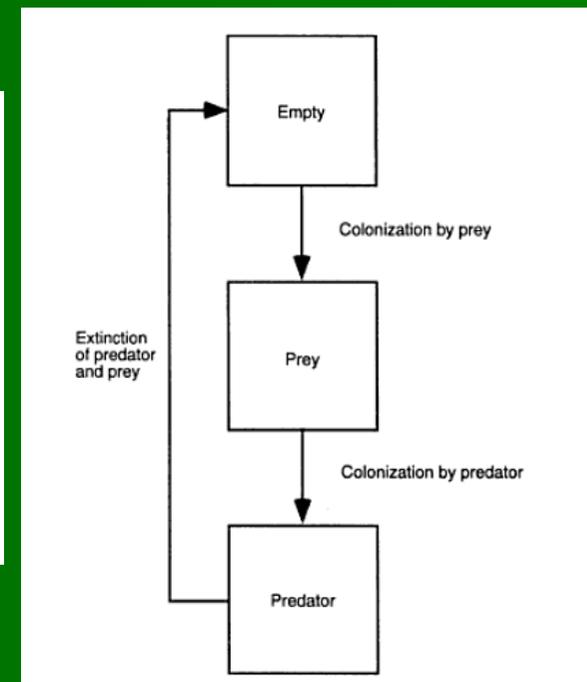
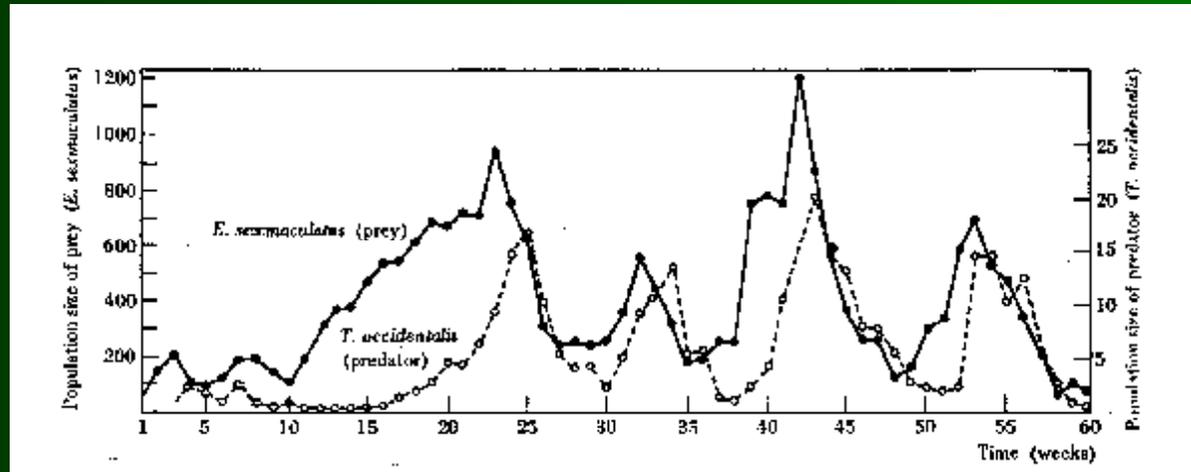
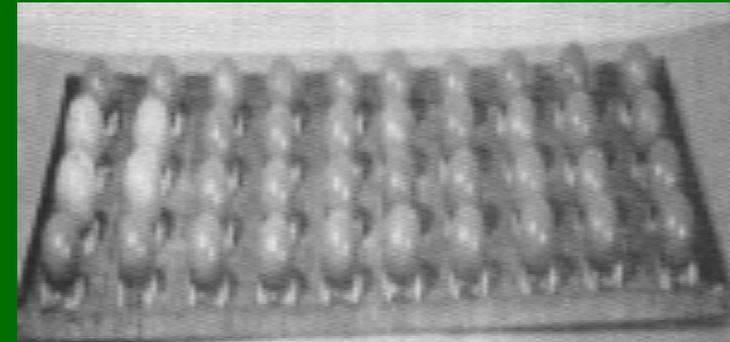
# Aspetti della complessità dinamica dei sistemi di popolazione: gli esperimenti di Huffaker

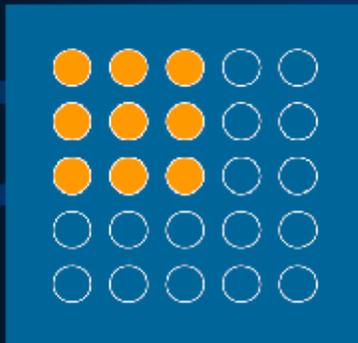


*Eotetranychus sexmaculatus*

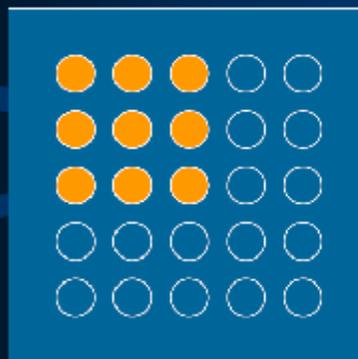


*Typhlodromus occidentalis*

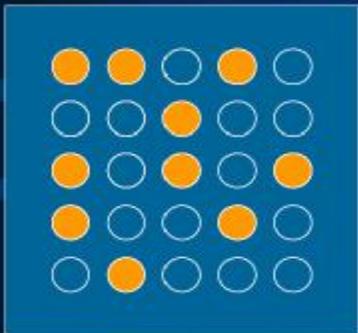




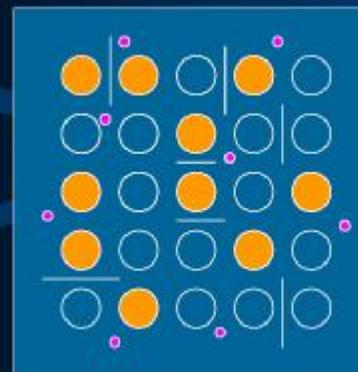
- Background
  - tray of oranges and balls
  - two mites (pred + prey)
  - the prey feeds on oranges
  - prey can travel on web strands
  - predators must walk



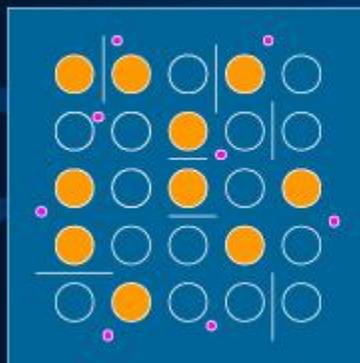
- Step 1
  - Oranges are placed together on tray
  - prey are introduced and expand
  - predators introduced
  - RESULT: prey eliminated



- Step 2
  - Oranges are spread out randomly in the environment
  - prey, then predators introduced
  - RESULT: both coexist for awhile, then prey go extinct



- Step 3
  - Vaseline barriers are established which prevents predator dispersal
  - Posts are added to allow prey dispersal
  - RESULT: coexistence!



- SO WHAT?
- Predators and prey can coexist as long as prey have refugia in which to hide from predators
- Habitat heterogeneity can lead to coexistence

# Le tipologie di modelli

- Esiste un'enorme varietà di modelli per sistemi trofici
  - Molto difficile tentare una classificazione esaustiva
  - Ispirati da diversi criteri e tradizioni
    - Aspetti di biomatemática
    - Aspetti dell'ecosystem management
    - Aspetti epistemologici (conoscere e gestire sistemi complessi)
- Piuttosto chiara la dicotomia tra
  - Modelli ispirati all'idea di equilibrio
    - I sistemi sono caratterizzato da un proprio equilibrio
    - La gestione ottimale avviene operando in condizioni di equilibrio
    - Porta allo sviluppo di approcci analitici
    - Modelli aggregati della tradizione dell'ecologia matematica (Lotka-Volterra)
  - Modelli ispirati all'idea di dinamica
    - I sistemi sono intrinsecamente dinamici e il concetto di equilibrio è di scarso significato
    - La gestione ottimale si ha considerando una grande numero di processi e interazioni
    - Porta allo sviluppo di approcci numerici
    - Modelli distribuiti che hanno una matrice nella teoria generale dei sistemi (von Bertalanffy)

## 4. APPROCCI BASATI SULL'EQUILIBRIO

- La lunga tradizione dell'Environmental management
  - Presupposti
    - System manager possono definire obiettivi precisi
    - Raggiungimento obiettivi è basato sulla manipolazione della dinamica del sistema
    - Gestione è più efficace se sistema si trova in uno stato di equilibrio desiderabile
    - Obiettivo duplice
      - a) Manipolare il sistema  $\Rightarrow$  persistenza dell'equilibrio
      - a) Garantire persistenza  $\Rightarrow$  ottimizzare controllo/sfruttamento del sistema
  - Esempio tipico
    - Dinamica di equilibrio che associa un predatore a una preda
- Giustificazione
  - Concetto di equilibrio è legato alla scala
    - Fluttuazioni spazio/temporali si mediano
  - Analisi della stabilità consente di mappare lo spazio delle fasi
  - Contributo della analisi sistemi stocastici

## Approcci basati sull'equilibrio: La manipolazione del movimento nello spazio delle fasi

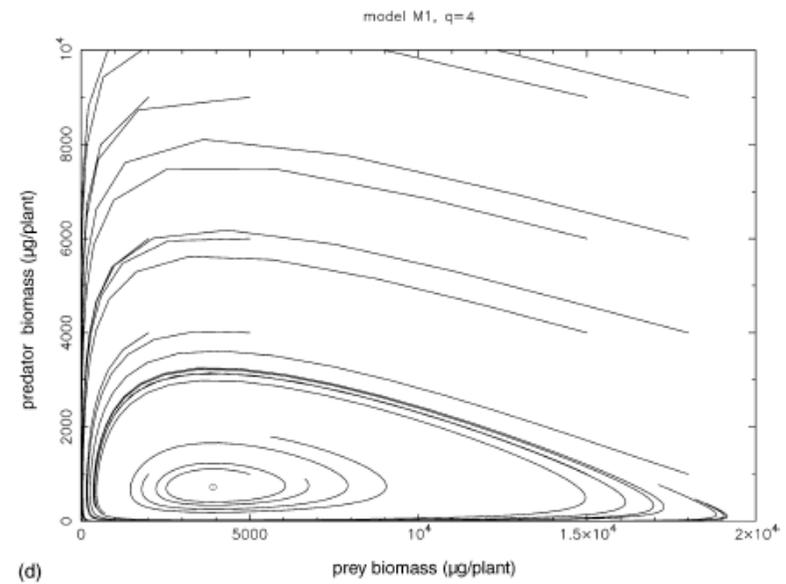
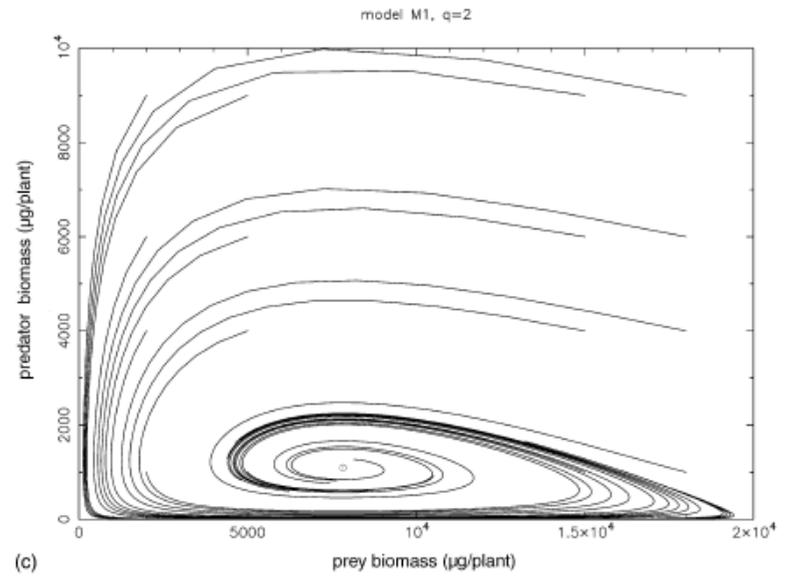
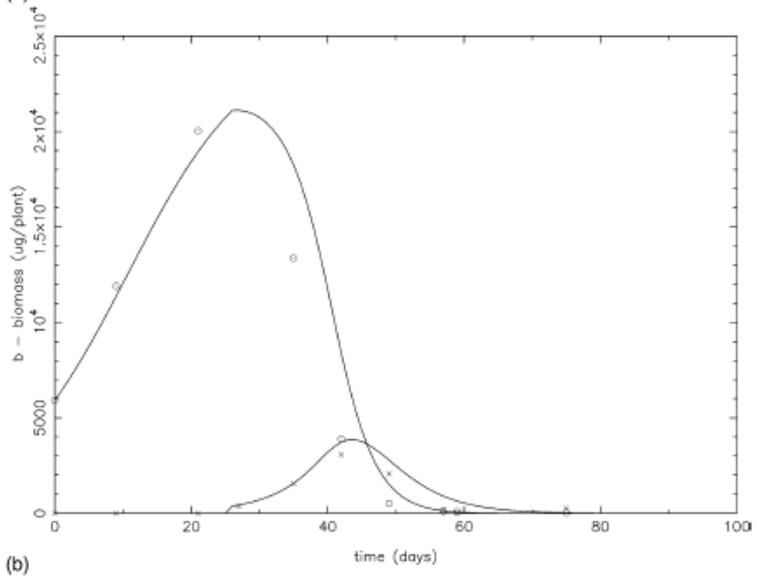
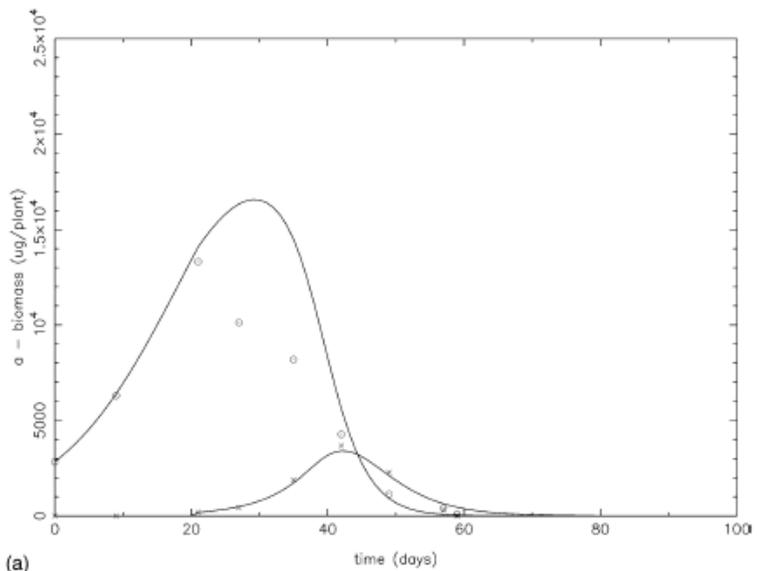
- Buffoni & Gilioli (2003)
  - Sviluppano un modello per l'analisi e la gestione di un sistema preda-predatore in popolazione di acari
    - *T. urticae* – *P. persimilis* su fragola di pieno campo
  - Il problema
    - Controllo biologico è strettamente dipendente dai rapporti numerici tra preda e predatore
    - L'obiettivo è quello di rendere efficace il controllo biologico gestendo in modo adeguato il rilascio di fitoseide

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= r_x x g_\alpha \left( \frac{x}{k} \right) - b y f(q\xi), & \frac{dy}{dt} &= y [b' f(q\xi) - u], \\ x(0) &= \tilde{x}, & y(0) &= \tilde{y}, \end{aligned} \quad (1)$$

Then, there exists a coexistence state  $E_2(q) = [x^*(q), y^*(q)]$  where

$$x^*(q) = \frac{kq_0}{q}, \quad y^*(q) = \frac{kr_x b' q_0}{(ubq)} g_0\left(\frac{q_0}{q}\right). \quad (\text{A.2})$$

	$M_0 = (0, 0), g_0(0) < 0, f(qx/k)$	$M_1 = (1, 0), g_1(0) > 0, f(qx/k)$	$M_2 = (1, 1), g_1(0) > 0, f(qx/y)$
$E_0$	Sink	Saddle	Saddle: $0 < q < q_3$ Sink: $q > q_3$
$E_1$	Sink: $0 < q < q_0$ Saddle: $q > q_0$	Sink: $0 < q < q_0$ Saddle: $q > q_0$	Saddle
$E_2(q)$	Sink: $q_0 < q < q_2$ Source: $q_2 < q < q_4$	Sink: $q_0 < q < q_2$ Source: $q_2 < q < \infty$	Sink: $0 < q < q_2 \leq q_4$ Source: $q_2 < q < q_4$ iff $q_2 < q_4$



Estinzione  
monotona

1 ciclo di  
popolazione

2 o più cicli di  
popolazione

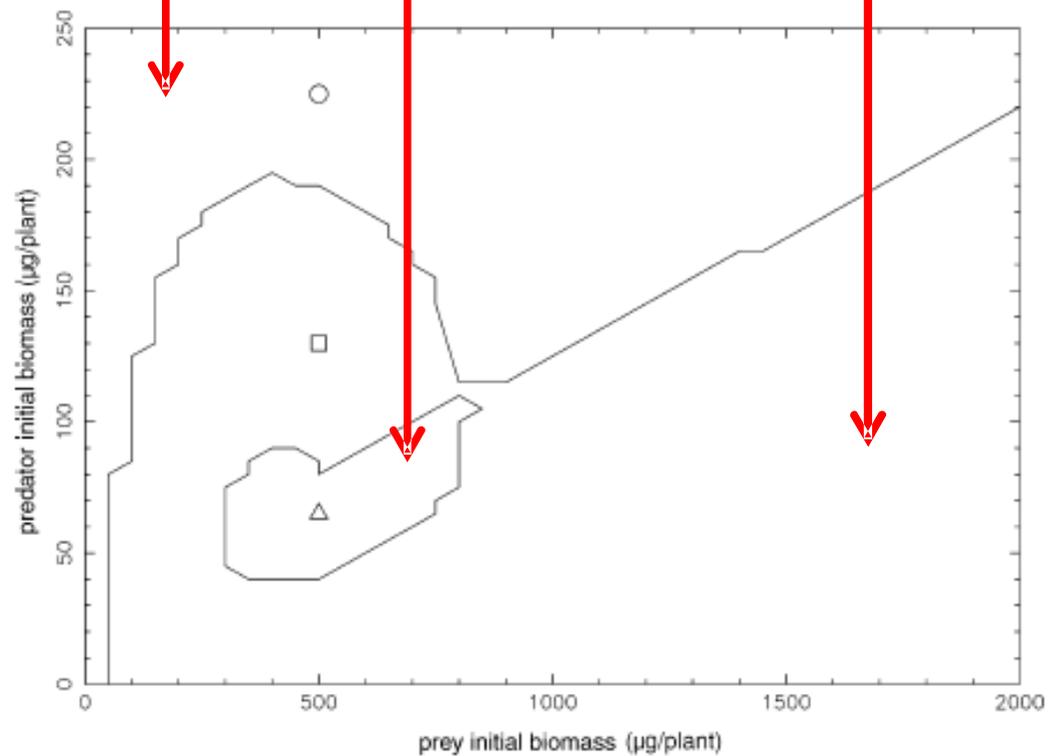
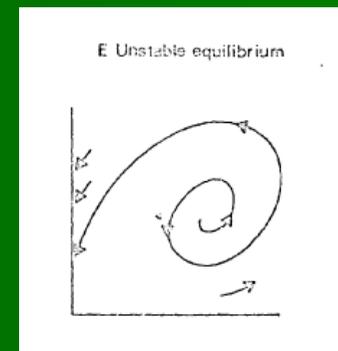
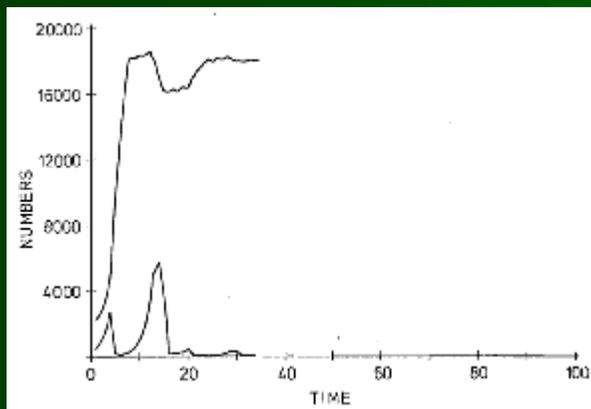
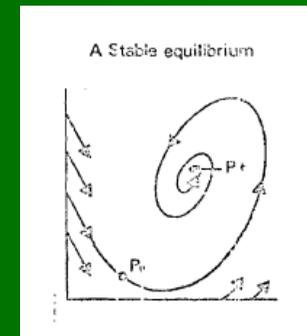
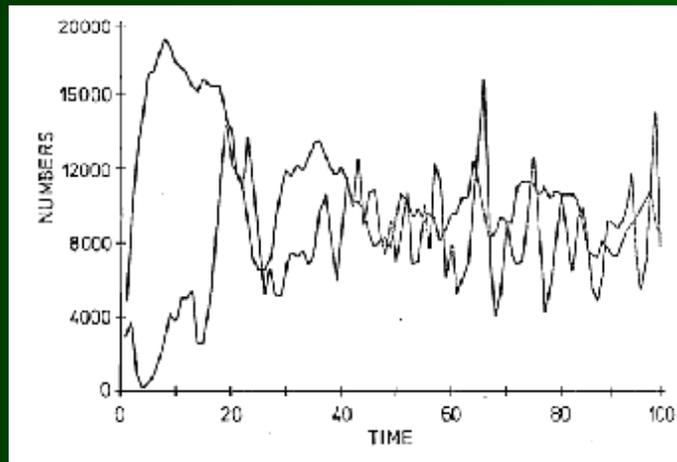
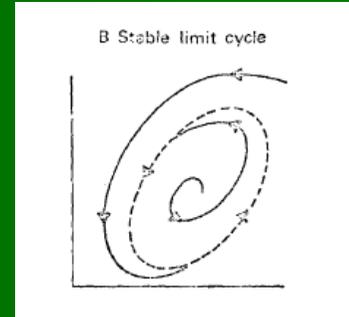
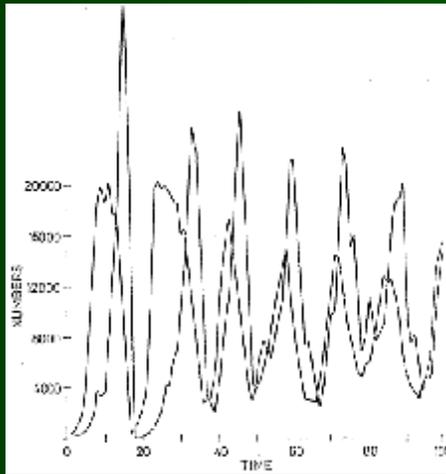


Fig. 5. Model  $M_0$ . Regions in the phase space of initial state characterised by different behaviour of the system dynamics. Predator and prey go to extinction: monotonically in region 1 (circle labelled), after a population cycle in region 2 (square labelled), and after two or many cycles with different amplitudes in region 3 (triangle labelled).

# Approcci basati sull'equilibrio: Manipolazione della struttura dello spazio delle fasi

- Hilborn (1974)
  - Sviluppa un modello preda-predatore ispirato all'esperimento di Huffaker
  - Obiettivo
    - Far vedere in che modo manipolazione parametri modifica lo spazio della fasi
    - Creare opportunità maggiori per condurre alla forma dello spazio della fasi più conveniente per gli obiettivi della gestione
  - Si giunge al concetto di spazio dei parametri
    - Nell'ipotesi che solo pochi parametri sono in grado di influenzare in modo sostanziale la dinamica
    - Ne segue che sono solo pochi i parametri che devo essere manipolati per ottenere uno spazio delle fasi utile
- Il sistema analizzato
  - Sistema sperimentale analizzato da Huffaker
    - 3 componenti: arance, fitofago, predatore
    - Sia preda che predatore possono disperdersi tra i patch
    - Il movimento può avvenire con tassi di dispersione e con successo (sopravvivenza) diversi
  - 3 comportamenti dinamici
    - Fluttuazioni a lungo termine
    - Stabilità con cicli limite
    - Estinzione del predatore
- Obiettivo
  - Sviluppo di un approccio allo spazio dei parametri
  - Valutazione del contributo della diffusione di preda e predatore sui regimi di stabilità



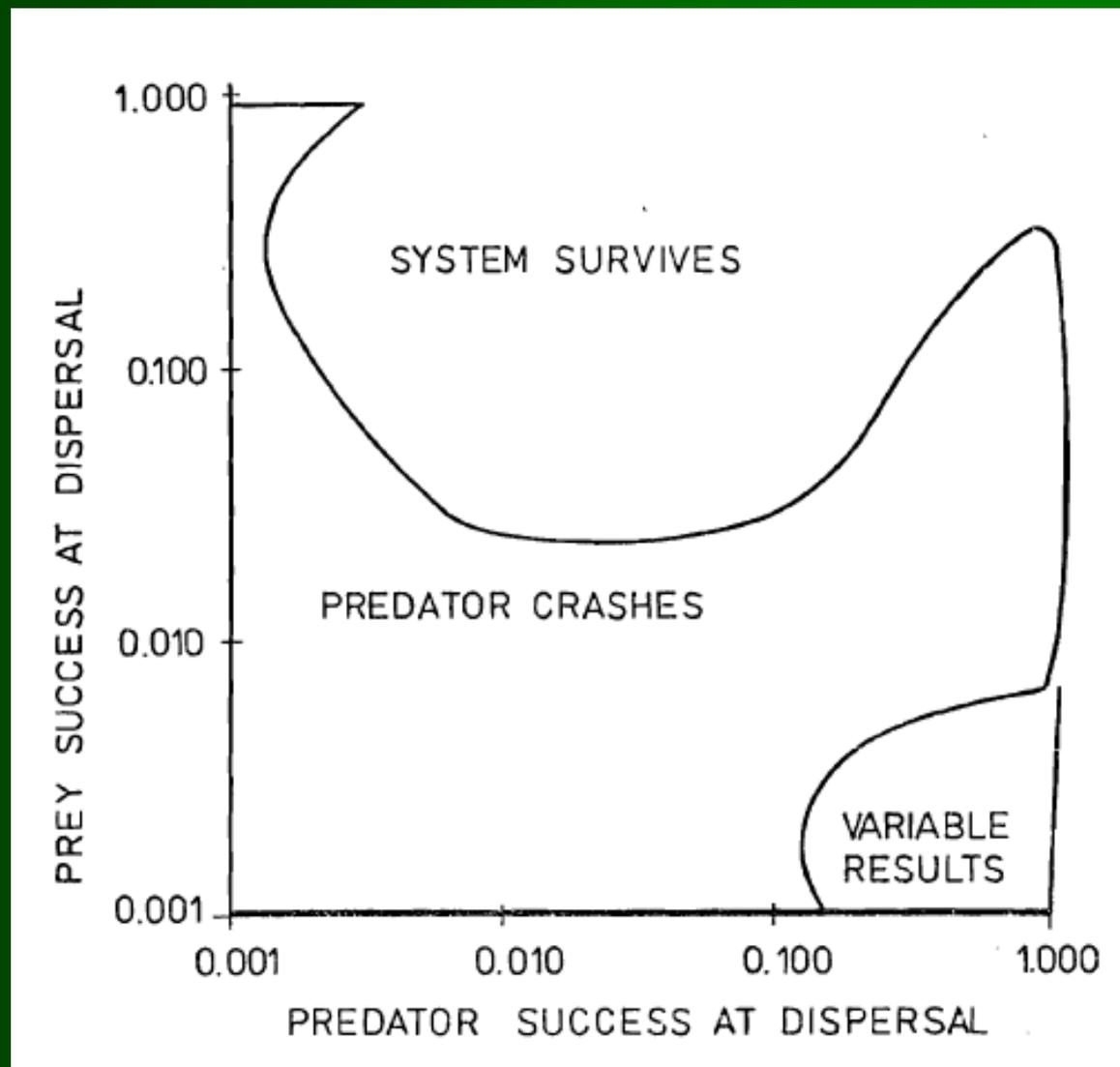


Figure 8

Parameter space where the height represents the coefficient of variation of prey numbers

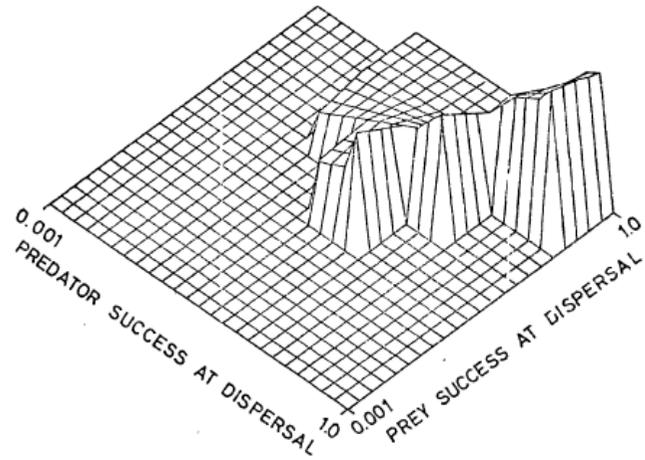
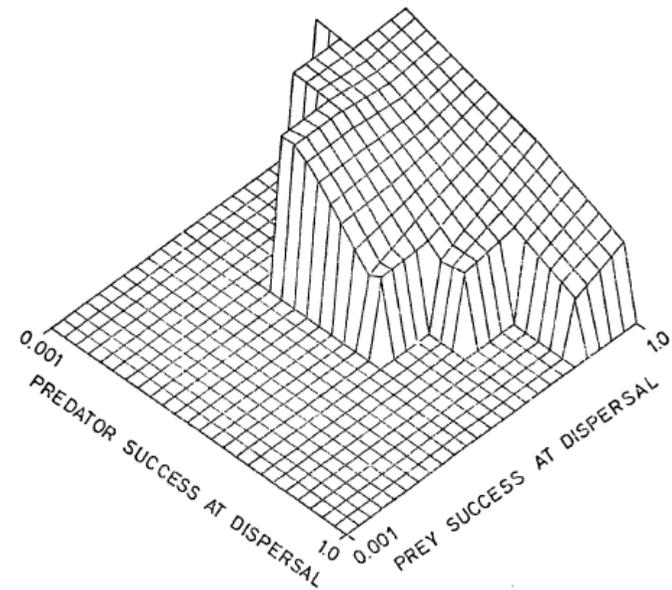


Figure 9

Parameter space plot where height represents the average prey density.

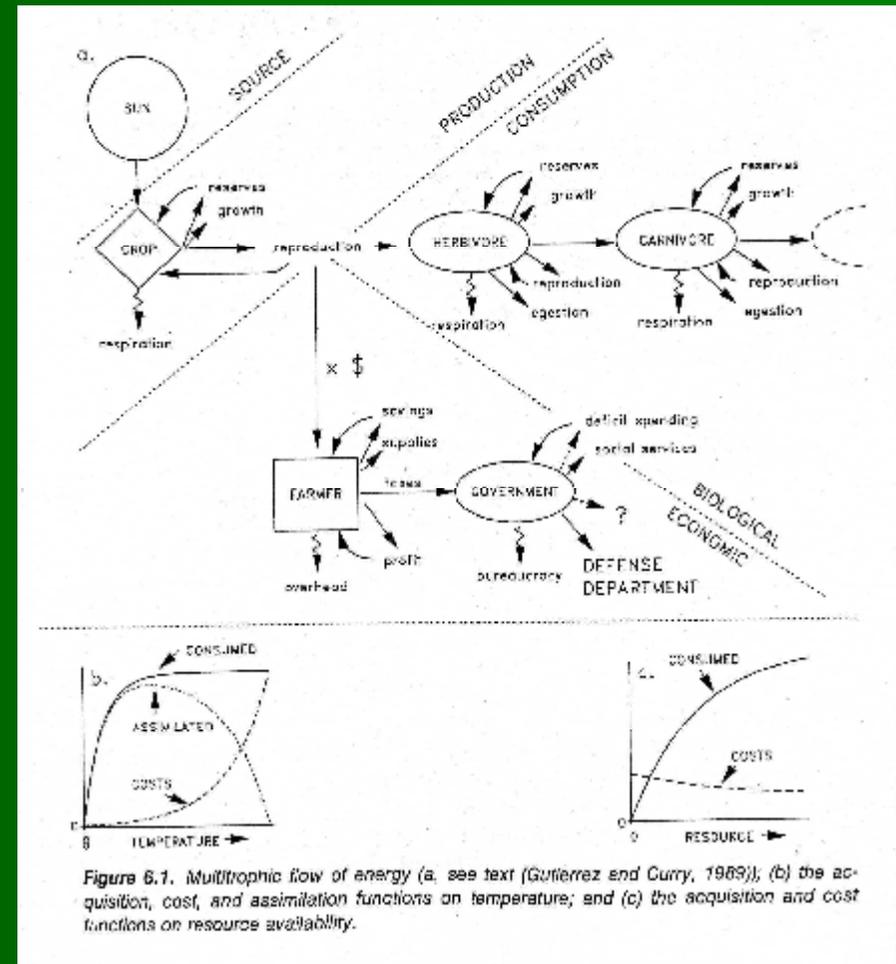
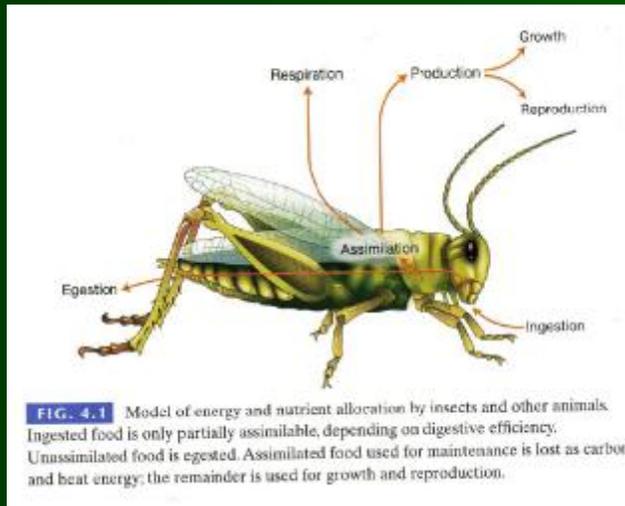


- Spazio delle fasi e spazio dei parametri sottendono due idee diverse di gestione
  - Spazio fasi
    - Manipolazione è limitata alle variabili di stato
    - Proprietà dello spazio sono concepite come costanti
  - Spazio dei parametri
    - Concezione più dinamica
    - Modifica dei parametri produce spazi diversi
    - Intervento attivo modifica il tipo di stabilità
- Risultati
  - Si individuano diverse regioni del sistema
  - Tener conto fonti di incertezza sulle variabili di stato e sui parametri
- Implicazioni per la ricerca
  - Identificazione delle soglie e dei parametri chiave del sistema
  - Identificazione dei modi con cui manipolare comportamento del sistema e la stabilità tramite manipolazione delle variabili di stato o dei parametri
- Implicazioni pratiche
  - Tradurre in operazioni sul sistema i risultati
  - Es. della manipolazione della diffusione
    - Rispetto alla coltura: distanziamento, allineamento, intercropping, esposizione al vento, ecc.)

## 5. APPROCCI DEMOGRAFICI STRUTTURATI

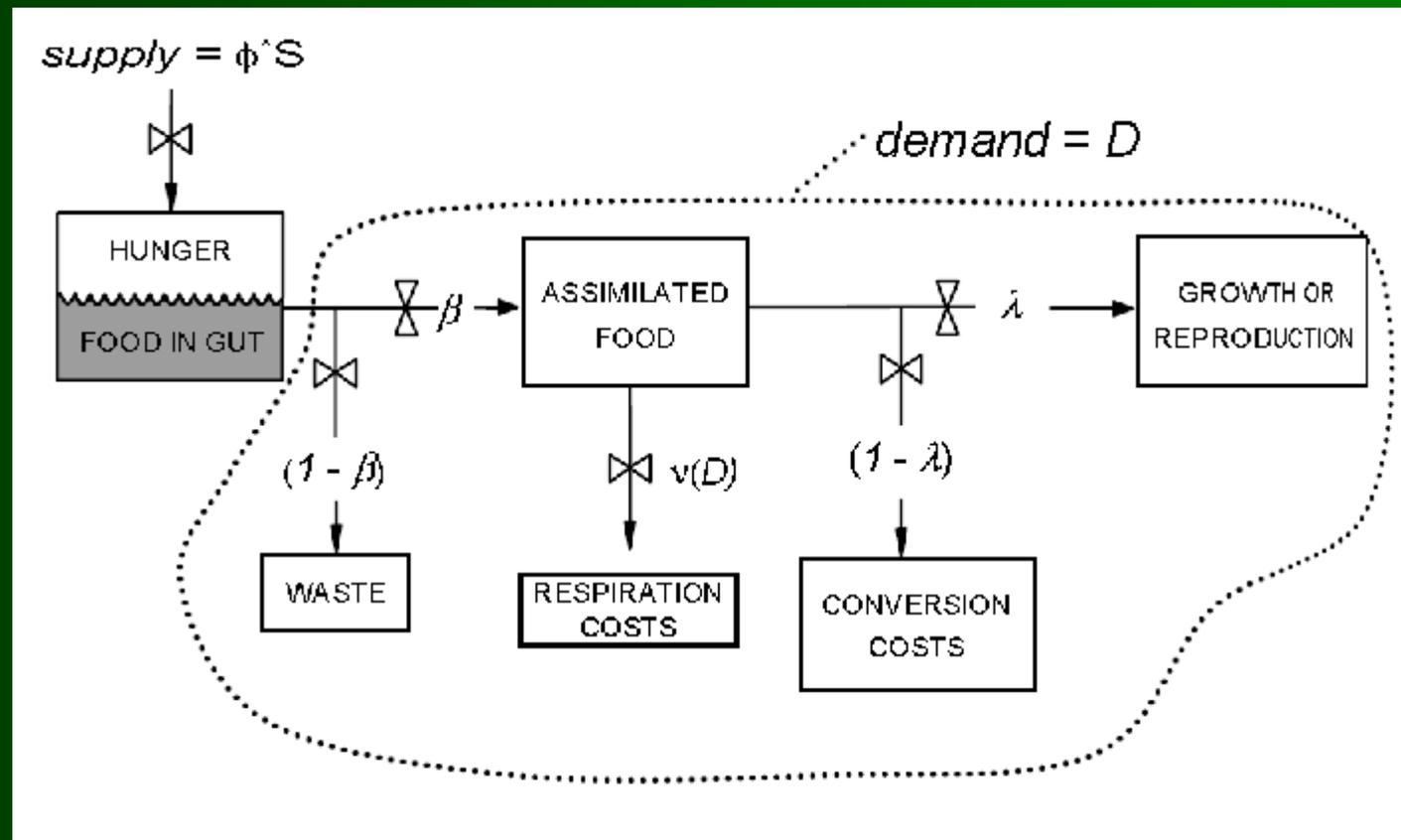
- Nascono e si giustificano spesso a partire dai vincoli degli approcci basati sulla stabilità
  - Modelli di stabilità sono spesso astrazioni a basso grado di realismo biologico
  - Comportamento può risentire grandemente di modificazioni
    - Nella struttura del sistema
    - Nei parametri
  - Sistemi sono dinamici
    - Non ha senso in molti casi rifarsi a situazioni stabili
    - Studio e gestione devono seguire la dinamica temporale
  - Sistemi sono eterogenei
    - Struttura in età
    - Struttura modulare
    - Struttura strategica
    - Struttura spaziale
- Risposta ai vincoli: modelli più complessi
  - Rappresentazione del sistema (struttura e processi)
  - Strumento computazionale

# Approccio demografici distribuiti alla dinamica degli ecosistemi: L'esempio del modello del pool metabolico

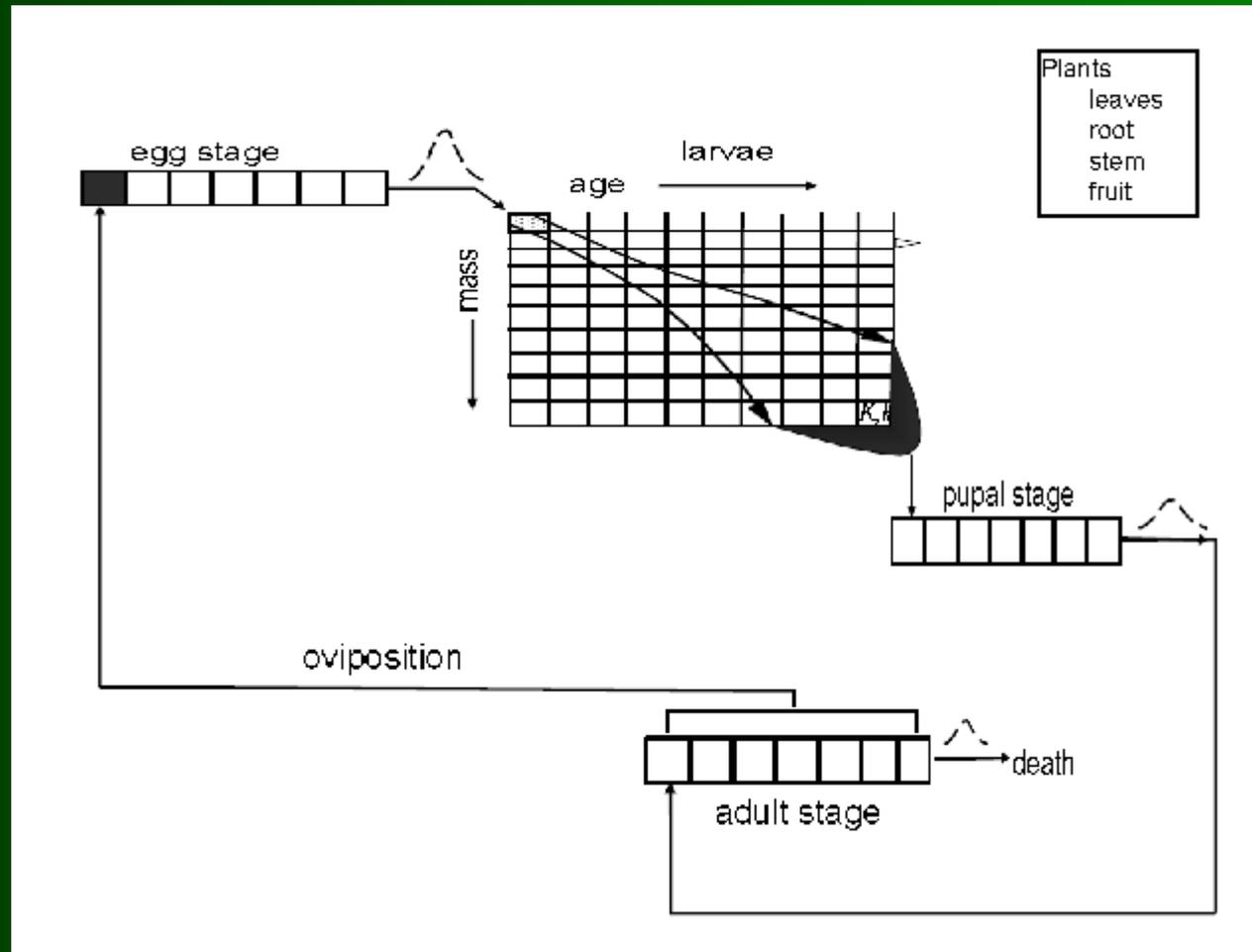


## Concetti chiave:

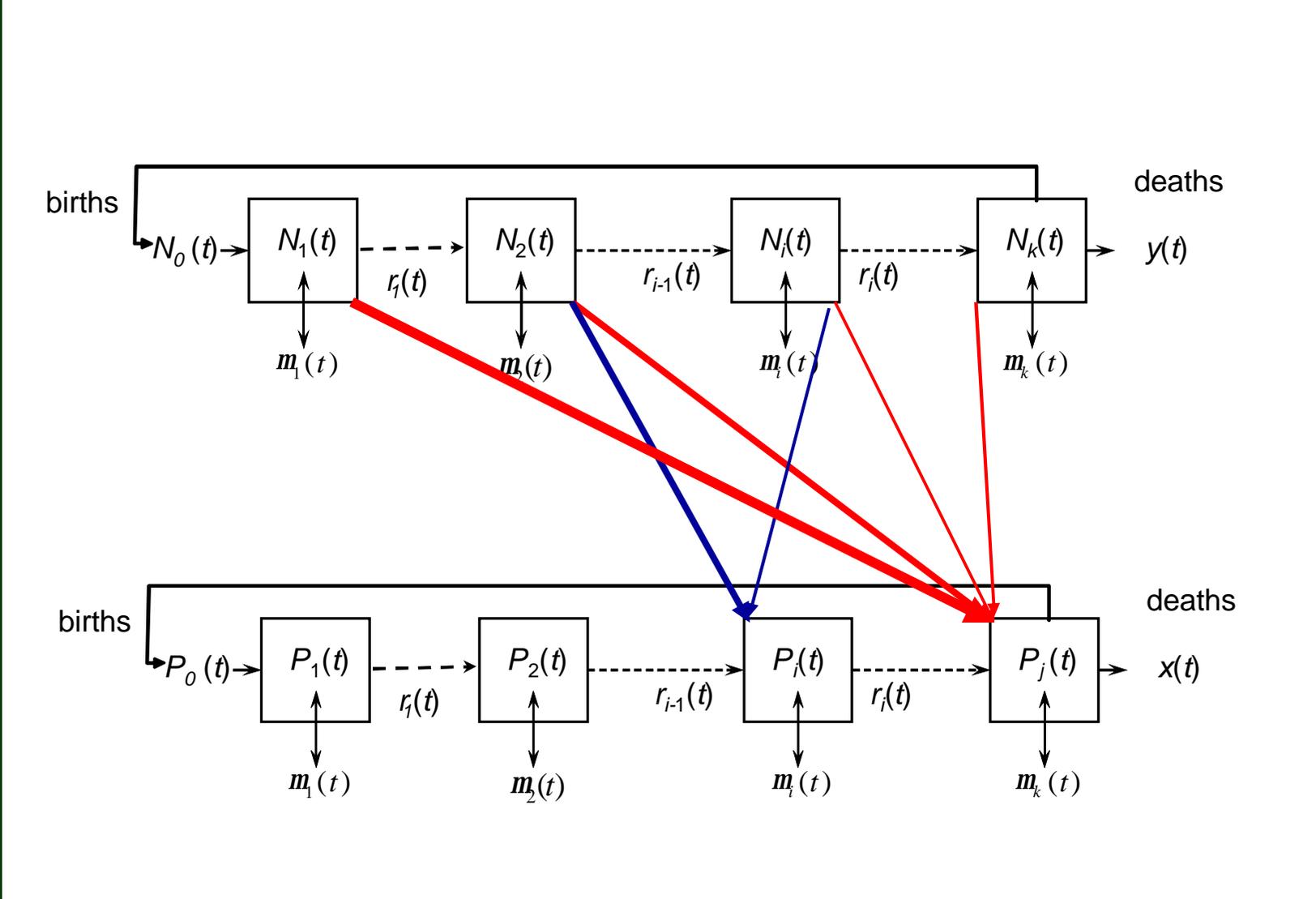
- 1) Tutte le attività fisiologiche hanno un costo
- 2) Regolazione di queste attività dipende dal rapporto S/D
- 3) Allocazione gerarchica della energia
- 4) Logica comune a piante e animali
- 5) Ha un fondamento nella dinamica evolutiva



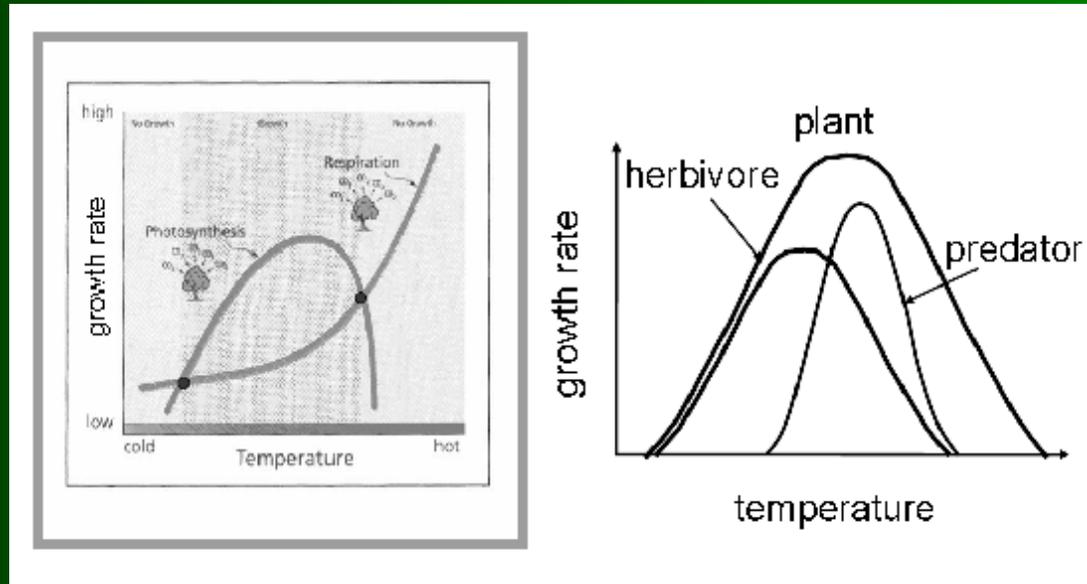
# La dinamica di una popolazione singola



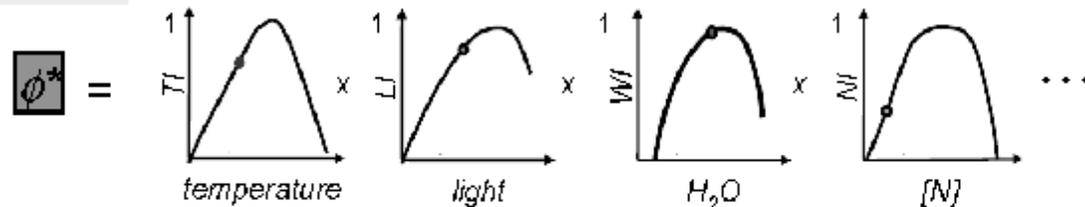
# I processi di interazione: preferenza, ricerca, apparenza, cattura



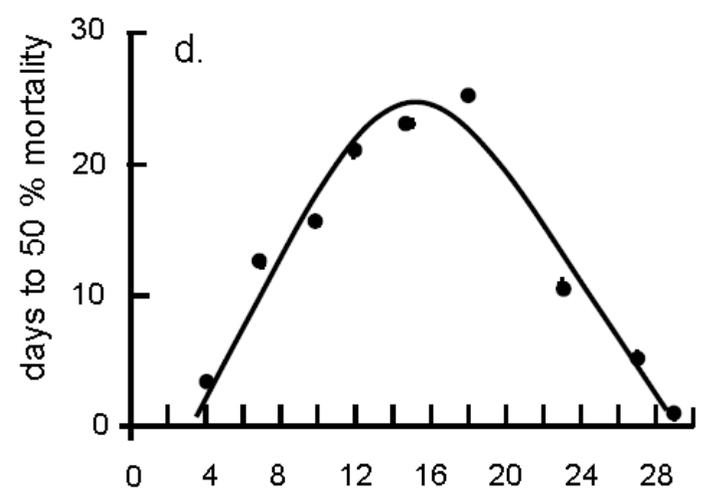
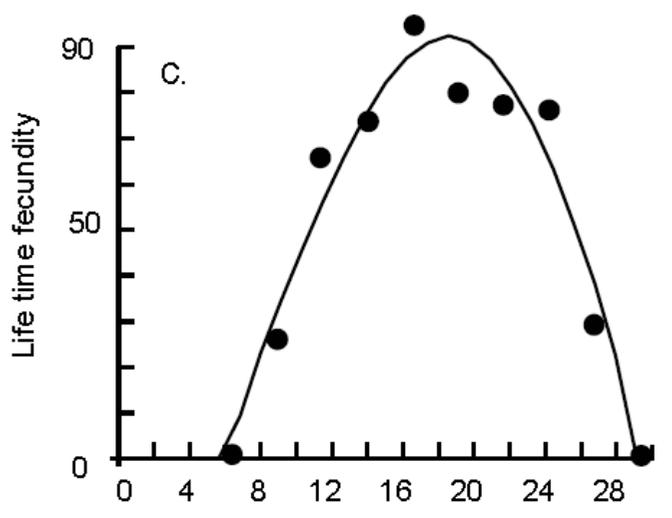
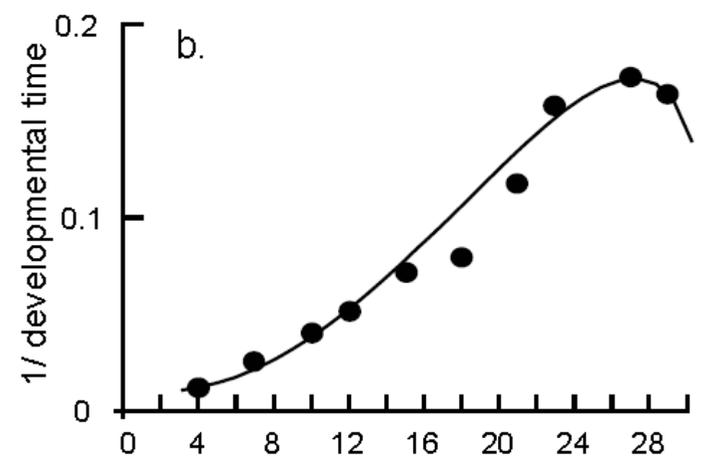
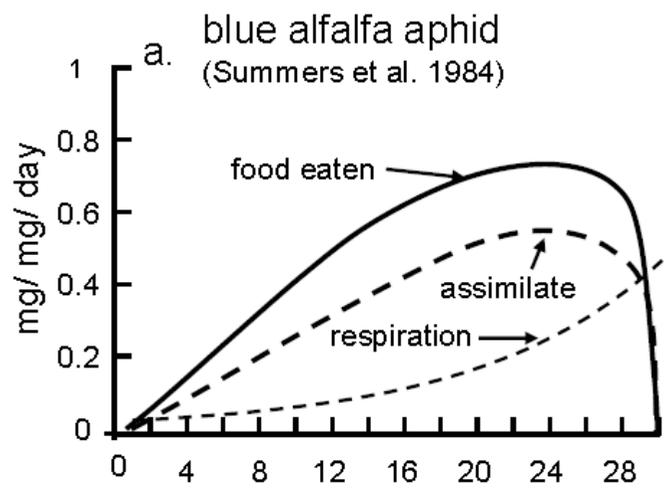
# Le funzioni e la regolazione S/D



## Plants



$$0 \leq \phi(t) = TI(t) \times LI(t) \times WI(t) \times NI(t) \dots < 1$$



temperature (°C)

$$S_1^*(\eta, \omega) = \phi_{\eta,1} \phi_{\omega,1} (1 - e^{(-\alpha_1 M_0)/(D_{c,1} M_1)}) D_{c,1}. \quad (9)$$

$$\frac{dM_1}{dt} = \{\theta_1 \phi_{\eta,1} \phi_{\omega,1} (1 - e^{(-\alpha_1 M_0)/(D_{c,1} M_1)}) D_{c,1} - r_1 M_1^{b_1}\} M_1 - (1 - e^{(-\alpha_2 M_1)/(D_2 M_2)}) D_2 M_2, \quad (11a)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = \{\theta_2 (1 - e^{(-\alpha_2 M_1)/(D_2 M_2)}) D_2 - r_2 M_2^{b_2}\} M_2 - (1 - e^{(-\alpha_3 M_2)/(D_3 M_3)}) D_3 M_3, \quad (12)$$

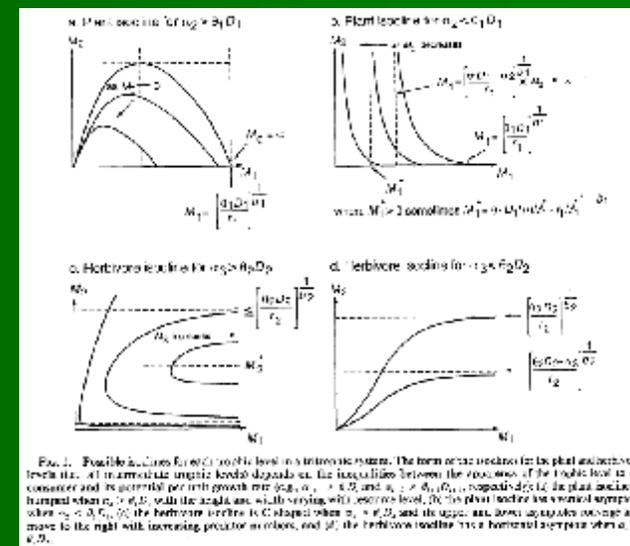
$$\frac{dM_3}{dt} = \{\theta_3 (1 - e^{(-\alpha_3 M_2)/(D_3 M_3)}) D_3 - r_3 M_3^{b_3}\} M_3, \quad (13)$$

Applicazioni

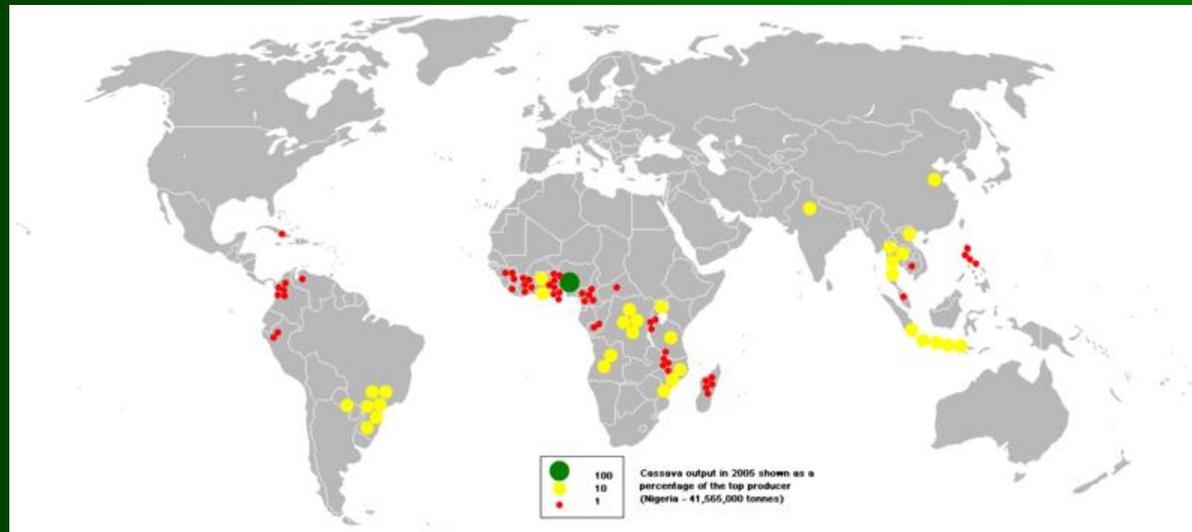
Studio numerico del sistema

Gutierrez et al. (1994)

Studio qualitativo e applicazioni bio-economiche



# Applicazioni: Il sistema cassava





*Manihot esculenta*



*Phenacoccus manihoti* (CM)



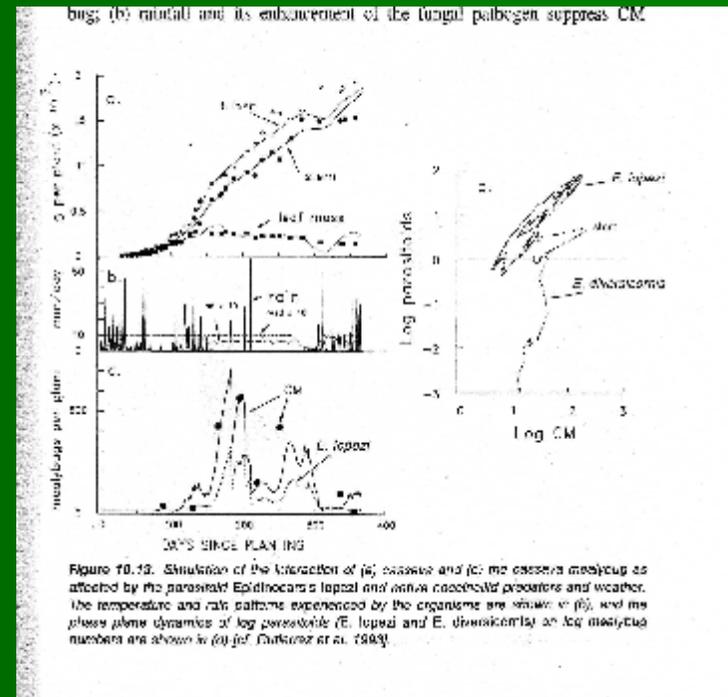
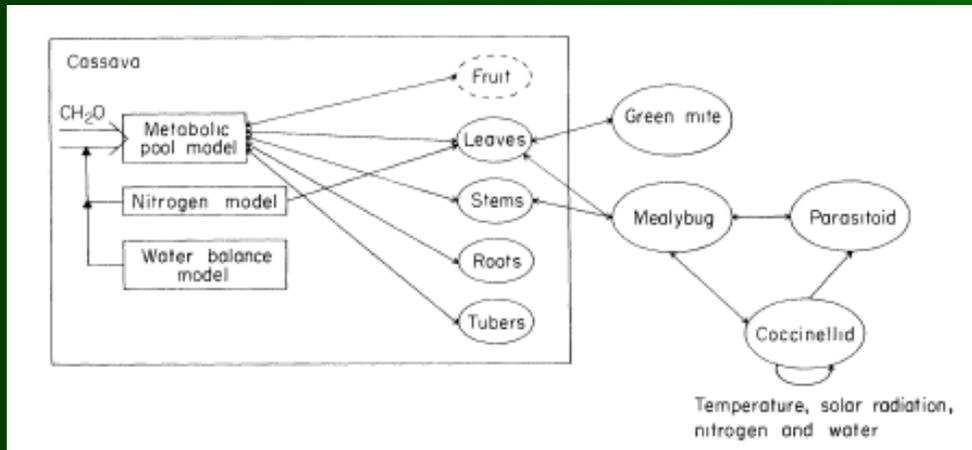
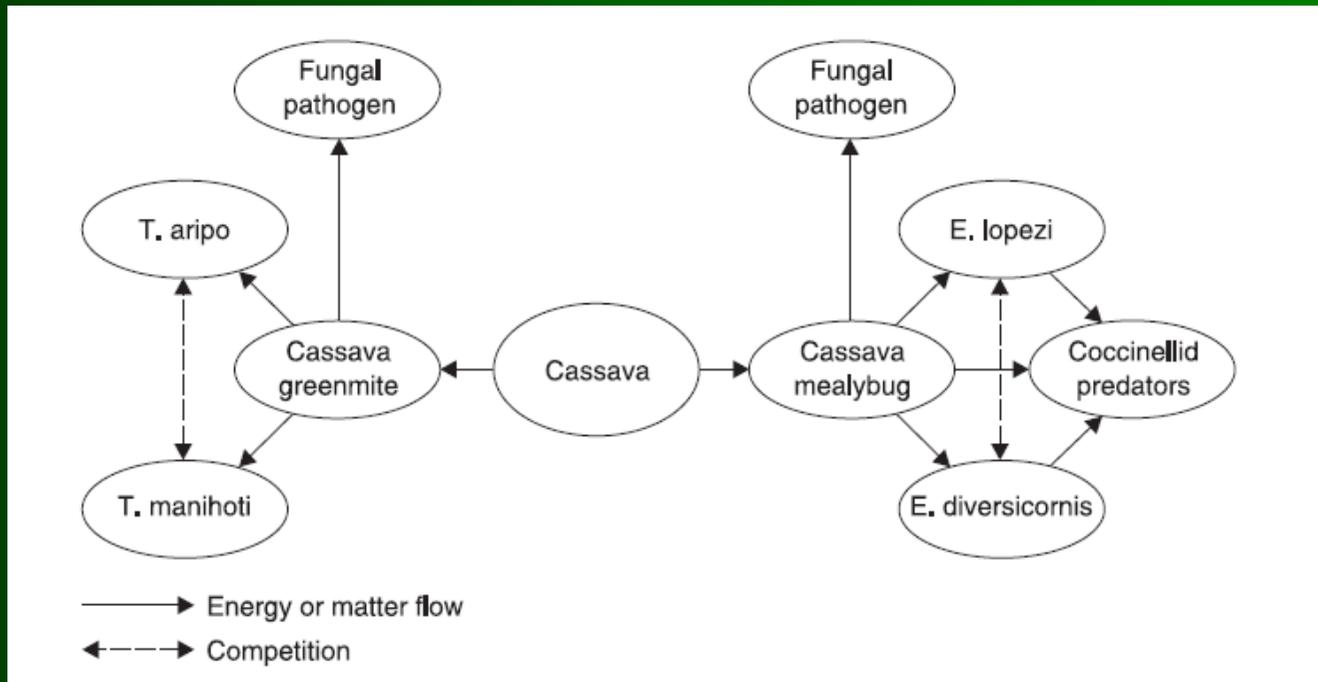
*Epidinocarsis* (= *Apoanagyrus*) *lopezi*

*Apoanagyrus diversicornis*

Coccinellidi

- Esempio eclatante di controllo biologico
  - Importata in Africa nel XVI secolo
  - 70% supply di energia per molte popolazioni Sub-Sahariane
  - Nel 1970 importata in Congo cocciniglia farinosa della cassava
    - Poco importante nell'areale di origine
    - Si diffonde rapidamente in tutto il continente africano
    - Perdite fino all'80%
- Un approccio empirico
  - International Institute of Tropical Agricultural in Nigeria (1979), CIAT Sud America, Commonwealth Institute of Biological Control (CIBC)
  - Herren H. R., Neuenschwander P.
    - Biological Control Program, IITA, Cotonou, Benin.
  - Usano imenottero del Paraguay che ovidepone nelle uova di P. manihoti
    - Alta specificità
    - Rilascio dopo esperimenti in quarantena
  - Impatto impressionante
    - Riduzione delle popolazioni della cocciniglia al 10% dei valori iniziali
    - Ogni dollaro investito in controllo ha un ritorno da 200 a 500 volte superiore

- Un approccio esplicativo
  - Successo di *E. lopezi* e scarsa efficacia di *A. diversicornis*
  - Obiettivo
    - Comprendere la variabilità delle risposte del sistema
    - Spigare il contributo dei componenti del sistema secondo approccio bottom-up
  - Sviluppo di un modello tritrofico integrato
    - Basato su ratio/dependent + supply/demand
- Risultati
  - Parassitoidi sono insufficienti per spiegare dinamica cocciniglia
  - Si individua il contributo del fungo patogeno *Neozytes funosa* durante stagione piogge
    - Mortalità da patogeno aiuta *E. lopezi* a regolare CM
  - Si individua il contributo della pianta
    - Durante periodi di stress idrico e scarsità di Azoto *M. eclulenta* regola indirettamente CM
  - Si comprende il ruolo dei parassitoidi
    - Entrambi preferiscono alte densità di CM ma *E. lopezi* è in grado di sfruttare anche aggregazioni di CM a più bassa densità
    - *E. lopezi* è inoltre dotato di maggiori capacità di ricerca dell'ospite (preda)
    - I due fattori spiegano la dominanza di *E. Lopezi* in situazioni di bassa densità
  - Contributo dei coccinellidi
    - Possono ridurre i livelli di popolazione ma non regolano CM
  - Esito del controllo indipendente dalla sequenza di comparsa degli "attori"

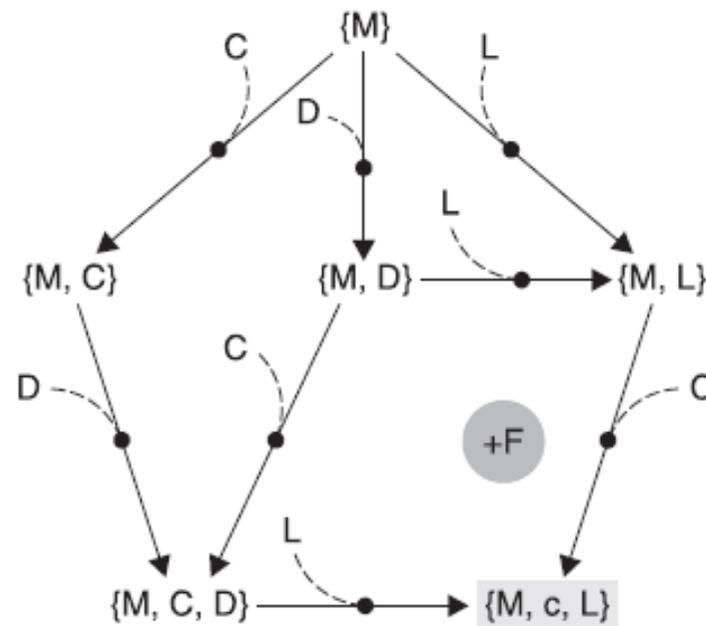


### Species

M = mealybug  
C = coccinellid predators  
D = *E. diversicornis*  
L = *E. lopezi*  
F = *N. fumosa*

Evolution of system  
→

Entry to system  
⋯•



# Applicazioni: L'estensione al CGM



*Monoychellus tanajoa*

*Typhlodromalus aripo*  
*Typhlodromalus manihoti*

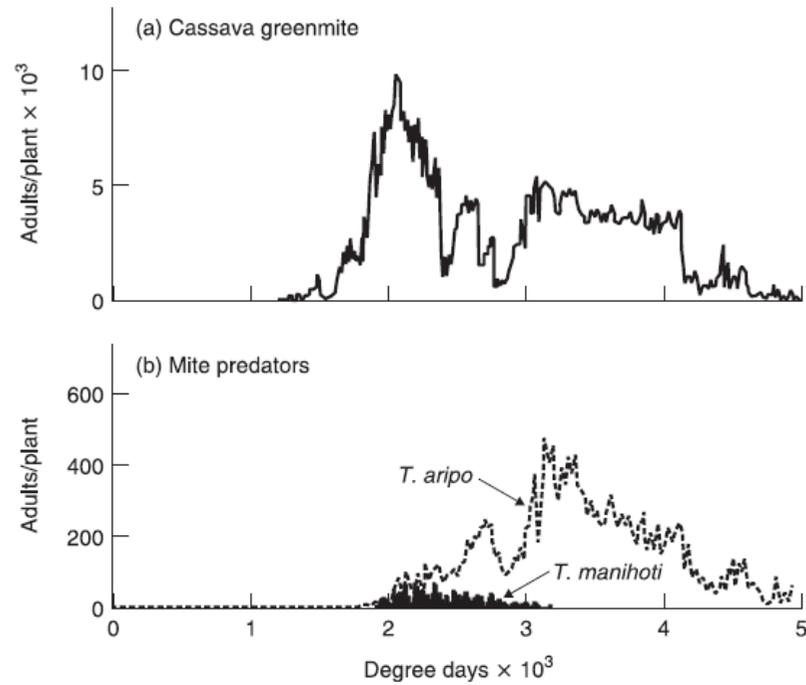


Figure 10.11. Simulated dynamics of cassava greenmite and two of its introduced natural enemies (*Tetranychus aripo* and *T. manihoti*). Note that *T. aripo* displaces *T. manihoti*.

## 6. UN TENTATIVO DI SINTESI

- Marcata dicotomia nello sviluppo e applicazione dei modelli multitrofici

MODELLI AGGREGATI



MODELLI DISTRIBUITI



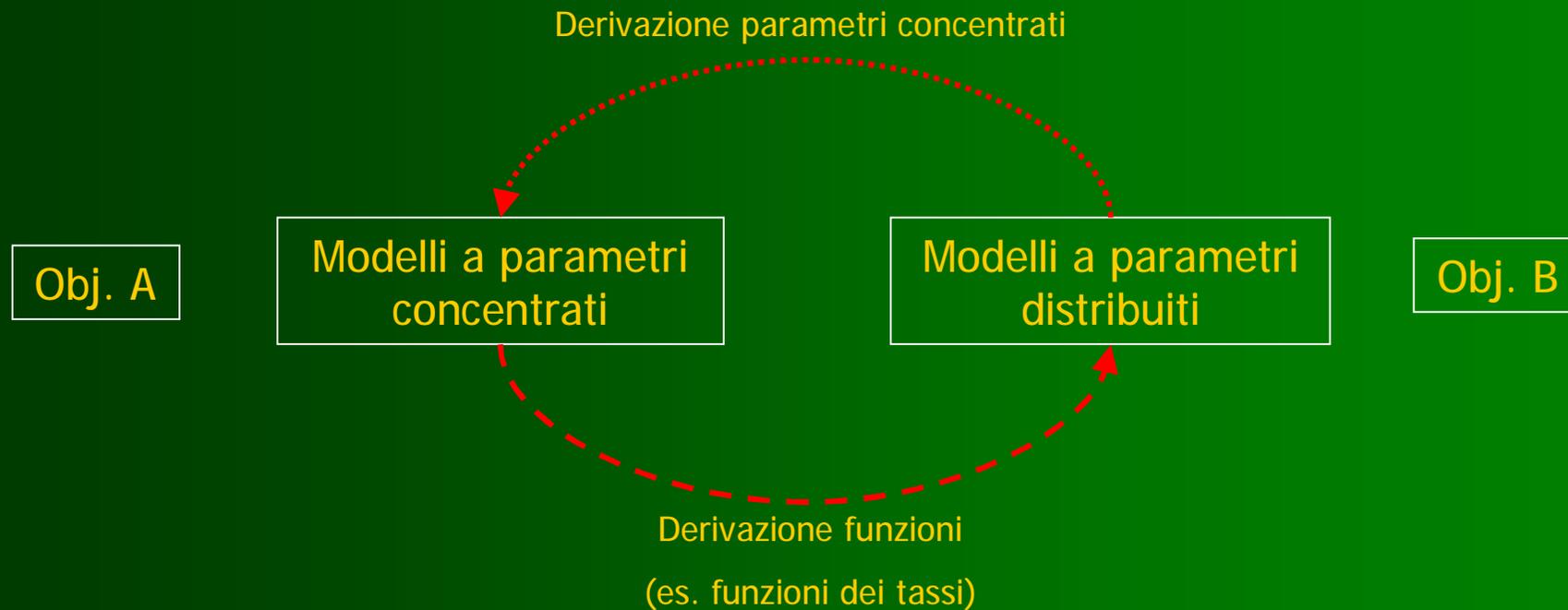
Generalità  $\mathcal{B}$ -----à Specificità

Trattabilità matematica  $\mathcal{B}$ -----à Realismo biologico

Studio teorico  $\mathcal{B}$ -----à Applicazioni

Approcci qualitativi  $\mathcal{B}$ -----à Approcci numerici

- Presupposti per la sintesi
  - Spesso la dicotomia è frutto di posizioni preconcepite e idiosincratiche
    - “Matematici” da un lato e “biologi” dall’altro
  - Approcci aggregati (lumped) e distributi non sono in contraddizione
  - Ciascun approccio offre vantaggi e limiti
    - Rispetto ad un dato problema
    - Rispetto ad un dato contesto di gestione
- Esistono invece numerosi vantaggi dal comprendere che i due approcci possono coesistere ed essere in continuità
  - Un sistema può essere rappresentato a diversi livelli di dettaglio
  - Lasciando aperta la possibilità di una progressiva semplificazione o complessificazione del modello stesso in funzioni degli obiettivi dell’analisi
  - In questo modo è possibile tener conto
    - Delle diverse forme di eterogeneità demografica, comportamentale e spaziale
    - Della dipendenza dei processi da variabili forzanti ambientali



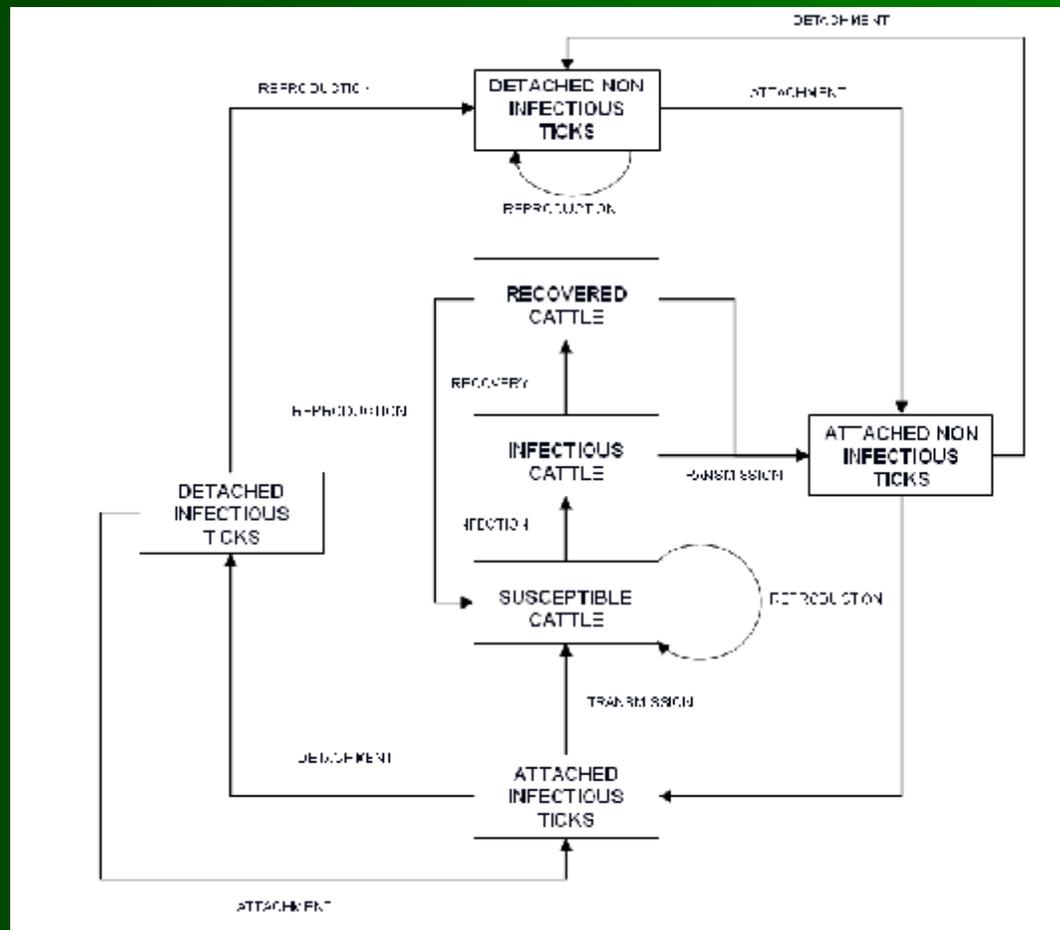
- Elementi del metodo
  - Sviluppare metodi che consentano il passaggio tra i due
  - Sviluppo di modelli a parametri concentrati
    - Derivazioni di funzioni aggregate per equazioni di bilancio
    - Stima di parametri
  - Sviluppo di modelli a parametri distribuiti
    - Definizione di funzioni distribuite con dipendenza da forzanti ambientali
    - Stima di funzioni

- Presupposti per la derivazione di parametri concentrati
  - Si fissano le condizioni ambientali
    - Es. la temperatura ambientale media
  - Si fanno opportune ipotesi sulla struttura demografica della popolazione
    - Es. struttura stabile in età
  - Si fanno opportune ipotesi sulla struttura strategica della popolazione
    - Es. si stima la durata media del periodo in cui un individuo della popolazione si trovi in un dato stadio funzionale, come l'ovideposizione
  - Si fanno opportune ipotesi sulla struttura spaziale della popolazione
    - Es. si stima la probabilità che un individuo ha di trovarsi in un determinato comparto ambientale
  - Si fanno opportune ipotesi sulla struttura delle interazioni
    - Es. si stimano le matrici delle preferenze stadioXstadio nel processo di predazione
- Sulla base delle diverse assunzioni e di metodi opportuni si stimano i parametri del modello aggregato

# Applicazioni: Un modello eco-epidemiologico per la ECF

Gilioli G., Baumgärtner J. (2009) Parameter estimation for an eco-epidemiological model of Brown Ear tick (*Rhipicephalus appendiculatus*, Acari: Ixodidae) transmitted East Coast Fever in African livestock

Gilioli G., Groppi M., Vesperoni M.P., Baumgärtner J., Gutierrez A.P. (2009) An epidemiological model of East Coast Fever in African livestock



$$\dot{w}_0 = jW + dw_0 - a \frac{aH}{1+H} v_0 - mw_0$$

detached non infectious ticks (1a)

$$\dot{w}_1 = dw_1 - a \frac{aH}{1+H} v_1 - mw_1$$

detached infectious ticks (1b)

$$\dot{w}_0 = a \frac{aH}{1+H} v_0 - dw_0 - hw_0 - b(h_1 + ch_2)w_0$$

attached non infectious ticks (1c)

$$\dot{w}_1 = a \frac{aH}{1+H} v_1 + b(h_1 + ch_2)w_0 - dw_1 - hw_1$$

attached infectious ticks (1d)

$$\dot{h}_0 = g(h_0 + h_2) - sh_0w_1 - wh_0$$

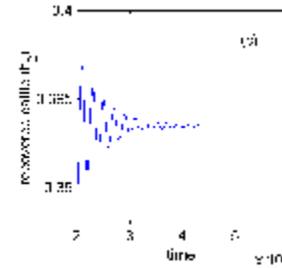
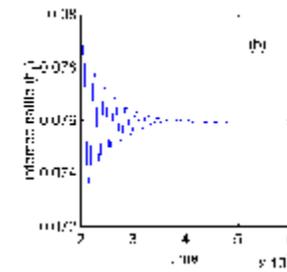
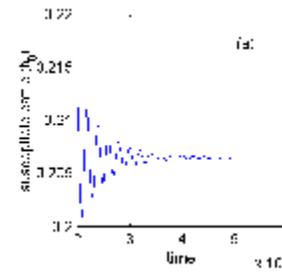
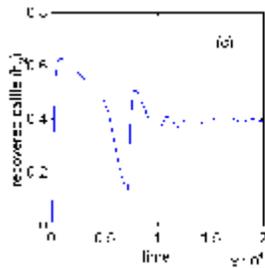
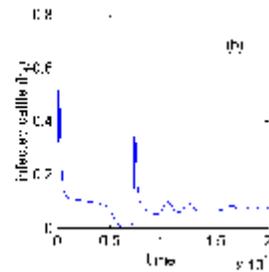
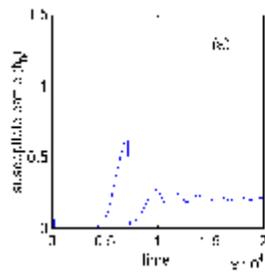
susceptible cattle (1e)

$$\dot{h}_1 = sh_0w_1 - bJh_1 - wrh_1$$

infected and infectious cattle (1f)

$$\dot{h}_2 = bJh_1 - wh_2$$

recovered cattle (1g)



## 7. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

- I modelli in IPM
  - Sono strumenti
  - Sintesi, manipolazione e genesi di conoscenze
  - Devono evolvere con la evoluzione del contesto applicativo
    - Evoluzione delle conoscenze  $\Rightarrow$  evoluzione delle capacità
- La scelta di un modello deve tener conto allo stesso tempo
  - Contesto specifico della gestione
    - Specifici vincoli presenti (incluse le risorse) e possibilità che si offrono
  - Obiettivi specifici per cui viene sviluppato
  - Strumenti computazionali disponibili
    - Precisa analisi dei vincoli e possibilità
- La gestione dei sistemi di IPM è un problema complesso
  - Deve compiersi nel framework della gestione adattativa (Adaptive Management)

- In questo contesto modelli aggregati e modelli distribuiti sono
  - Strumenti egualmente validi e utili
  - Possono essere privilegiati uno o l'altro in funzione di criteri legati
    - Al contesto della gestione
    - Al tipo di problema
    - Alle risposte che si stanno cercando
  - Costituiscono strumenti che possono essere messi tra loro in comunicazione
    - Fatti evolvere in una o nell'altra forma a seconda delle esigenze
    - Ampliare il possibile contributo della modellistica al processo di decision making