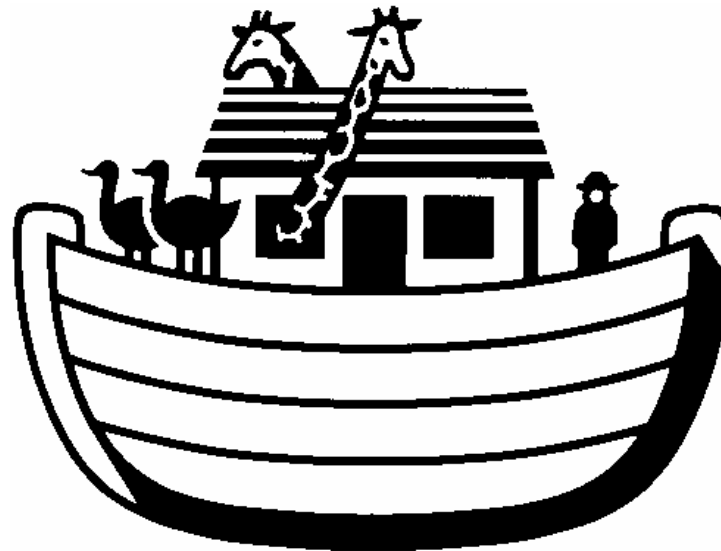

CATENE ALIMENTARI

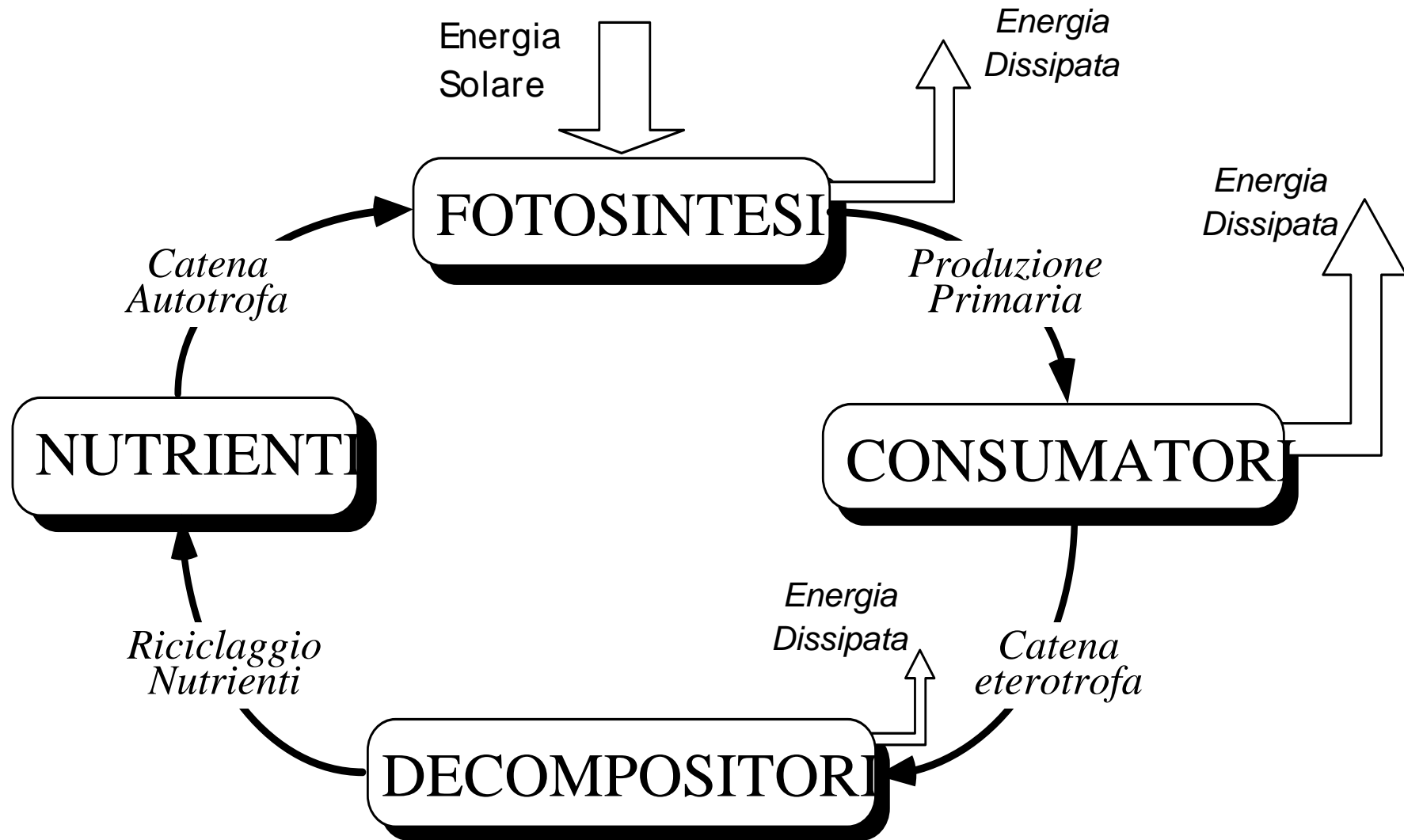


Relazioni alimentari fra organismi che occupano lo stesso ecosistema

Catene Alimentari

- ☞ Trasferimento di **energia** e **materiali** attraverso i componenti di un Ecosistema
- ☞ La relazione di trasferimento è di tipo *alimentare*
- ☞ Estensione della relazione preda-predatore a più specie “*in cascata*”
- ☞ Se queste relazioni non sono semplicemente 1 a 1, ma si incrociano si ha la “*Rete Alimentare*”
- ☞ La “Rete” ha molte più connessioni della “Catena” singola: questo aumenta la *stabilità* dell’ecosistema
- ☞ La stabilità è dovuta alle risorse *alternative* su cui ciascuna specie può contare
- ☞ Alla base della rete alimentare c’è il ciclo energetico dell’ecosistema

Flusso di Energia in un Ecosistema



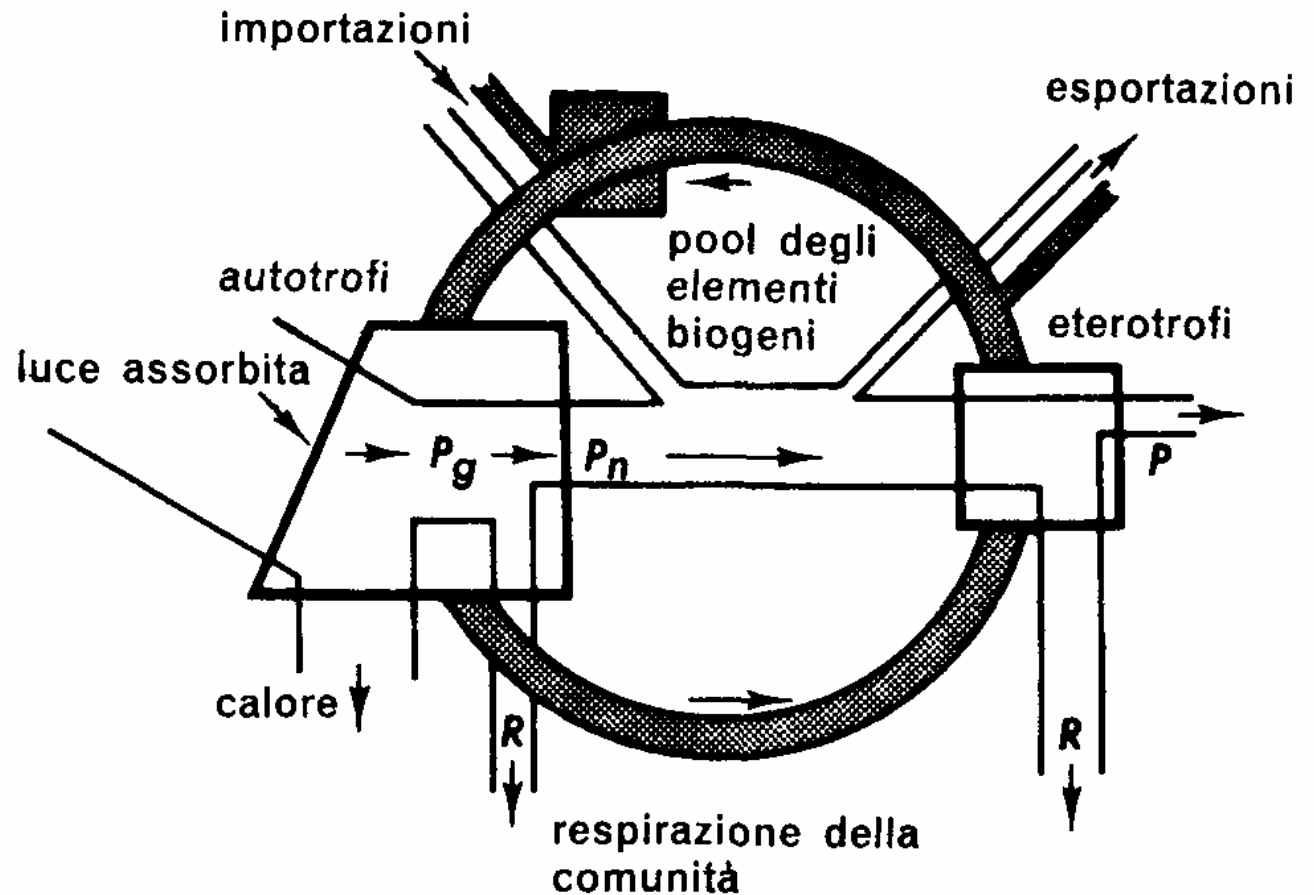
Flussi di Materia ed Energia

Il flusso di Energia è in una sola direzione (*dissipativo*)
Il flusso di Materia è circolare (*conservativo*)

I bilanci di flusso
(Materia ed Energia) già
considerati erano di tipo
STATICO

Questa approssimazione
è molto grossolana dato
che l'ecosistema è
sempre soggetto a
fluttuazioni (stagionali,
giornaliere, etc.)

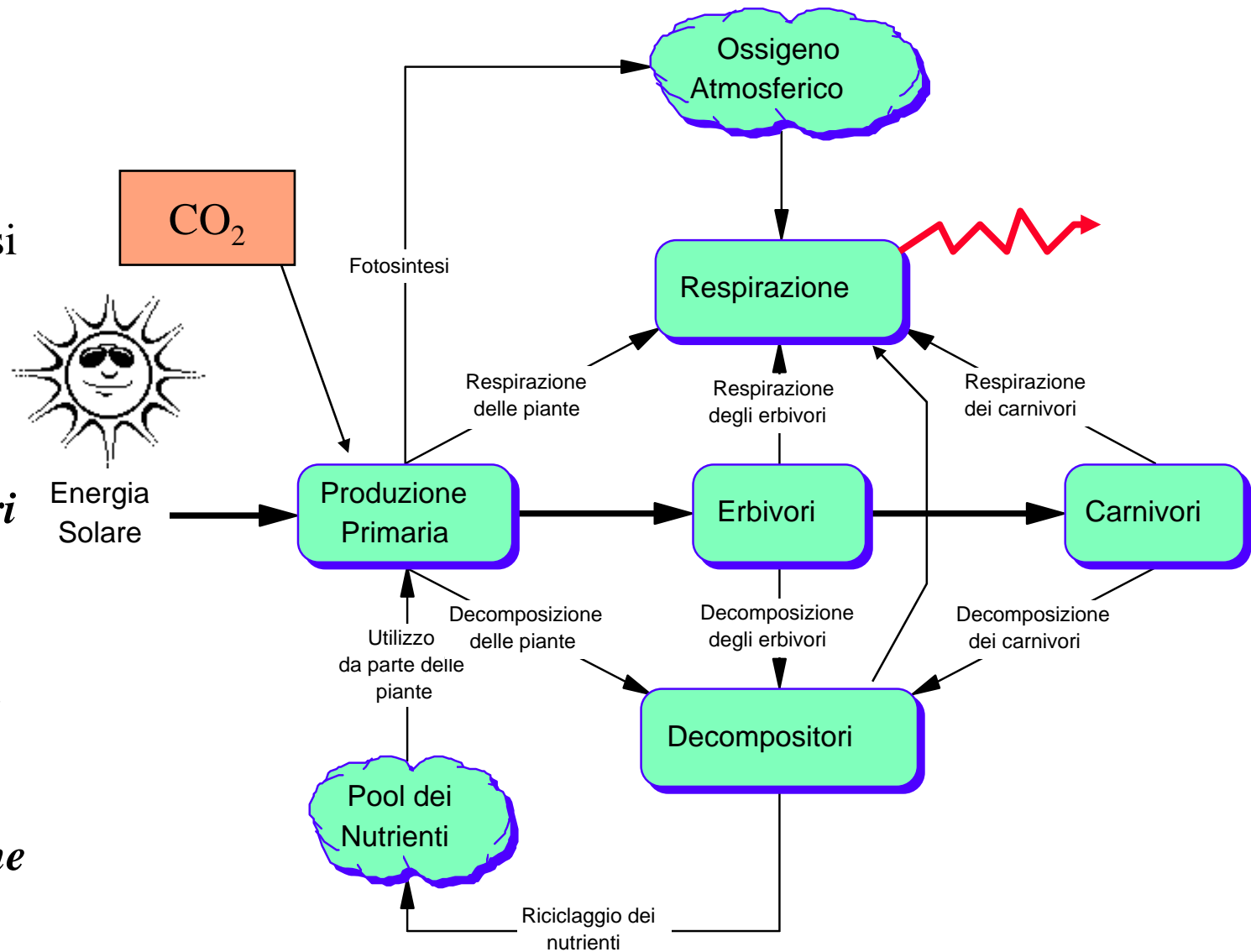
Serve un modello
DINAMICO



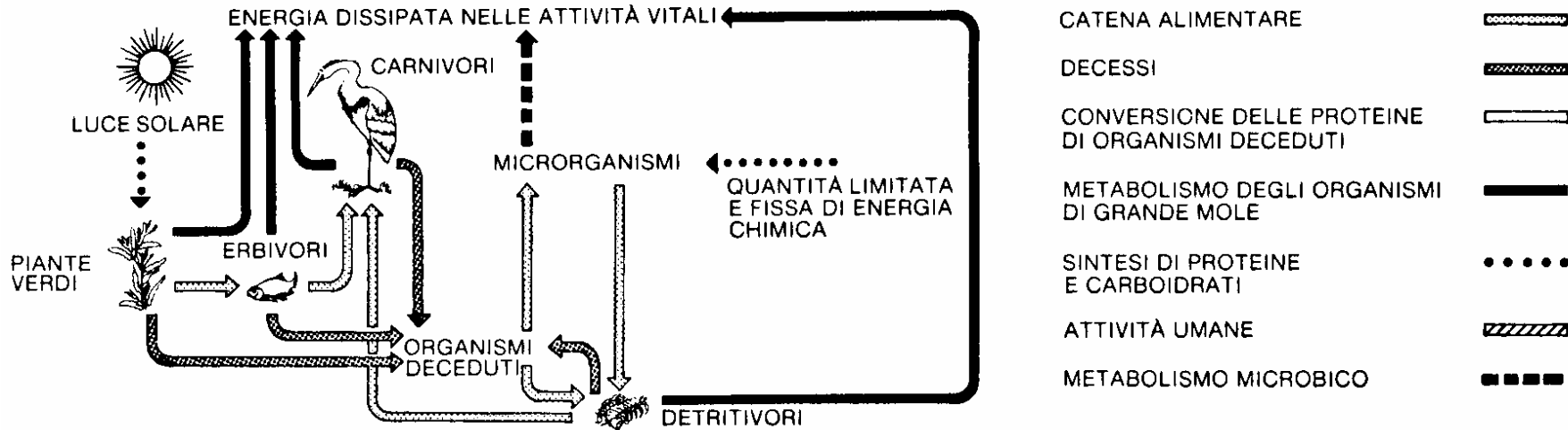
Struttura della catena alimentare semplice

☞ Nel ciclo energetico complessivo (che è chiuso) si considera la catena (aperta) **Produzione Primaria** → **Consumatori**

☞ Ad essa si affiancano in parallelo le due catene di **Respirazione e Decomposizione**



Tipi di Trasferimento di una Catena Alimentare



La *Catena Alimentare* trasferisce *Energia* sotto forma di *materiale organico (biomassa)*

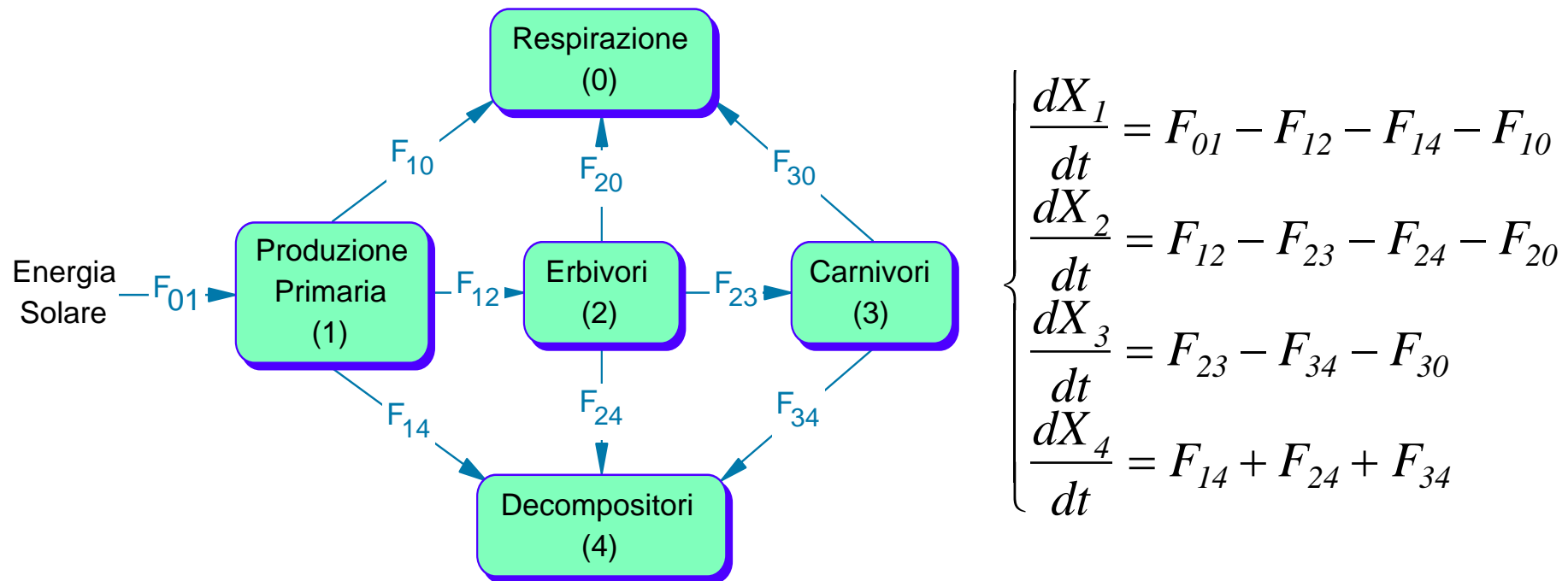
La *Catena dei Decompositori* trasferisce *Materia* sotto forma di *materiale inorganico (nutrienti)*

Dinamica della Catena Alimentare

- La variazione del contenuto energetico di ciascun comparto è pari alla somma algebrica dei flussi di energia entranti ed uscenti (se il sistema è “chiuso”)

$$\frac{dX_i}{dt} = F_i^{in} - F_i^{out} \quad \begin{array}{l} F_{i0} = \text{perdita per respirazione} \\ F_{i4} = \text{perdita per decomposizione} \end{array}$$

- I flussi da considerare sono quelli di trasporto (o perdita) di energia



Specifiche dei flussi energetici

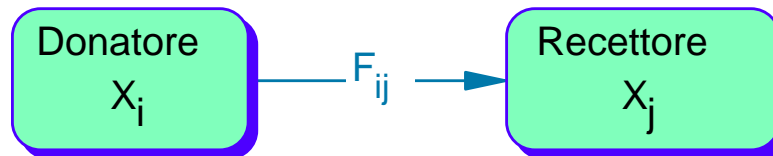
- ☞ La somma totale dei flussi nell'ecosistema è pari all'apporto dell'energia solare (F_{01}) meno le perdite per respirazione (F_{i0})

$$\sum_i \frac{dX_i}{dt} = F_{01} - \sum_i F_{i0}$$

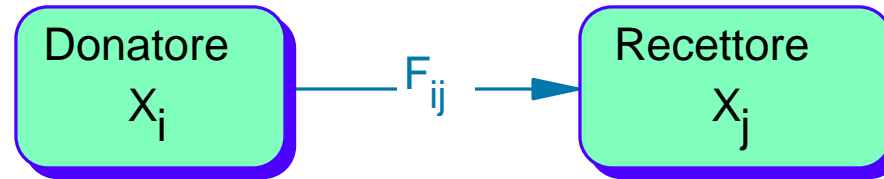
- ☞ Per “chiudere” il modello è necessario esprimere i flussi in funzione delle variabili di stato X_i , che rappresentano l'accumulo di energia sotto forma di biomassa in ciascun comparto

$$F_{ij} = f(X_i, X_j)$$

dove X_i è il comparto “donatore” e X_j è il comparto “recettore”



Possibili espressioni dei flussi energetici



$$F_{ij} = K_{ij} \cdot X_i$$

dipende dal donatore

$$F_{ij} = K_{ij} \cdot X_j$$

dipende dal recettore

$$F_{ij} = K_{ij} \cdot X_i \cdot X_j$$

dipende da entrambi

$$F_{ij} = K_{ij} \cdot X_j \cdot (1 - \beta_{ij} \cdot X_j)$$

dipende da ambedue (Lotka-Volterra)

$$F_{ij} = K_{ij} \cdot X_j \cdot (1 - \alpha_{ij} \cdot X_i - \beta_{ij} \cdot X_j)$$

dipendenza competitiva

$$F_{ij} = K_{ij} \frac{X_i \cdot X_j}{\gamma + X_i}$$

dipendenza funzionale (es. tipo 2)

Modello esplicito di catena alimentare

☞ Esprimere i flussi in funzione delle densità di biomassa in ciascun comparto

☞ Ipotesi:

- ⇒ Si sceglie una funzione del tempo per rappresentare l'andamento della radiazione solare (es. sinusoidale)
- ⇒ Si suppone che ogni predatore (erbivori e carnivori) abbia una risposta funzionale di tipo 2

$$\text{Produzione primaria} \quad \frac{dX_1}{dt} = P(t) - T_1 \frac{X_1 \cdot X_2}{K_1 + X_1} - M_1 \cdot X_1 - R_1 \cdot X_1$$

$$\text{Erbivori} \quad \frac{dX_2}{dt} = Y_1 \cdot T_1 \frac{X_1 \cdot X_2}{K_1 + X_1} - T_2 \frac{X_2 \cdot X_3}{K_2 + X_2} - M_2 \cdot X_2 - R_2 \cdot X_2$$

$$\text{Carnivori} \quad \frac{dX_3}{dt} = Y_2 \cdot T_2 \frac{X_2 \cdot X_3}{K_2 + X_2} - M_3 \cdot X_3 - R_3 \cdot X_3$$

$$\text{Decompositori} \quad \frac{dX_4}{dt} = M_1 \cdot X_1 + M_2 \cdot X_2 + M_3 \cdot X_3 - M_4 \cdot X_4 - R_4 \cdot X_4$$

Parametri del modello (Silver Springs)

☞ Radiazione solare (scala dei tempi in settimane, partendo dal 1° Gennaio)

$$P(t) = 400 + 150 \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{52}(t - 11)\right] \quad \left[\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{w} \right]$$

☞ Parametri del modello

Produzione Primaria

T1 = 1.5 ; % Grass grazing rate (1/w)

K1 = 1500; % Grass half velocity constant (kcal/m²)

M1 = 0.03; % Grass decay rate (1/w)

R1 = 0.07; % Grass respiration rate (1/w)

Erbivori

Y1 = 0.4; % Herbivore grazing yield (-)

T2 = 5.7; % Herbivore growth rate (1/w)

K2 = 50; % Herbivore half velocity constant (kcal/m²)

M2 = 0.06 % Herbivore decay rate (1/w)

R2 = 0.15 % Herbivore respiration rate (1/w)

Carnivori/Decompositori

Y2 = 0.03158; % Carnivore predation yield rate (-)

R3 = 0.1; % Carnivore respiration rate (1/w)

M3 = 0.02; % Carnivore decay rate (1/w)

R4 = 3; % Decomposer respiration rate (1/w)

☞ Condizioni iniziali

$$X_1 = 3000 \quad \left[\text{kcal}/\text{m}^2 \right] \quad X_2 = 100 \quad \left[\text{kcal}/\text{m}^2 \right] \quad X_3 = 5 \quad \left[\text{kcal}/\text{m}^2 \right] \quad X_4 = 34 \quad \left[\text{kcal}/\text{m}^2 \right]$$

Esempio di bilanciamento stazionario del modello

- ☞ Conoscendo il valor medio della radiazione solare ($P = 400$) ed i parametri biologici M_i e R_i , trovare la dinamica dei consumatori (Erbivori/Carnivori) ed il trasferimento di energia (Y_1 e Y_2)

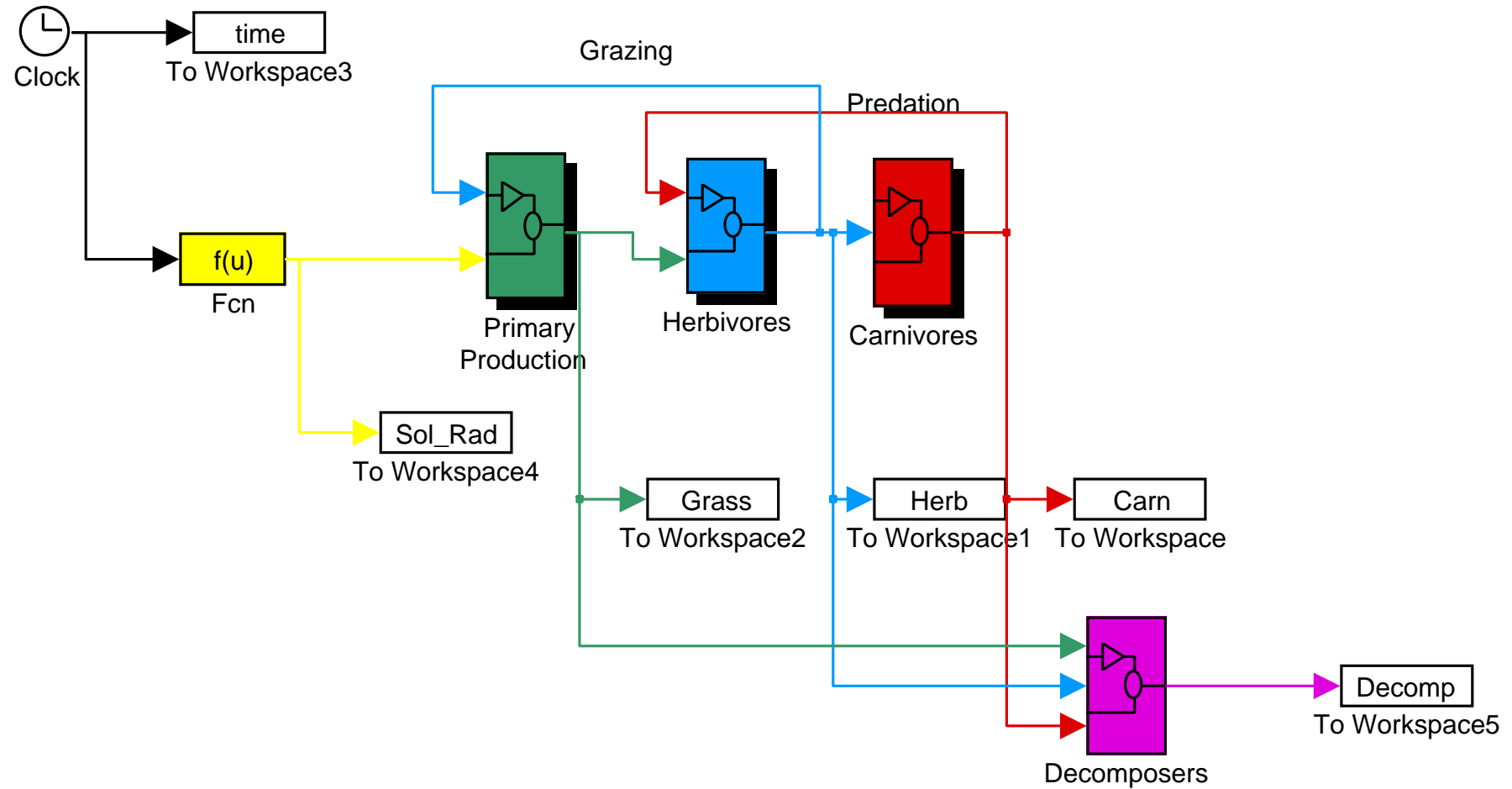
$$T_1 \frac{3000 \cdot 100}{K_1 + 3000} = 400 - 3000 \cdot (0.01 + 0.07) = 100 \quad \text{Produzione Primaria}$$

$$Y_1 \cdot 100 - 100 \cdot (0.15 + 0.06) = Y_1 \cdot 100 - 21 \quad \text{Erbivori}$$

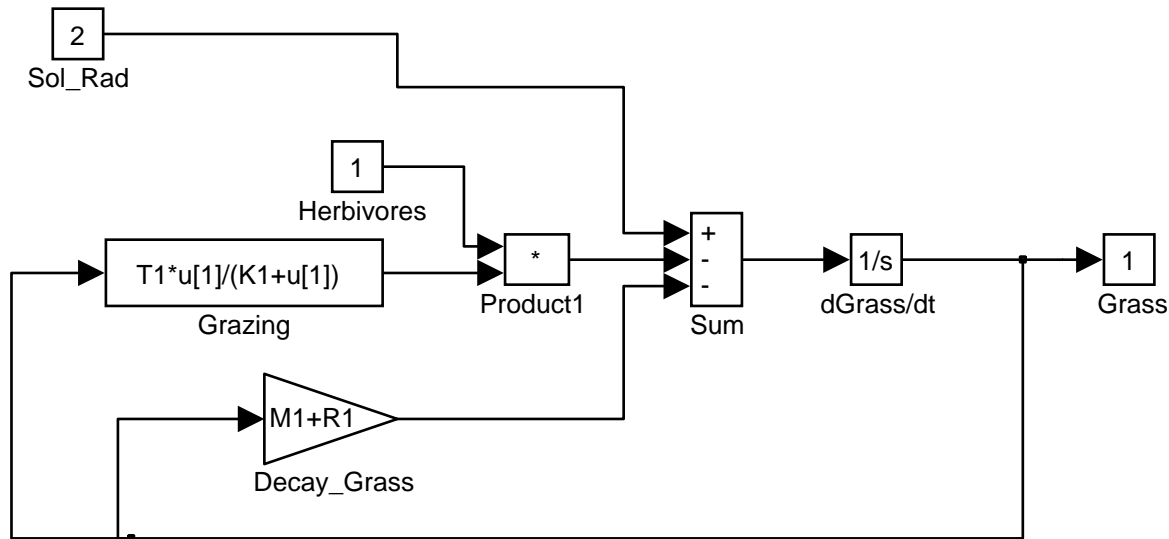
$$Y_2 \cdot (Y_1 \cdot 100 - 21) = 5 \cdot (0.1 + 0.02) = 0.6 \quad \text{Carnivori}$$

$$Y_1 = 0.4 \quad e \quad Y_2 = 0.03185$$

Implementazione Simulink del modello “Silver Springs”

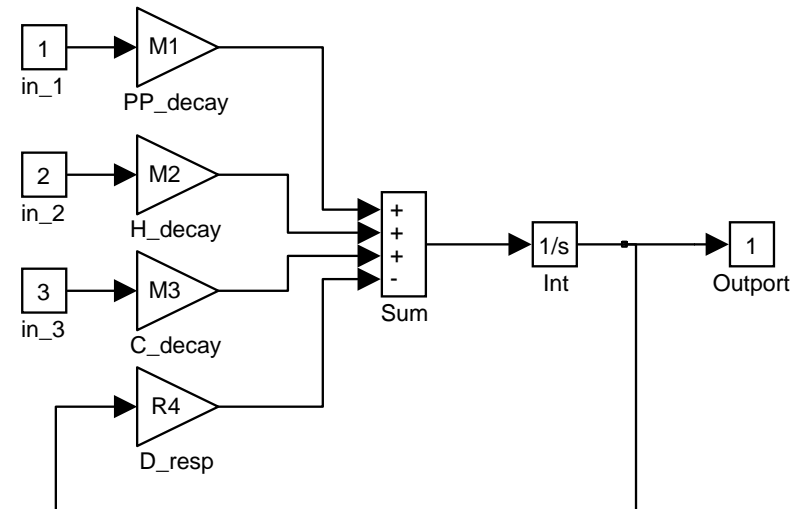


Comparti Produzione Primaria/Decompositori

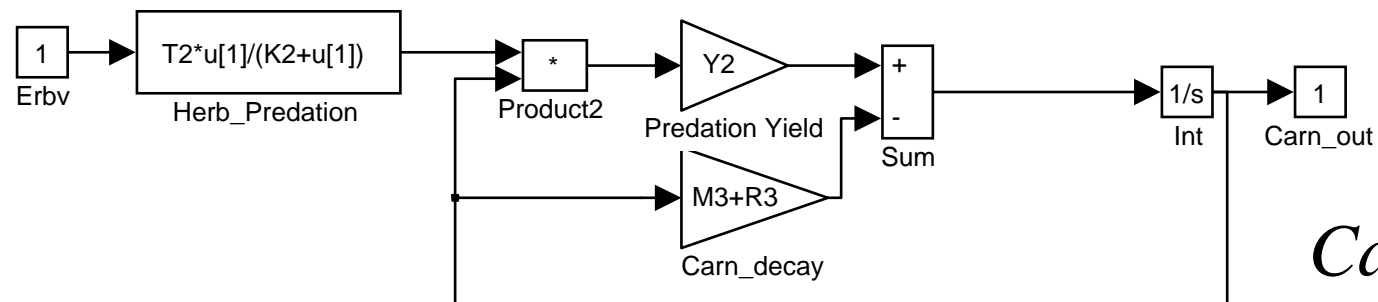
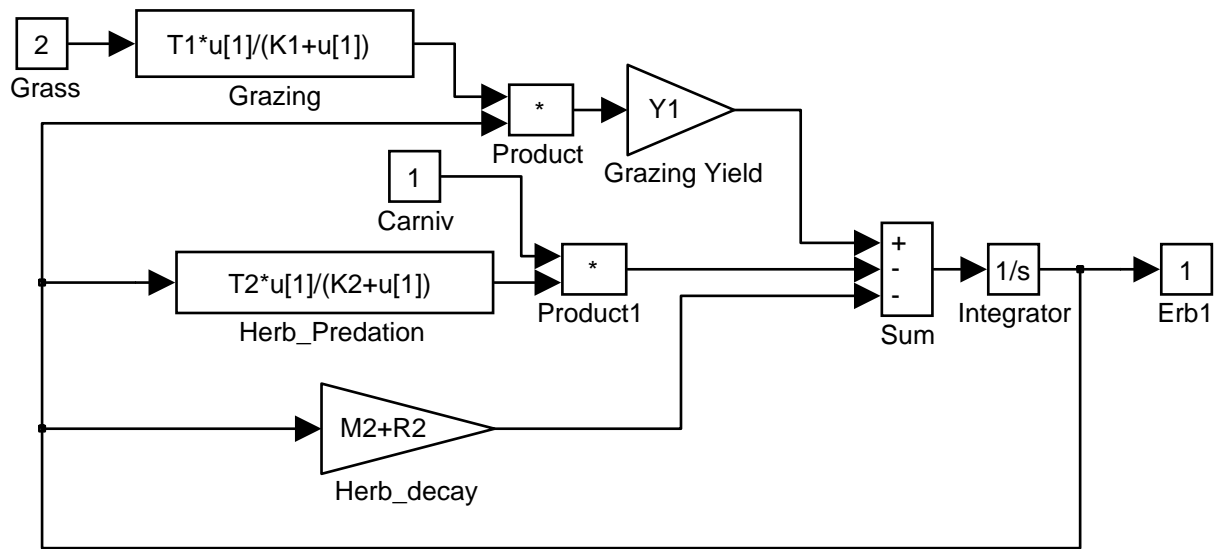


*Produzione
Primaria*

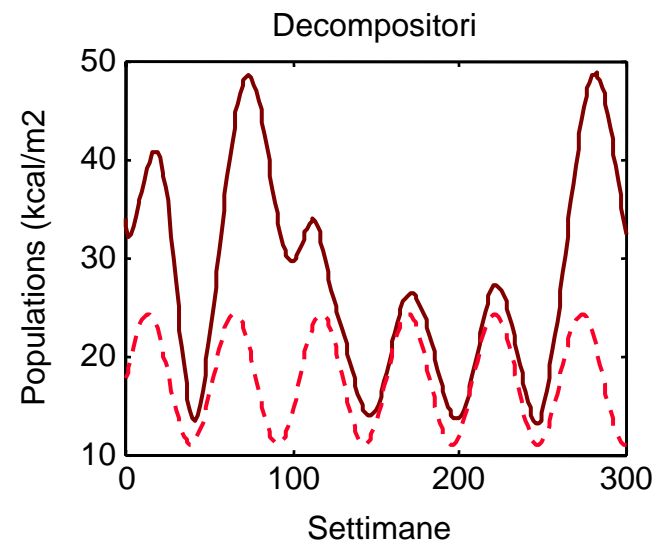
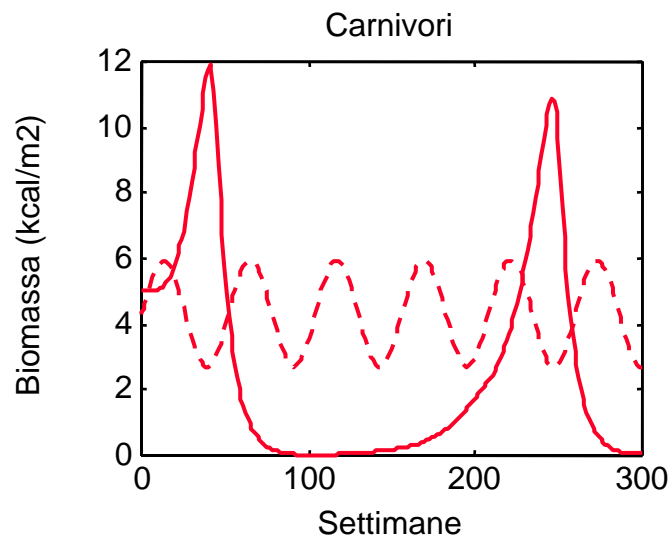
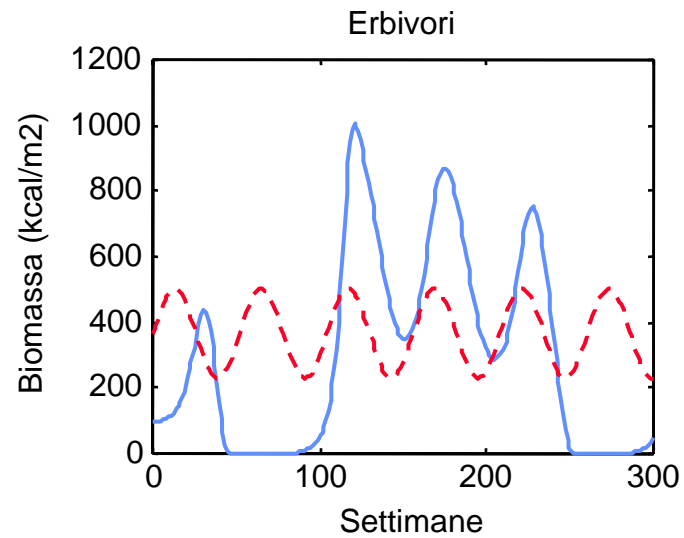
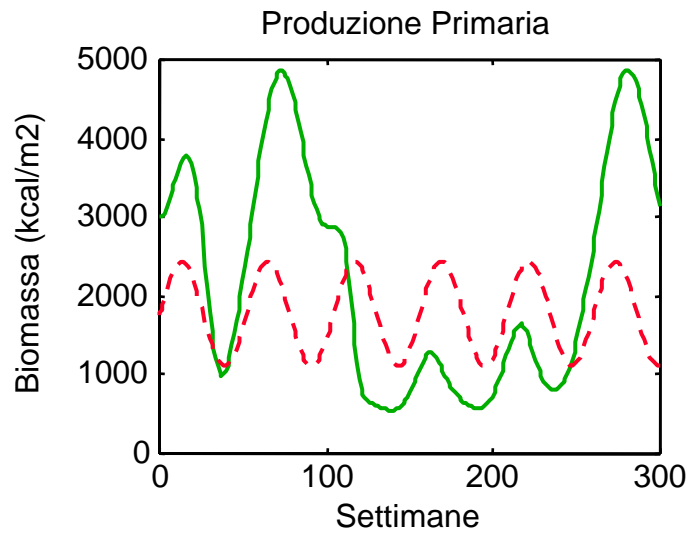
Decompositori



Comparto consumatori: Erbivori e Carnivori



Simulazioni dinamiche “Silver Springs”



Altro modello, più semplice

👉 Ipotesi:

- ⇒ La radiazione solare $s(t)$ non è più sinusoidale, ma variabile in modo fluttuante, anche se periodico (es. stagionalità più fluttuazione casuale)
- ⇒ Essa entra come fattore limitante nella dinamica della produzione primaria
- ⇒ I termini di mortalità e respirazione sono accorpati in un unico fattore
- ⇒ Manca il comparto dei decompositori

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Produzione Primaria} \\ \text{Erbovori} \\ \text{Carnivori} \end{array} \right. \begin{array}{l} \frac{dX_1}{dt} = r_g \cdot \frac{s(t)}{K_g + s(t)} \cdot X_1 - \frac{l}{Y_h} \cdot g_h \cdot \frac{X_1}{P_{r_1} + X_1} \cdot X_2 - K_{d_g} \cdot X_1 \\ \frac{dX_2}{dt} = g_h \cdot \frac{X_1}{P_{r_1} + X_1} \cdot X_2 - \frac{l}{Y_c} \cdot g_c \cdot \frac{X_2}{P_{r_2} + X_2} \cdot X_3 - K_{d_h} \cdot X_2 \\ \frac{dX_3}{dt} = g_c \cdot \frac{X_2}{P_{r_2} + X_2} \cdot X_3 - K_{d_c} \cdot X_3 \end{array}$$

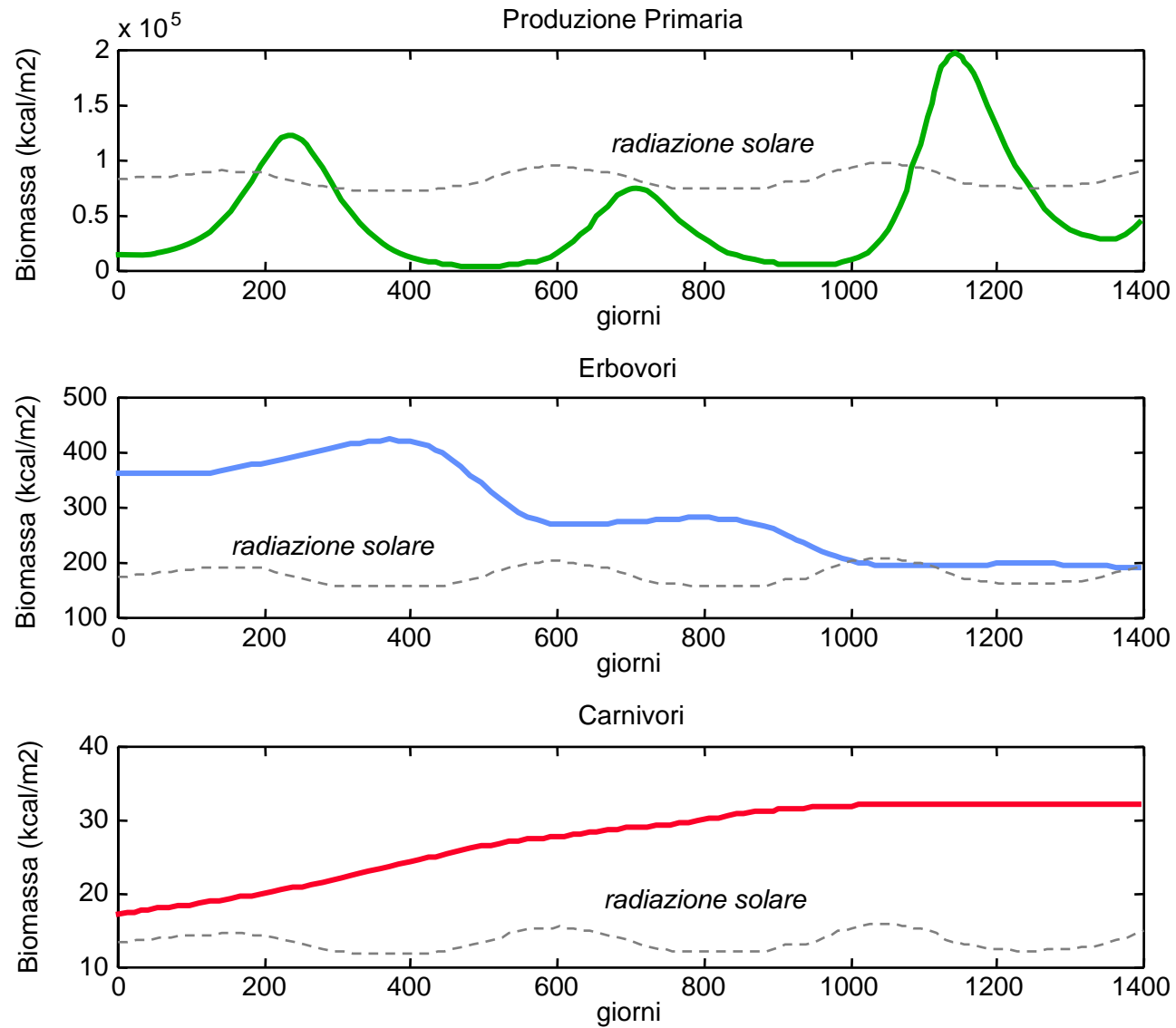
Parametri del modello e condizioni iniziali

$r_g = 0.8721$;	% Grass growth rate (1/d)
$K_g = 83$;	% Solar radiation half velocity constant (kcal/m ² /d)
$K_{dg} = 0.23$;	% Grass decay rate (1/d)
$Y_h = 0.141$;	% Herbivores grazing yield (-)
$g_h = 0.02224$;	% Herbivores growth rate (1/d)
$P_{r1} = 668$;	% Grass half velocity constant (kg/m ²)
$K_{dh} = 0.02103$;	% Grass decay rate (1/d)
$g_c = 0.00673$;	% Carnivores growth rate (1/d)
$P_{r2} = 854$;	% Carnivores half velocity constant (kg/m ²)
$K_{dc} = 0.00122$;	% Carnivores decay rate (1/d)
$Y_c = 0.025$;	% Carnivores yield constant (-)

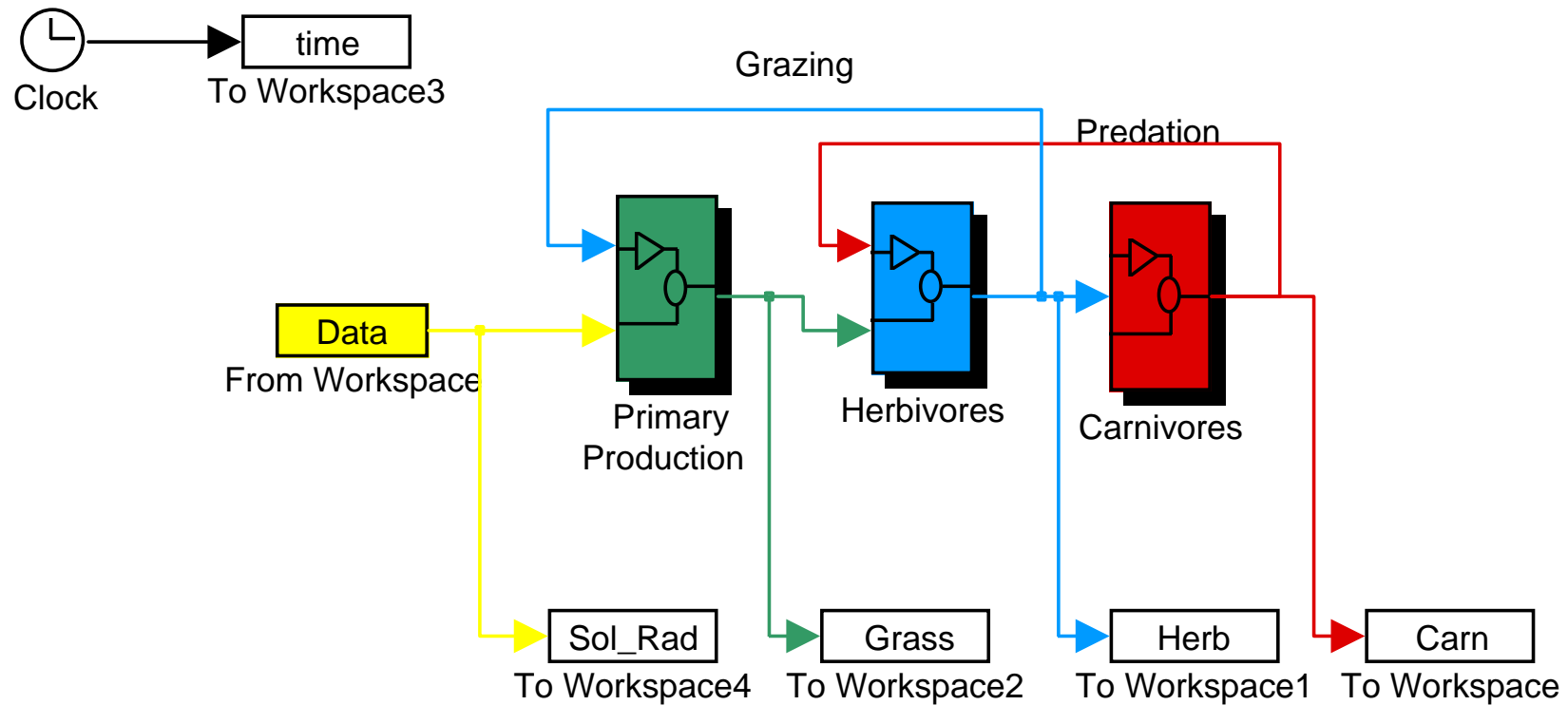
Condizioni iniziali

$$G_o = 12500 \text{ [Kcal/m}^2\text{]} \quad H_o = 360 \text{ [Kcal/m}^2\text{]} \quad C_o = 17 \text{ [Kcal/m}^2\text{]}$$

Simulazioni dinamiche

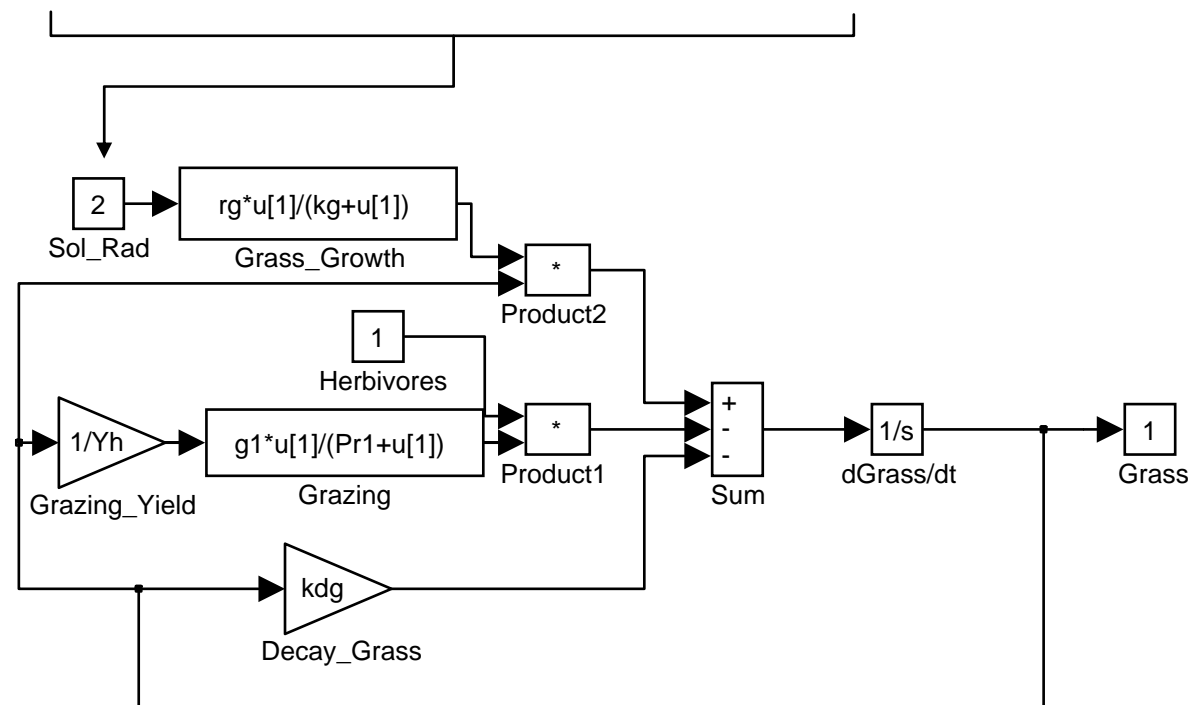


Implementazione Simulink del modello



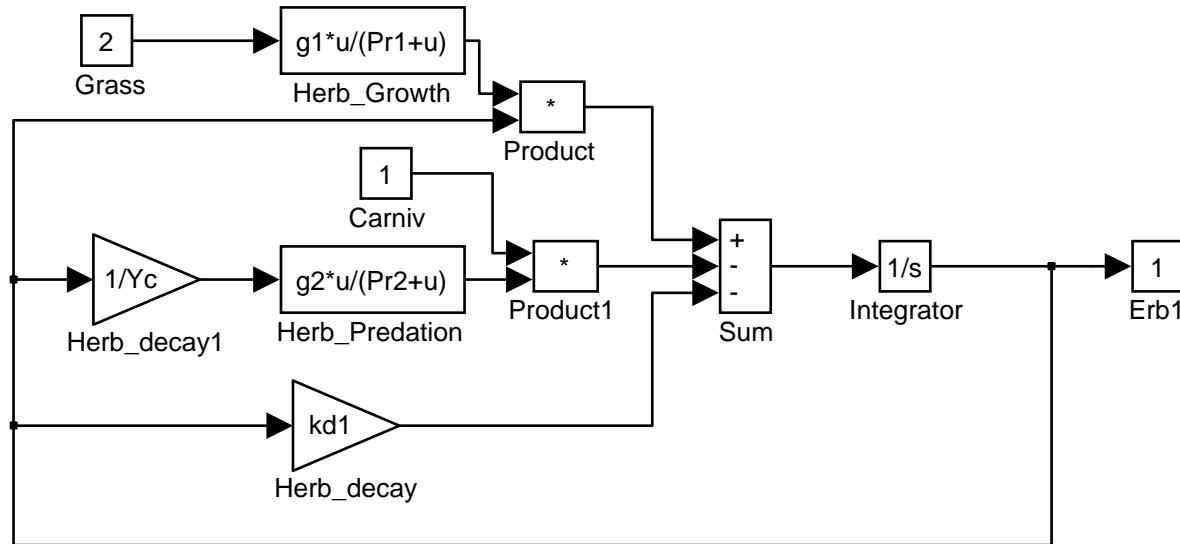
Comparto Produzione Primaria

La radiazione solare entra come fattore limitante nella dinamica della produzione primaria

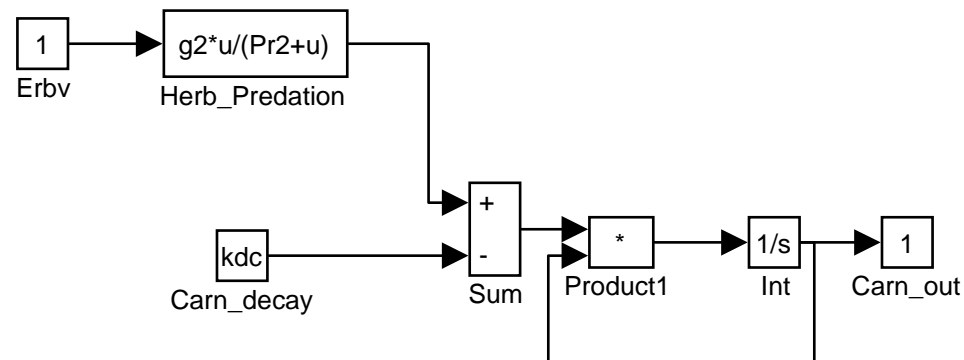


La radiazione solare non è più sinusoidale, ma variabile in modo fluttuante, anche se periodico

Comparto Consumatori: Erbivori + Carnivori



Erbivori



Carnivori