Corso di Ecologia – Esercitazioni

Anno Accademico 2019/2020

Dott. Camilla Parenti
e-mail: camilla.parenti@unimi.it

ARGOMENTI DELLE ESERCITAZIONI

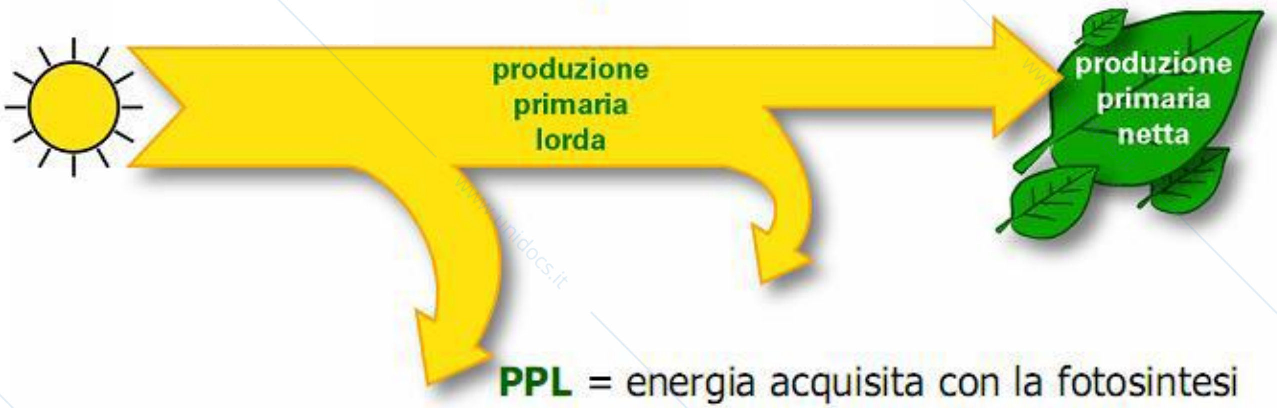
- Produttività primaria (ecosistemi terrestri e acquatici) ✓
- Produttività secondaria: flusso di energia ✓
- Cattura/Ricattura (Metodo di Petersen) ✓
- Crescita della popolazione: modello esponenziale ✓
- Tabelle di vita ✓
- Tabelle di fecondità ✓
- Crescita della popolazione: modello logistico e capacità portante
- Ricchezza in specie e indici di diversità
- Struttura fisica delle comunità
- Competizione interspecifica: equazioni di Lotka-Volterra

La velocità con cui l'energia radiante viene convertita in materia organica attraverso la **FOTOSINTESI** è chiamata **PRODUTTIVITÀ PRIMARIA (*PP*)**;

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow{luce} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

***PP* LORDA**: velocità con cui procede la fotosintesi totale, cioè la velocità con cui l'energia viene assunta dagli organismi (energia acquisita con la fotosintesi)

***PP* NETTA**: velocità di immagazzinamento dell'energia sotto forma di materia organica, tolto il consumo di energia per la respirazione **(*PP* LORDA – ENERGIA PERSA CON LA RESPIRAZIONE)**



***PP* LORDA = *PP* NETTA + RESPIRAZIONE**
***PP* NETTA = *PP* LORDA - RESPIRAZIONE**

COME SI ESPRIME LA PRODUTTIVITÀ (UNITÀ DI MISURA)

La produttività si esprime come quantità di materia organica prodotta per unità di superficie in un determinato lasso temporale.

QUANTITÀ DI MATERIA ORGANICA	UNITA' DI SUPERFICIE	INTERVALLO DI TEMPO (Δt)
- peso sostanza secca o $C_{organico}$ - energia (calorie, joule) *[1 cal = 4,18 joule]*	- m^2 , Km^2, ha	- minuti, ore, giorni, mesi, anni

<u>Esempi di unità di misura della produttività</u>

<u>Negli ecosistemi terrestri</u>:

- kg mat.org. $_{(peso\ secco)}$ ha $^{-1}$ anno $^{-1}$
- mg $C_{organico}$ m^{-2} giorno $^{-1}$
- cal m^{-2} giorno $^{-1}$

Negli <u>ecosistemi acquatici</u> si può riferire la produttività al volume di acqua:

- mg C_{org} m^{-3} giorno^{-1}

MISURA della *PP* per ECOSISTEMI TERRESTRI

Il metodo più semplice è quello che fa ricorso al rilevamento e al bilancio degli incrementi e delle perdite di **BIOMASSA PERMANENTE** (BP) dell'ecosistema considerato (*standing crop biomass*) .

Standing crop biomass: materia organica accumulata in una data area (di un ecosistema), in un determinato periodo di tempo (Δt) espressa in calorie o grammi per m^2.

Misura delle variazioni di biomassa in un intervallo di tempo $t_2 - t_1$

$$\Delta BP = BP(t_2) - BP(t_1)$$

ΔBP = *PP* NETTA

Questo sarebbe vero in una situazione ipotetica, perché dobbiamo considerare che in ΔBP deve essere inclusa anche la biomassa delle piante che muoiono (**M**) o che viene regolarmente consumata dagli erbivori (**C**).

Quindi il calcolo corretto è:

$$\boxed{PP\ NETTA = \Delta BP + M + C}$$

!

In tutte le definizioni di produttività l'elemento "tempo" è sempre incluso. La biomassa, invece, è solo una misura di massa e, per quanto possa essere utilizzata nelle misure di produttività, non deve essere confusa con essa.

Esempio 1:

In 1 Km^2 di faggeto vengono effettuate misure sulla variazione della biomassa permanente (*standing crop biomass*): dopo 438 giorni la variazione di biomassa misurata è pari a $7{,}95 \times 10^{10}$ g Km^{-2}. Nello stesso periodo le perdite di biomassa sono risultate essere pari a $5{,}68 \times 10^{10}$ g Km^{-2}. Stimare la ***PP* NETTA** della porzione di faggeto considerata, espressa in **Kg m^{-2} anno^{-1}**.

$PP\ NETTA = \Delta BP + M + C$

- $A = 1\ Km^2$ • $\Delta BP = 7{,}95 \cdot 10^{10}\ g\ Km^{-2} = 7{,}95 \cdot 10^{7}\ Kg\ Km^{-2}$
- $(M+C) = 5{,}68 \cdot 10^{10}\ g\ Km^{-2} = 5{,}68 \cdot 10^{7}\ Kg/Km^2$

$PP\ Netta = [7{,}95 \cdot 10^7\ Kg\ Km^{-2}] + [5{,}68 \cdot 10^7\ Kg\ Km^{-2}] = 1{,}36 \cdot 10^8\ Kg\ Km^{-2}$

$1{,}36 \cdot 10^8\ Kg\ Km^{-2} = 136\ Kg\ m^{-2} = 1{,}36 \cdot 10^2\ Kg\ m^{-2}$

in 438 giorni $= (438/365) = 1{,}2$ anni proporzione sull'anno

$PP\ Netta = 1{,}36 \cdot 10^2\ Kg\ m^{-2} / 1{,}2 = 1{,}13 \cdot 10^2\ Kg\ m^{-2}\ anno^{-1}$

Esempio 2:

In 1 m^2 di tundra artica vengono effettuate misure sulla variazione della biomassa permanente (*standing crop biomass*). Dopo 73 giorni, la variazione di biomassa permanente misurata è pari a 82 g m^{-2}. Nello stesso periodo le perdite di biomassa sono risultate essere pari a 35 g m^{-2}. Stimare la ***PP* NETTA** della porzione di tundra indicata , espressa in **Kg m^{-2} anno^{-1}**.

- $A: 1\ m^2$
- $\Delta BP: 82\ g/m^2 = 8{,}2 \cdot 10^{-2}\ Kg/m^2$

73 giorni: $\frac{73}{365} = 0{,}2$ anni

- $(M+C): 35\ g/m^2 = 3{,}5 \cdot 10^{-2}\ Kg/m^2$

PP Netta $= 11{,}7 \cdot 10^{-2}\ Kg/m^2$

$$\hookrightarrow \text{PP netta} = \frac{11{,}7 \cdot 10^{-2}\ kg/m^2}{0{,}2\ \text{anni}} = \frac{0{,}585\ kg}{m^2 \cdot \text{anno}}$$

Esempio 3:

Un bosco è costituito da due appezzamenti, in ciascuno dei quali gli alberi hanno tutti la stessa età. Il primo gennaio 2012 e il primo gennaio 2013 viene inventariato il bosco e il risultato è riportato in tabella. Sapendo che nessun nuovo albero è cresciuto nel periodo considerato e che la biomassa totale morta (costituita da foglie, rami e alberi caduti) nel corso dell'anno è stata di 43000 kg in A e di 31500 kg in B, valutare la **produttività primaria netta** del bosco, espressa in **Kg anno^{-1}**.

	1 gennaio 2012		1 gennaio 2013	
Appezzamento	**A**	**B**	**A**	**B**
# alberi	5000	3000	4800	2900
peso medio di un albero (Kg)	200	300	230	320

$\Delta BP(A, 2012) = 5000 \cdot 200 = 1000000$ Kg

$\Delta BP(A, 2013) = 4800 \cdot 230 = 1'104'000$ Kg

$\Delta BP_A = \Delta BP_{A(2013)} - \Delta BP_{A(2012)} = 1104000 - 1000000 = 104000$ Kg

$PP\,netta_A = \Delta BP_{(A)} + 43000$ Kg $= 104000 + 43000 = 147000$ Kg

$\Delta BP(B, 2012) = 3000 \cdot 300 = 900'000$ Kg

$\Delta BP(B, 2013) = 2900 \cdot 320 = 928000$ Kg

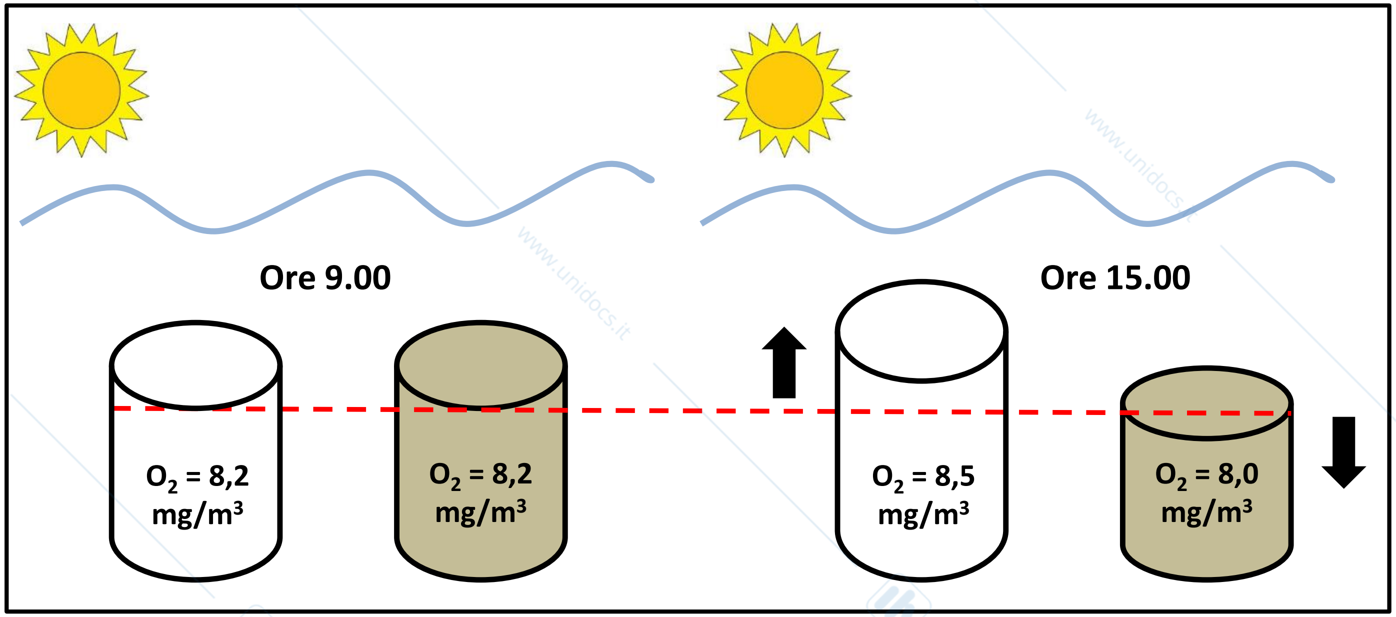
$\Delta BP_B = BP_{(2013)} - BP_{(2012)} = 280'000$ Kg

$PP\,netta_B = \Delta BP_{(B)} + 31500$ Kg $= 59500$ Kg

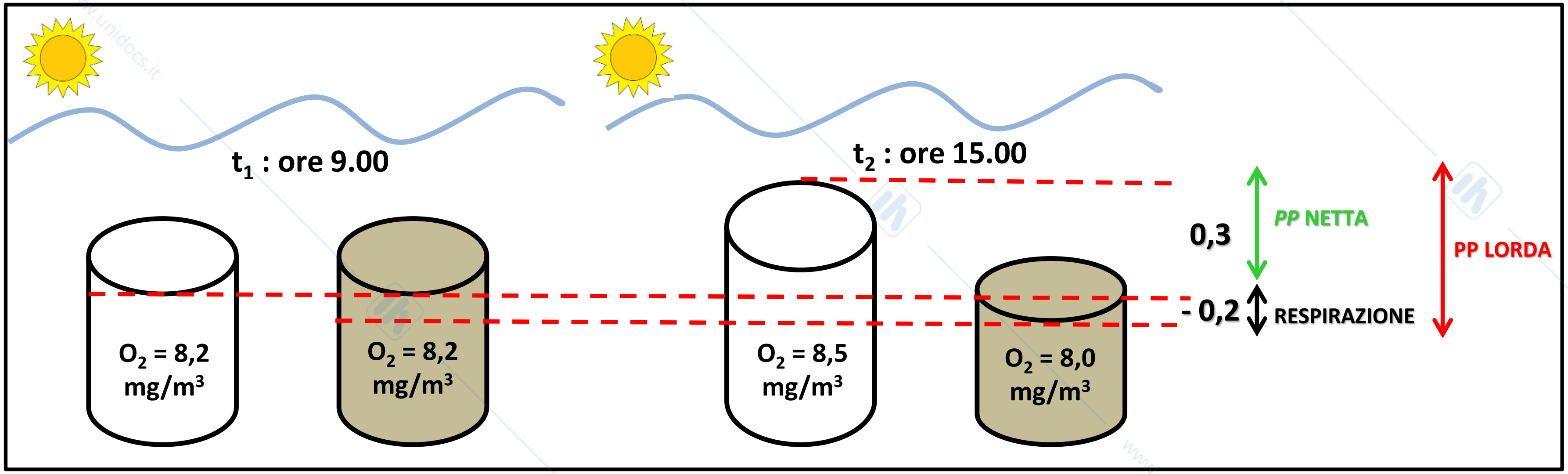
$PP\,netta_{TOT} = PP\,netta_{(A)} + PP\,netta_{(B)} = 206500$ Kg/anno

Il metodo più usato è quello che rileva le variazioni di O_2 in presenza/assenza di luce (misura della $[O_2]$ disciolto in campioni acquosi) mediante il metodo delle bottiglie chiare e scure.

- Si preleva acqua a diverse profondità e si misura la concentrazione di O_2 iniziale;
- Si riempiono coppie di bottiglie (chiare e scure) e si rimettono a incubare alle stesse profondità per assicurare le stesse condizioni di temperatura (°C) e luminosità;
- Dopo un certo lasso di tempo (6 h) si recuperano le bottiglie per misurare la concentrazione di ossigeno



Bottiglia CHIARA : ↑ $[O_2]$ per FOTOSINTESI + RESPIRAZIONE
Bottiglia SCURA : ↓ $[O_2]$ per RESPIRAZIONE



Nella bottiglia CHIARA : la $\Delta[O_2]$ rappresenta la ***PP* NETTA**
Nella bottiglia SCURA : la $\Delta[O_2]$ rappresenta la **RESPIRAZIONE**

Bottiglia CHIARA : $\Delta [O_2] = [O_2]$ (15:00) - $[O_2]$ (9:00) = 8,5 – 8,2 = 0,3 mg m^{-3}

Bottiglia SCURA : $\Delta [O_2] = [O_2]$ (15:00) - $[O_2]$ (9:00) = 8,0– 8,2 = - 0,2 mg m^{-3}

VALORE ASSOLUTO!!!

***PP* LORDA = *PP* NETTA + RESPIRAZIONE**

***PP* LORDA** = 0,3 + 0,2 = **0,5 mg O_2 m^{-3}**

La differenza nella $[O_2]$ tra la bottiglia chiara e quella scura misurata nel periodo di incubazione rappresenta la PRODUTTIVITA' PRIMARIA LORDA

Bottiglia CHIARA : $[O_2]$ t_{fin} = **8,5** mg m^{-3}

Bottiglia SCURA : $[O_2]$ t_{fin} = **8** mg m^{-3}

= 8,5 – 8,0 = **0,5 mg m^{-3} =** ***PP* LORDA**

***PP* LORDA** ora $^{-1}$ = (0,5 mg m^{-3} /Δt) = 0,5/6 = **0,083 mg O_2 m^{-3} ora $^{-1}$**

!

E' l'espressione della produttività in **termini di concentrazione di O_2** prodotto dalla reazione di fotosintesi…..**MA**, la produttività si esprime come **quantità di materia organica** prodotta per unità di tempo e di superficie

Si devono normalizzare i risultati su unità di carbonio e lo posso fare partendo dalla **REAZIONE DELLA FOTOSINTESI**

$$\boxed{6\,C}O_2 + 6\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + \boxed{6\,O_2}$$

Fissando 6 moli di C

Si liberano 6 moli di O_2

Massa molare

C = 12 g/mole Fissando 6 x 12 g C = 72 g C

O = 16 g/mole Si liberano 6 x 2 (O_2) x 16 g = 192 g O

$$\frac{72\text{ g C}}{192\text{ g O}} = \mathbf{0{,}375}$$

***PP* LORDA** = 0,083 mg O_2 m^{-3} ora^{-1} (x 0,375) = **0,031 mg C m^{-3} ora^{-1}**

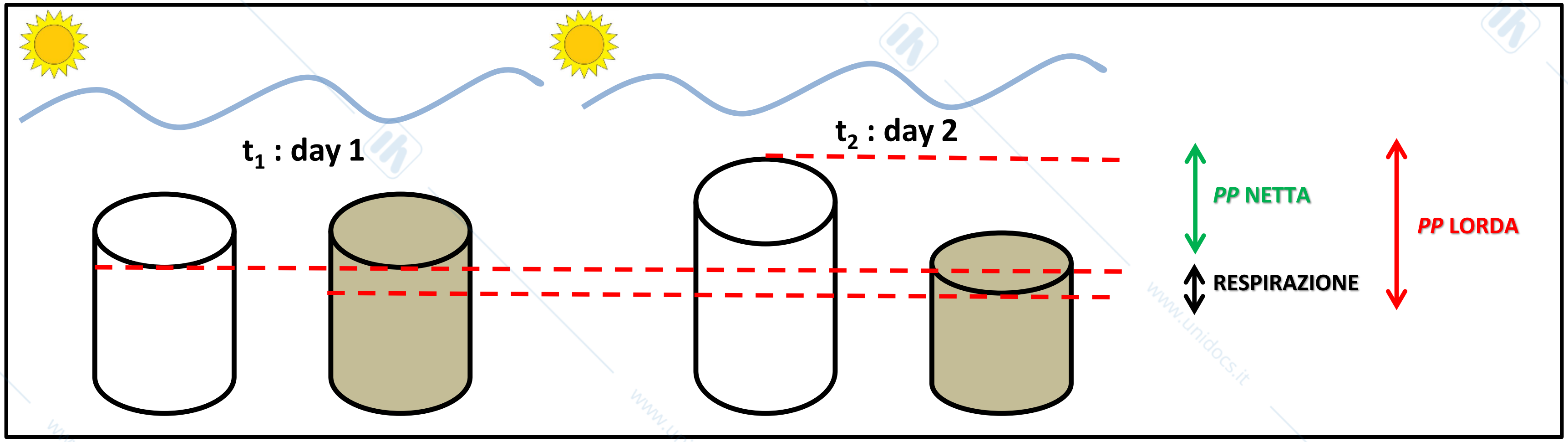
Problemi:
- sensibilità a volte insufficiente
- inquinanti organici/batteri possono falsare la misura
- la presenza di lipidi/proteine possono introdurre errori di misura

Esempio 1:

Si supponga di prelevare acqua da un lago a una certa profondità e di determinarne la concentrazione di ossigeno (in g m^{-3}). Dopo aver posto un litro d'acqua in una bottiglia sigillata chiara e un litro in una bottiglia sigillata scura, si supponga di lasciare in immersione le due bottiglie alla stessa profondità del prelievo per 24 ore. Dopo tale intervallo di tempo, si supponga di rilevare le seguenti variazioni nel contenuto di ossigeno nelle due bottiglie:

- bottiglia chiara variazione di O_2 (g m^{-3}) +3
- bottiglia scura variazione di O_2 (g m^{-3}) -1

Determinare la **produttività primaria lorda in g di C m^{-3} giorno^{-1}**. Sapendo inoltre che lo scambio di un grammo di O_2 corrisponde a circa 25 kcal, valutare la **produttività primaria lorda in kcal m^{-3} giorno^{-1}**.



PP lorda = 3+1 = 4 g O_2/m^3

PP lorda = 4 g O_2 · m^{-3} · giorno^{-1} (· 0,375) = 1,5 g C m^{-3} giorno^{-1}

PP lorda: 4 g O_2 m^{-3} giorno^{-1} (× 25 kcal) = 1000 kcal m^{-3} giorno^{-1}

Esempio 2:

Una bottiglia chiara e una scura vengono posizionate in un lago a 4 m di profondità. La concentrazione di O_2 nel campione di partenza è pari a 9,2 mg/m^3 . Dopo 24 ore si ritirano le bottiglie e si misura nuovamente la concentrazione di O_2 ottenendo:

[O_2] bottiglia chiara : 10 mg/m^3

[O_2] bottiglia scura : 8,5 mg/m^3

determinare la **produttività primaria lorda in mg di C /m^3/giorno**.

PP netta (bottiglia chiara) = $\Delta[O_2] = [O_2](t=24) - [O_2](t=0) = 10 - 9{,}2 = 0{,}8$ mg m^{-3}

respirazione (bottiglia scura) = $\Delta[O_2] = [O_2](t=24) - [O_2](t=0) = 8{,}5 - 9{,}2 = -0{,}7$ mg/m^3

PP lorda = $0{,}8 + 0{,}7 = 1{,}5$ mg O_2 m^{-3}

PP lorda = 1,5 mg O_2 m^{-3} $(\cdot\, 0{,}375) = 0{,}5625$ mg C m^{-3} giorno^{-1}

Inoltre, sapendo che lo scambio di 1 g di O_2 corrisponde a circa 25 Kcal, determinare la **produttività primaria lorda in Kcal /m^3/giorno**.

PP lorda = 1,5 mg O_2 = 0,0015 g O_2 m^{-3} giorno^{-1} (x25 kcal) = 0,0375 Kcal m^{-3} giorno^{-1}

La produttività primaria netta è la velocità di immagazzinamento dell'energia sotto forma di materia organica, tolto il consumo di energia per la respirazione, e può essere definita come **l'energia disponibile per la componente eterotrofa dell'ecosistema**.

Processi metabolici

Sopravvivenza (cibo, movimento, danni)

Crescita e riproduzione

CALORE

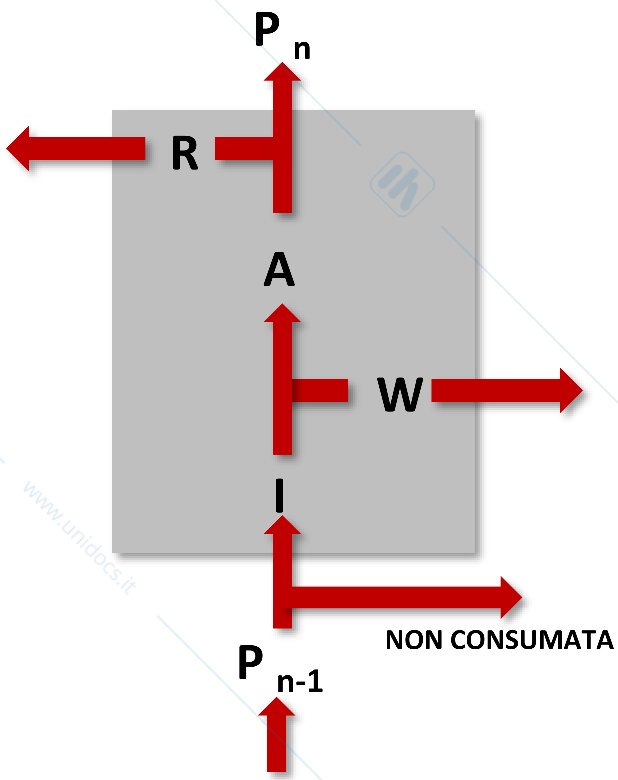
PRODUZIONE SECONDARIA

PRODUTTIVITA' SECONDARIA è la quota di immagazzinamento dell'energia a livello dei consumatori in un dato lasso temporale

FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO UN LIVELLO TROFICO

Esiste una relazione tra la disponibilità di energia nel cibo (**PRODUTTIVITA' PRIMARIA**) e la produttività dei consumatori (**PRODUTTIVITA' SECONDARIA**): ma l'efficienza dei consumatori nel trasformare tutta l'energia assunta dalla PP in PS può variare.

FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO L'ORGANISMO CONSUMATORE



P_{n-1}= ENERGIA DISPONIBILE PER UN DATO LIVELLO TROFICO

I = CIBO INGERITO

A = CIBO ASSIMILATO

W = PRODOTTO DI RIFIUTO

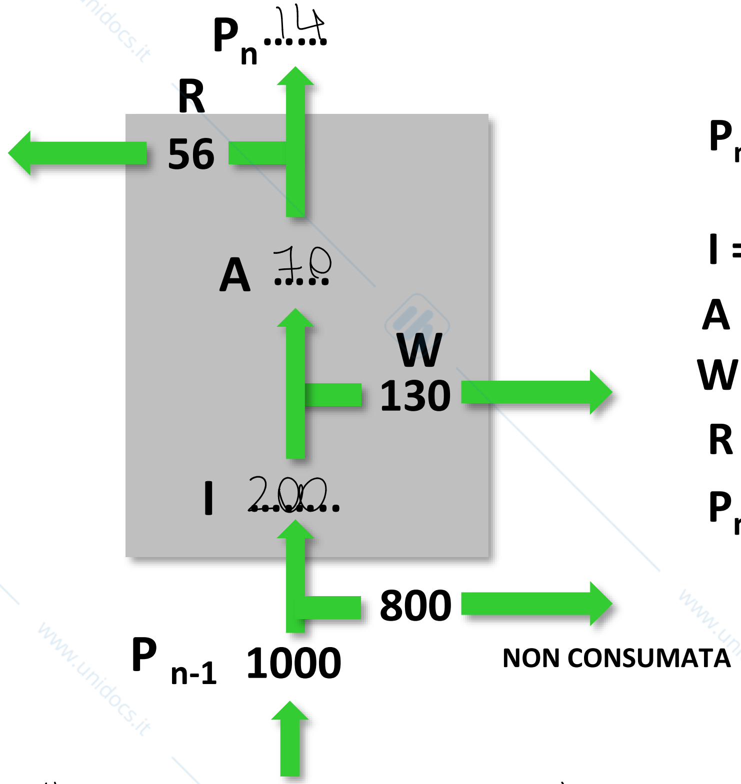
R = RESPIRAZIONE

P_n= PROCESSI PRODUTTIVI

A/I = EFFICIENZA DELL'ASSIMILAZIONE
P_n/A = EFFICIENZA DELLA PRODUZIONE
I/P_{n-1} = EFFICIENZA DEL CONSUMO

Esempio 1:

Dato il flusso di energia (valori espressi in Kcal) attraverso il compartimento di un invertebrato erbivoro, determinare l'efficienza dell'assimilazione, della produzione e del consumo.



P_{n-1} = ENERGIA DISPONIBILE PER UN DATO LIVELLO TROFICO

I = CIBO INGERITO

A = CIBO ASSIMILATO

W = PRODOTTO DI RIFIUTO

R = RESPIRAZIONE

P_n = PROCESSI PRODUTTIVI

A/I : efficienza dell'assimilazione = 70/200 = 0,35 = 35%

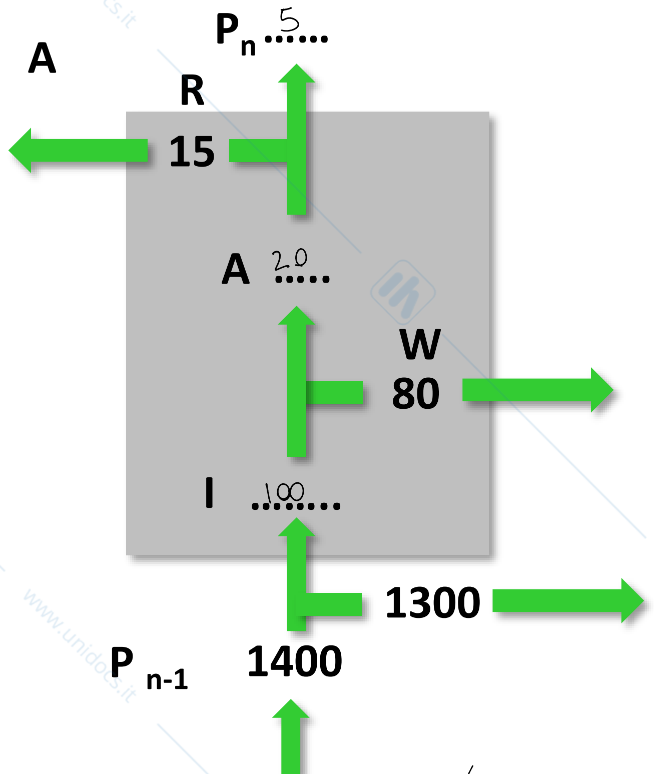
Pn/A : efficienza della produzione = 14/70 = 0,2 = 20%

I/Pn-1 : eff. del consumo : 200/1000 = 0,2 = 20%

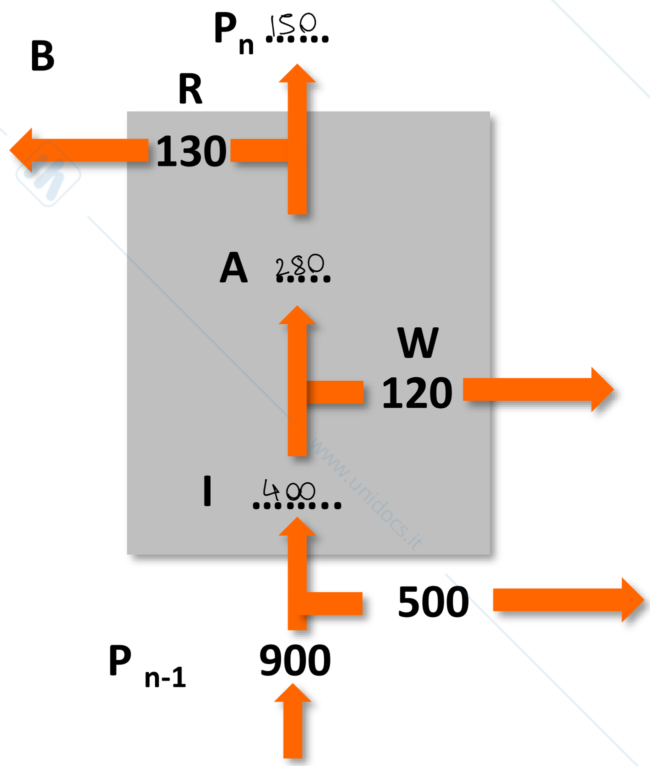
FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO UN LIVELLO TROFICO

Esempio 2:

Dati i flussi di energia (valori espressi in Kcal) attraverso i compartimenti di due consumatori A e B, determinare quale dei due ha l'efficienza di assimilazione più elevata.



A/I = eff. assimilazione = 20/100 = 0,2 = 20%

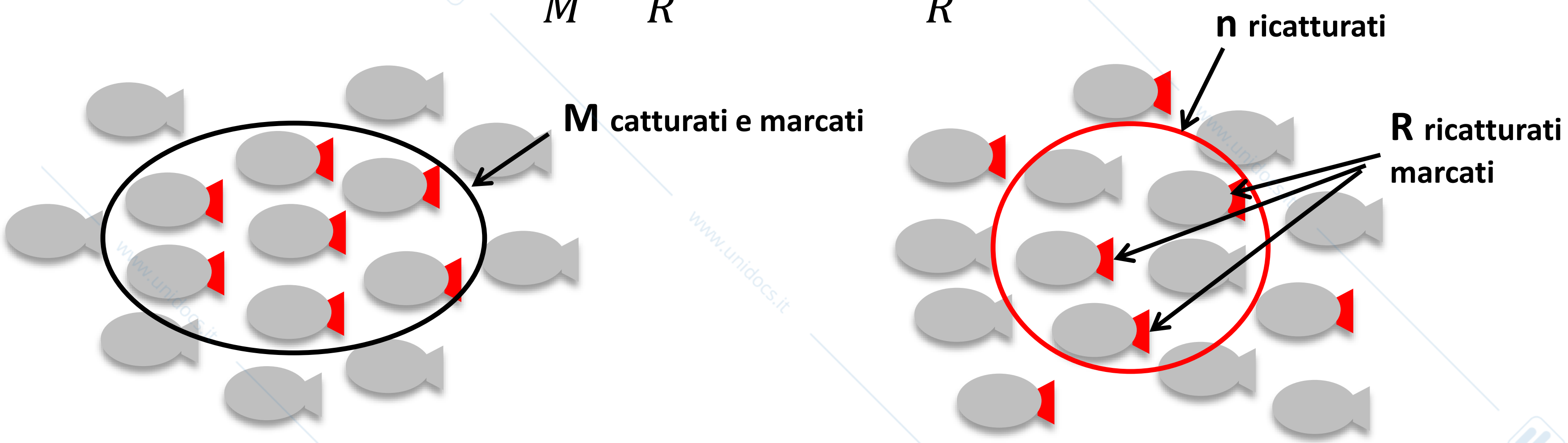


A/I = 280/400 = $\frac{2,8}{4}$ = 0,7 = 70%

Metodo di Petersen

Si estrae dalla popolazione un campione di *M* soggetti che vengono poi marcati per consentirne una successiva identificazione e reintrodotti nella popolazione. Dopo un periodo di tempo, tale da consentire ai soggetti marcati di mischiarsi con il resto della popolazione, si estrae un campione di *n* individui di cui *R* risultano essere una quota dei precedenti marcati. Ipotizzando che la proporzione di marcati nel secondo campione sia una stima ragionevole dell'incognita proporzione nella popolazione si possono eguagliare i due termini ed ottenere una stima di *N*:

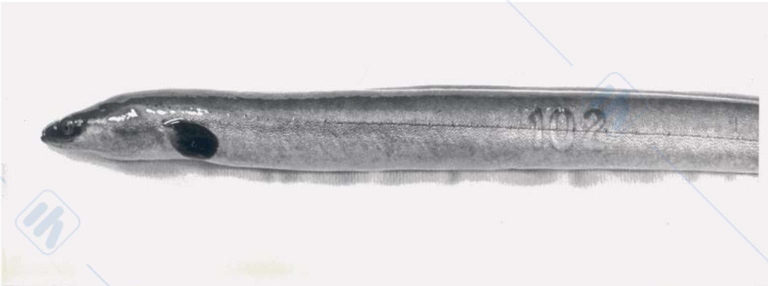
$$\frac{N}{M} = \frac{n}{R} \qquad N = \frac{nM}{R}$$



a. la popolazione è chiusa (no imm. o em.)
b. tutti gli individui hanno la stessa probabilità di essere ricatturati
c. la marcatura non modifichi la probabilità di cattura dei soggetti

Esempio 1:

In una laguna chiusa sono state catturate 400 anguille. Gli animali sono stati sottoposti a marcatura e durante il processo di manipolazione ne sono morti 50. Le rimanenti 350 anguille sono state rilasciate nella laguna. Due mesi dopo, si è proceduto a una nuova cattura di 200 animali e tra questi si sono trovati 20 individui marcati. Stimare **la dimensione della popolazione** con il metodo di Petersen.



$$N = \frac{nM}{R} = \frac{350 \cdot \cancel{200}^{10}}{\cancel{20}} = 3500 \text{ individui}$$

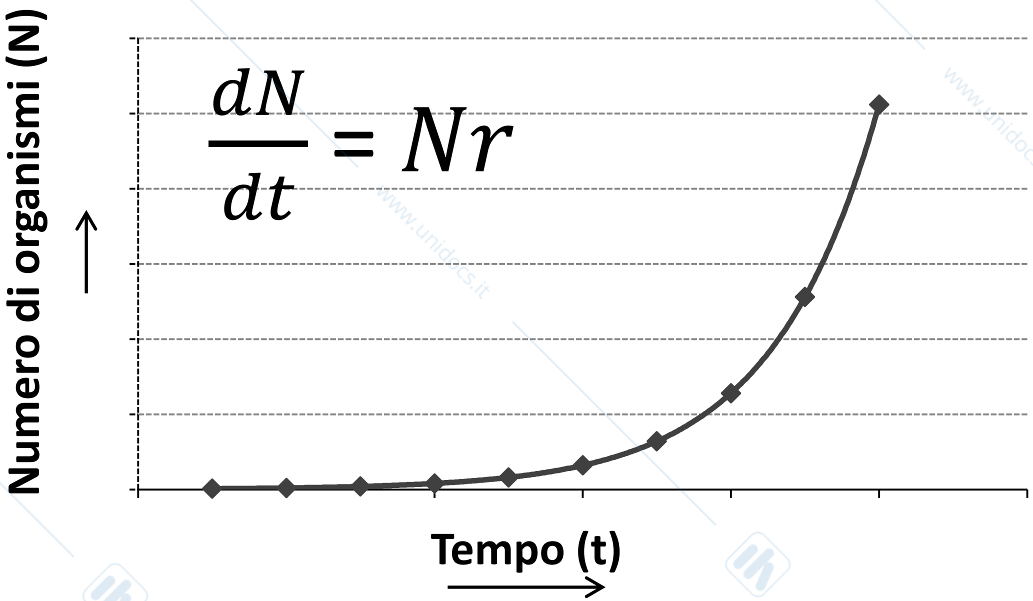
MODELLO DI CRESCITA ESPONENZIALE DI UNA POPOLAZIONE

$$\frac{dN}{dt} = (b-d)\,N$$

$$\frac{dN}{dt} = Nr$$

b= tasso istantaneo *pro capite* di natalità
d= tasso istantaneo *pro capite* di mortalità
$\boldsymbol{r} =$ TASSO INTRINSECO DI ACCRESCIMENTO DELLA POPOLAZIONE

CURVA DI ACCRESCIMENTO ESPONENZIALE



Risolvendo l'equazione differenziale del modello di crescita esponenziale, possiamo ottenere l'equazione che permette il calcolo di N in un determinato intervallo di tempo:

EQUAZIONE PER LA CRESCITA ESPONENZIALE DI UNA POPOLAZIONE

$$N_t = N_0 \, e^{rt}$$

$N_0 =$ numero di organismi al momento iniziale dell'osservazione

$e =$ costante 2,71828……

$r =$ tasso intrinseco di accrescimento della popolazione

$t =$ quantità di tempo trascorso dall'inizio dell'osservazione

Esempio 1:

A livello mondiale, il Sud America ha uno dei tassi di accrescimento più elevati di tutte le popolazioni umane, pari a r = 0,023 per anno. Nel 1959 la popolazione sudamericana era approssimativamente pari a 137 milioni. Stimare quale avrebbe potuto essere quella nel 1975.

$N_t = N_0 e^{rt}$

$N_0 = 137'000'000$ $\quad r = 0{,}023$ $\quad N_t = 137'000'000 \cdot 2{,}71828^{0{,}023 \cdot 16} = 197943359$

$t = 16$ anni

Esempio 2:

I ratti, quando invadono un nuovo magazzino dove le condizioni di vita sono ideali, si moltiplicano ad un tasso di accrescimento giornaliero elevato, pari a r = 0,0147. Quanti giorni occorrono affinché la popolazione di ratti raddoppi?

$r = 0{,}0147 \quad N_0 = 1 \quad N_t = 2 \quad t = ?$

$2 = 2{,}71828^{0{,}0147 \cdot x}$

$x = \frac{\ln 2}{0{,}0147} = 47{,}15$ giorni

$\ln N_t = \ln N_0 + rt$

Esempio 3:

Se la popolazione umana è passata da 600 milioni nel 1700 a 900 milioni nel 1800, quale è stato il suo tasso intrinseco di accrescimento?

$N_t = N_0 e^{rt}$

$N_0 = 600'000'000$ $\qquad t = 100$

$N_t = 900'000'000$

$600'000'000 = 900'000'000 \cdot 2,71828^{100 \cdot x}$

$\ln 900'000'000 = \ln 600'000'000 + 100x$

$100x = 0,405 \Rightarrow x = 0,04$

Esempio 4:

Una popolazione di pidocchi si riproduce con un tasso intrinseco di accrescimento di 0,3 giorni^{-1}. **A**) Quanto tempo sarà necessario per il raddoppio dei parassiti in un ospite che è stato infestato dai pidocchi? **B**) Sapendo che N_0 è pari a 18 pidocchi, quanti pidocchi ci saranno dopo una settimana dall'inizio dell'infestazione?

A

$r = 0,3$ $\quad N_t = 2 \quad N_0 = 1 \quad t = ?$

$$\ln N_t = \ln N_0 + rt$$

$$t = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{r} = \frac{\ln 2 - \ln 1}{0,3} = 2,3 \text{ giorni}$$

B $\quad N_t = N_0 e^{rt}$

$N_0 = 18$

$r = 0,3$

$t = 7$ giorni

$$N_t = 18 \cdot e^{(0,3 \cdot 7)} = 147$$

- Per capire cosa determina la crescita di una popolazione è necessario quantificare la **NATALITÀ** e la **MORTALITÀ** della stessa;
- **NATALITÀ** e **MORTALITÀ** variano fortemente con l'**ETÀ**;
- le **TABELLE DEMOGRAFICHE** sono un modo conciso per rappresentare certe statistiche importanti di una popolazione, in particolare la **NATALITÀ E LA MORTALITÀ PER CIASCUNA CLASSE DI ETÀ**;
- sono state inizialmente sviluppate per la popolazione umana e poi applicate ad altre specie.

La variazione dell'abbondanza di una popolazione nel tempo è influenzata dai tassi di natalità e mortalità come abbiamo visto essere espresso dal tasso di crescita *r*.

2 tipi di tabelle demografiche

TABELLE DI VITA

Riassumono la mortalità

TABELLE DI FERTILITA'

Riassumono la natalità

Permettono di calcolare tutta una serie di parametri relativi alla popolazione (parametri di *life history*).

<u>COSTRUZIONE DI UNA TABELLA DI VITA</u>: si inizia con una coorte di individui, un gruppo di organismi nati nello stesso periodo; es. 530 scoiattoli (n_0) vengono seguiti dalla nascita alla morte.

X (età)	n_x	l_x	d_x	q_x
0	530 (n_0)	1	371	0,7
1	159 (n_1)	0,3	79	0,5
2	80 (n_2)	0,15	32	0,6
3	48 (n_3)	0,09	27	0,55
4	21 (n_4)	0,04	16	0,75
5	5 (n_5)	0,009	5	1

(n_x / n_0) **($n_x - n_{x+1}$)** **(d_x / n_x)**

X : tempo, età (giorni, mesi, anni)

n_x : n° individui ancora vivi all'età x

l_x : n° individui ancora vivi all'età x in forma di frazione **(n_x / n_0)**, TASSO DI SOPRAVVIVENZA

d_x : n° individui morti in una certa classe di età **($n_x - n_{x+1}$)**, MORTALITA'

q_x : TASSO DI MORTALITA' specifico per classe di età, calcolato come rapporto tra i parametri d_x e n_x, **(d_x / n_x)**

Esempio 1:

Data la tabella di vita di una coorte di passero canterino delle Mandarte Island, British Columbia (Smith, 1988), calcolare la sopravvivenza, la mortalità e il tasso di mortalità per classe d'età.

X (età)	n_x	l_x	d_x	q_x
0	115 (n_0)	1	90	0,78
1	25 (n_1)	0,22	6	0,24
2	19 (n_2)	0,17	7	0,37
3	12 (n_3)	0,10	10	0,83
4	2 (n_4)	0,017	1	0,5
5	1 (n_5)	0,009	1	1
6	0 (n_6)	0	0	0
		(n_x / n_0)	$(n_x - n_{x+1})$	(d_x / n_x)

X (età)	n_x
0	530 (n_0)
1	159 (n_1)
2	80 (n_2)
3	48 (n_3)
4	21 (n_4)
5	5 (n_5)

L_x	T_x	e_x
(530+159)/2 = 344,5	(344,5+119,5+64+34,5+13+2,5) = 578,0	(578/530) = 1,09
(159+80)/2 = 119,5	233,5	1,47
(80+48) /2 = 64	114,0	1,43
(48+21)/2 = 34,5	50,0	1,06
(21+5)/2 = 13	15,5	0,75
(5+0)/2 = 2,5	2,5	0,50
$(n_x + n_{x+1}) / 2$	$T_0 = L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$	(T_x / n_x)

Possiamo aggiungere un altro parametro molto importante a questa tabella di vita, cioè l'**ASPETTATIVA DI VITA (e_x)** specifica per una certa classe di età, cioè il numero di anni che ci si aspetta che possa vivere un individuo di una certa età.

Il primo passo è quello di calcolare il parametro L_x, cioè il n° medio di individui vivi durante l'intervallo di età da (x) a (x+1), che è la media tra n_x e n_{x+1}

Poi si calcola il parametro T_x, cioè il numero di anni che vivranno complessivamente gli individui della classe di età x; si calcola facendo la somma cumulativa dei valori di L_x dal fondo della colonna fino all'età x (es. $T_0 = L_0+L_1+L_2+L_3+L_4+L_5$)

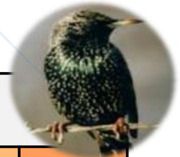
Infine e_x si calcola dividendo il valore di T_x per il corrispondente valore di n_x

Esempio 2:

Le tabelle di vita di una coorte di pettirossi e di una di storni sono le seguenti. Quale popolazione ha una aspettativa di vita più elevata alla nascita? E a 3 anni?

Età (x)	P (n)	S (n)
0	94	99
1	17	53
2	14	23
3	3	18
4	1	5
5	1	4
6	0	1
7	-	0

Pettirossi		
L_x	T_x	e_x
55,5	83	0,88
15,5	27,5	1,62
8,5	12	0,86
2	3,5	1,16
1	1,5	1,5
0,5	0,5	0,5
0	0	0
0	0	0



Storni		
L_x	T_x	e_x
76	153,5	1,55
38	77,5	1,46
20,5	39,5	1,72
11,5	19	1,05
4,5	7,5	1,5
2,5	3	0,75
0,5	0,5	0,5
0	0	-

$L_x = (n_x + n_{x+1})/2$

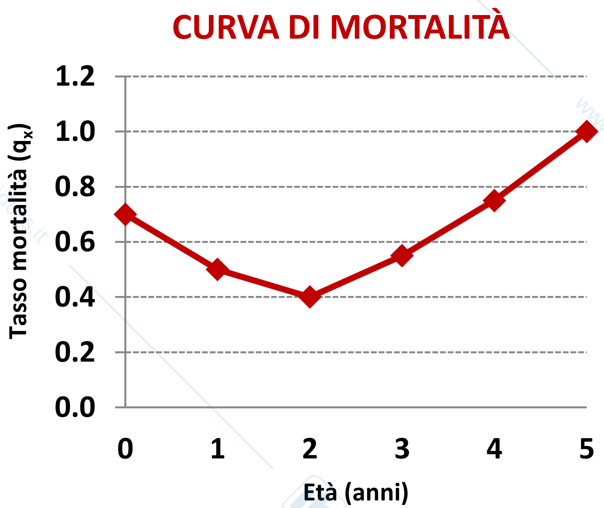
$T_x = L_0 + L_1 + L_2 + \dots$

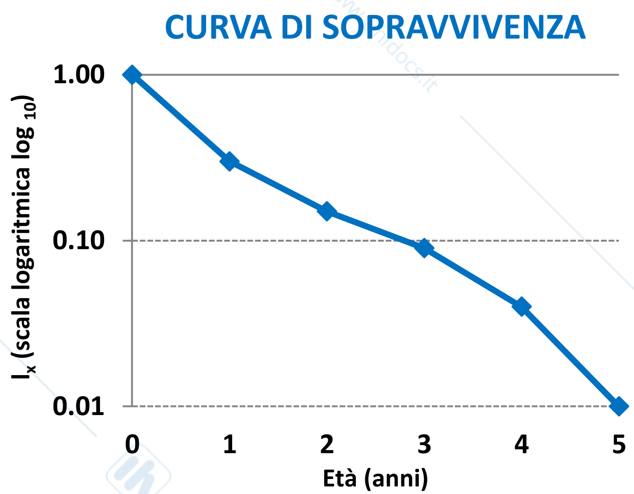
$e_x = (T_x / n_x)$

CURVE DI MORTALITÀ E SOPRAVVIVENZA

I dati delle tabelle di vita ottenuti fin qui possono essere rappresentati graficamente in due modi: una **CURVA DI MORTALITÀ** basata sulla colonna q_x e una **CURVA DI SOPRAVVIVENZA** basata sulla colonna l_x

X (età)	n_x	l_x	d_x	q_x
0	530	1,00	371	0,7
1	159	0,3	79	0,5
2	80	0,15	32	0,4
3	48	0,09	27	0,55
4	21	0,04	16	0,75
5	5	0,01	5	1,0

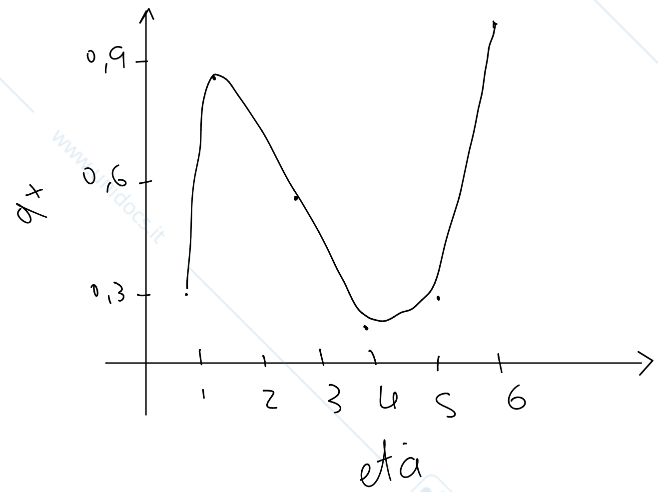


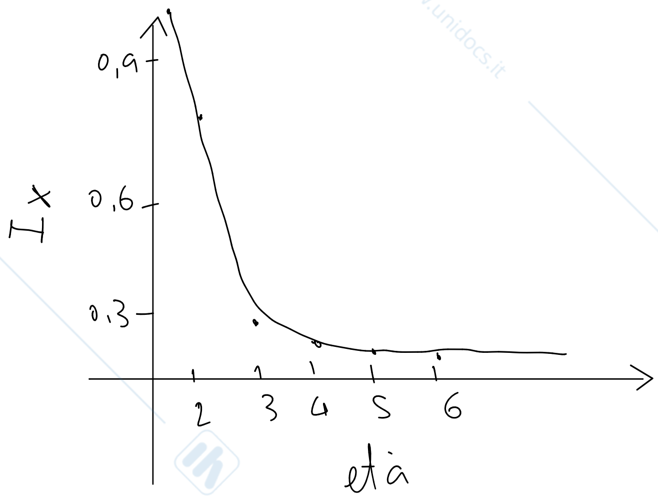


Esempio 3:
Costruire la tabella di vita per la coorte di una popolazione di falena e disegnare le curve di mortalità e sopravvivenza.


S. pyri, (© A. Muscio)

X (età)	n_x	l_x	d_x	q_x
Uova	450	1	135	0,3
Stadi I-III	315	0,7	258	0,82
Stadi IV-VII	57	0,126	33	0,58
Prepupa	24	0,053	1	0,04
Pupa	23	0,051	7	0,30
Adulti	16	0,035	16	1





TASSO DI NATALITÀ SPECIFICO (per classe di età, b_x)

In una popolazione che si riproduce sessualmente solo le **FEMMINE** sono responsabili delle nascite; inoltre questo indice varia con l'età delle femmine.

Visto che l'aumento della popolazione è funzione della riproduzione da parte delle femmine, questo indice deve tenere in considerazione solo **IL NUMERO MEDIO DI FEMMINE NATO DA UNA FEMMINA PER CIASCUN GRUPPO DI ETÀ (b_x)**.

X (età)	n_x	b_x
0	530	0
1	159	2
2	80	3
3	48	3
4	21	2
5	5	0
Σ		10

X (età)	l_x	b_x	$l_x b_x$
0	(530/530) = 1,00	0	0,00
1	(159/530) = 0,3	2	0,6
2	(80/530) = 0,15	3	0,45
3	(48/530) = 0,09	3	0,27
4	(21/530) = 0,04	2	0,08
5	(5/530) = 0,01	0	0,0
Σ		10	1,40

La $\Sigma\, l_x b_x$ rappresenta il **TASSO RIPRODUTTIVO NETTO R_0**, definito come il numero medio di prole di sesso femminile prodotto in media da una femmina nel corso della sua vita.

$R_0 < 1$

$R_0 = 1$

$R_0 > 1$

TASSO RIPRODUTTIVO LORDO

Inseriamo il parametro l_x, la sopravvivenza per ciascuna classe di età: moltiplicando $l_x\, b_x$ otteniamo il numero medio di femmine generate per ciascuna classe di età **ponderato sulla sopravvivenza** di quella classe.

Esempio 4:

Comparare due popolazioni della stessa specie utilizzando le seguenti tabelle demografiche.

Popolazione A		
Età (x)	n_x	b_x
0	100	0
1	40	0
2	25	1
3	10	1
4	5	1
5	0	0

Popolazione B		
Età (x)	n_x	b_x
0	100	0
1	90	1
2	80	2
3	70	1
4	60	1
5	0	0

1) Calcolare il tasso riproduttivo netto

2) Quale delle due popolazioni crescerà? B

Popolazione A				
Età (x)	n_x	b_x	l_x	$l_x b_x$
0	100	0	1	0
1	40	0	0,4	0
2	25	1	0,25	0,25
3	10	1	0,1	0,1
4	5	1	0,05	0,05
5	0	0	0	0
Σ			1,8	0,4 (R_0)

Popolazione B				
Età (x)	n_x	b_x	l_x	$l_x b_x$
0	100	0	1	0
1	90	1	0,9	0,9
2	80	2	0,8	1,6
3	70	1	0,7	0,7
4	60	1	0,6	0,6
5	0	0	0	0
Σ			4	3,8 (R_0)

Nessuna popolazione cresce all'infinito: limiti ambientali.

MODELLO DI CRESCITA LOGISTICO

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

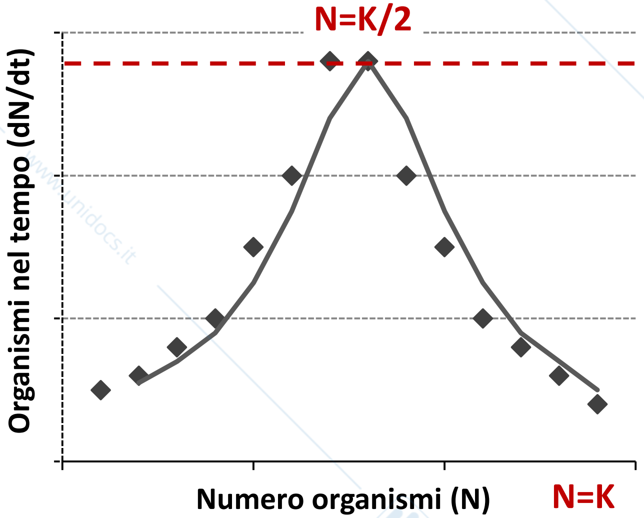
Riduce la crescita della popol. quanto più N si avvicina a K

$\boldsymbol{r}$ = tasso di crescita pro-capite $(b_0 - d_0)$

$\boldsymbol{K}$ = capacità portante, dimensione massima sostenibile della popolazione in determinate condizioni ambientali

Per K crescente - che si avvicina a N – (1-N/K) tende a 0, rallentando la crescita

CURVA DI ACCRESCIMENTO LOGISTICO



EQUAZIONE DI CRESCITA LOGISTICA

$$N(t) = \frac{K}{1 + \left[\frac{K - N_0}{N_0}\right] e^{-rt}}$$

Esempio 1:

Si stima che la popolazione mondiale di balene antartiche nel 1980 fosse pari a 80000 unità. Si supponga che la crescita delle balene segua un modello logistico in cui il tasso intrinseco di crescita e la capacità portante valgano rispettivamente:

r = 0,05 anni $^{-1}$

K = 400000 unità

Supponendo che continui nel tempo una politica di bando totale di caccia a queste balene, si stimi quale potrebbe essere la sua consistenza numerica nel 2010.

$$N(t) = \frac{K}{1+\left[\frac{K-N_0}{N_0}\right]e^{-rt}}$$

$t = 30$ anni

$r = 0{,}05$ anni^{-1}

$k = 400'000$ unità

$N_0 = 80'000$ unità

$$N(t) = \frac{400'000}{1+\left[\frac{400'000-80'000}{80'000}\right]e^{-0{,}05\cdot 30}} = \frac{400'000}{1+4e^{-1{,}5}} = \frac{400'000}{1{,}89} = 211'766$$

Nella **competizione interspecifica** gli individui di due popolazioni di specie diverse condividono la stessa risorsa.

All'inizio del XX secolo **Lotka e Volterra** formularono l'espressione matematica che descrive la relazione tra due specie che sfruttano la stessa risorsa.

- Partiamo dal modello di crescita logistico:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right) \longrightarrow \frac{dN}{dt} = rN\left(\frac{K-N}{K}\right)$$

Aggiunta di un termine che esprime l'effetto competitivo di ciascuna specie sull'altra:

Specie 1

$$\boxed{\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1}\right)}$$

Specie 2

$$\boxed{\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2}\right)}$$

N_1 e N_2 n° individui delle specie 1 e 2
K_1 e K_2 = capacità portanti delle specie 1 e 2
α = coefficiente di competizione che quantifica l'effetto pro-capite della specie 2 sulla specie 1
β = coefficiente di competizione che quantifica l'effetto pro-capite della specie 1 sulla specie 2

$$\frac{dN_1}{dt} = \boxed{r_1 N_1} \left(\frac{K_1 \boxed{- N_1} \boxed{- \alpha N_2}}{K_1}\right)$$

Accrescimento esponenziale

Effetto negativo degli individui della **specie 1** sull'accrescimento della popolazione (**competizione intraspecifica**)

Effetto negativo degli individui della **specie 2** sull'accrescimento della popolazione (**competizione interspecifica**)

- α e β possono essere visti come fattori per convertire un individuo di una specie nel numero equivalente di individui dell'altra specie in competizione, sulla base del loro utilizzo di risorse condivise che definisce le capacità portanti.
- In termini di sfruttamento di una risorsa, un individuo della specie 1 corrisponde a β individui della specie 2 e un individuo della specie 2 corrisponde a α individui della specie 1.
- Questi termini convertono la densità di popolazione di una specie nella densità di popolazione equivalente dell'altra.

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1}\right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2}\right)$$

Affinché due specie si trovino in equilibrio devono avere **CRESCITA NULLA**, ossia:

$$\frac{dN_1}{dt} = 0 \qquad \frac{dN_2}{dt} = 0$$

Queste condizioni si verificano solo se:

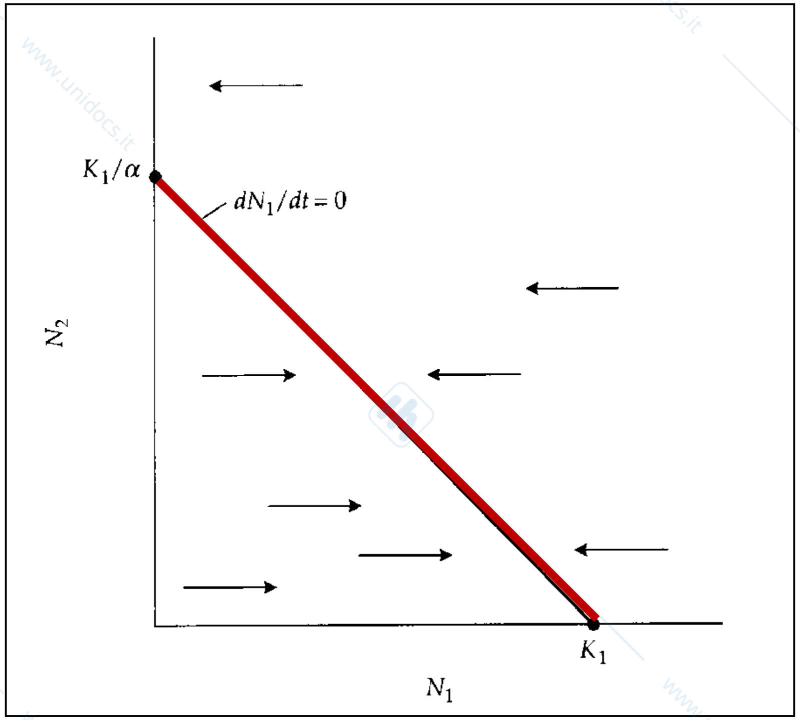
$$\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1} = 0 \qquad \frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2} = 0$$

Se risolviamo per N_1 e per N_2, otteniamo:

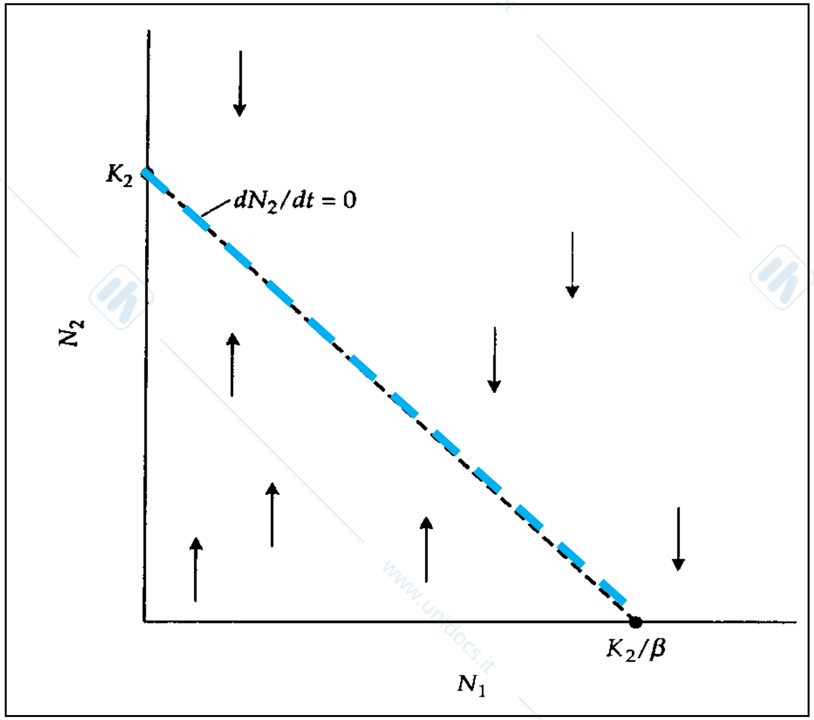
$$N_1 = K_1 - \alpha N_2 \qquad N_2 = K_2 - \beta N_1$$

Equazioni per le linee di accrescimento nullo (**ISOCLINE ZERO**) per cui la crescita della popolazione N_1 o N_2 è nulla.

ISOCLINA PER LA SPECIE 1



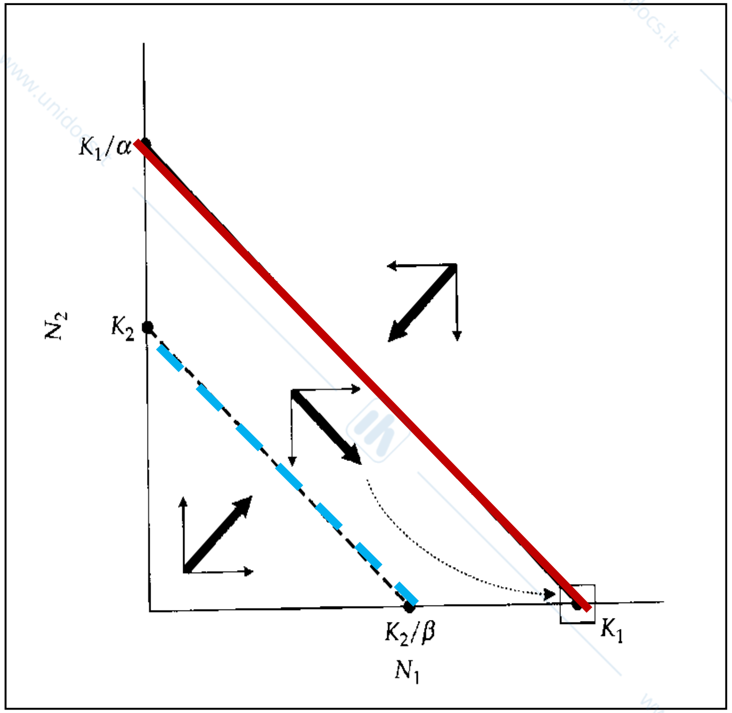
ISOCLINA PER LA SPECIE 2



Isocline zero per ciascuna specie: nell'area sottesa sotto la retta, la crescita della popolazione risulta positiva e la popolazione aumenta (come indicato dalle frecce).

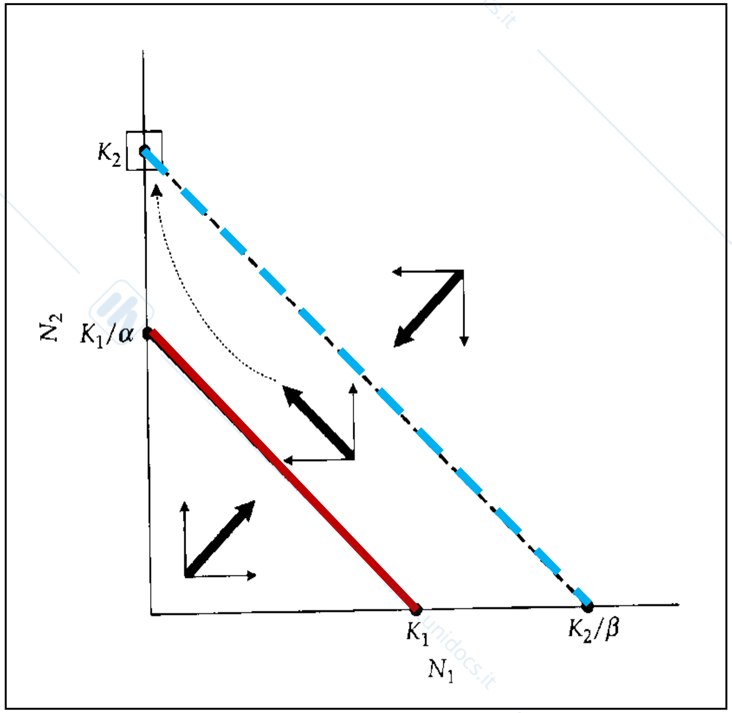
Se la popolazione si trova ad un punto a sinistra della retta, tenderà ad aumentare perché è ad un valore inferiore rispetto alla capacità portante K_1. Se, invece, la popolazione si trova su un punto a destra della retta, allora tenderà a diminuire. La retta intercetta l'asse x quando il valore N_1 è uguale alla sua capacità portante K_1 e la popolazione N_2 è uguale a zero, mentre intercetta l'asse y al valore in cui la sua capacità portante K_1 è riempita dagli individui della popolazione N_2 e nessun individuo della popolazione N_1 è presente.

Caso 1: **LA SPECIE 1 È VINCENTE**



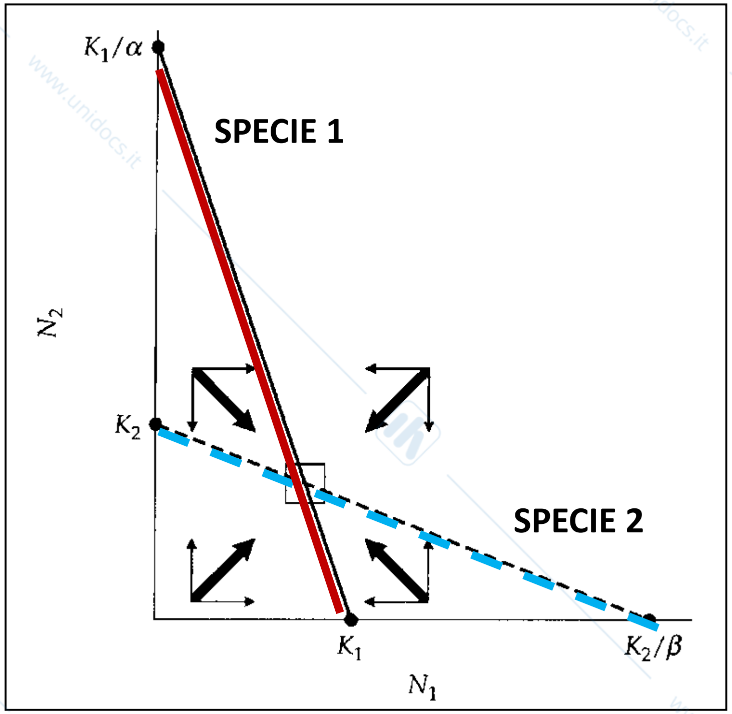
- Le isocline non si intersecano e l'isoclina della specie 1 sta sopra quella della specie 2.
- La specie 1 è vincente e raggiungerà la sua K.

Caso 2: **LA SPECIE 2 È VINCENTE**



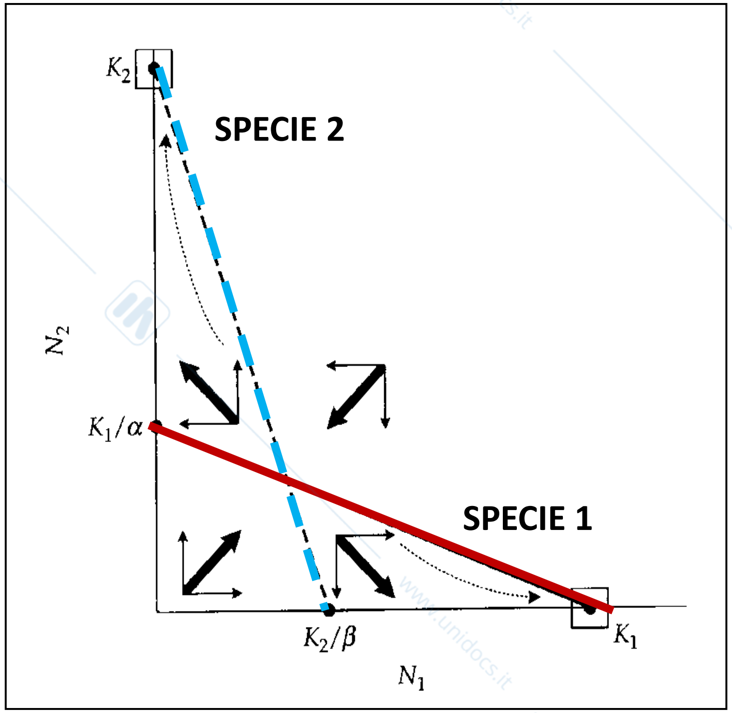
- Le isocline non si intersecano e l'isoclina della specie 2 sta sopra quella della specie 1.
- La specie 2 è vincente e raggiungerà la sua K.

Caso 3: **COESISTENZA**



- Le isocline si intersecano: per competizione intraspecifica ciascuna specie inibisce la crescita della sua stessa popolazione.
- All'equilibrio abbiamo una stabile coesistenza delle due specie.

Caso 4: **LA COMPETIZIONE PUO' DARE ENTRAMBI GLI ESITI**



- Le isocline si intersecano: la competizione interspecifica è più forte rispetto a quella intraspecifica. Ciascuna specie inibisce la crescita dell'altra più della propria. A vincere può essere la specie più abbondante.
- Situazione di equilibrio instabile con eventuale esclusione di una della due specie.

Esempio 1:

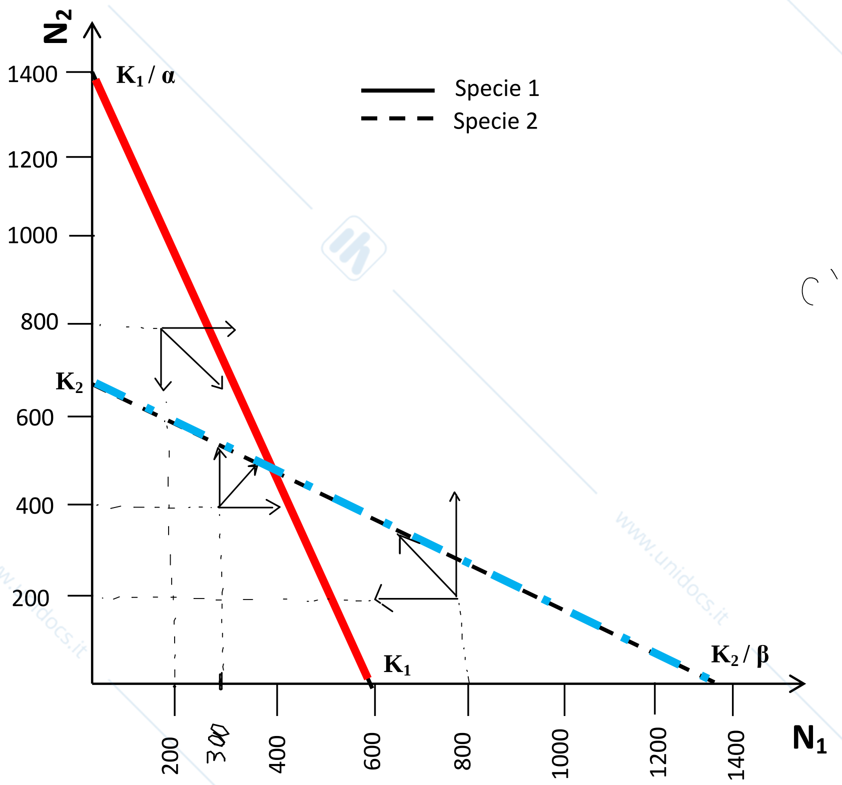
Descrivere l'esito della competizione tra le specie 1 e 2 e disegnare i vettori dell'andamento delle due popolazioni.

$$\boxed{N_1 = K_1 - \alpha N_2} \quad \boxed{N_2 = K_2 - \beta N_1}$$

$N_1 = 300$ e $N_2 = 400$

$N_1 = 800$ e $N_2 = 200$

$N_1 = 200$ e $N_2 = 800$



c'è coesistenza

Esempio 2:

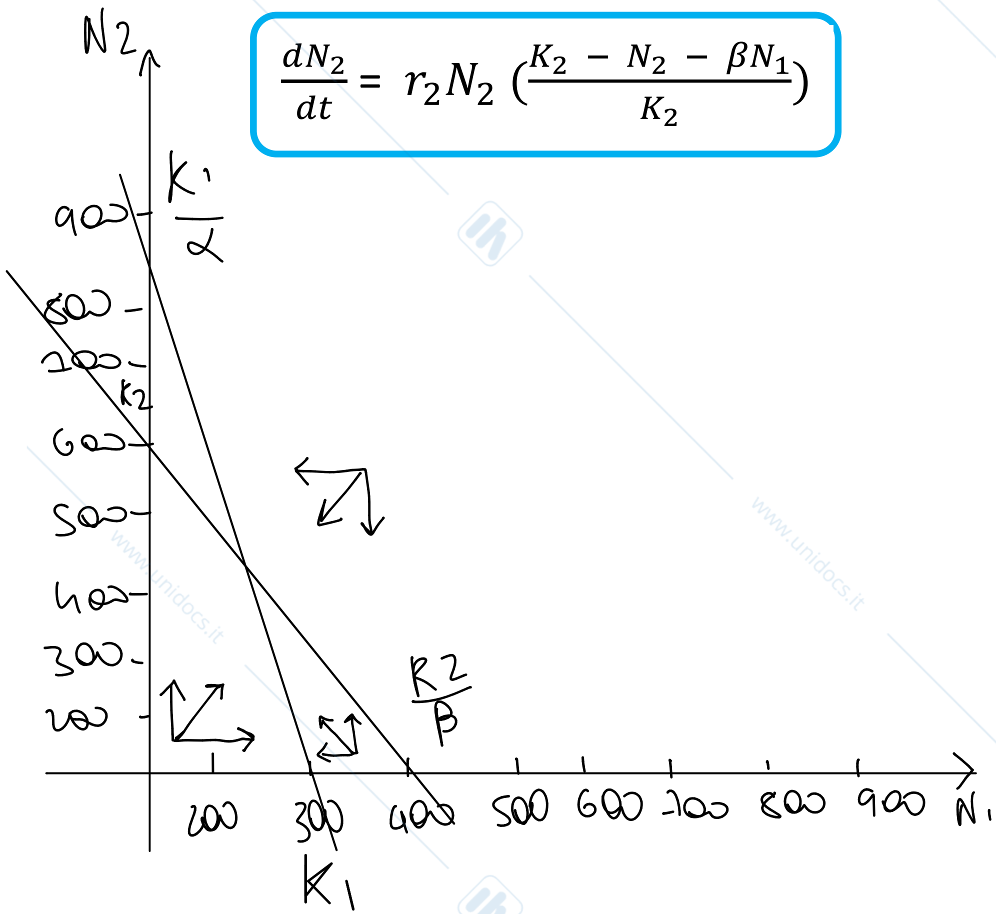
Due popolazioni di specie (1 e 2) hanno K_1 = 300 e K_2 = 600, e i coefficienti di competizione valgono 0,37 e 1,5 rispettivamente. Disegnare le rette di accrescimento zero e riportare la casistica di appartenenza.

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1}\right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2}\right)$$

$$N_1 = K_1 - \alpha N_2$$

$$N_2 = K_2 - \beta N_1$$



Esempio 3:

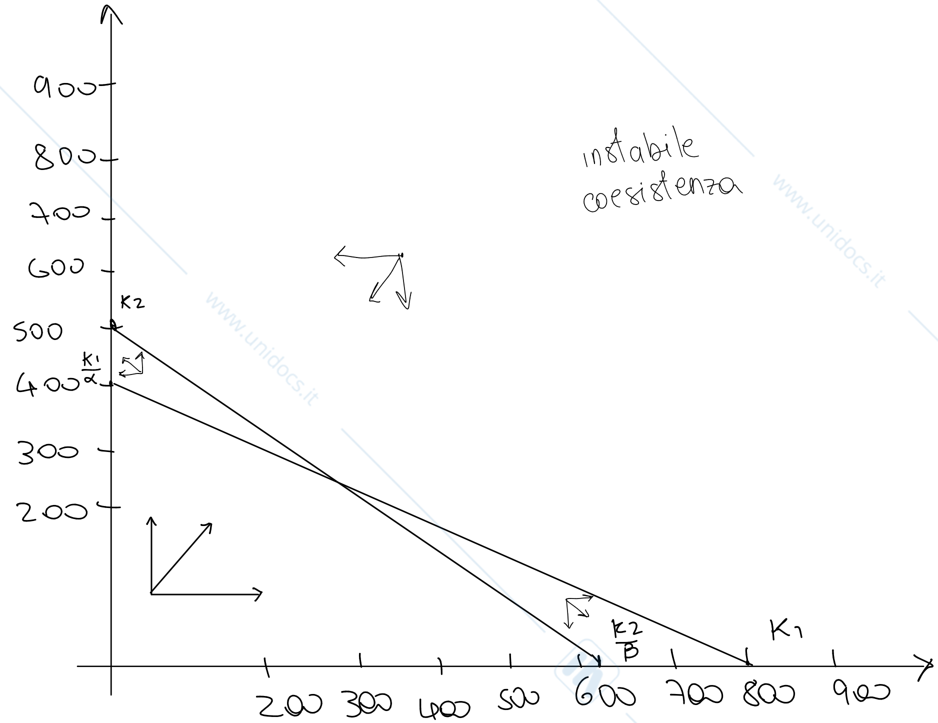
Due popolazioni di specie (1 e 2) hanno K_1 = 800 e K_2 =500, e i coefficienti di competizione valgono 2 e 0,8 rispettivamente. Disegnare le rette di accrescimento zero e riportare la casistica di appartenenza.

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1}\right)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = r_2 N_2 \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2}\right)$$

$$\frac{K_1}{\alpha} = 400$$

$$\frac{K_2}{\beta} = 625$$



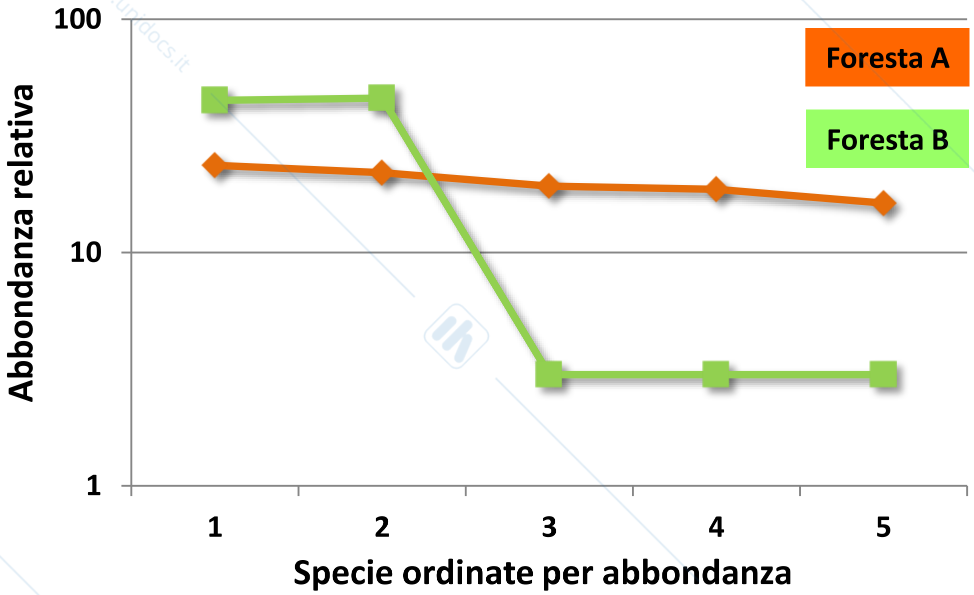
- Un gruppo di specie che occupa una determinata area, i cui componenti interagiscono direttamente o indirettamente, è detto ***COMUNITA'***.
- La misura più semplice della struttura di una comunità è il ***numero di specie che la costituiscono***, cioè la ricchezza in specie (**RICHNESS**).

Foresta A		
Specie	***n° individui***	***Abbondanza relativa***
Acero rosso	71	*23,7*
Quercia bianca	66	*22*
Faggio	58	*19,3*
Castagno	56	*18,7*
Pioppo	49	*16,3*
Somma	300	*100*

Foresta B		
Specie	***n° individui***	***Abbondanza relativa***
Acero rosso	135	*45*
Quercia bianca	138	*46*
Faggio	9	*3*
Castagno	9	*3*
Pioppo	9	*3*
Somma	300	*100*

- Entrambe le comunità hanno lo stesso numero di specie (**5**).
- Non tutte le specie che compongono queste due comunità sono ugualmente abbondanti. Si evidenzia questa caratteristica contando tutti gli individui di ciascuna specie e determinando la sua importanza percentuale sul totale complessivo degli individui di tutte le specie (**ABBONDANZA RELATIVA**).

Se vogliamo confrontare i *pattern* di ricchezza e abbondanza delle specie tra diverse comunità riportiamo in un grafico sull'asse *x* l'elenco delle specie in ordine decrescente di abbondanza e sull'asse delle *y* le relative abbondanze relative (asse y in scala logaritmica, $\log_{10}$)



Specie	*n° individui*	*Abbondanza relativa*	*n° individui*	*Abbondanza relativa*
Acero rosso	71	***23,7***	135	***45***
Quercia bianca	66	***22***	138	***46***
Faggio	58	***19,3***	9	***3***
Castagno	56	***18,7***	9	***3***
Pioppo	49	***16,3***	9	***3***
Somma	300	*100*	300	*100*

- Le due comunità forestali hanno la stessa ricchezza in specie, **RICHNESS** (lunghezza della curva uguale)
- La foresta A ha una distribuzione più equilibrata delle specie: a questa proprietà si fa riferimento con il termine di **EVENNESS** (omogeneità, equiripartizione, equitabilità). La curva della foresta A è caratterizzata da una pendenza più graduale rispetto a quella della foresta B

I DIAGRAMMI **NON** FORNISCONO INFORMAZIONI PER QUANTIFICARE TALI DIFFERENZE

Gli indici di diversità considerano simultaneamente il numero e l'abbondanza relativa delle specie nella comunità.

INDICE DI DOMINANZA DI SIMPSON (D)

Probabilità che due individui scelti a caso da un campione (nella comunità) appartengano alla **stessa specie**.

$$\boxed{D = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2}$$

n_i = numero di individui della specie i-esima
N = numero totale di individui di tutte le specie

- $0 < D < 1$
- In assenza di diversità, con una sola specie presente, D = 1 (**comunità dominata**)
- All'aumentare della ricchezza in specie e dell'equiripartizione D si avvicina a 0 (**comunità omogenea**)

INDICE DI OMOGENEITÀ DI SIMPSON

$$\boxed{1 - D}$$

Probabilità che due individui scelti a caso appartengano a **specie diverse**.

INDICE DI RICCHEZZA IN SPECIE

$$\boxed{S/N}$$

S = numero di specie
N = numero totale di individui di tutte le specie

INDICE DI DIVERSITA' di SHANNON-WIENER (H)

$$H = -\sum\left(\frac{n_i}{N}\right) \log_2\left(\frac{n_i}{N}\right)$$

n_i = numero di individui della specie i-esima
N = numero totale di individui di tutte le specie

- Misura la probabilità che un individuo preso a caso dalla popolazione appartenga ad una specie differente da una specie estratta in un precedente ipotetico prelievo
- Varia da 0 a ∞ (più aumenta H, maggiore è la biodiversità)
- Al posto del $\log_2$ è possibile impiegare il logaritmo naturale (**ln**)

DATO IL VALORE DI H, A QUESTO PUNTO POSSIAMO ESPRIMERE NUMERICAMENTE ANCHE IL VALORE DI EQUIRIPARTIZIONE (***J***).

EVENNESS (J)

$$J = \frac{H}{H_{MAX}} = \frac{H}{\log_2 S}$$

S = numero totale di specie

- Varia da 1 (massima eterogeneità) a 0 (massima dominanza)
- Al posto del $\log_2$ è possibile impiegare il logaritmo naturale (**ln=log$_e$**, e = 2,718)

COEFFICENTE DI SORENSEN (*CC*)

$$\boxed{CC = 2c / (s_1 + s_2)}$$

c = numero di specie comuni a due comunità
s_1 , s_2 = numero di specie delle due comunità

- Serve a classificare una comunità
- Varia da 0 (comunità con nessuna specie in comune) e 1 (comunità con identica composizione in specie)
- **Non** tiene conto dell'abbondanza relativa delle singole specie

INDICE DI SIMILARITÁ PERCENTUALE (PS)

PS **= somma delle percentuali di abbondanza rel. più basse per le specie comuni**

- Si basa sul confronto delle abbondanze relative delle specie nelle comunità
- Varia da 0 (comunità con nessuna specie in comune) a 100 (identica abbondanza relativa)

Esempio 1:

Data la situazione vegetazionale di una ipotetica duna di spiaggia, calcolare tutti gli indici di diversità.

Specie	*n° individui*
Ammophila littoralis	120
Agropyron junceum	80
Aryngium maritimum	60
Agropyron pungens	5
Medicago marina	3
Totale	268

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2 = 0,34$$

$$S/N = \frac{5}{268} = 0,019$$

$$1 - D = 1 - 0,34 = 0,66$$

$$\boxed{H = -\sum \left(\frac{n_i}{N}\right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N}\right)} = 1,18$$

$$J = \frac{H}{H_{MAX}} = \frac{H}{\log_2 S} = 0,73$$