

Laurea Magistrale in Scienze per l'Ambiente
MARino e Costiero (SAMAC)

Anno accademico 2023-2024

Gestione delle risorse alieutiche

Parte - Simone Libralato
slibralato@ogs.it

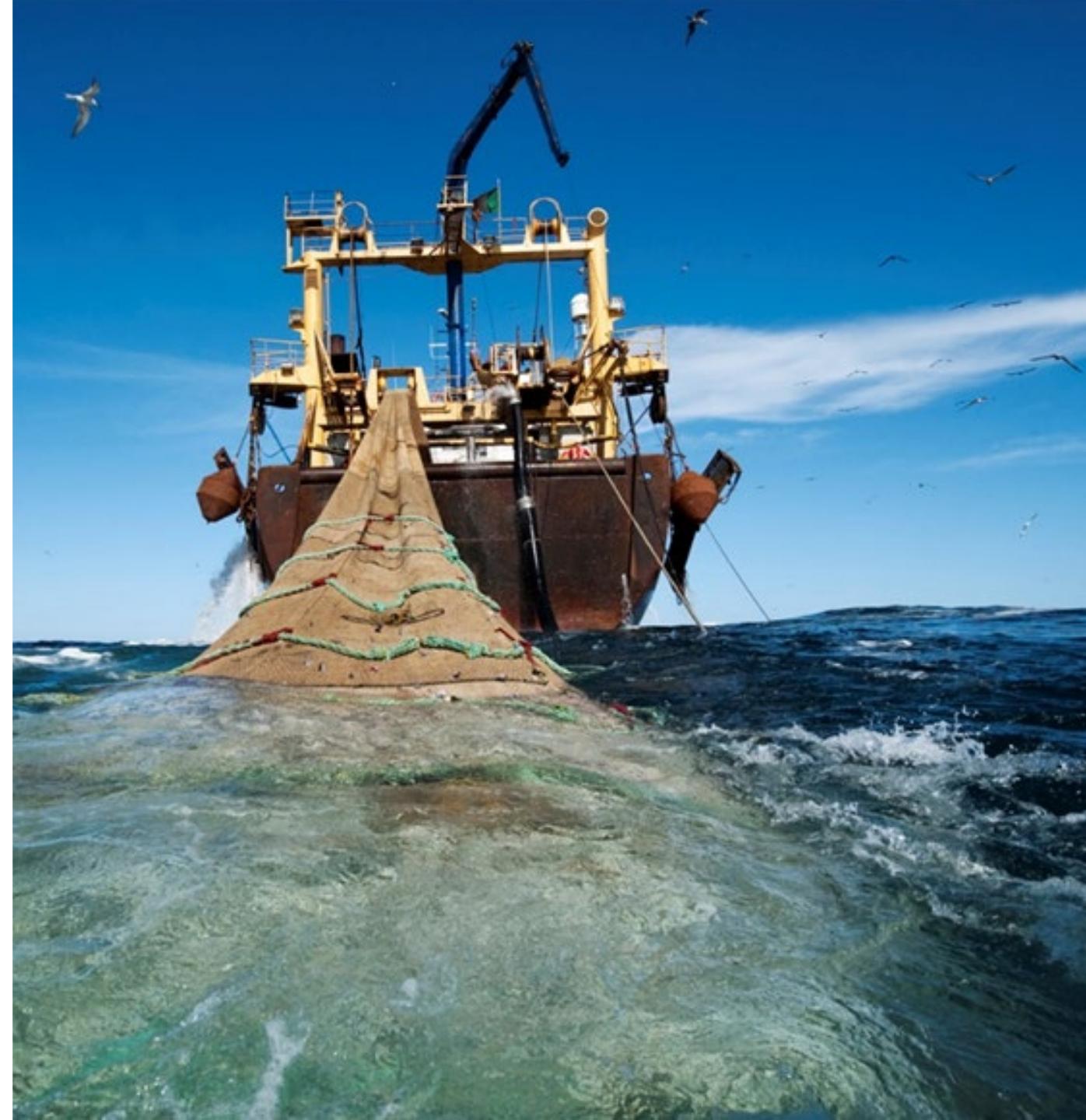
Lezione 5



UNIVERSITY
OF TRIESTE



OGS



i) Introduzione alla gestione dello sfruttamento delle risorse alieutiche, problematiche generali, stato delle risorse, targets internazionali.

ii) Massimo rendimento sostenibile, sforzo di pesca, mortalità da pesca, costi, rendimento economico. *esercizi*

iii) (continua) Massimo rendimento sostenibile, sforzo di pesca, mortalità da pesca, costi, rendimento economico. *esercizi*

iv) Le specie ittiche: crescita, riproduzione, mortalità: esercizio modelli e dati.

v) Stock assessment basi: dalla cohort analysis e virtual population analysis ad oggi (*esercizi*).

Le attività di pesca: selettività, catturabilità, impatto sugli habitat. Dati fishery dependent e fishery independent per la gestione: uso, limitazioni, problematiche.

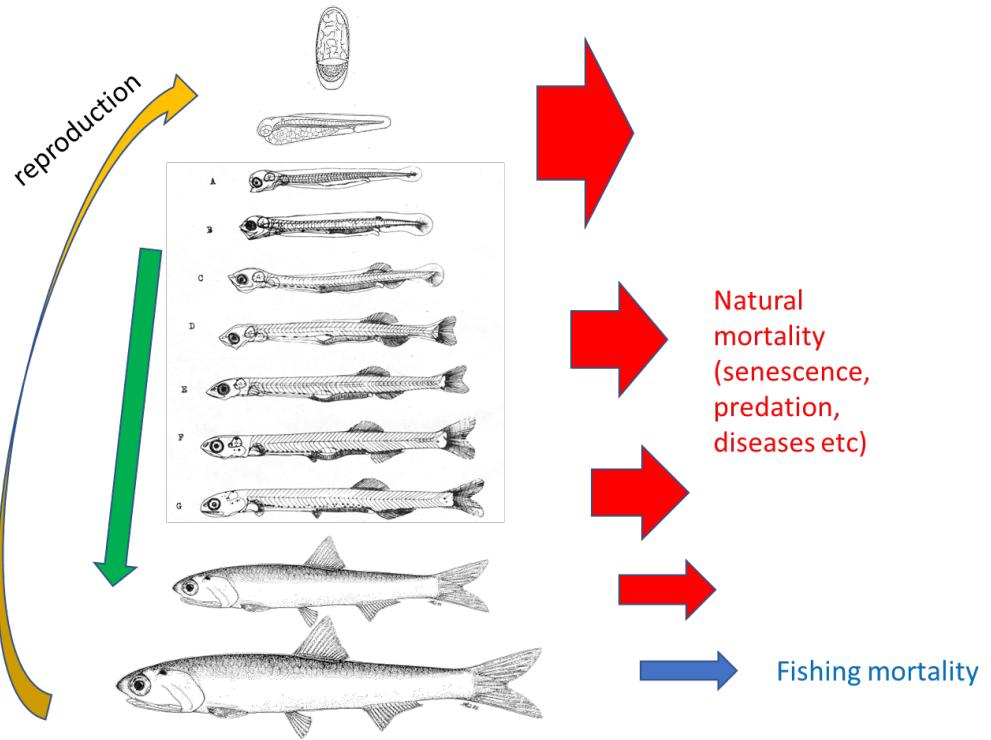
vi) Pesca e interazioni con altri fattori: approccio multispecifico integrato. Modelli di ecosistema per la gestione della pesca: Ecopath with Ecosim (*esercizio EwE*). Sintesi problematiche, approcci, limitazioni, gaps e aree di sviluppo

vii) Prodotti ittici da acquacoltura: sistemi di produzione, problematiche generali, sostanibilità, soluzioni.

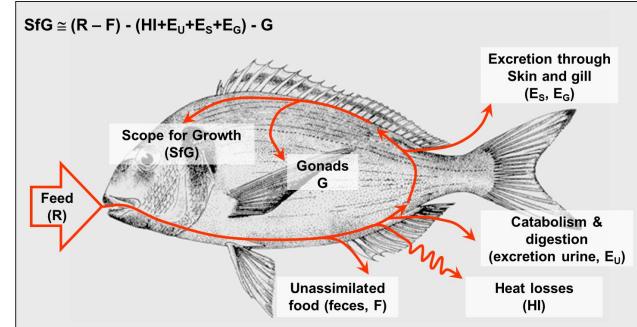
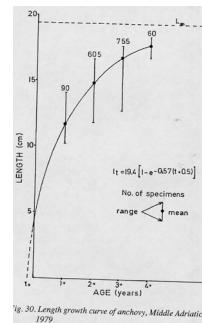
Gestione integrata pesca e acquacoltura. Target di pesca sostenibile, approcci alla gestione, problematiche: il caso del mediterraneo. Gestione spaziale della pesca, essential fish habitats, regolamenti comunitari ed internazionali. Sforzo di pesca, gestione dello sforzo di pesca, misure tecniche, misure economiche.



Main processes involved in population dynamics

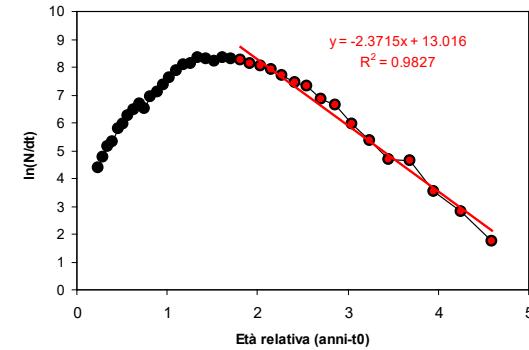


Growth



Mortality

$$\ln \frac{N_0}{N_t} = Zt$$



Beverton-Holt

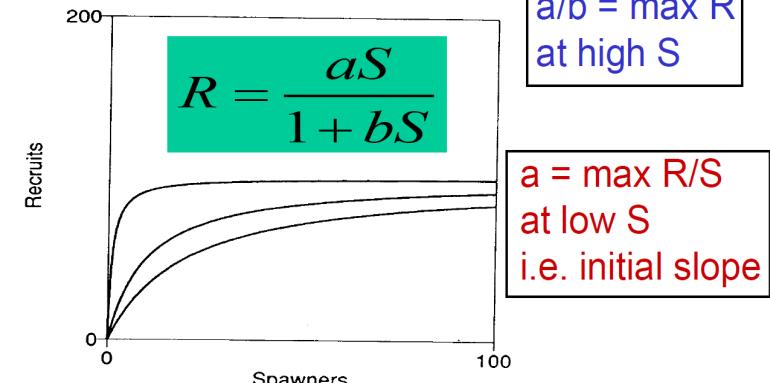


Figure 7.9. Beverton-Holt stock-recruitment curves.



UNIVERSITY
OF TRIESTE



Gestione delle risorse alieutiche – S. Libralato

Stock assessment

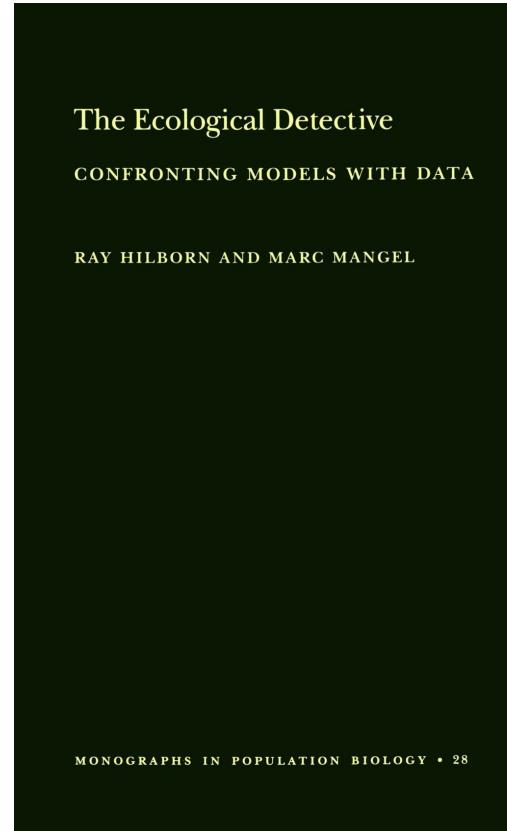
Using models for estimating what we cannot see: the number of fish at sea

“Mostly, you see fish only when they're caught...

So if you study fish populations, you tend to get little pieces of information here and there. These bits of information are like the tip of the iceberg; they're part of a much larger story. Our job is to try to put the story together.

We are a kind of detective, really, who assembles clues into a coherent picture.”

R. Hilborn & M. Mangel



Fishery dependent data

- data related to the commercial fishery activity (catch quantities, fishing capacity, etc)

Fishery independent data

- collected by scientists (fishing also where there is no fish)
- trawl surveys (biomass indices)
- Size classes

Covariates or environmental variables

(1) The simplest stock assessment model: our surplus production model

Applicable when no information is available on the biological characteristics of the population (M, growth, etc.); All fleets have essentially the same selectivity pattern.

Advantages:

Simple, quick, nice for homework assignments! BMSY is calculated easily.

Disadvantages:

Information on growth, catch-at-length, etc. are usually available for any species for which a reliable index of abundance is available.

Relies on the assumption that selectivity is the same for all fleets.

Tools available:

Spict model

Cmsy

$$1 \quad B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - qE_t B_t \quad \swarrow Y_t = F_t B_t = qE_t B_t$$

$$2 \quad B_t = \frac{CPUE_t}{q} = \frac{U_t}{q}$$

- Substituting 2 in 1 gives:

$$\frac{U_{t+1}}{q} = \frac{U_t}{q} + r \frac{U_t}{q} \left(1 - \frac{U_t}{qB_\infty}\right) - E_t U_t \quad \dots \text{and dividing by } \frac{U_t}{q}$$

$$\rightarrow \frac{U_{t+1}}{U_t} = 1 + r - \frac{rU_t}{qK} - E_t q \quad \rightarrow \frac{U_{t+1}}{U_t} - 1 = r - \frac{r}{qK} U_t - qE_t$$

The simplest stock assessment model: our surplus production model

$$\frac{U_{t+1}}{U_t} - 1 = r - \frac{r}{qK} U_t - qE_t$$

...this means:

$$\begin{aligned} \text{rate of change in } B &= \begin{cases} \text{intrinsic growth rate} \\ \text{density dependent reduction} \end{cases} - \begin{cases} \text{fishing mortality} \\ \text{reduction} \end{cases} = -M_0 - F \end{aligned}$$

Regress: $\frac{U_{t+1}}{U_t} - 1$ on U_t and E_t which is a multiple regression of the form:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad \text{where} \quad X_1 = U_t \quad \text{and} \quad X_2 = E_t$$

$$b_0 = r, \quad b_1 = \frac{-r}{qK}, \quad b_2 = -q \Rightarrow K = \frac{-b_0}{b_1 \cdot b_2}$$

The equation is transformed in the indicator of abundance U
Which is the

Catch per Unit Effort (CPUE)
usually obtained from
independent data (trawl surveys)

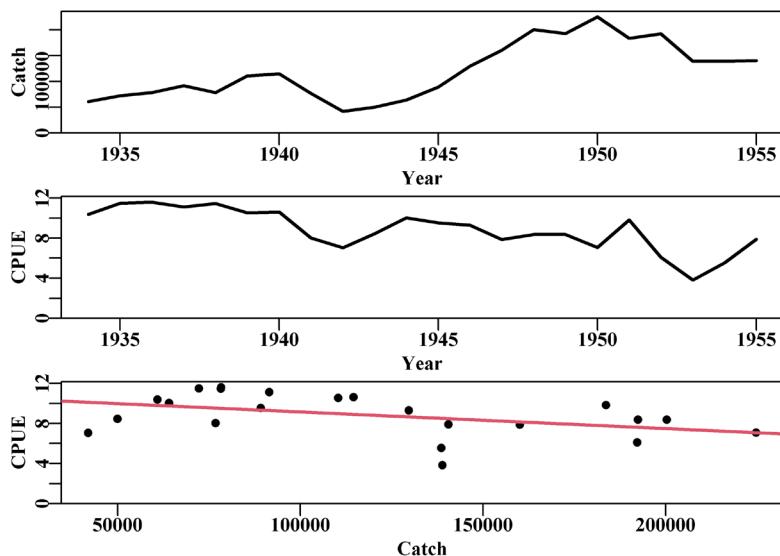
The equation is linear and it is
fitted with data of CPUE and
catches over time, for estimating
r, K and q

It is fundamental to have
informative data (catches are not
positively correlated with CPUE)

The simplest stock assessment model: our surplus production model

Real case data:

Schaefer, 1957: yellowfin tuna fishery data from 1934 – 1955 (see Haddon, 2023)

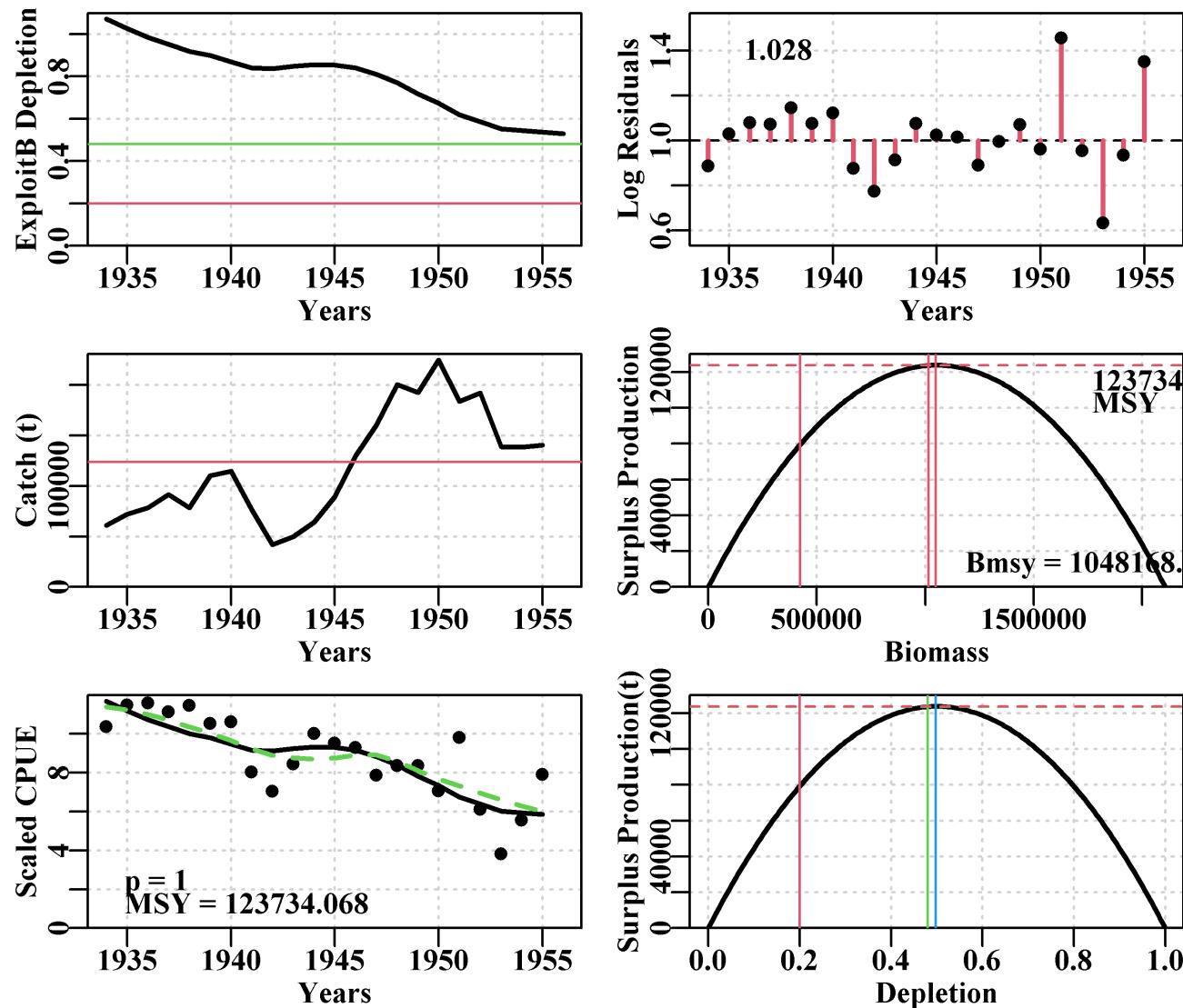


Initial conditions:

$r=0.1$, $K=2250000$, $B_{init}=2250000$

Fitting:

$R=0.234$; $K= 2106842$; $B_{init}=2257885$



Surplus production model at equilibrium or not?

When looking at MSY in previous exercises we look at long term catches after introduction of fishing effort (200 years). These are equilibrium catches.

However, if we assume effort is continuously evolving rapidly enough for the population not to reach equilibrium, the catches are different. Much different.

See exercise:

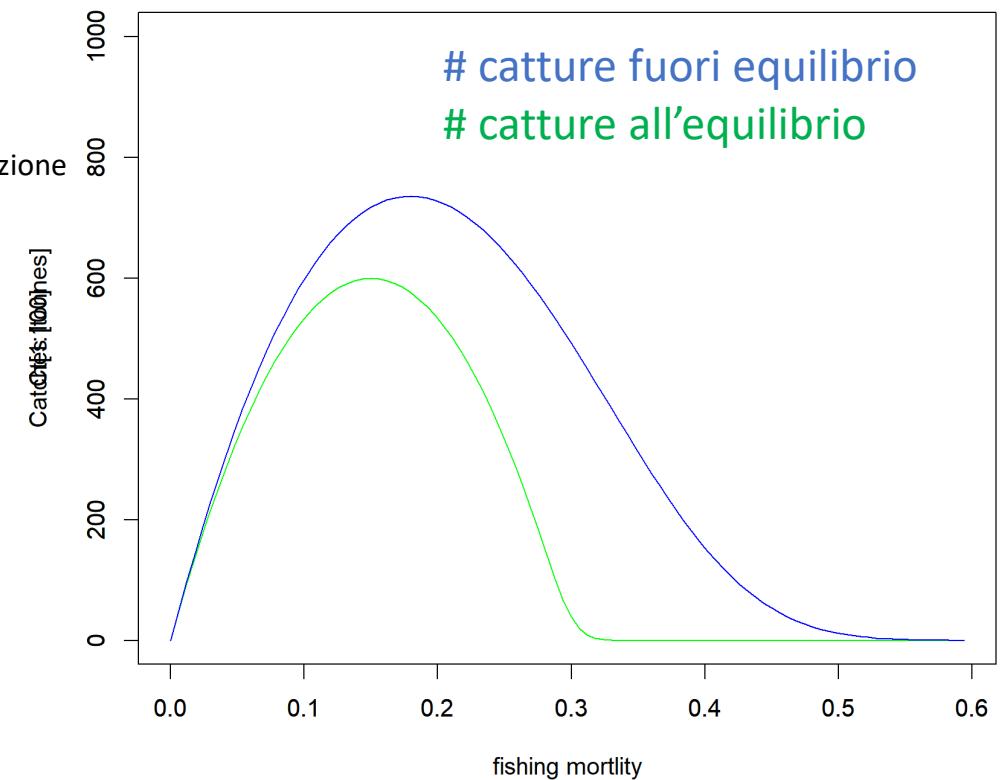
SLibralato_Lezione 5_esercizioMSY_non equilibrium_a lezione.R

where we compare equilibrium and non equilibrium catches.

What are the catches when population is far from equilibrium?

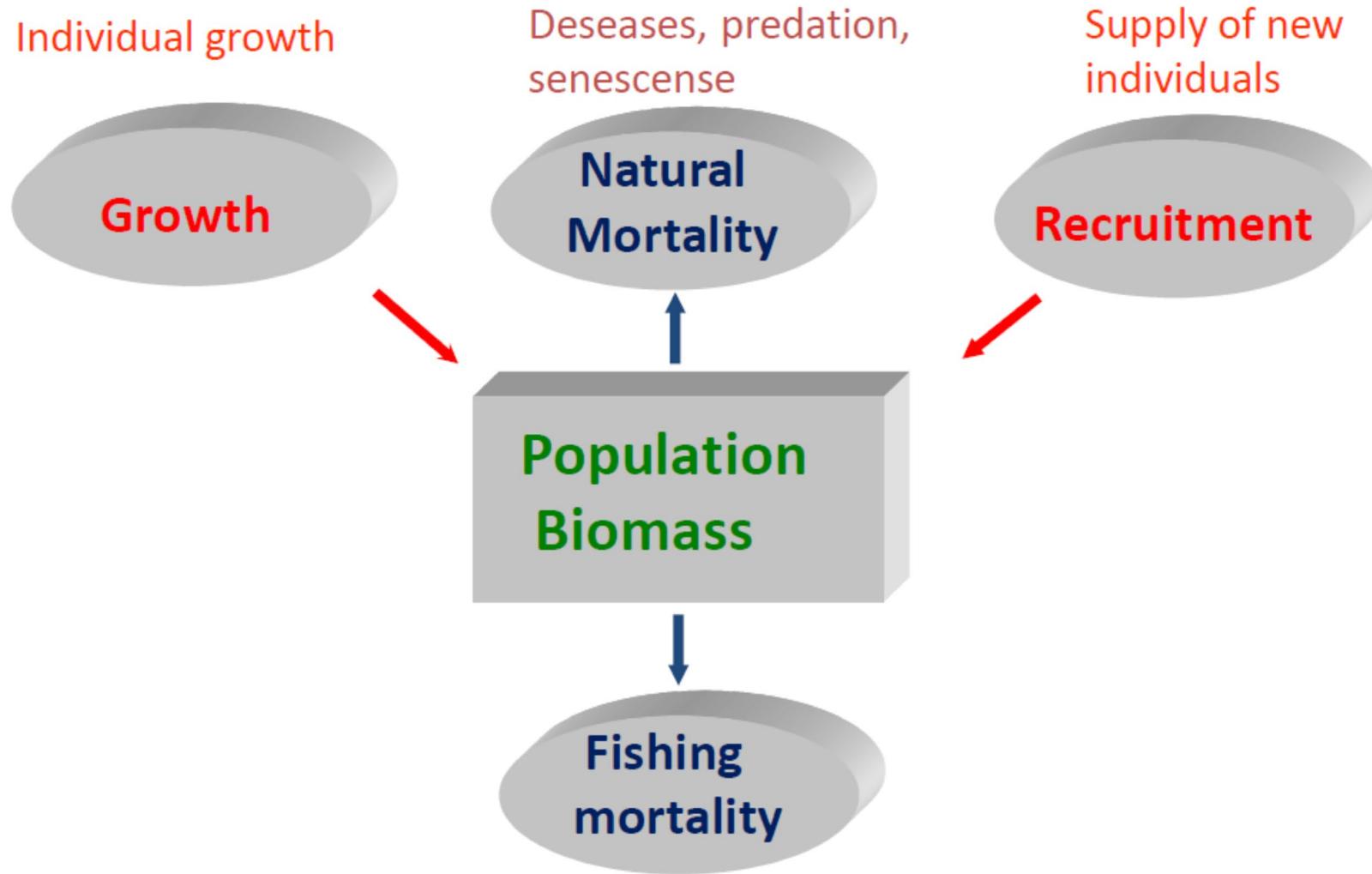
Surplus production model never use at equilibrium!

```
years <- 200 , erre <- 0.3 , B0 <- 8000
Kappa <- 8000 # capacità portante del sistema in tonnellate
Bt <- as.double (1:years) # definizione del vettore che useremo per calcolare la biomassa negli anni della simulazione
Ct <- as.double (1:years) # definizione del vettore che useremo per le catture
simulations <- 100; Fmin <- 0.0; Fmax <- 0.6
deltaF <- (Fmax-Fmin)/simulations
Bss <- as.double (1:simulations), Css <- as.double (1:simulations) , Ess <- as.double (1:simulations)
Cmsy <- 0.0; Bmsy <- 0.0; Fmsy <- 0.0
for (i in 1:simulations) {
  Bt[1]<-B0 # condizione iniziale
  FF <- deltaF*(i-1) # tasso di mortalità da pesca (fishing mortality)
  for (t in 1:years){
    Bt[t+1] <- Bt[t]+Bt[t]*erre*(1-(Bt[t]/Kappa))- FF*Bt[t]
    Ct[t] <- FF*Bt[t] # l'equazione di crescita logistica con la pesca
  }
  Css[i]<- Ct[years] , Bss[i]<- Bt[years] , Ess[i] <- FF
  # salvare i dati per definire MSY
  if (Css[i]>Cmsy) { Cmsy <- Css[i] , Bmsy <- Bss[i] , Fmsy <- FF} }
plot (Bss[1:simulations], type = "l", ylim = c(1,10000), col = "red", ylab = "")
par (new= TRUE)
plot (Ess[1:simulations], Css[1:simulations], type = "l", col = "green", ylim =c(1,1000), xlab ="fishing mortlity", ylab ="Catches [tonnes]")
FFdyn <- as.double (1:years), FF <- 0.0
for (t in 1:years){
  FFdyn[t] <- FF
  Bt[t+1] <- Bt[t]+Bt[t]*erre*(1-(Bt[t]/Kappa))- FF*Bt[t]
  Ct[t] <- FF*Bt[t] , FF <- FF+0.006 # l'equazione di crescita logistica con la pesca non all'equilibrio }
par (new= TRUE)
plot (FFdyn[1:100], Ct[1:100], type = "l", col = "blue", ylim = c(1,1000), xlab = "")
```



Suggestion: never use them assuming equilibrium; do not use with catch only data

Increase complication



(2) Stock assessment: Virtual Population Analysis

Metodi di valutazione dell'abbondanza e di altri parametri delle popolazioni ittiche mediante analisi delle catture strutturate in classi d'età

Le catture (C) strutturate in classi d'età:

catture → C (in numero di individui)
classi d'età → a con $a \in [r, A]$

$C_r, C_{r+1}, C_{r+2}, \dots, C_a, \dots, C_{A-2}, C_{A-1}, C_A$

permettono di seguire virtualmente **ogni coorte** e separare alcuni fattori importanti della dinamica della popolazione quali:

Mortalità dovuta alla pesca

fishing mortality

(F_a)

Mortalità naturale

(vecchiaia, stress riproduttivo, parassiti...)

natural mortality

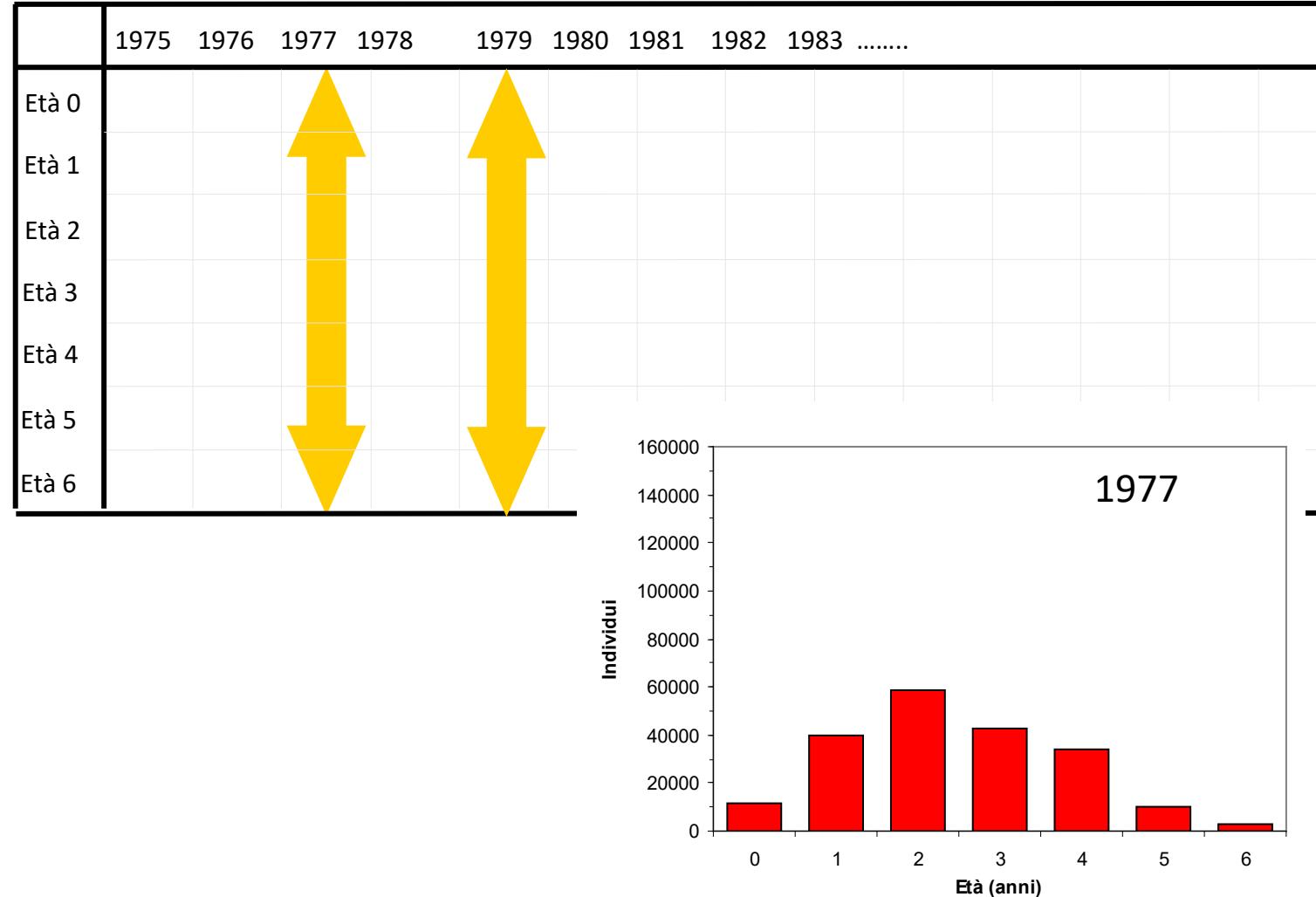
(M_a)

VIRTUAL POPULATION

- “È una popolazione non soggetta a mortalità naturale”, (Fry, 1949) (“virtuale”, la mortalità è dovuta solo alla pesca).
- “E' quella parte della popolazione che si può vedere visitando il porto peschereccio” (Sparre, 1991)

Increase complication: Virtual Population Analysis

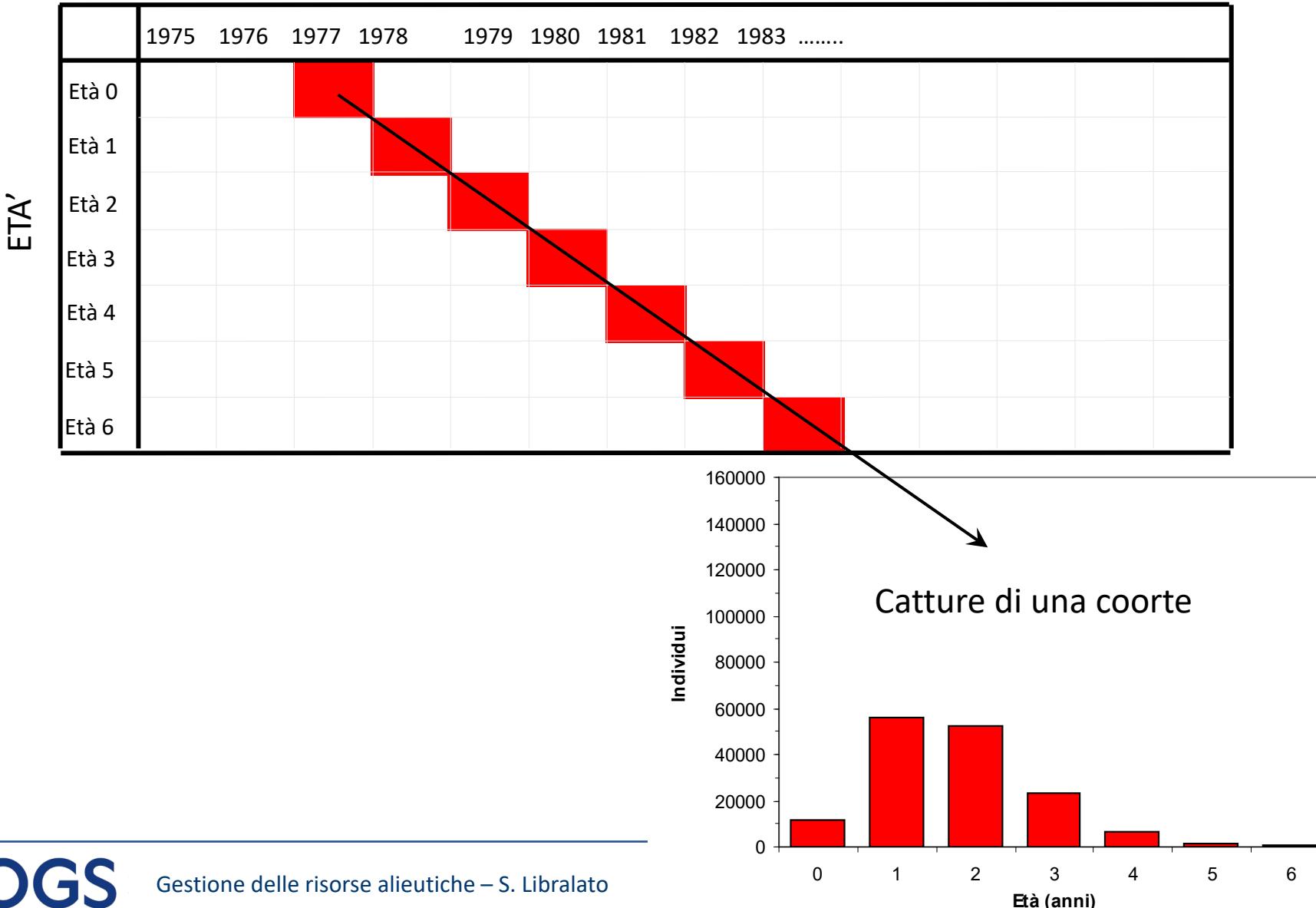
CATTURE (NUMERO INDIVIDUI) STRUTTURATE IN CLASSI D'ETA' anni



Increase complication: Virtual Population Analysis

CATTURE (NUMERO INDIVIDUI) STRUTTURATE IN CLASSI D'ETA'

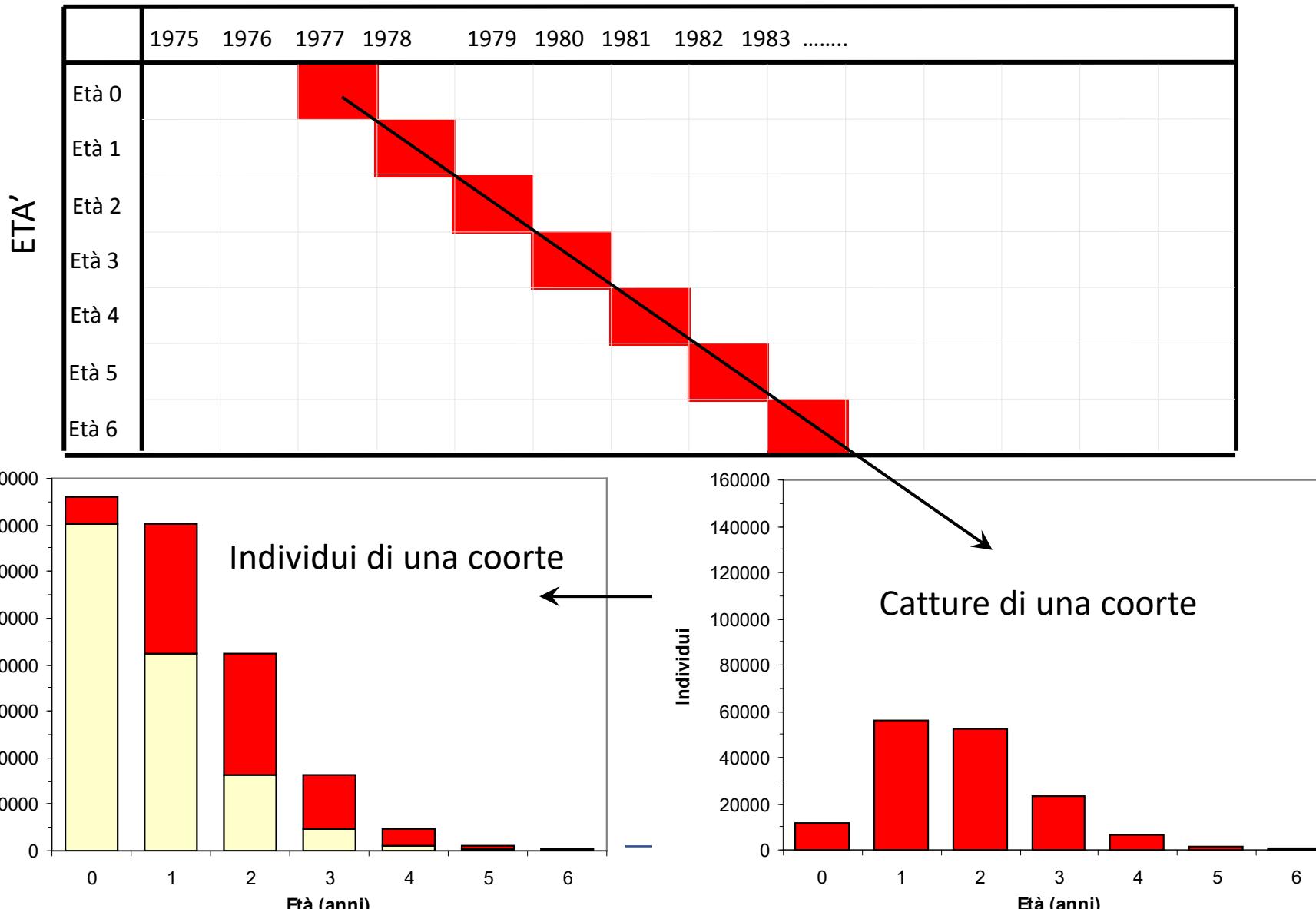
anni



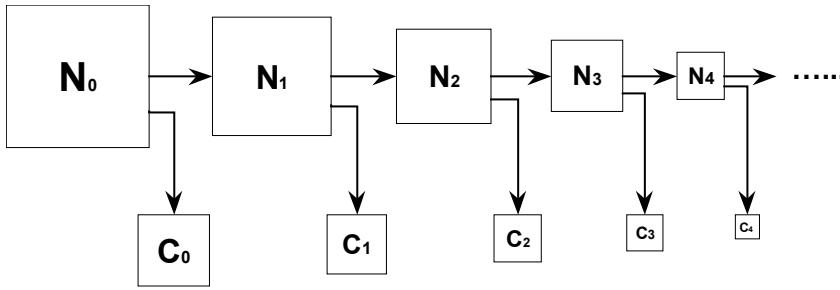
Increase complication: Virtual Population Analysis

CATTURE (NUMERO INDIVIDUI) STRUTTURATE IN CLASSI D'ETA'

anni

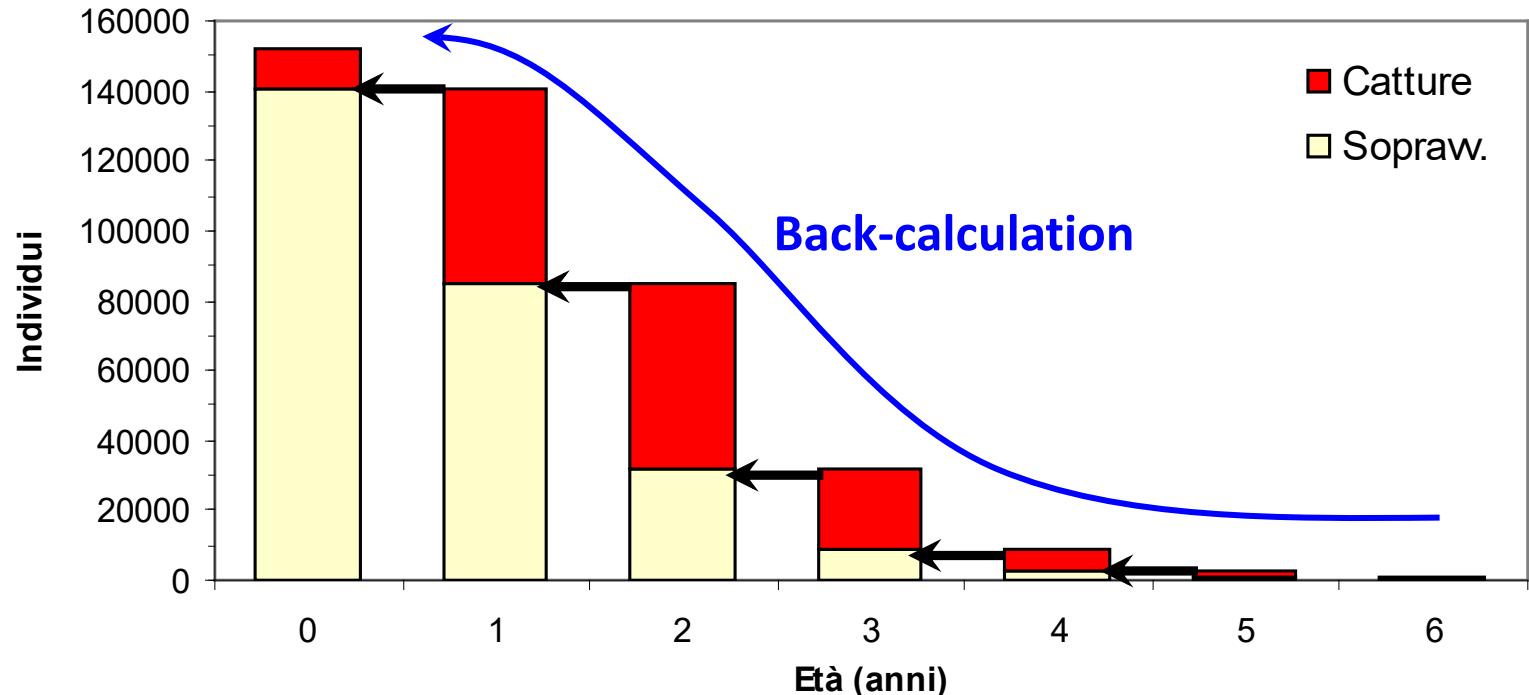


Cohort Analysis



$$N_a = N_{a+1} + C_a$$

$$a = A-1, \dots, r$$

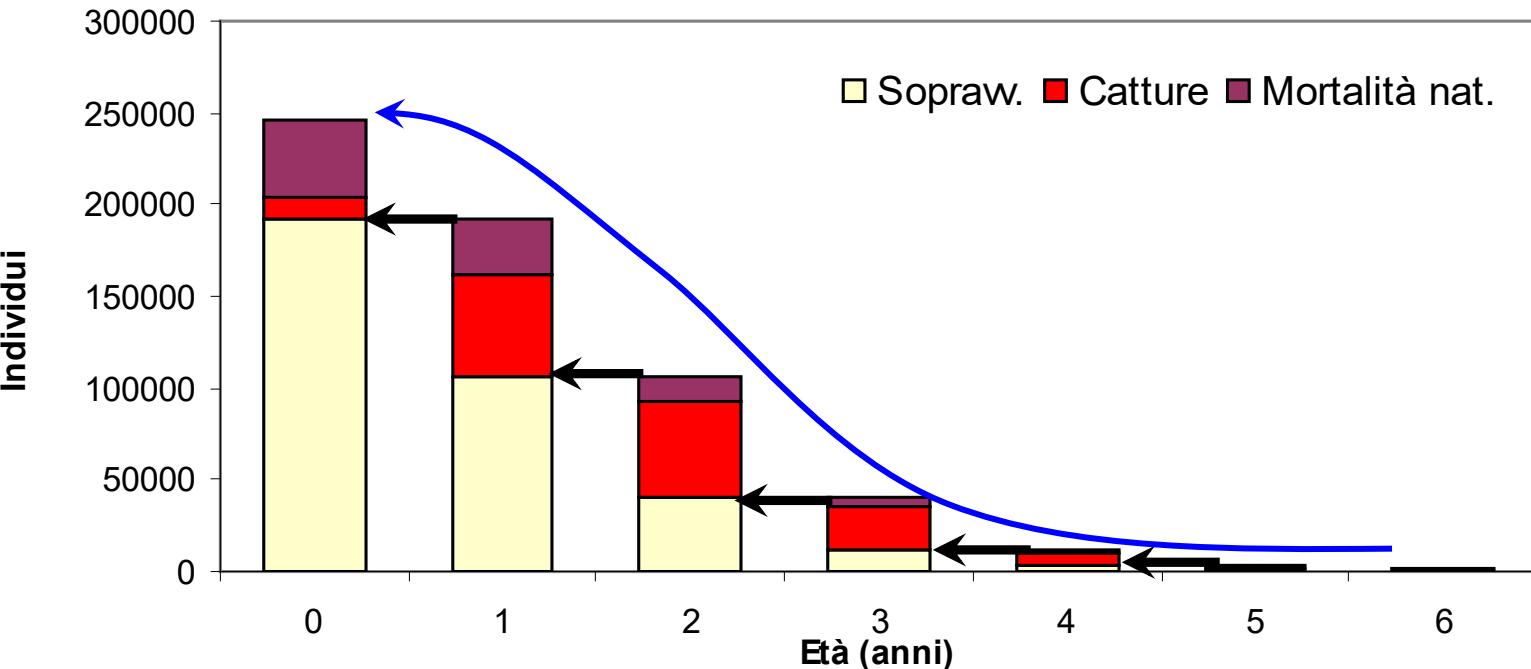
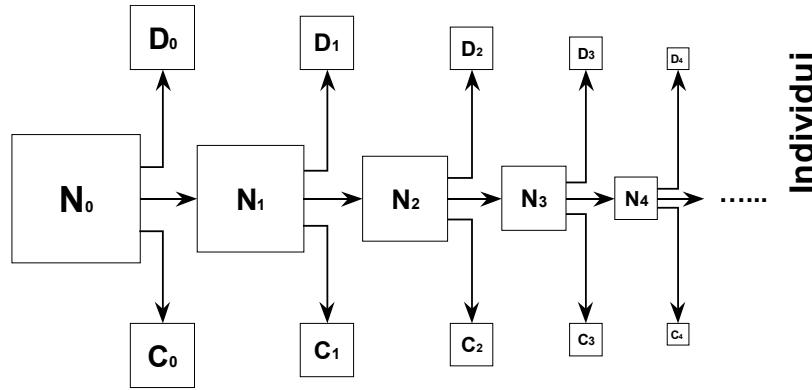


Back-calculation

$$N_0 = N_1 + C_0; N_1 = N_2 + C_1 \dots N_a = N_{a+1} + C_a \dots N_{A-1} = N_A + C_{A-1}; N_A = C_A$$

- (- poco realistico: la mortalità dovuta alla pesca non è tutta la mortalità
- (- poco realistico: gli individui “vecchi” non muoiono di mortalità naturale
- (- nessun parametro da stimare
- |- Sottostima della popolazione (dimensione minima)

Virtual Population Analysis

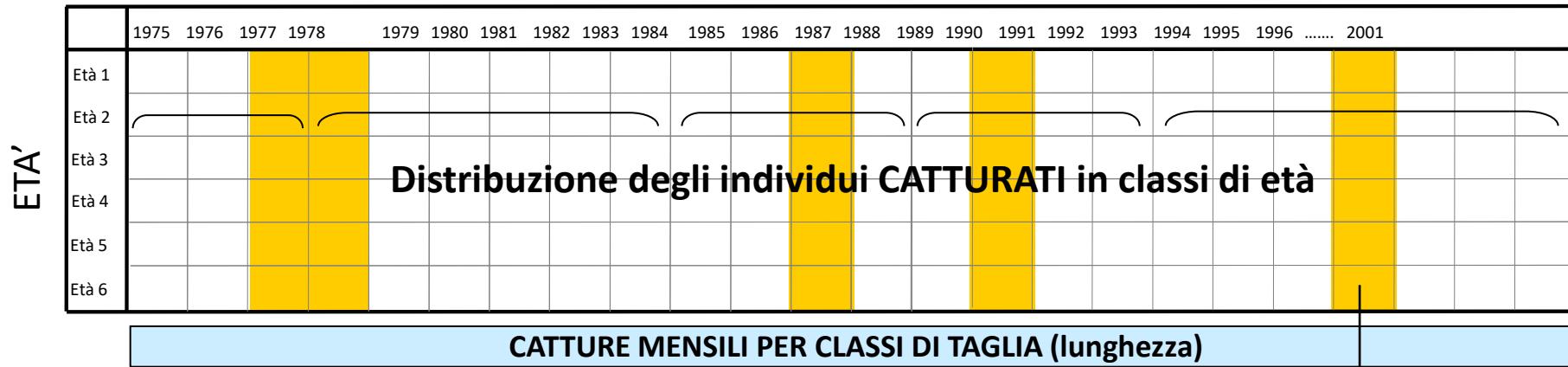


$$N(t) = N_0 \cdot e^{-(F+M) \cdot t}$$

- 1) Dati di catture strutturate in classi d'età (C_1, C_2, \dots, C_A C_A)
- 2) Stima “esperta” della mortalità naturale M , valida per tutto l’arco temporale e per ogni classe d’età
- 3) Stima della mortalità da pesca F_A per l’ultima classe d’età
 - le stime di abbondanza sono molto sensibili al valore della mortalità naturale
 - progressivamente meno sensibili al valore inizialmente scelto per F_A
 - sensibile alle MIGRAZIONI ed ERRORI nelle CATTURE

1) CATTURE STRUTTURATE IN CLASSI D'ETA' (NUMERO INDIVIDUI)

anni



Sardine e acciughe in Adriatico

- Catture mensili dal 1975 al 2001 per i diversi porti dell'Adriatico (anche Ex-Yugoslavia, Croazia e Slovenia)**
- Campionamento delle biometrie (lunghezza e peso) nei porti più importanti**
- Valutazione dell'età su un campione ristretto (attraverso lettura degli otoliti) per costruire chiavi di conversione lunghezza-età**

Tab. 1 - Anchovy: age (year) - length (cm) key calculated for the year 1995. Proportions represent age frequency distributions by length class.

Alice: chiave età (anno) - lunghezza (cm) calcolata in relazione all'anno 1995. Le proporzioni rappresentano le distribuzioni di frequenza dell'età nelle diverse classi di lunghezza.

Length	Age 0	Age 1	Age 2	Age 3	Age 4	Age 5	Age 6
9	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0.98	0.02	0	0	0	0	0
10	0.86	0.14	0	0	0	0	0
10.5	0.92	0.08	0	0	0	0	0
11	0.75	0.25	0	0	0	0	0
11.5	0.50	0.50	0	0	0	0	0
12	0.26	0.74	0	0	0	0	0
12.5	0.16	0.83	0.01	0	0	0	0
13	0.06	0.81	0.14	0	0	0	0
13.5	0.01	0.45	0.52	0.02	0	0	0
14	0	0.17	0.45	0.37	0.02	0	0
14.5	0	0.11	0.22	0.57	0.11	0	0
15	0	0.02	0.16	0.36	0.40	0.07	0
15.5	0	0.01	0.21	0.24	0.39	0.14	0.01
16	0	0	0.07	0.30	0.29	0.28	0.06
16.5	0	0	0.06	0.23	0.19	0.32	0.19
17	0	0	0	0.42	0.19	0.15	0.23
17.5	0	0	0	0.33	0.50	0.17	0
18	0	0	0	0.67	0.33	0	0
18.5	0	0	0	0	0	0	0

Tratto da: Santojanni et al., Biol.Mar.Medit. (2006) 13, 98-111.

VPA: data
needed

2) MORTALITA' NATURALE, M , stima "esperta" valida per tutto l'arco temporale e per ogni classe d'età (letteratura,

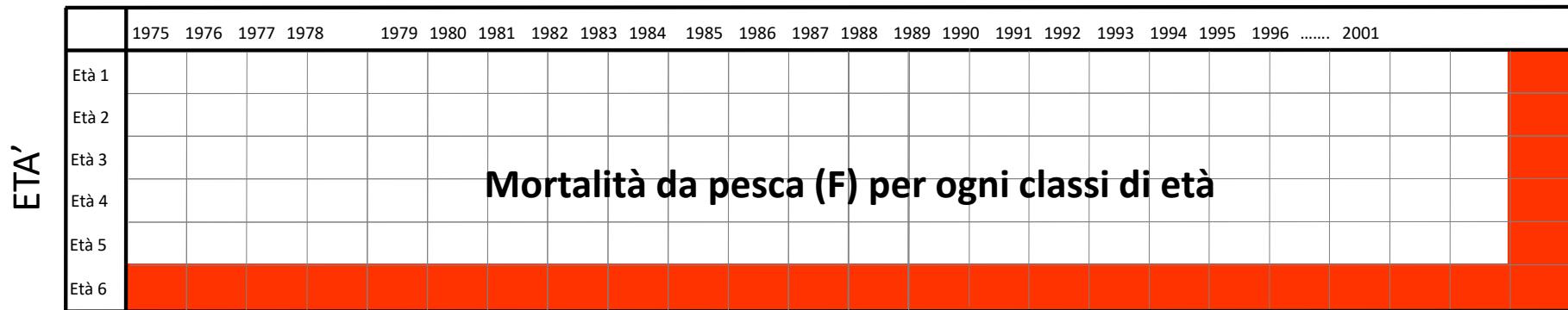


$$M \text{ (acciughe)} = 0.6 \text{ anno}^{-1}$$



$$M \text{ (sardine)} = 0.5 \text{ anno}^{-1}$$

3) Stima della MORTALITA' DA PESCA, F_A , per l'ultima classe d'età



Serie difficoltà ad avere stime affidabili delle MORTALITA' DA PESCA, quindi vengono calibrate ("tuning") confrontando le biomasse stimate da VPA con un indicatore di densità in mare (Catture per unità di Sforzo, CPUE, o dati misurati con metodi acustici)

3b) Dati annuali di SFORZO di PESCA (standardizzato)

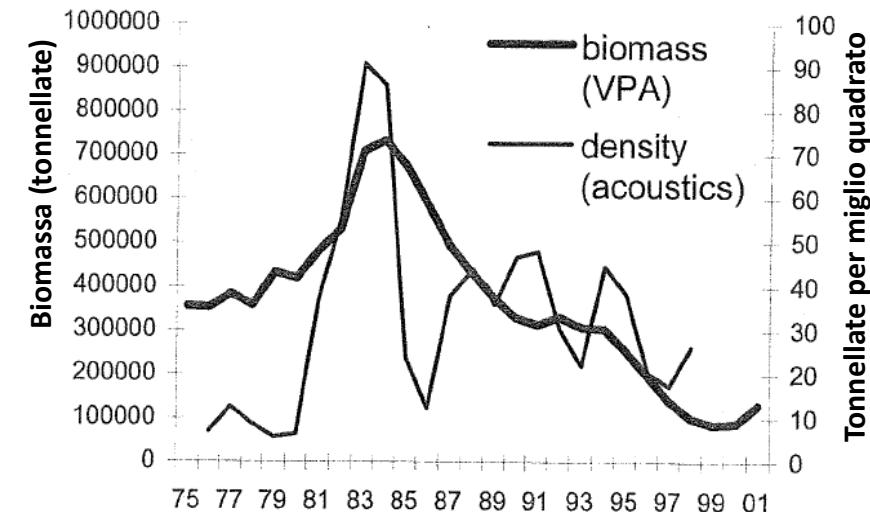
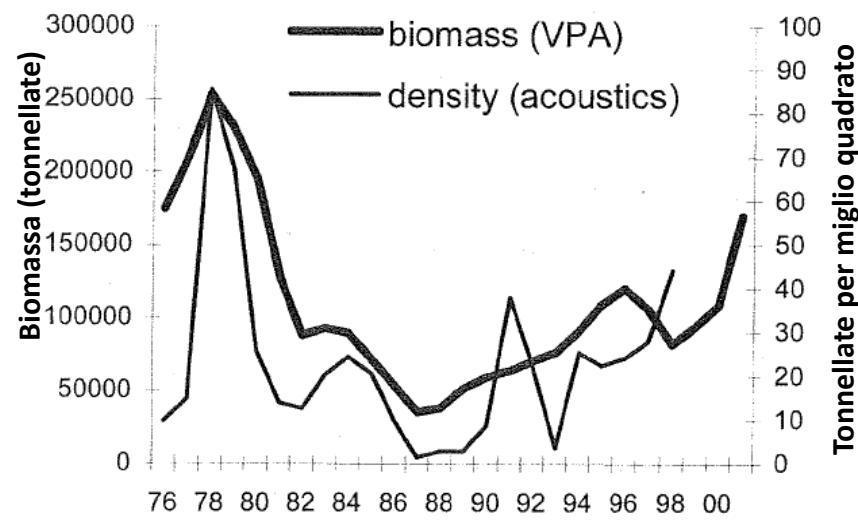
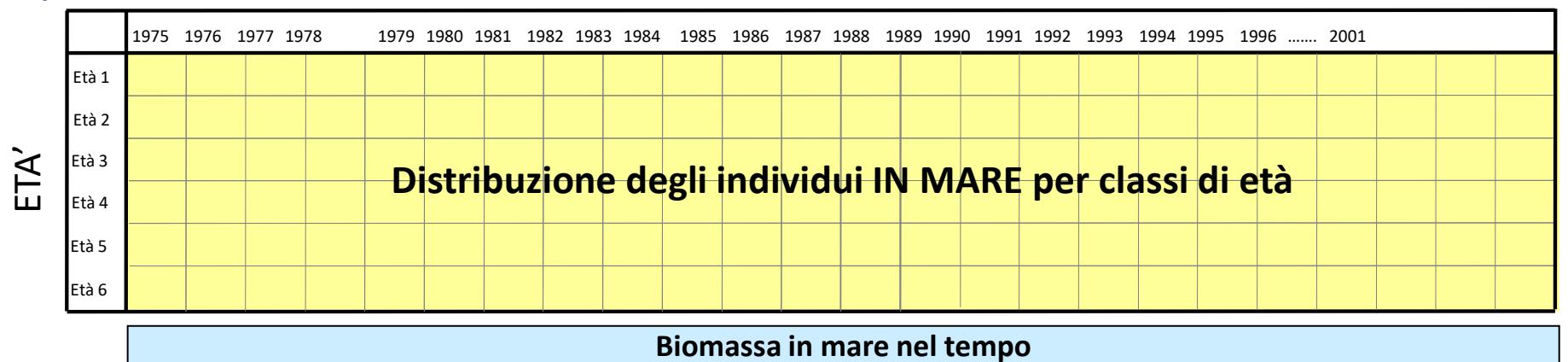
anni



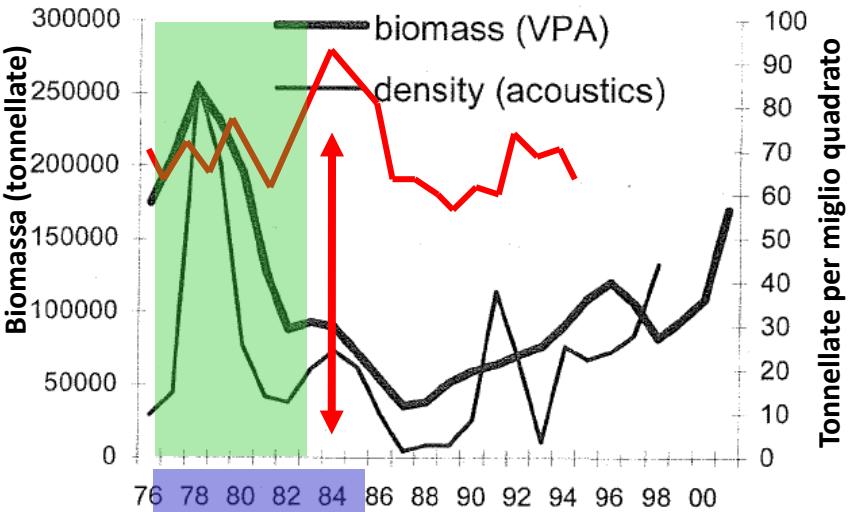
Tratto da: Santojanni et al., *Biol.Mar.Medit.* (2006) 13, 98-111.

1) BIOMASSA IN MARE

anni

Tratto da: Santojanni et al., *Biol.Mar.Medit.* (2006) 13, 98-111.

1) BIOMASSA IN MARE



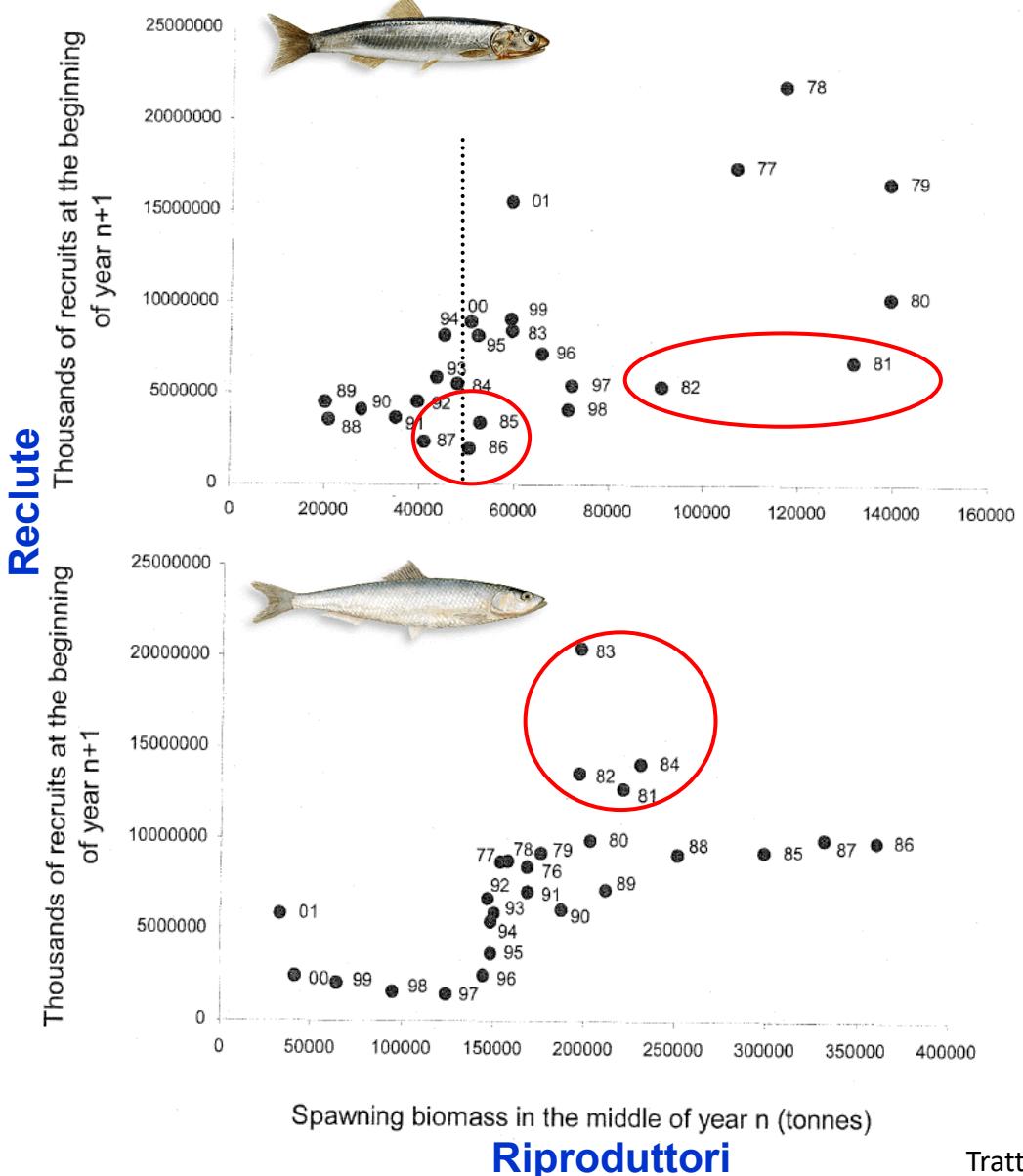
Il picco di sforzo di pesca è avvenuto successivamente al collasso della popolazione delle acciughe

Regolamentazione del prezzo di acciughe e sardine e acquisto statale delle catture in surplus al mercato è avvenuto all'incirca in momenti favorevoli per i due stocks

Nel periodo 77-85 ci sono stati diversi bloom di MEDUSE: possibile competizione trofica o predazione delle larve di acciughe (conseguente riduzione del reclutamento)?

Tratto da: Santojanni et al., *Biol.Mar.Medit.* (2006) 13, 98-111.

2) STIMA DEL RECLUTAMENTO



I risultati evidenziano una grande variabilità del reclutamento anche per stesse condizioni dello stock dei riproduttori.

Ad esempio il basso reclutamento degli anni 1985-87 per le acciughe è avvenuto a biomasse di riproduttori pari ad anni in cui c'è stato un reclutamento abbondante (2000).

Per le sardine negli anni 81-84 il reclutamento ha avuto un successo al di fuori della norma.

FATTORI AMBIENTALI? Trovate relazioni con cambiamenti climatici

Santojanni et al. 2006. Climate Research, 31: 181-193.

Tratto da: Santojanni et al., *Biol.Mar.Medit.* (2006) 13, 98-111.

3) STIME DI MORTALITA' DA PESCA

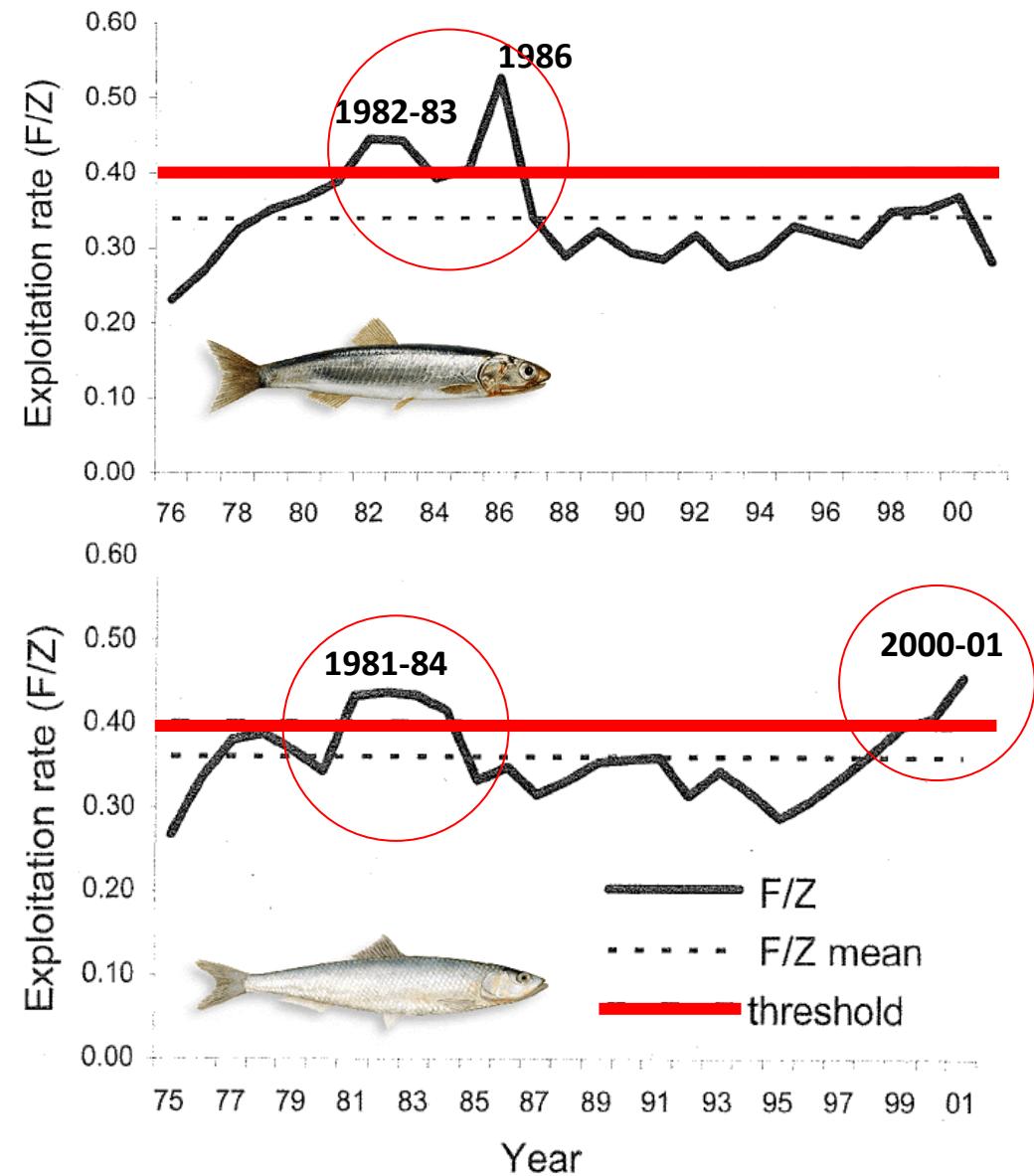
Le mortalità da pesca F_a (per ogni classe d'età, per ogni anno) permettono di calcolare la mortalità da pesca media per le classi d'età 0-3 per ogni anno.

Da questa è possibile calcolare la mortalità da pesca rispetto alla mortalità totale:

Tasso di sfruttamento

$$\text{ER} = F/(F+M) = F/Z$$

che è confrontabile con il valore di riferimento (Patterson, 1992)
 $\text{ER(rif)} = 0.4$



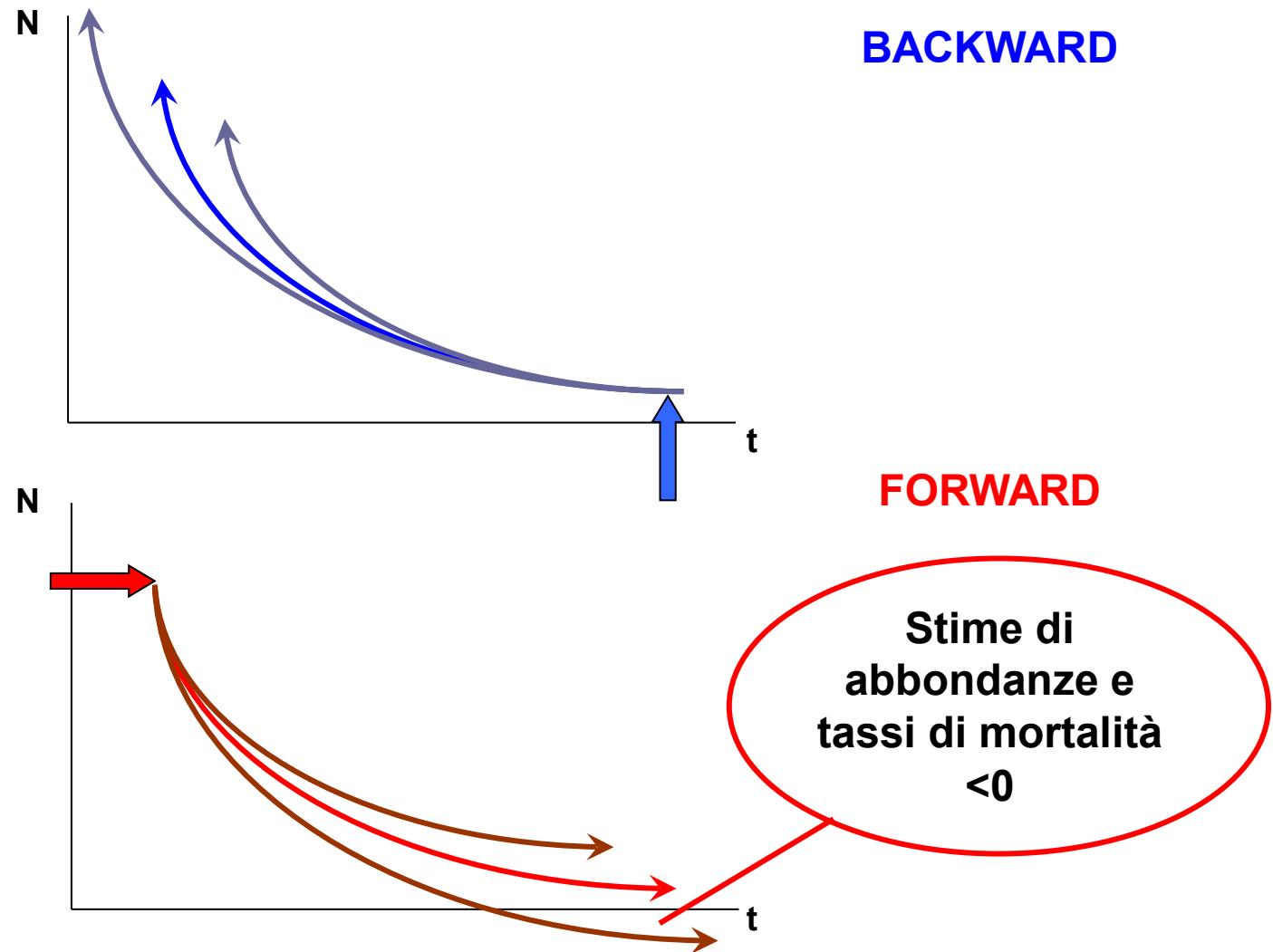
Tratto da: Santojanni et al., *Biol.Mar.Medit.* (2006) 13, 98-111.

VPA synthesis

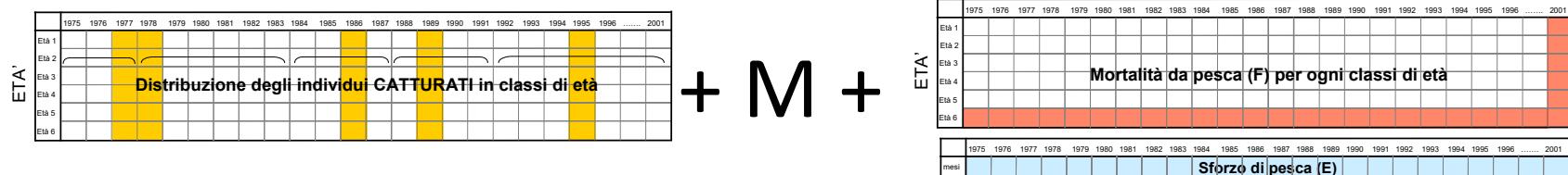
La VPA è un sistema robusto

Per determinare la popolazione a mare di una specie usando dati del passato

La proiezione in avanti, tuttavia, ha importanti limitazioni



DATI INPUT: (1) Dati di catture strutturate in classi d'età; (2) Mortalità naturale M;
 (3) Mortalità da pesca FA per l'ultima classe d'età o dati per calibrazione (CPUE)



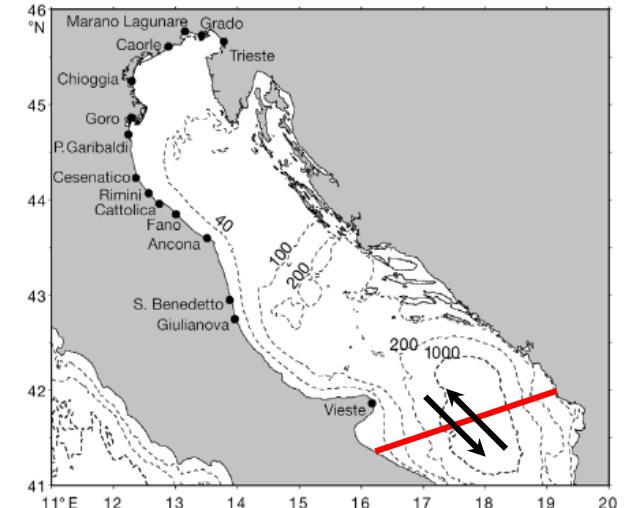
OUTPUT: (1) Biomassa nel tempo; (2) Reclutamento; (3) Mortalità da pesca;

Limitazioni e pregi del metodo

- (- molto sensibile al valore della mortalità naturale (M))
- (- progressivamente meno sensibile al valore di F_A)
- |- sensibile agli ERRORI nelle CATTURE
- |- sensibile alle MIGRAZIONI

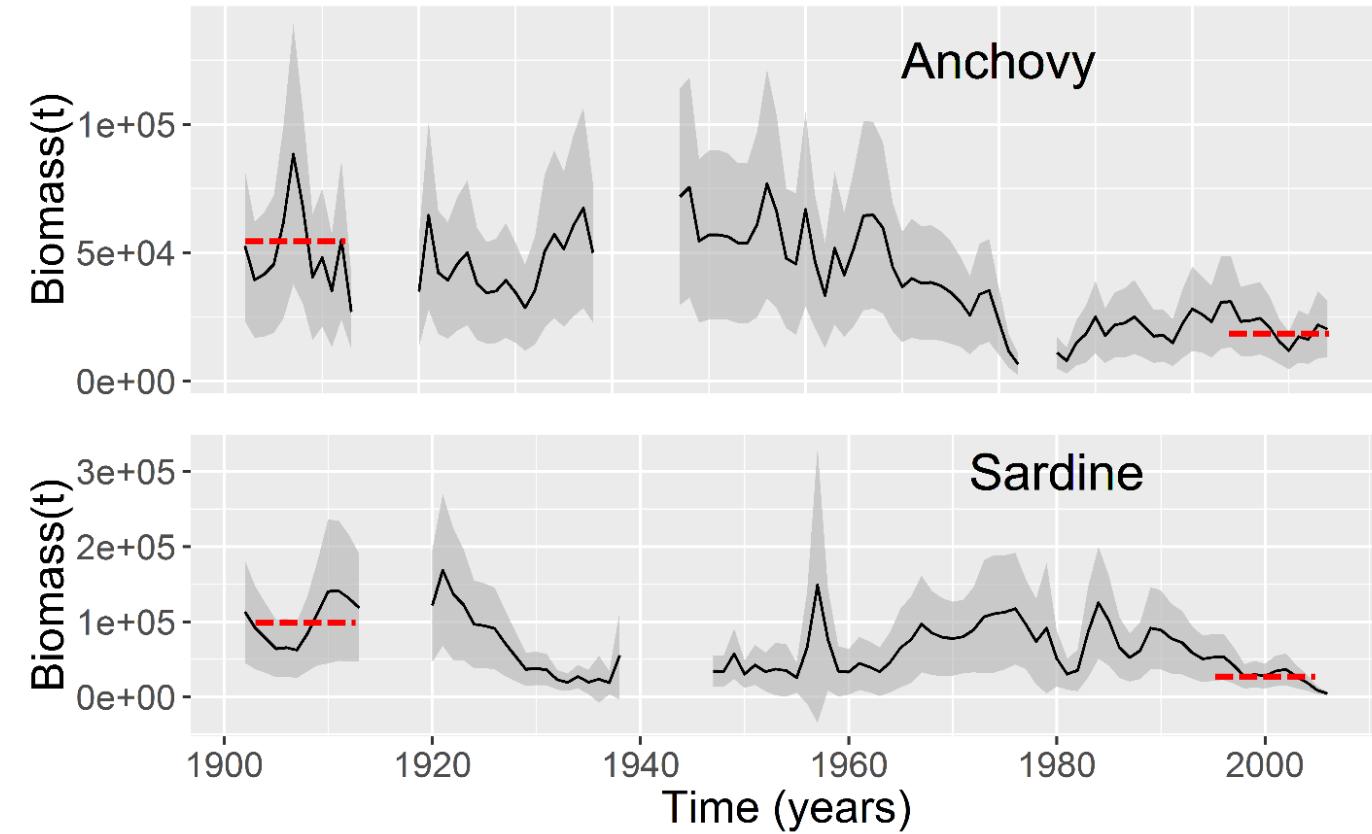
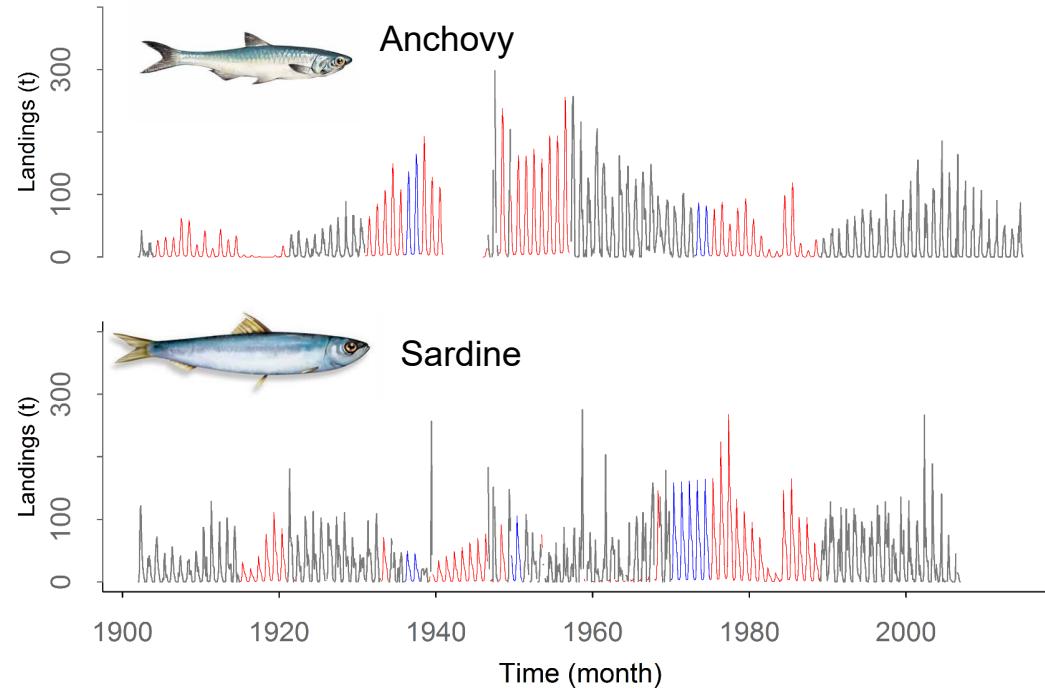
Assunzioni

- nessuna interazione con altre specie:
- mortalità può variare in funzione del predatore
- la crescita può variare in funzione delle prede



VPA synthesis

From archives, collections, market data, statistical logbooks, long time series for the Gulf of Trieste
(Northern Adriatic)



Historical baselines? ...yep, but with all the ecosystem changes occurred can we aim at what was in 1902?

Esercizio 1 con VPA

Vedi file:

SLibralato_Lezione 5_esercizi
VPA.xlsx

Aumenta e diminisci le
catture/mortalità dell'ultima
classe di età

Aumenta e diminisci le
catture di tutta la coorte

Aumenta e diminisci la
mortalità da pesca

Vedi effetti sulla ricostruzione
della popolazione

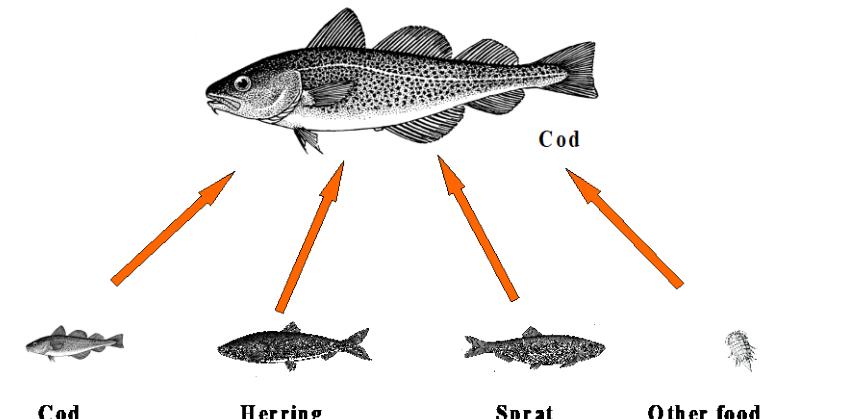
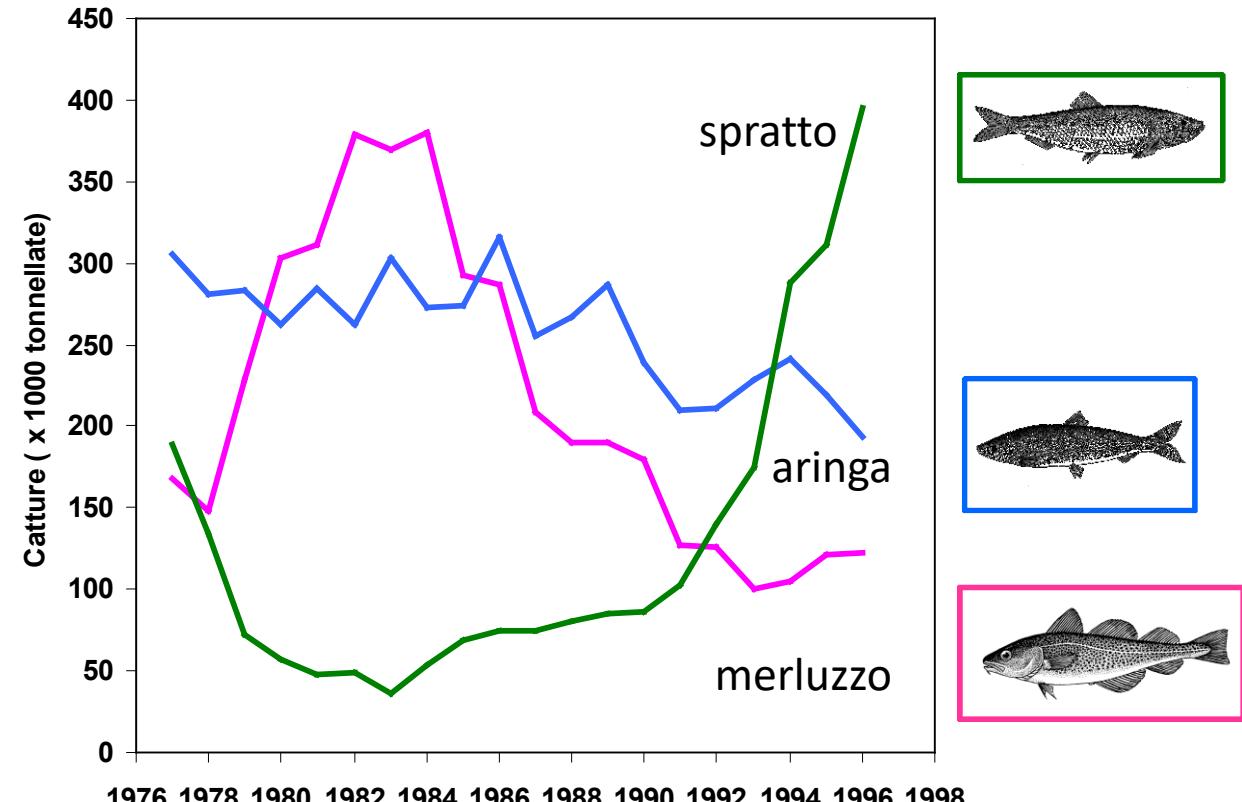


Ecosistema del Mar Baltico :

Comunità ittica
relativamente semplice,
dominata da tre specie:
merluzzo, aringa e spratto.
Le tre specie principali
hanno importanti relazioni
trophiche: il merluzzo è il
predatore apicale.

Problematiche:

- collasso del pescato a metà degli anni '80
- catture del merluzzo in diminuzione



Esercizio 1

con VPA

Vedi file:

SLibralato_Lezione 5_esercizi VPA.xlsx

Foglio: VPA originale (cohort analysis) solo con fishing mortality

Foglio: VPA backward con fishing mortality e natural mortality (VPA)

Foglio: VPA forward con fishing mortality e natural mortality in modalità «prediction» del futuro

Usando le apposite celle:

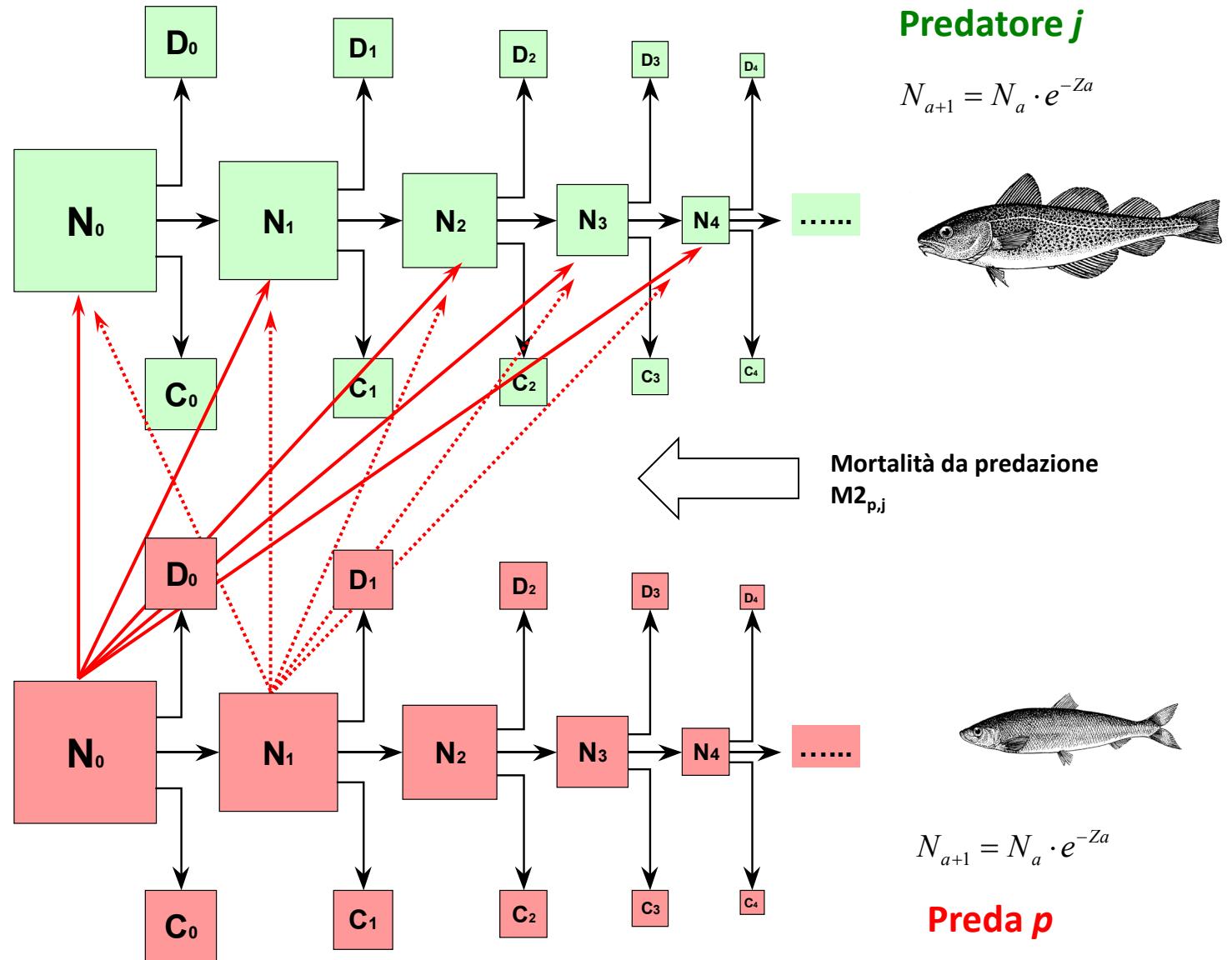
Aumenta e diminisci le catture/mortalità dell'ultima classe di età

Aumenta e diminisci le catture di tutta la coorte

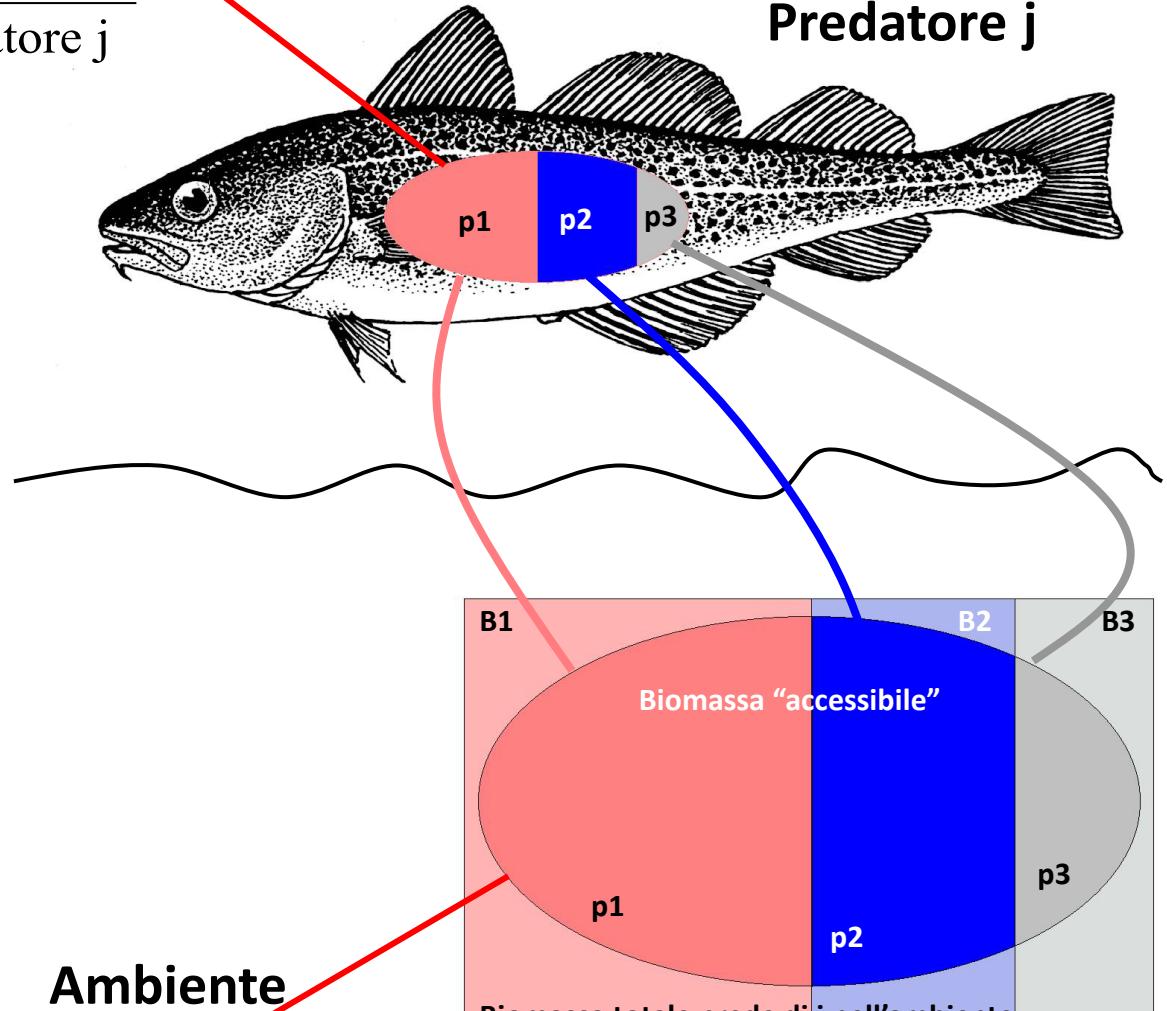
Aumenta e diminisci la mortalità naturale

Vedi effetti sulla ricostruzione della popolazione. Quali dati di input sono più importanti? Quali hanno un effetto trascurabile?

Multi species Virtual Population Analysis (MSVPA)



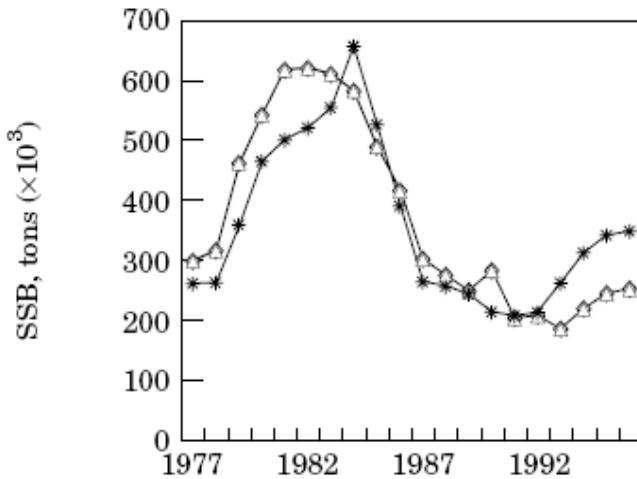
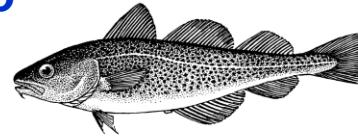
$$S_{pj} = \frac{\text{biomassa preda } p \text{ in predatore } j}{\text{totale ingerito dal predatore } j}$$



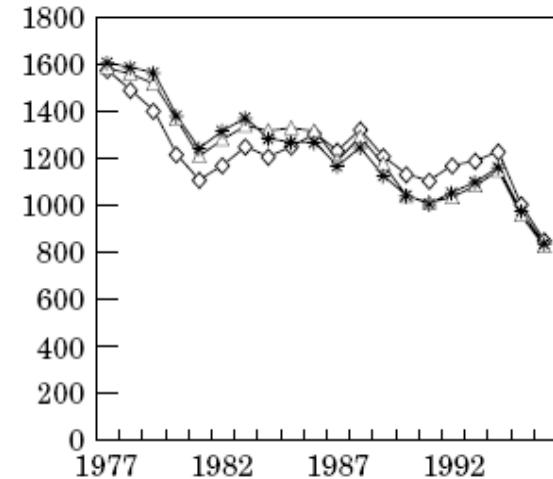
$$S_{pj} = \frac{\text{biomassa preda } p \text{ "accessibile" al predatore } j}{\text{totale biomasse "accessibili" dal predatore } j}$$



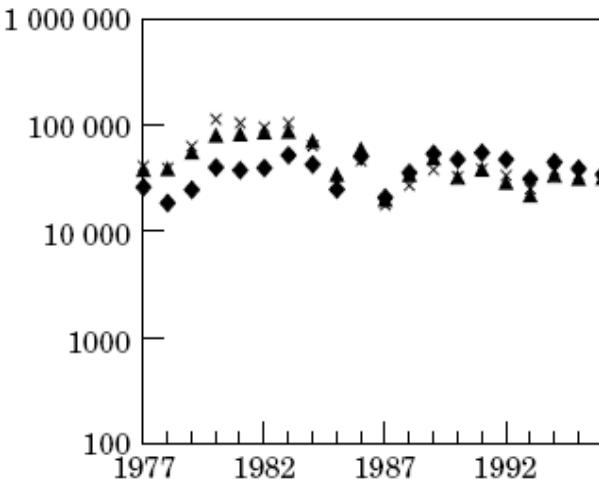
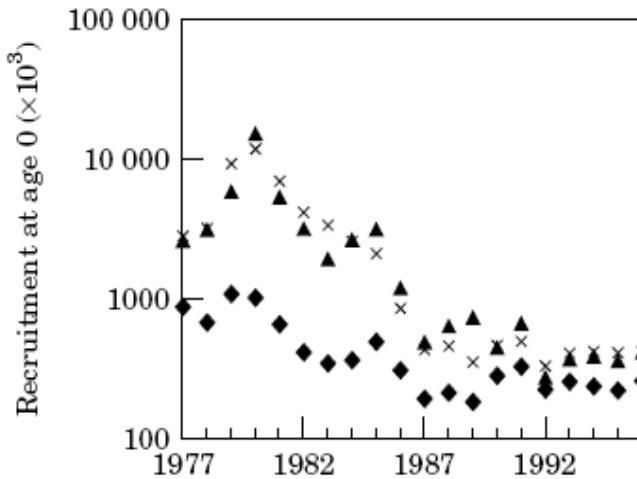
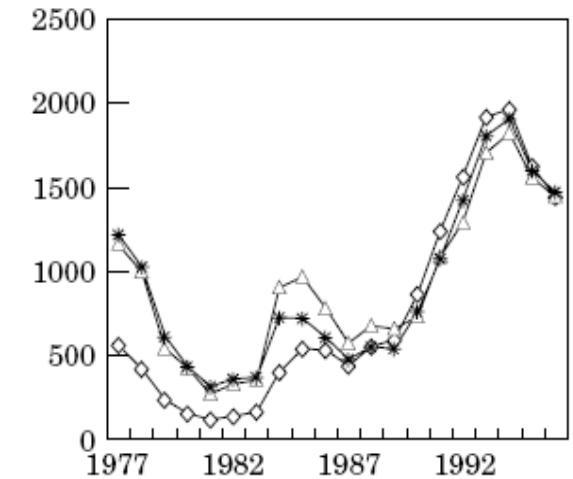
Merluzzo



Aringa



Spratto



◊ VPA △ MSVPA * MSGVPA



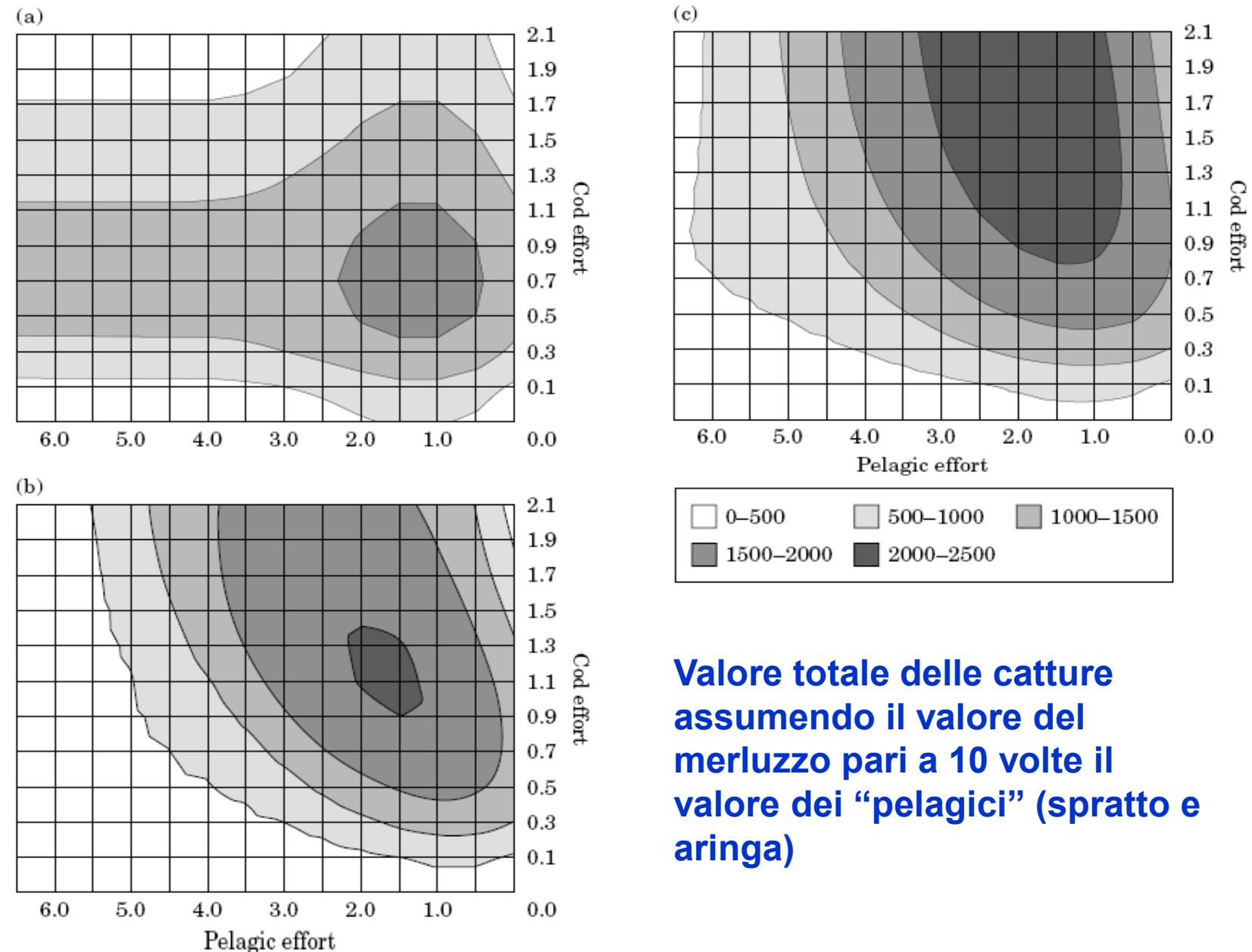
UNIVERSITY
OF TRIESTE

OGS

Gestione delle risorse alieutiche – S. Libralato

Multi species Virtual Population Analysis

Results:
MSY in a
multispecies
context



**Valore totale delle catture
assumendo il valore del
merluzzo pari a 10 volte il
valore dei “pelagici” (spratto e
aringa)**



UNIVERSITY
OF TRIESTE

OGS

Gestione delle risorse alieutiche – S. Libralato

Multi species

Virtual

Population
Analysis

(MSVPA)

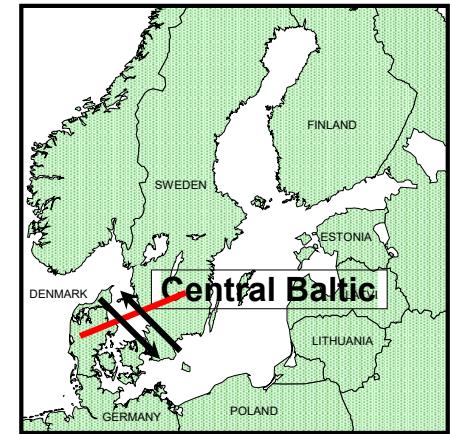
synthesis

DATI INPUT: (1) Dati di catture strutturate in classi d'età; (2) Mortalità naturale M;
(3) Mortalità da pesca FA per l'ultima classe d'età o dati per calibrazione (CPUE)
(4) diete per classi d'età e (5) prede per classi d'età

OUTPUT: (1) Biomassa nel tempo; (2) Mortalità da pesca; (3) Reclutamento; (4)
mortalità da pesca per le diverse specie; (5) catture e valore totale

Limitazioni e pregi del metodo

- :-(molto sensibile al valore della mortalità naturale (M)**
- :-) progressivamente meno sensibile al valore di F_A**
- :-) crescita in funzione delle prede disponibili**
- :|- sensibile agli ERROTI nelle CATTURE**
- :|- sensibile alle MIGRAZIONI**



Assunzioni

- importanti assunzioni sul reclutamento**
- mancano gli effetti “ambientali”**

Esercizio 2 con MSVPA

Vedi file:
SLibralato_Lezione 6_esercizi MSVPA.xlsx

Nel foglio «control»

Modifica l'uso di «single species» (Y/N) per passare da VPA e MSVPA

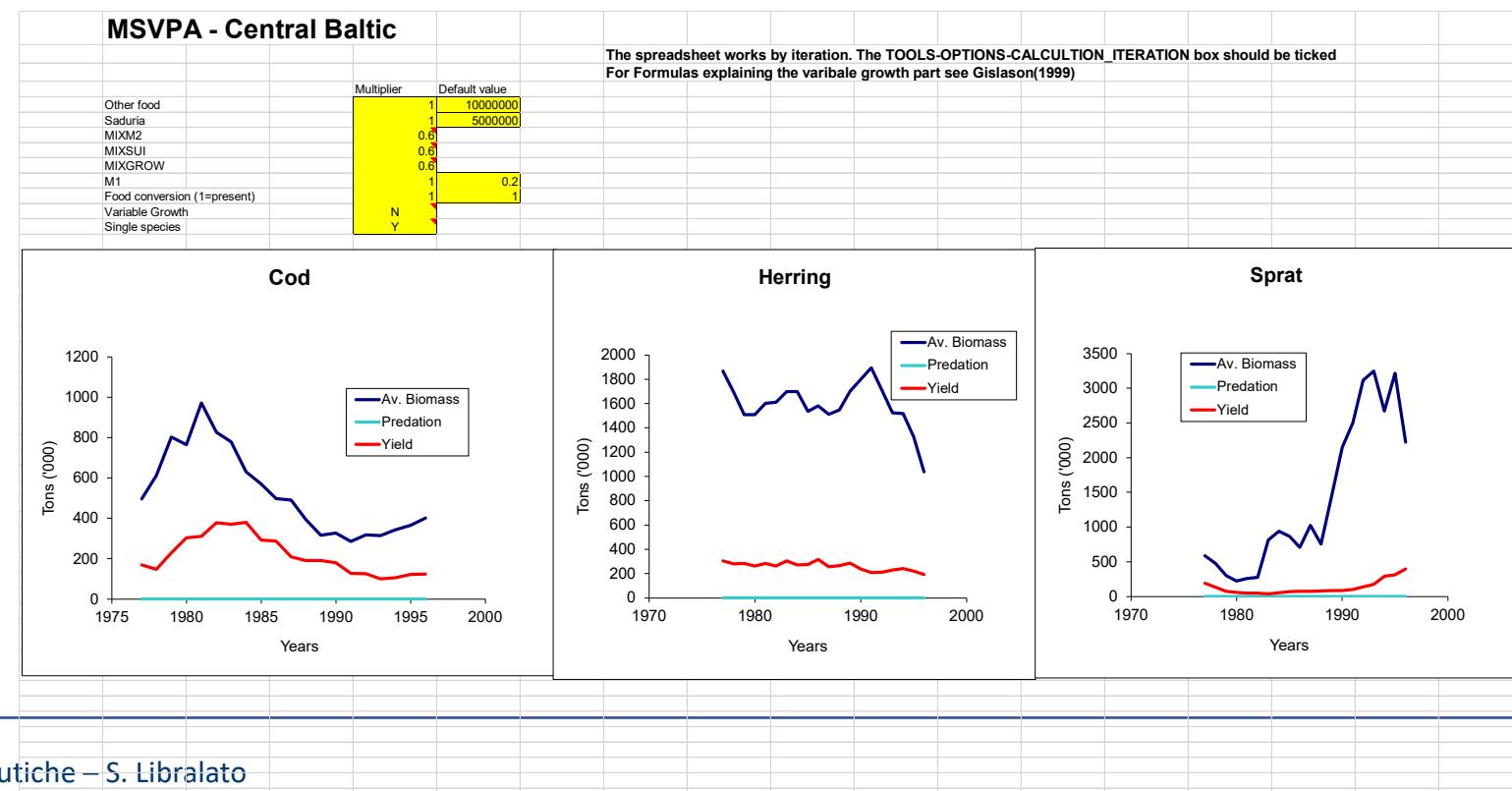
Modifica «Variable growth» (Y/N) per introdurre crescita in funzione del cibo

Per le tre specie cod, herring e sprat

Vedi le variazioni sui grafici.

Se volete confrontare tutti i risultati
copiate ogni volta dal foglio
«copia questo»

sul file excel:
SLibralato_Lezione 6_porta qui da MSVPA.xlsx
E potete agilmente confrontare tutti
i risultati delle simulazioni.



v) Stock assessment basi: dalla cohort analysis e virtual population analysis ad oggi (esercizi).

Processi di base della dinamica di popolazione in classi d'età

Informazioni di base per lo stock assessment

VPA e MSVPA

vi) Pesca e interazioni con altri fattori: approccio multispecifico integrato. Modelli di ecosistema per la gestione della pesca: Ecopath with Ecosim (esercizio EwE). Sintesi problematiche, approcci, limitazioni, gaps e aree di sviluppo