

Università degli Studi di Trieste  
A.A. 2021-2022

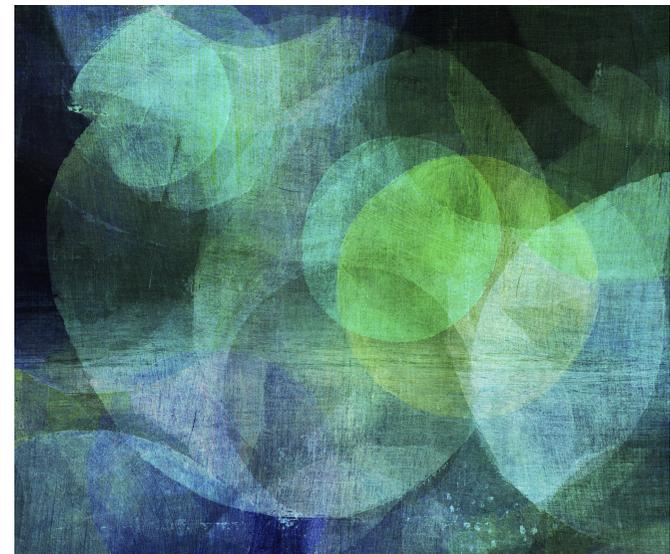
Corso di Studio in  
Scienze e Tecnologie Biologiche

III anno – I Semestre

**ECOLOGIA**

**Prof. Monia Renzi (BIO/07)**

[mrenzi@units.it](mailto:mrenzi@units.it)

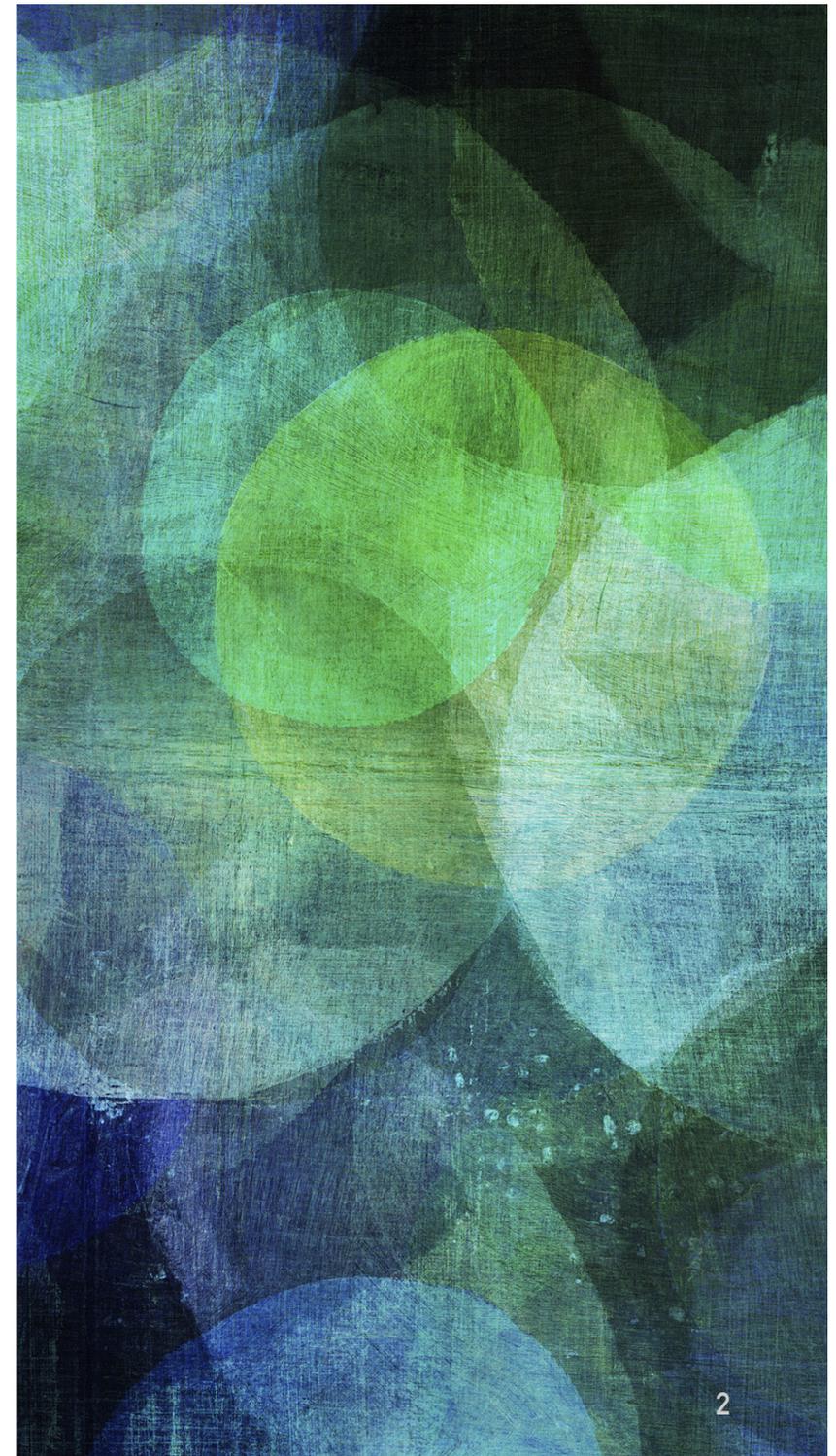


(\* ) Il materiale didattico fornito dal docente può contenere parti o immagini soggette a copyright, la diffusione e/o riproduzione non è autorizzata.

# *Introduzione al corso*

. . . . .

- ❖ Definizione di ecologia
- ❖ Breve storia del pensiero ecologico
- ❖ Caratteristiche peculiari della disciplina
- ❖ Definizione di ambiente
- ❖ Ecologia ed ambientalismo
- ❖ Importanza pratica dell'ecologia
- ❖ Il futuro dell'ecologia
- ❖ Metodologie della disciplina



Spazio e tempo sono le due dimensioni che caratterizzano la vita degli organismi sulla Terra.

L'ecologia indaga le cause che determinano la distribuzione nello spazio e la variazione della consistenza numerica nel tempo delle popolazioni.



Le caratteristiche genetiche degli organismi che si studiano **sono fisse** e non in evoluzione sotto la spinta della selezione naturale.



Utilizza (spesso) una scala temporale di osservazione **non evolutiva**



L'ecologia si occupa dei livelli organizzativi **biologici più complessi** e meno conosciuti, quelli cioè costituiti da **popolazioni, comunità, ecosistemi** fino ad arrivare alla intra biosfera (ecologia globale o macroecologia)

Non sempre le variazioni della struttura genetica di una popolazione avvengono lentamente



# METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA

I problemi ecologici hanno le seguenti caratteristiche:



Non è possibile condurre osservazioni sperimentali in laboratorio in condizioni controllate sull'oggetto di studio dell'ecologia



Le **osservazioni in natura** non sono ripetibili, le condizioni non sono controllate e non possono essere variate a piacimento e la variabilità naturale potrebbe essere sottostimata

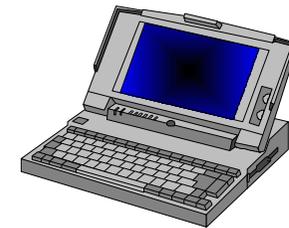
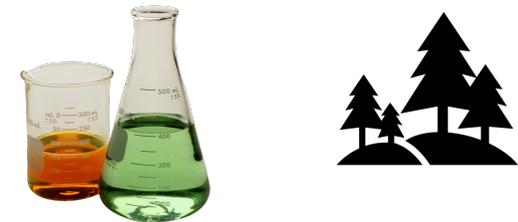


Alla ripetitività degli esperimenti in laboratorio **va sostituita l'osservazione di caratteristiche comuni ad ecosistemi tra di loro simili**



**Ricerche di laboratorio +  
Campo +  
Teoriche =**

**Ecologia**



*Le campagne sono costose e sono poco note le relazioni tra variabili, i piani di campionamento sono svolti mediante acquisizioni a tappeto, spesso molto ridondanti.*

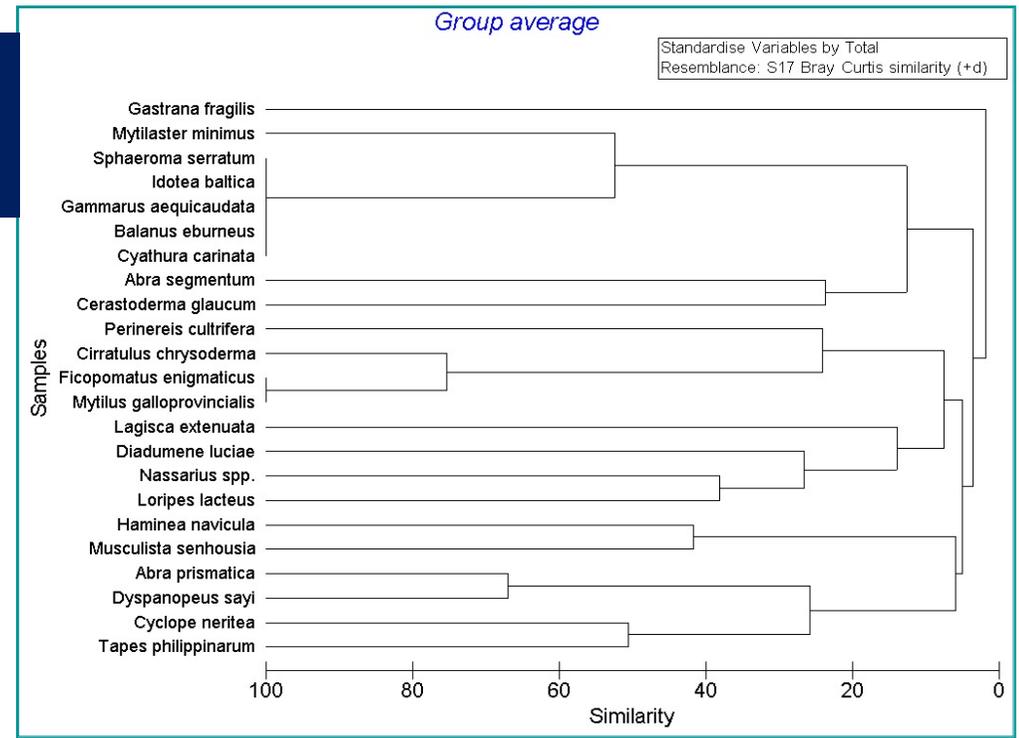
# Tecniche di analisi dei dati in ecologia

I dati prodotti nell'ambito delle attività di ricerca e/o monitoraggio svolte su ecosistemi marini o terrestri **sono quasi sempre di tipo multivariato**

La maggior parte delle elaborazioni dei dati in ecologia ha finalità descrittive e di sintesi dell'informazione.

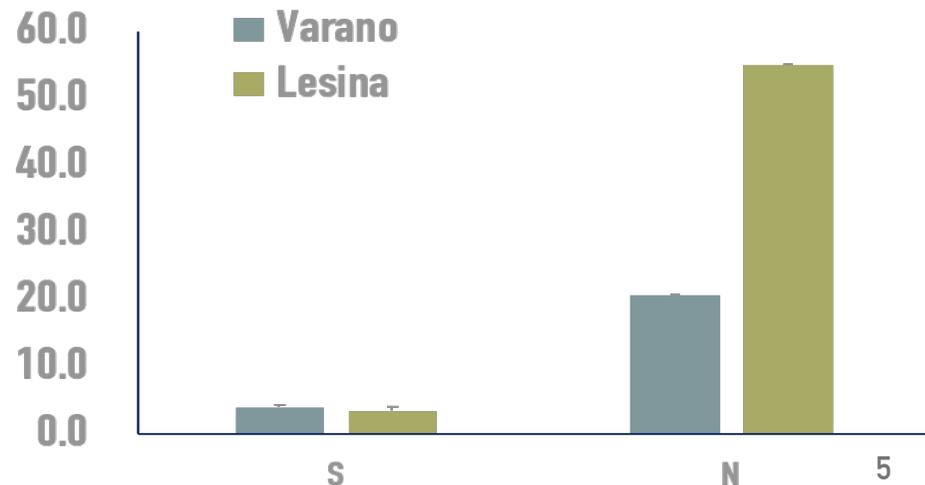
Infatti, la possibilità di formulare delle inferenze informali è spesso più utile della possibilità di testare ipotesi formali.

La maggior difficoltà, in questo senso, sta nel fatto che i dati ecologici assai raramente possono soddisfare tutte le assunzioni necessarie a questo tipo di approccio.



Numero di specie (S)

Abbondanza totale; Numero di individui (N)



# Indici sintetici

## METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA

Indice di diversità specifica  
(Shannon e Weaver, 1949) ( $H'$ )

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Indice di ricchezza specifica  
(Margalef, 1958) ( $D$ )

$$D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Indice di equiripartizione o Evenness  
(Pielou, 1966) ( $J$ )

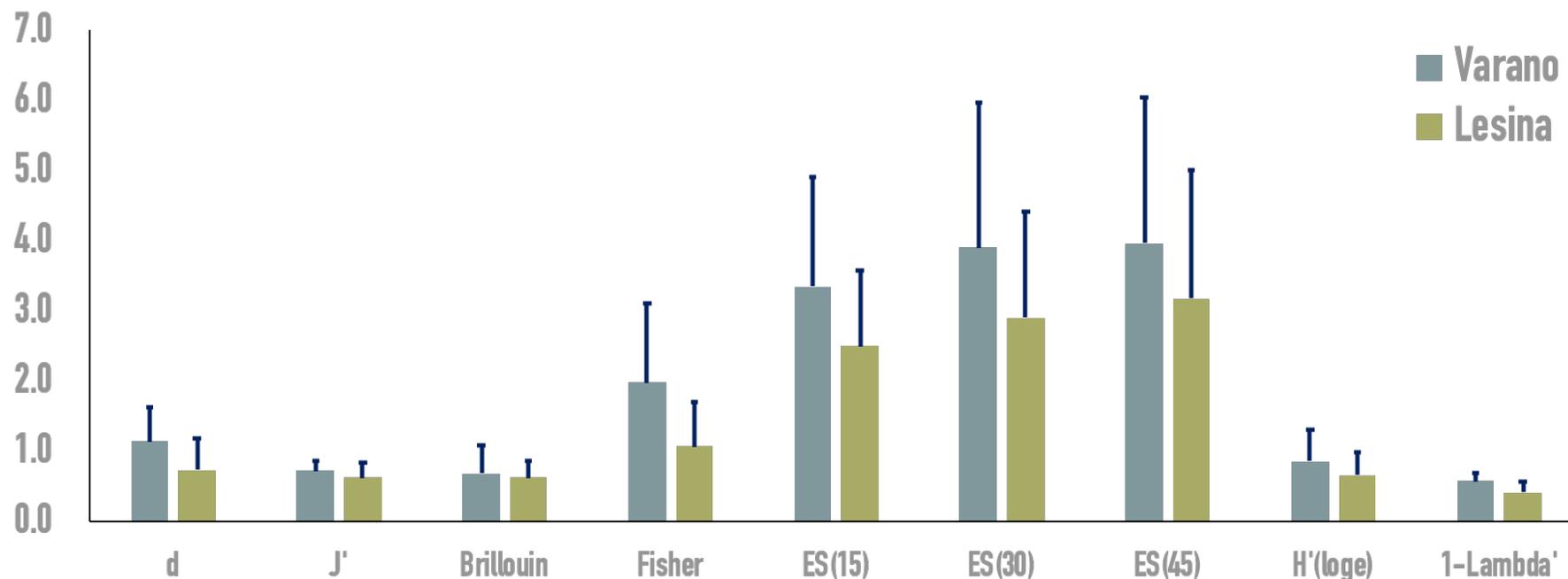
$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

$P_i = n_i/N$  dove  $n_i$  è l'abbondanza della  $i$ -esima specie e  $N$  è l'abbondanza totale

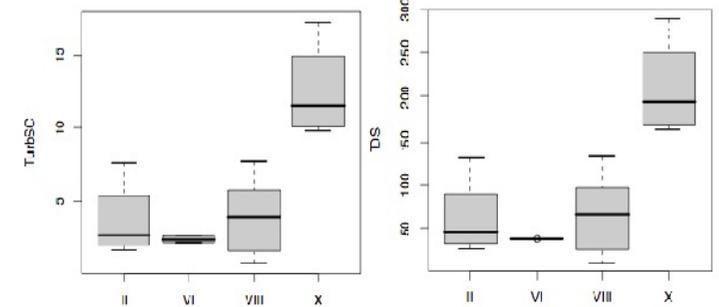
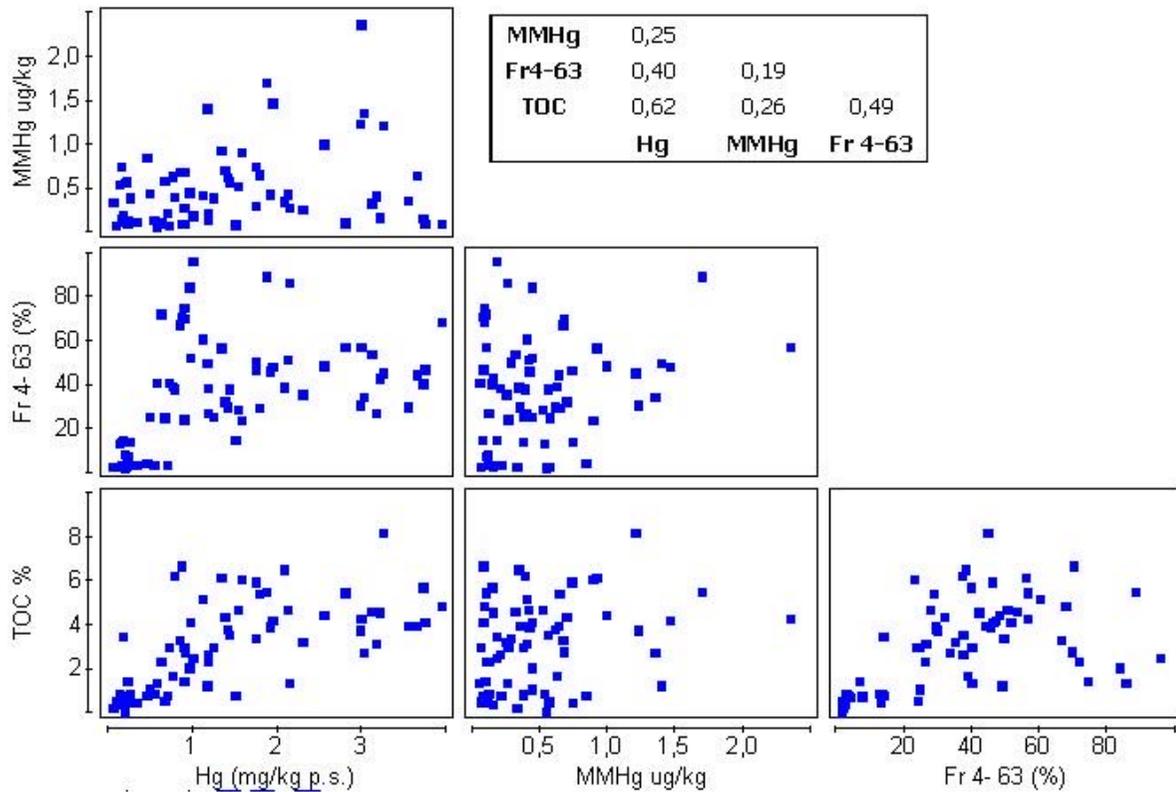
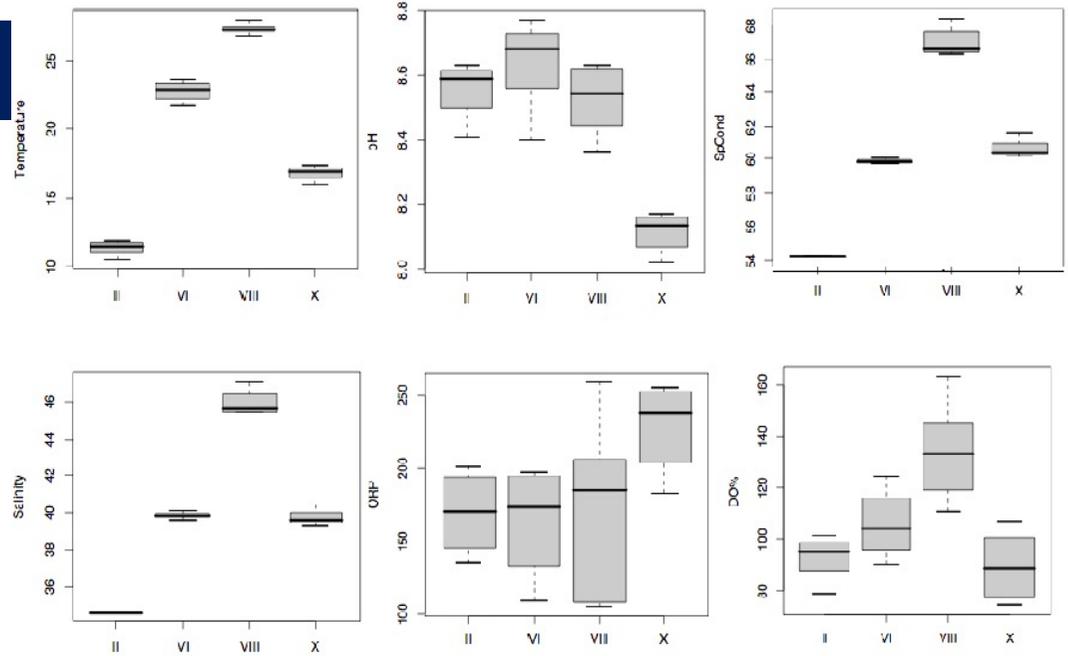
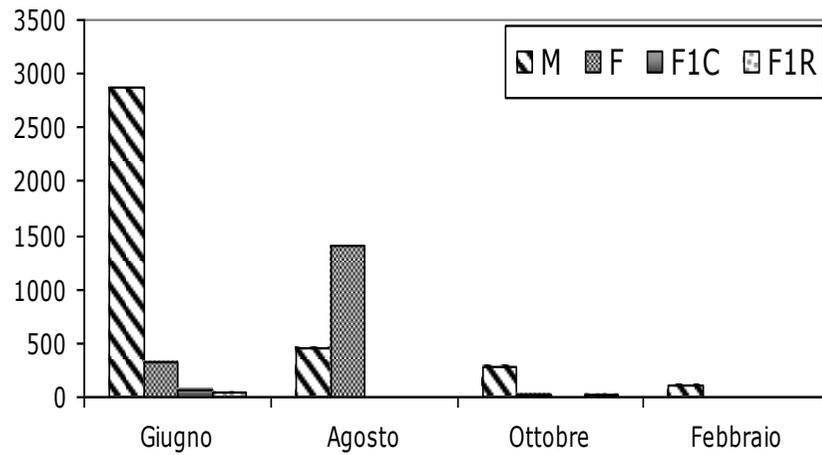
$D = 1$  non si ha diversità mentre se  $D = 0$  si raggiunge lo stato di maggior diversità

Dominanza di Simpson ( $D$ )

$$D = \sum [ (n_i/N)^2 ]$$



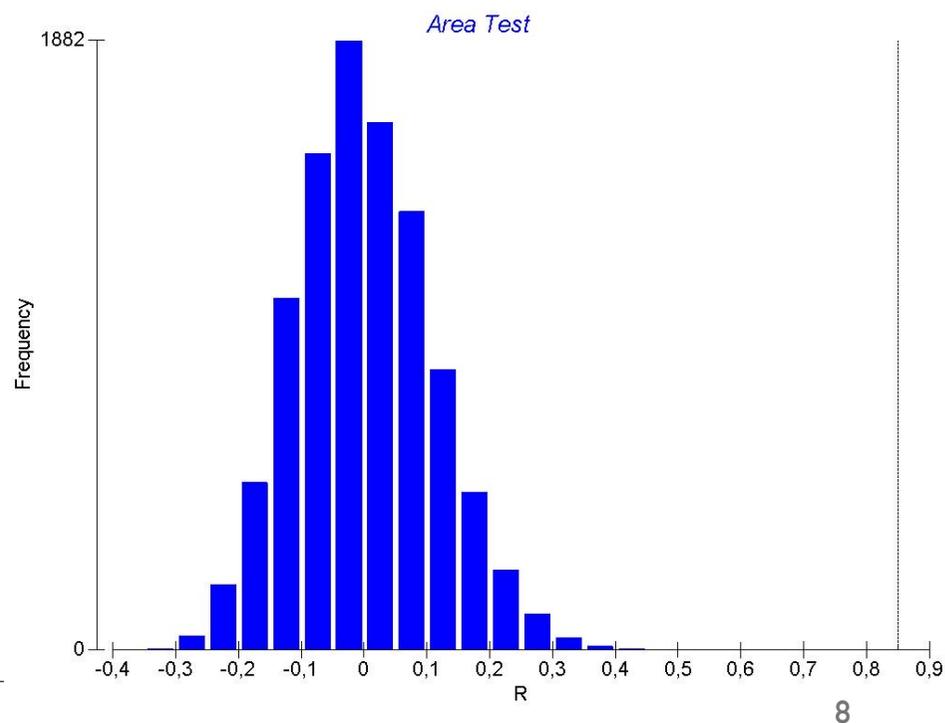
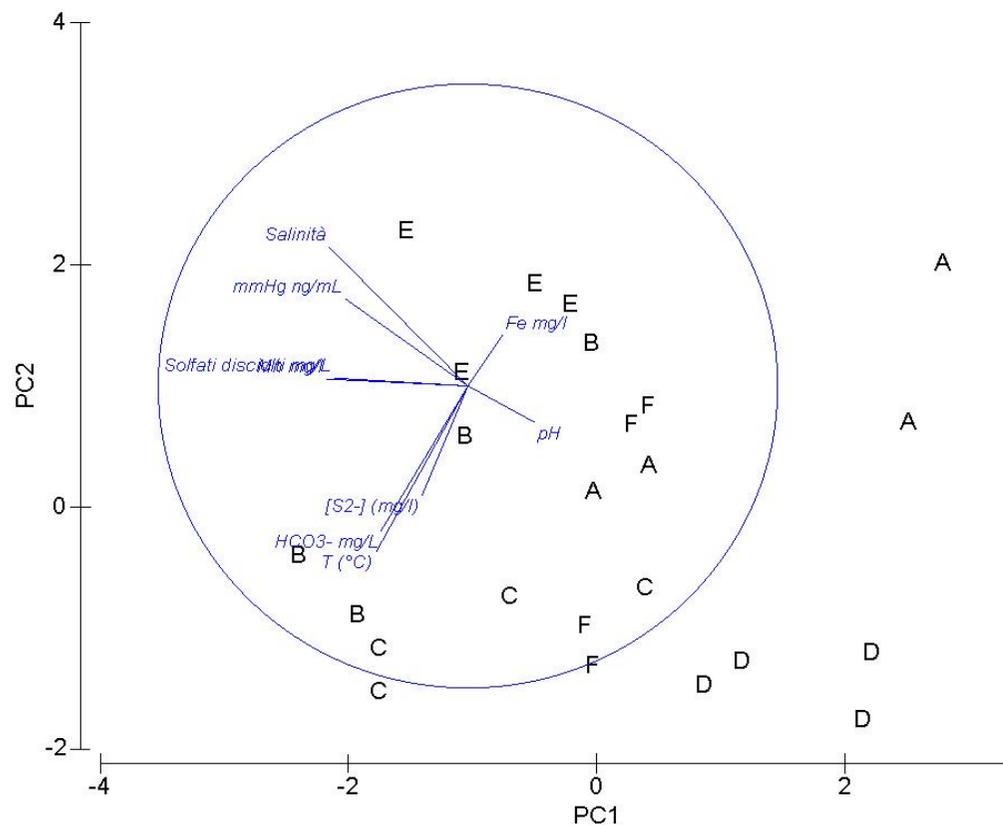
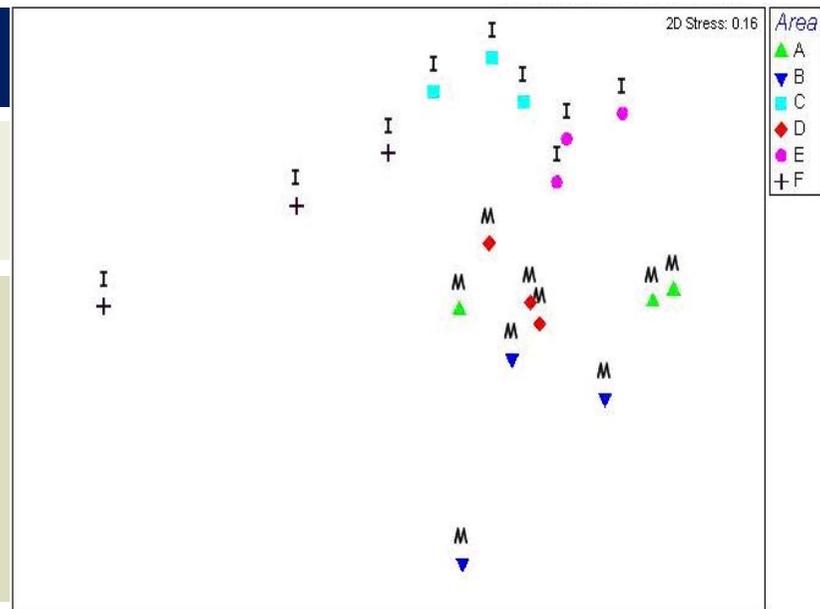
# Statistica univariata



# Statistica multivariata

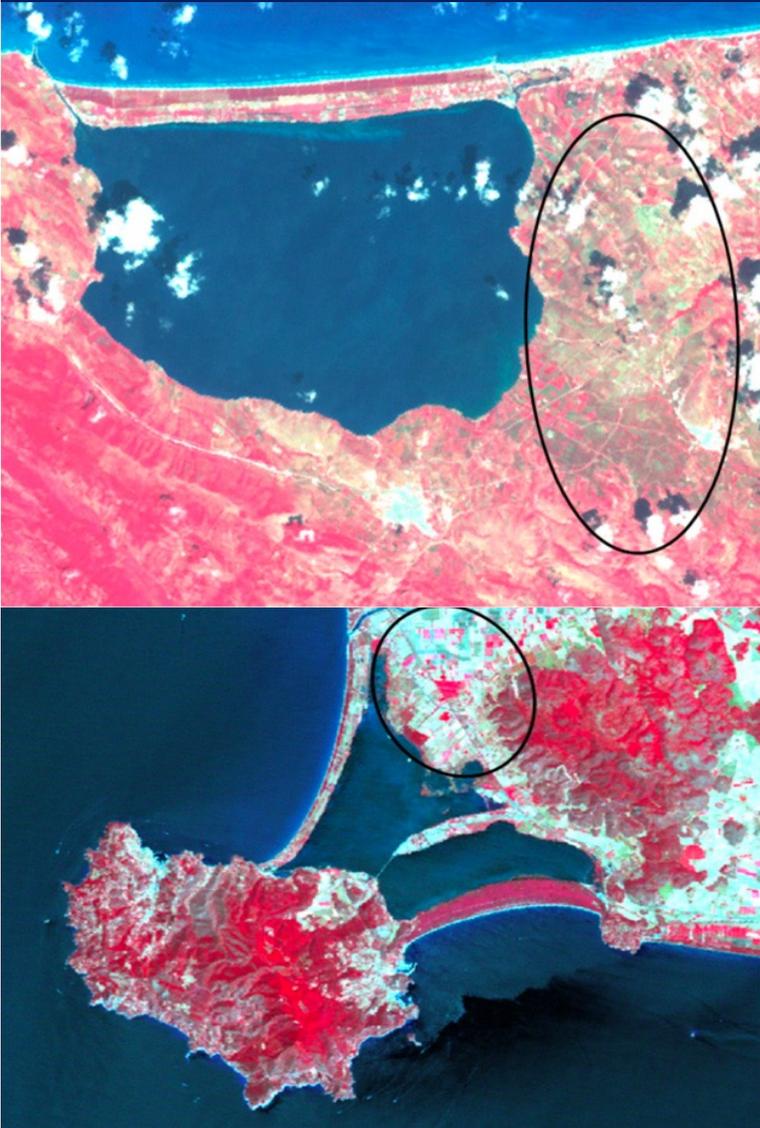
Per padroneggiare i software di statistica multivariata serve un apposito approfondimento

- Cosa è la statistica multivariata?
- Cosa rappresentano le distanze tra i punti?
- Cosa rappresentano le correlazioni delle variabili con gli assi principali?



# Telerilevamento & Remote Sensing

## METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA



Misura della radiazione elettromagnetica riflessa ed assorbita nel campo:

- visibile (400–700 nm)
- vicino infrarosso (700–1100 nm)
- infrarosso termico (10,000–13,000 nm)

La tecnica di monitoraggio con *remote sensing* permette:

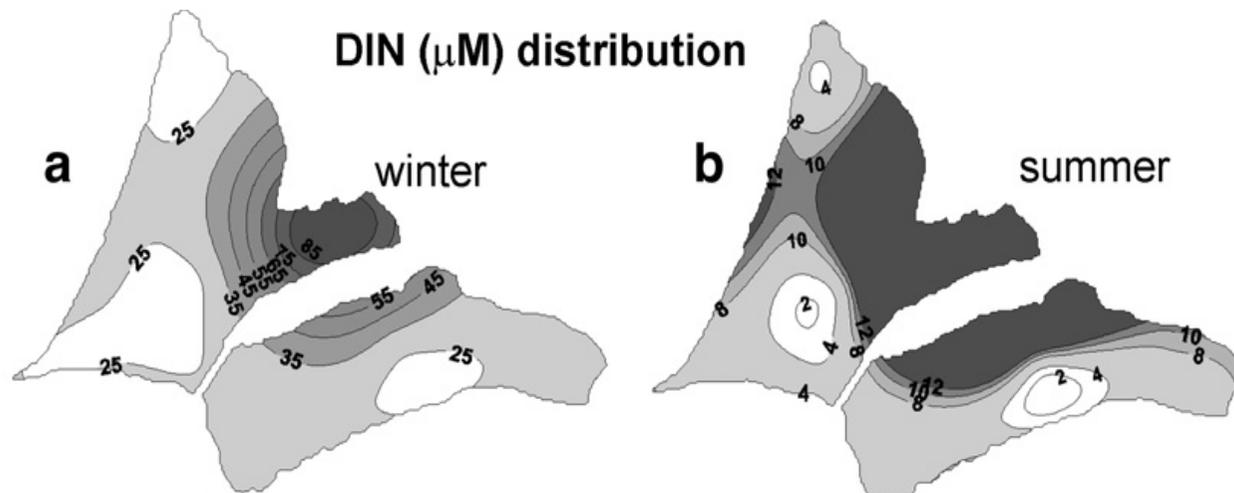
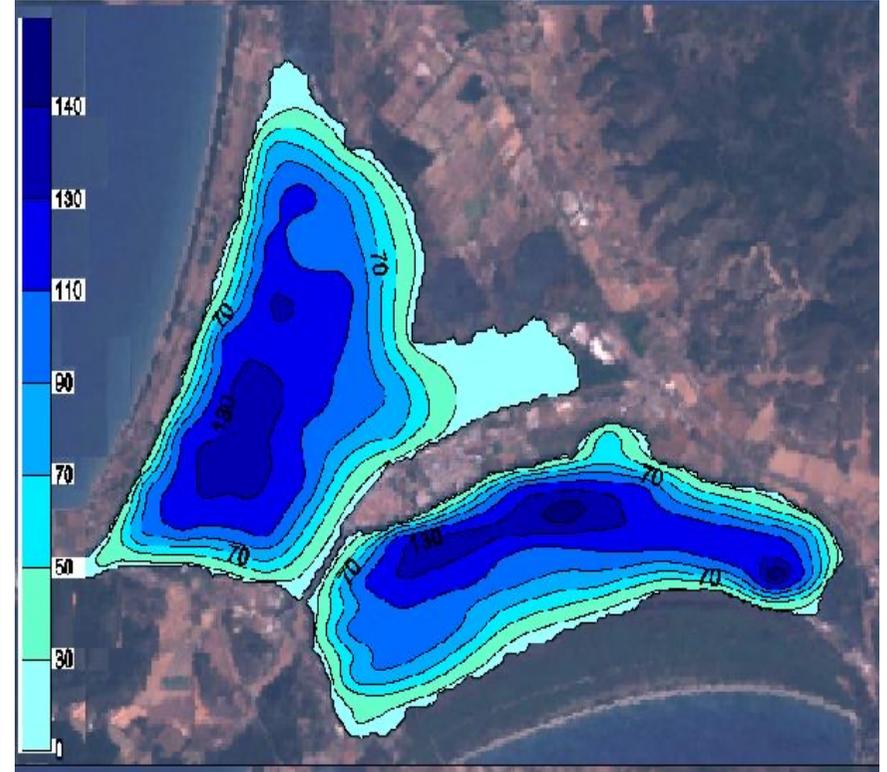
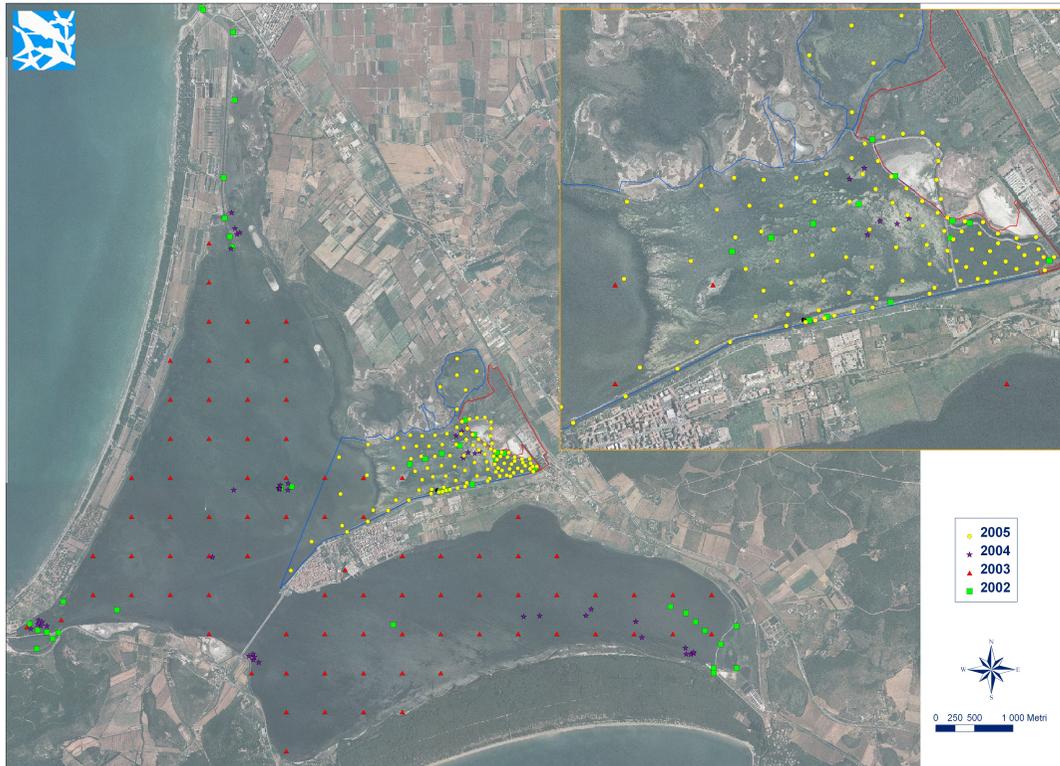
- Ricostruzione storica dell'evoluzione di aree vaste nel tempo a seguito di eventi naturali o pressioni antropiche
- Definizione di trend spaziali (acquisizione immediata di dati in aree molto vaste)

Il canale infrarosso TM a 1.55–1.75  $\mu\text{m}$  permette di distinguere le tipologie di vegetazione ed avere indicazioni sullo stato qualitativo dell'ecosistema

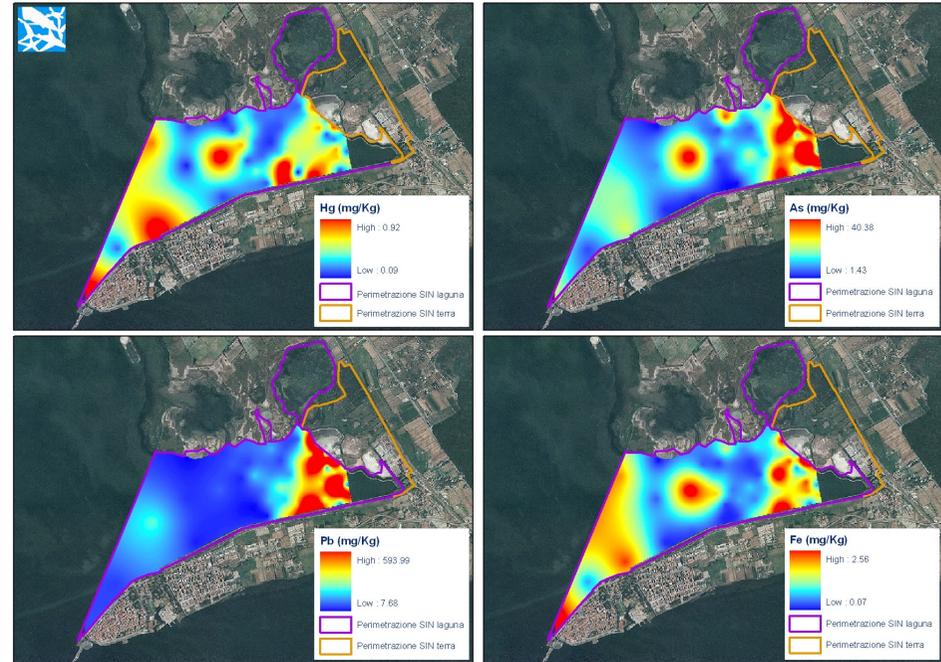
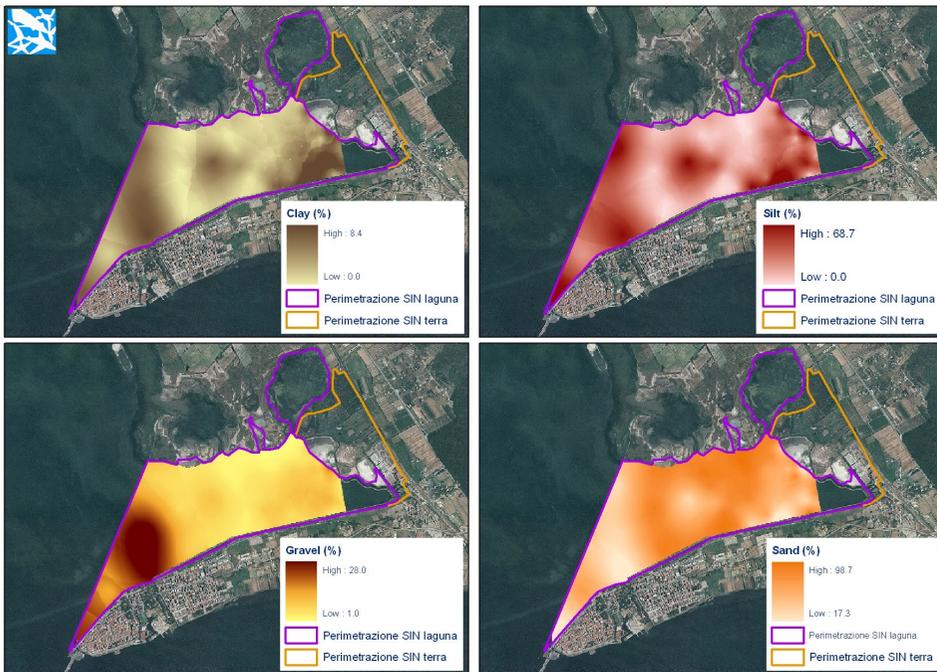
Immagini Landsat 7 *Landsat Thematic Mapper TM* e *ETM+* (30 · 30 m pixels; RMS errore < 1.0 pixel. Georeferite UTM sull'ellissoide internazionale ED 1950 mediante verità a terra di 30 punti georeferiti. Software Erdas Imagine 8.4. Luglio 2004. Composizione a falsi colori RGB. I cerchi indicano le aree agricole intensive.

(Fuller et al., 1989; Townshend, 1992).

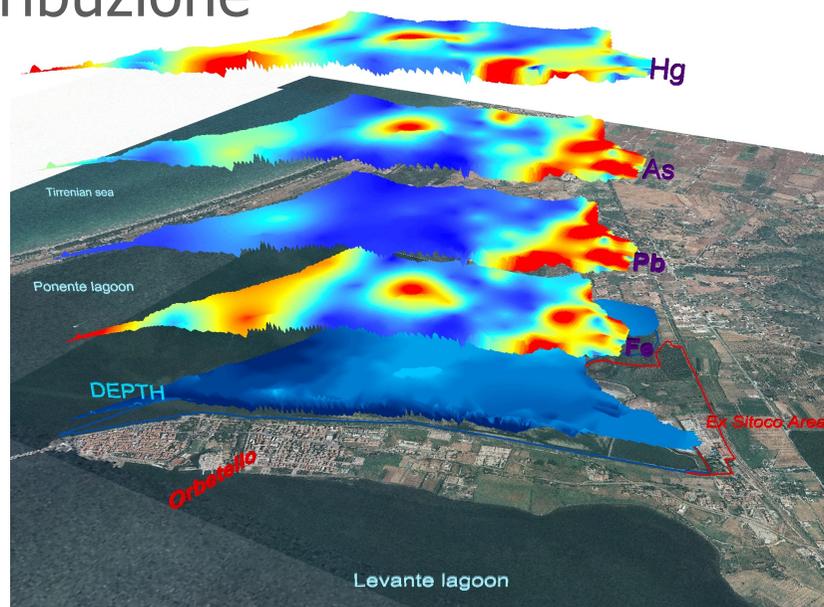
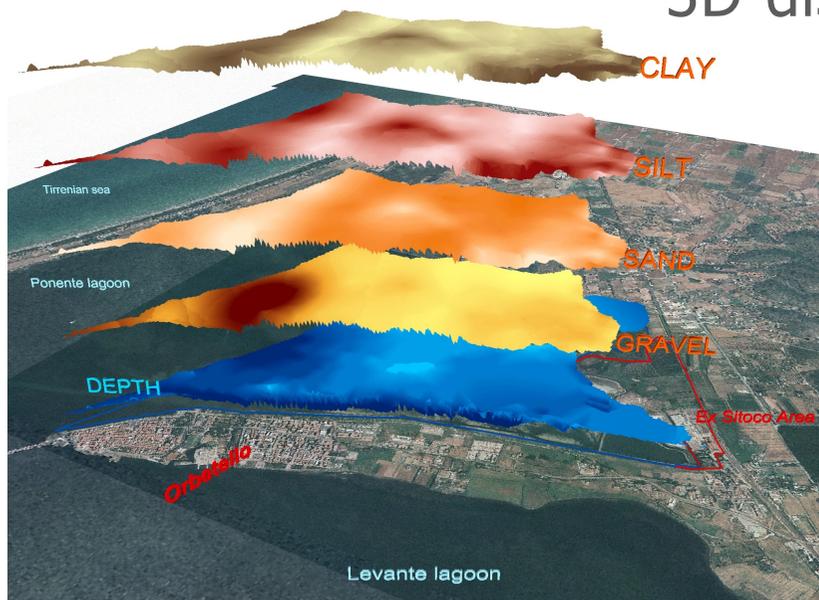
# Geostatística



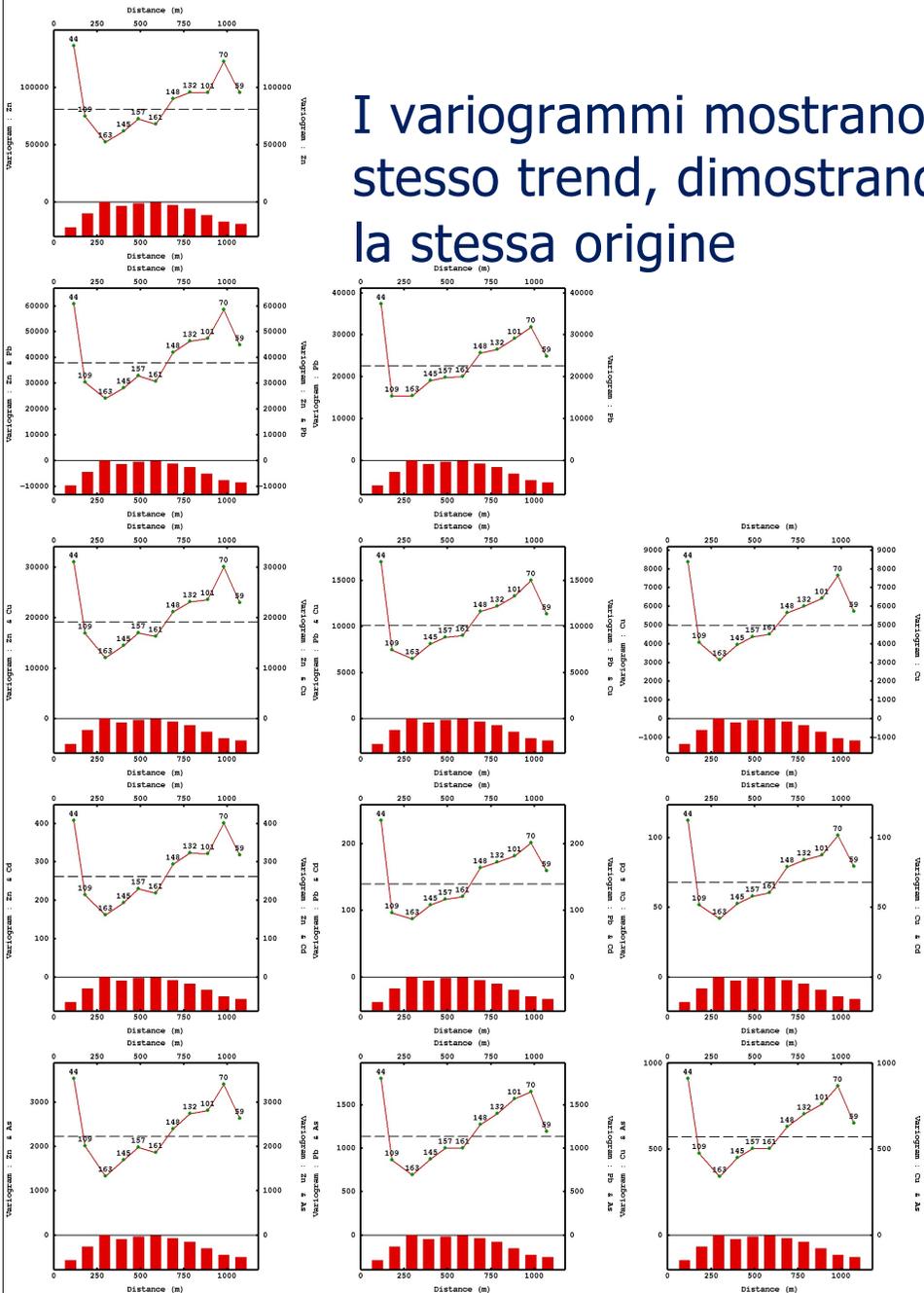
# Geostatistica



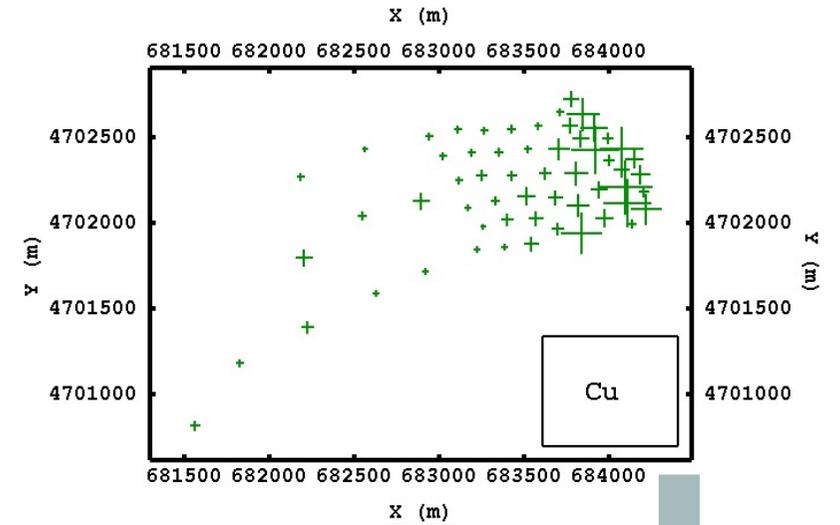
## 3D-distribuzione



I variogrammi mostrano lo stesso trend, dimostrando la stessa origine

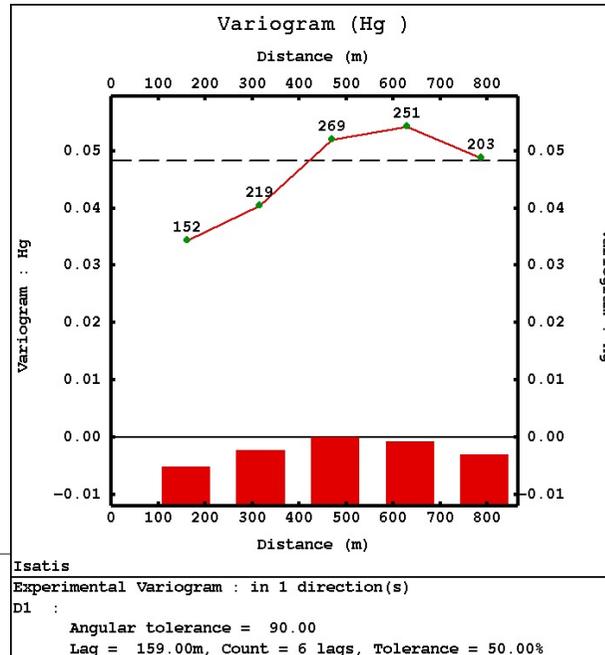


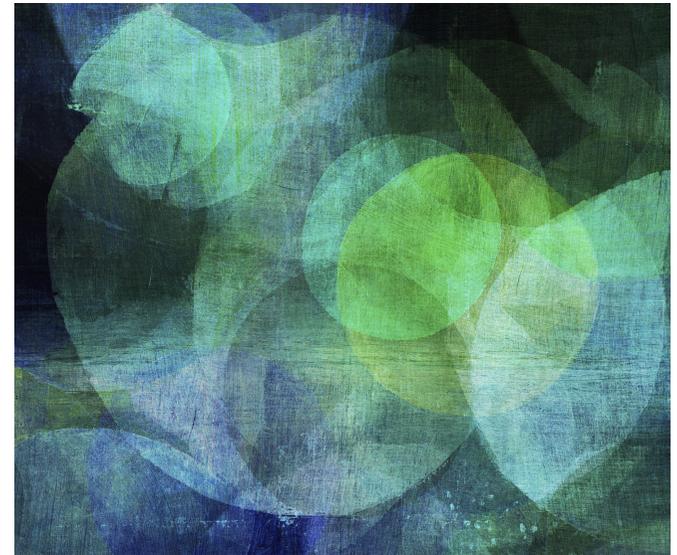
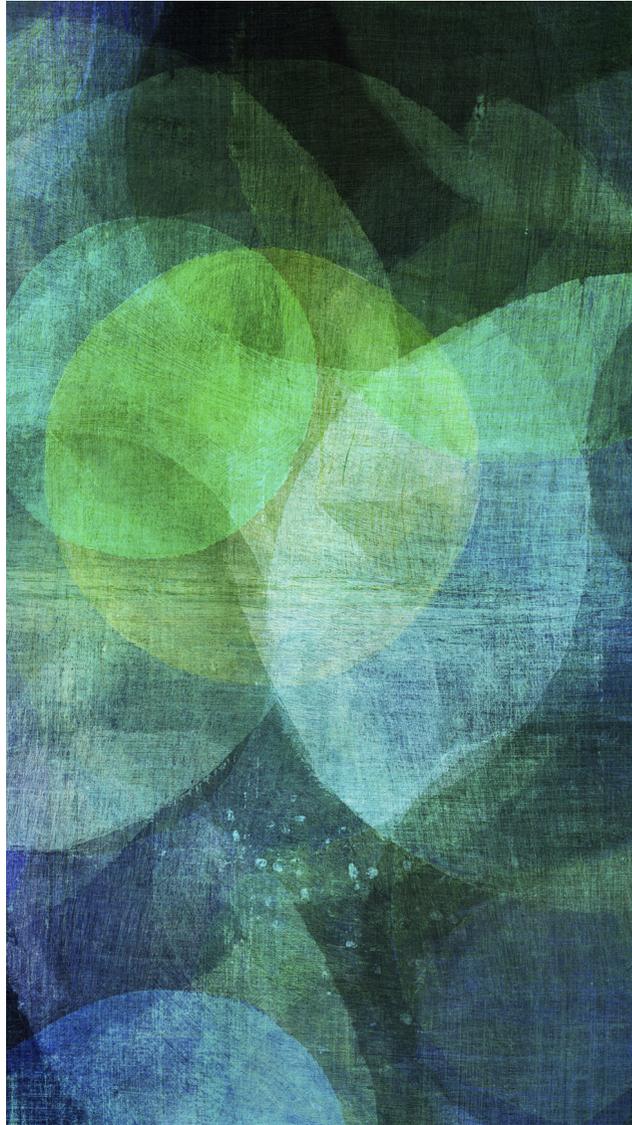
Isatis  
 MATZ/Campioni 2D(Area Principale - Strato 0-20)  
 - Variable #1 : As = mg/Kg ps  
 - Variable #2 : Cd = mg/Kg ps  
 - Variable #3 : Cu = mg/Kg ps  
 - Variable #4 : Pb = mg/Kg ps  
 - Variable #5 : Zn = mg/Kg ps  
 Experimental Variogram : in 1 direction(s)  
 D1 :  
 Angular tolerance = 90.00  
 Lag = 98.00m, Count = 12 lags, Tolerance = 50.00%



Alta variabilità a piccola scala che si riduce a distanze più elevate

Il Hg ha un variogramma diverso e dimostra una origine diversa della contaminazione





**DOMANDE??**

Le problematiche dell'ecologia possono essere approcciate in modo:

- Strutturale o descrittivo
- Funzionale o di processo
- Evoluzionistico

*Come è fatto?  
Da che parti è  
composto?*



*Quali forze selettive hanno  
determinato il tipo di struttura  
e il funzionamento che  
osserviamo oggi?*

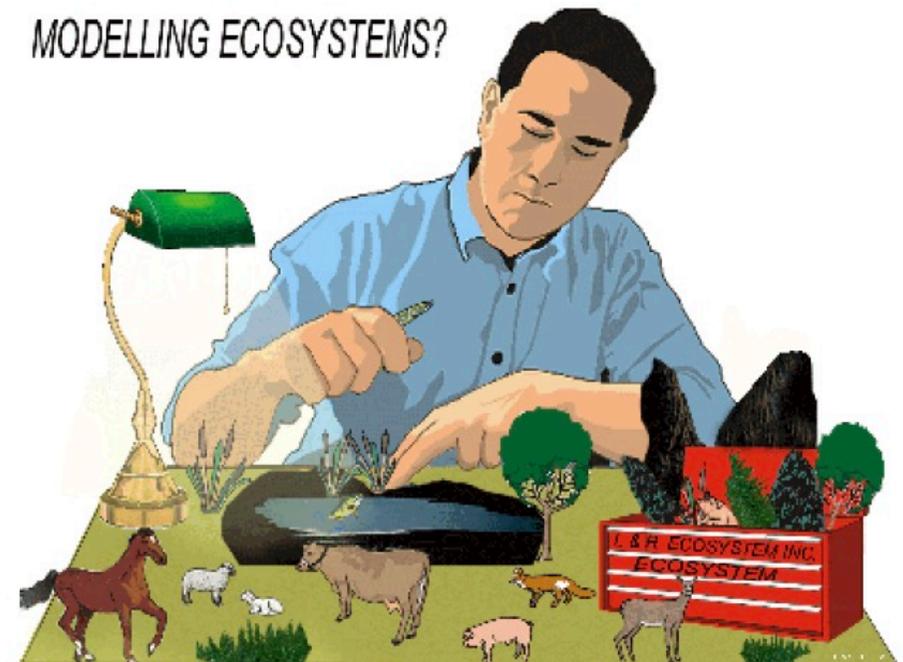
*Come funziona?  
Come interagiscono le unità?  
Quale è il prodotto dell'interazione?*

Per studiare sistemi complessi occorre sviluppare versioni semplificate che possano rispondere a tali quesiti.

Nel mondo scientifico tali versioni semplificate sono dette modelli.

La scienza traduce l'insieme caotico delle nostre esperienze sensoriali in un sistema di pensiero logicamente uniforme rappresentandone la semplificazione in un modello.

MODELLING ECOSYSTEMS?



# I Modelli

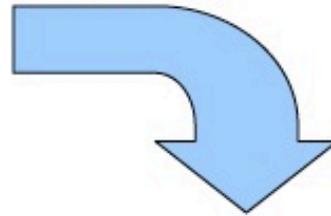
## METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA

I modelli sono una **descrizione semplificata** della realtà che ne permette la **comprensione** e la **previsione della sua evoluzione**.

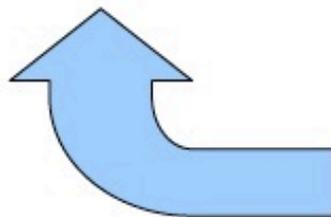
**sistema reale**



astrazione



**modello**



interpretazione

Nella forma più semplice i modelli possono essere **verbali o grafici** costituiti cioè da una semplice descrizione o da un disegno grafico

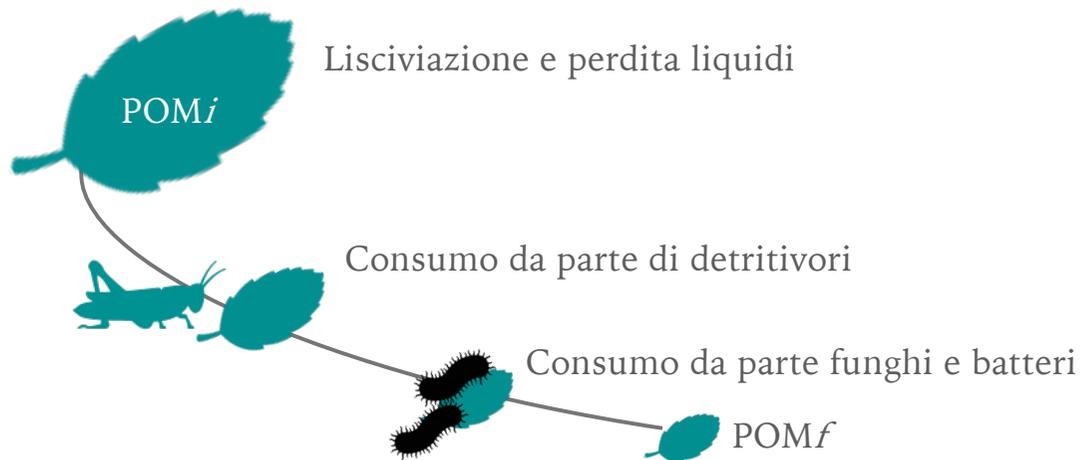


Rappresenta un fenomeno reale per spiegarne il funzionamento per studiarlo mediante relazioni matematiche.

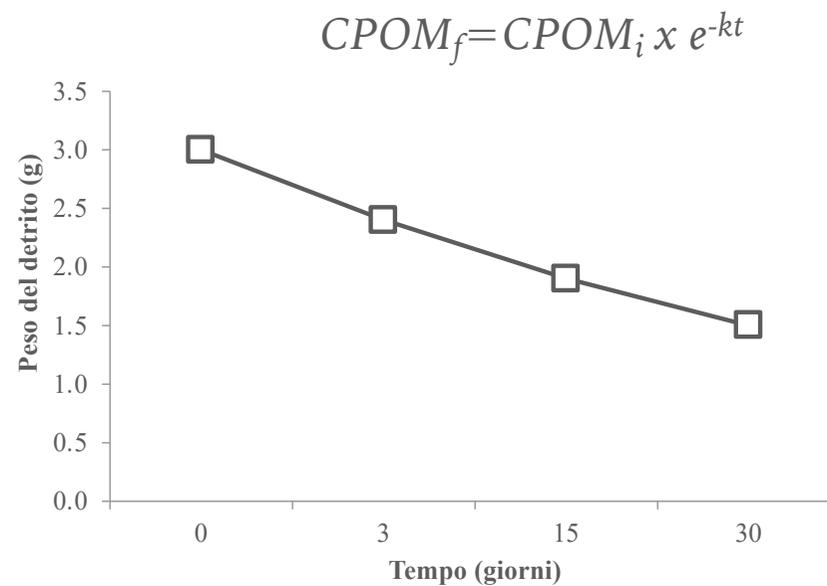
Il modello matematico è l'astrazione di quanto dimostrato sperimentalmente con il modello fisico.



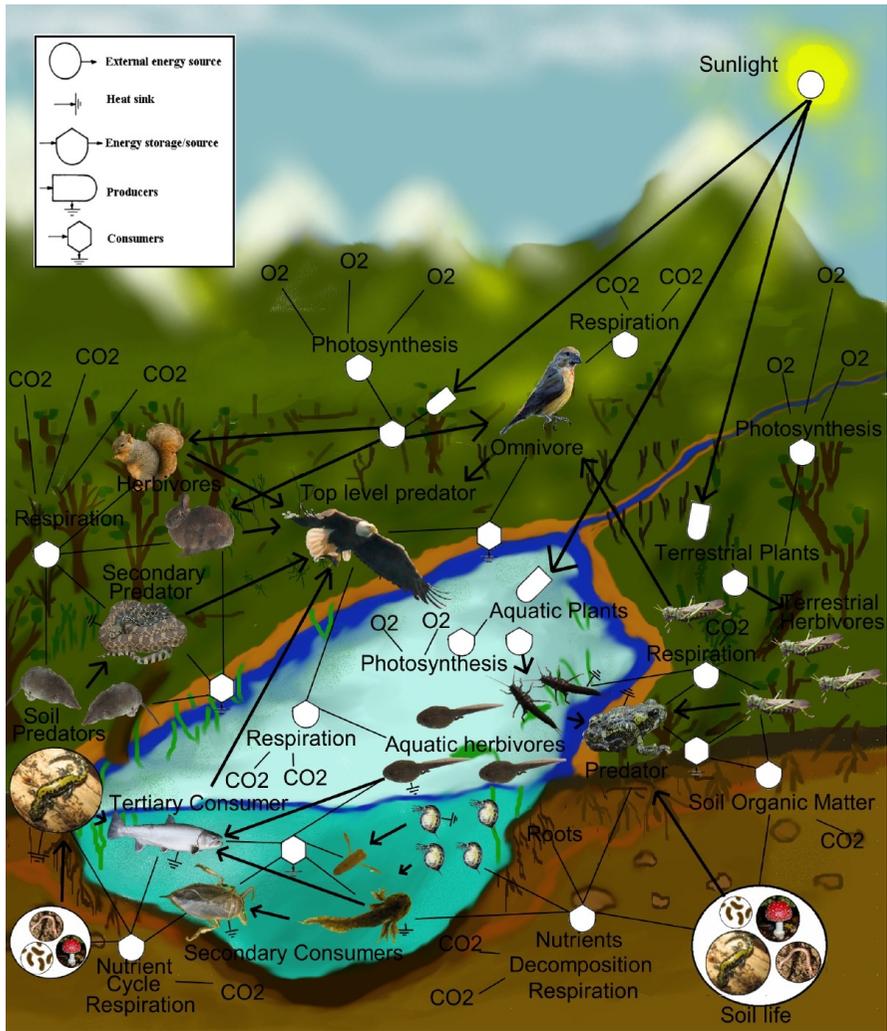
*Sono detti anche «modelli in scala ridotta» e trovano applicazione ideale per l'analisi di fenomeni localizzati, quando i fattori in gioco sono molteplici, non completamente noti, difficilmente calcolabili.*



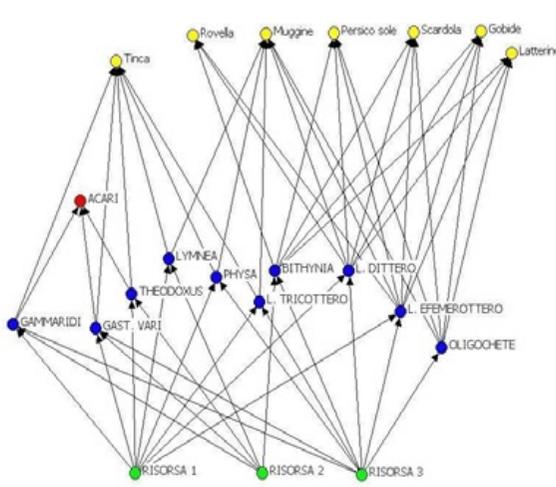
| Tempo (giorni) | Peso detrito (g) |
|----------------|------------------|
| 0              | 3,1              |
| 3              | 2,5              |
| 15             | 2,0              |
| 30             | 1,5              |



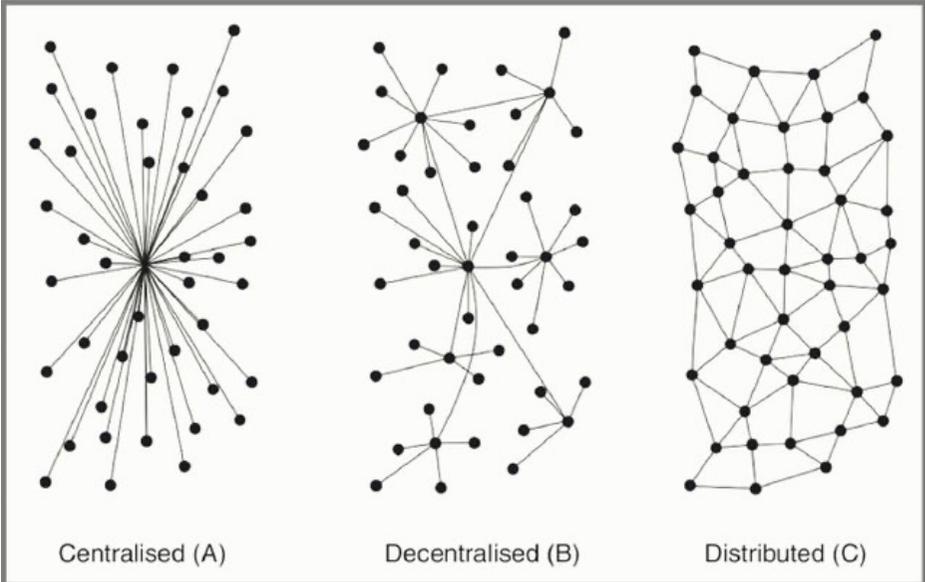
# MODELLI CONCETTUALI



<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/FoodWeb.jpg>



Carlino et al., 2006. Analisi degli Isotopi Stabili per l'identificazione della rete trofica "community" di un lago vulcanico (lago di Bracciano, Centro Italia).



Network models by Paul Baran (1964)

## MODELLI CONCETTUALI

**Proprietà (P, variabile di stato)**

**Forze (E, funzioni di forza)** costituite da sorgenti esterne o forze che guidano il sistema

**Vie di flusso (F)** mostrano come energia e trasferimento dei materiali si colleghino con proprietà e forze

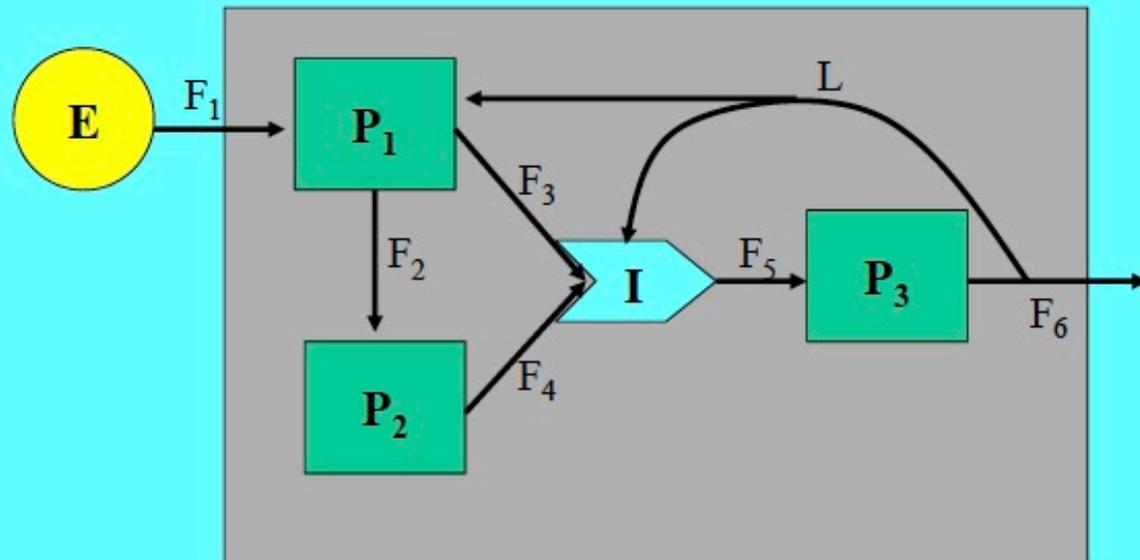
**Interazioni (I, funzioni di interazione)**, mostrano come forze e proprietà interagiscano per modificare, ampliare, controllare i flussi

**Anelli di feedback (L)**, che indicano come una uscita possa essere rimessa in circolo, per influenzare un componente o flusso a monte

Un modello in ecologia deve avere almeno cinque componenti

## METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA

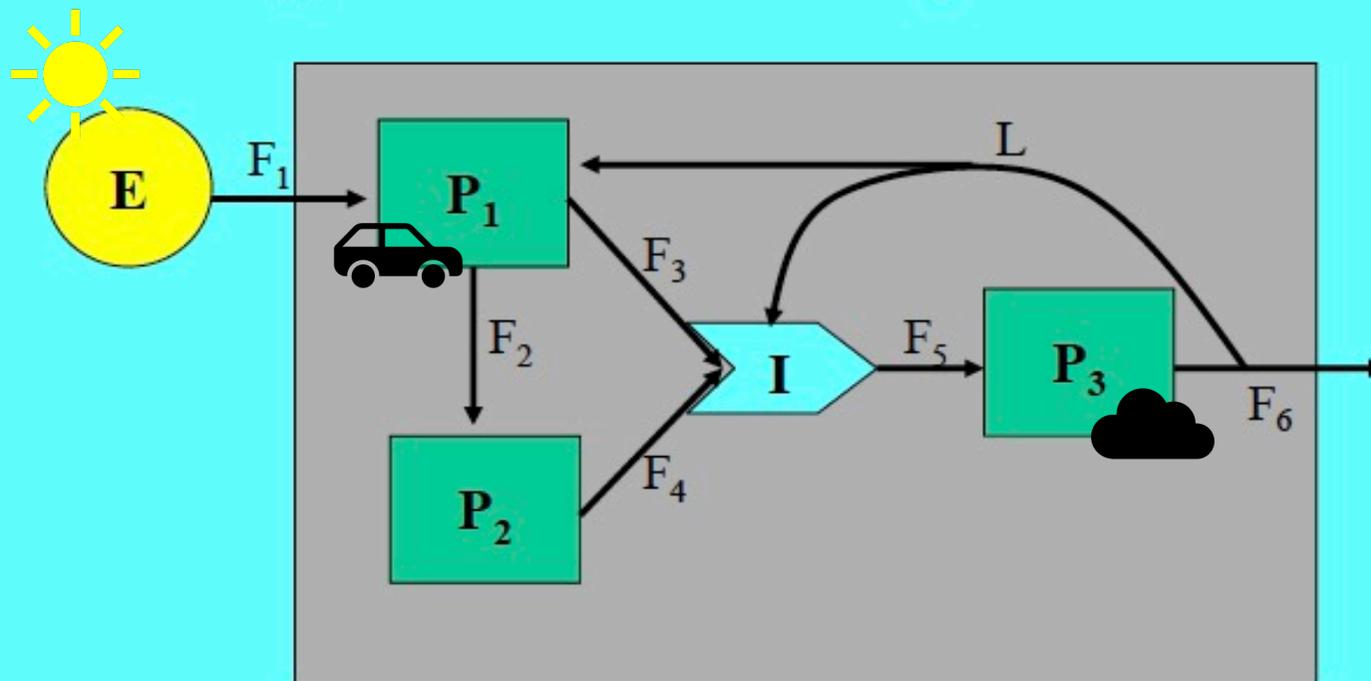
### DIAGRAMMA FUNZIONALE DI UN ECOSISTEMA



**P: Proprietà. E: Forze. F: Vie di flusso. I: Interazioni. L: Anelli di feedback.**

## ALCUNI ESEMPI

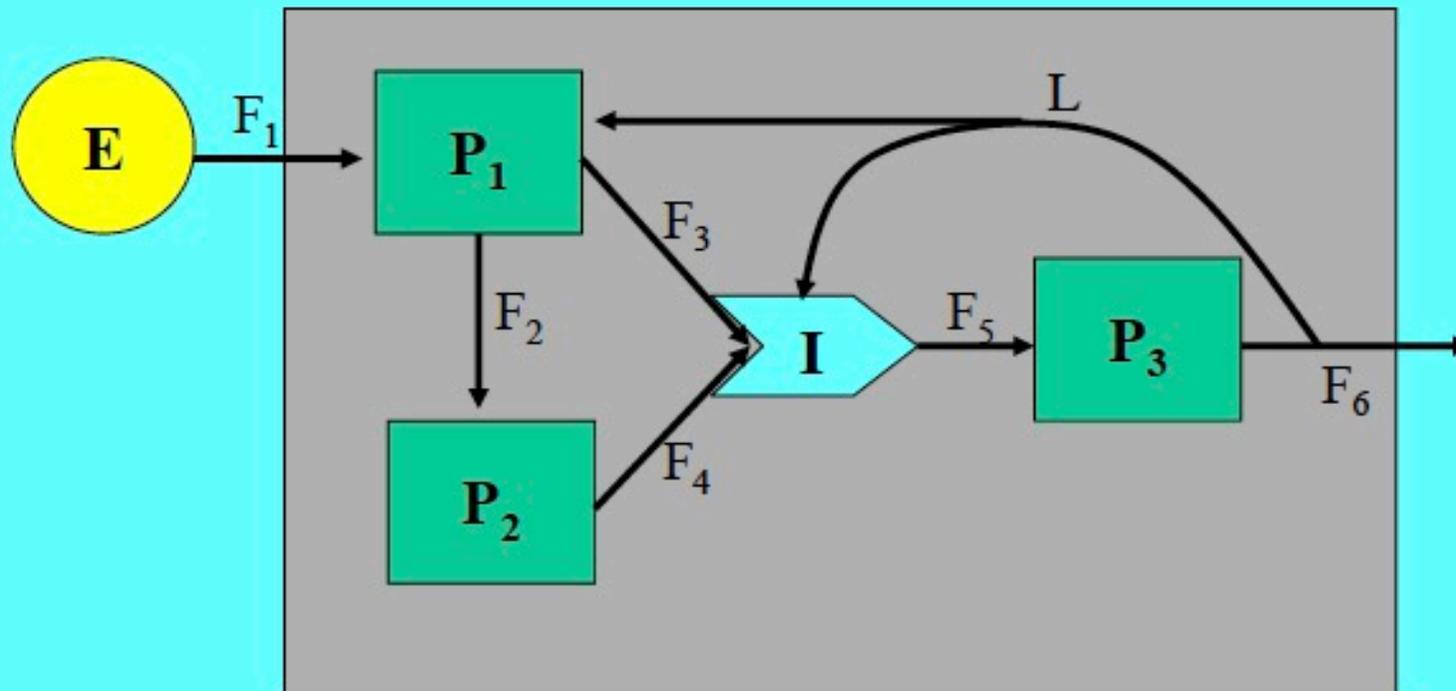
### DIAGRAMMA FUNZIONALE DI UN ECOSISTEMA Applicazioni: Produzione di smog fotochimico



**E:** energia solare. **P<sub>1</sub>:** idrocarburi prodotti dalle auto. **P<sub>2</sub>:** ossidi di azoto.  
**P<sub>3</sub>:** smog fotochimico. **I:** funzione di interazione (sinergica)

## ALCUNI ESEMPI

### DIAGRAMMA FUNZIONALE DI UN ECOSISTEMA Applicazioni: ecosistema di prateria



**E:** energia solare. **P<sub>1</sub>:** piante. **P<sub>2</sub>:** animali erbivori. **P<sub>3</sub>:** animali onnivori (volpe).  
**I:** funzione di interazione (ad es. stagionale, soglia....)

# Sviluppo di modelli: cenni

## METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA

### **Definire lo scopo dello studio**

*A che domanda rispondere?*

### **Definire il sistema di studio**

Ipotesi principali sul funzionamento (confini geografici e funzionali, tempo di osservazione, specie coinvolte, popolazione ecc.)

### **Raccolta dati ed informazioni**

### **Costruzione del modello**

### **Calibrazione & Validazione**

### **Analisi delle proprietà del modello**

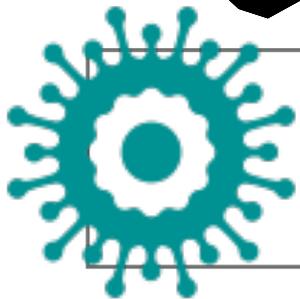
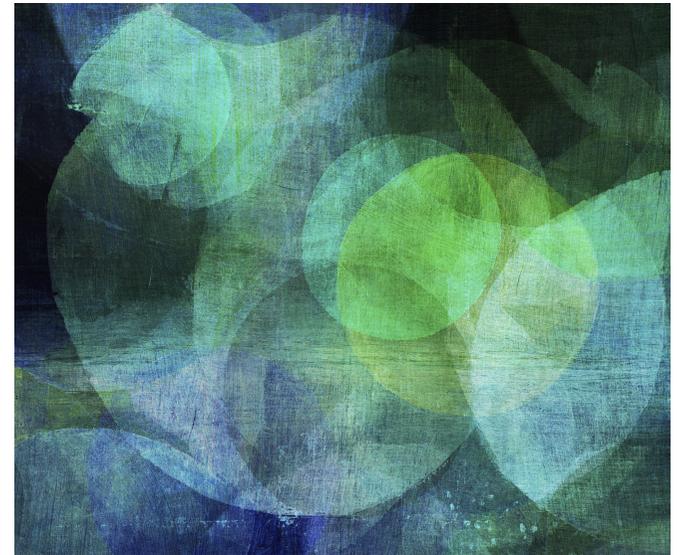
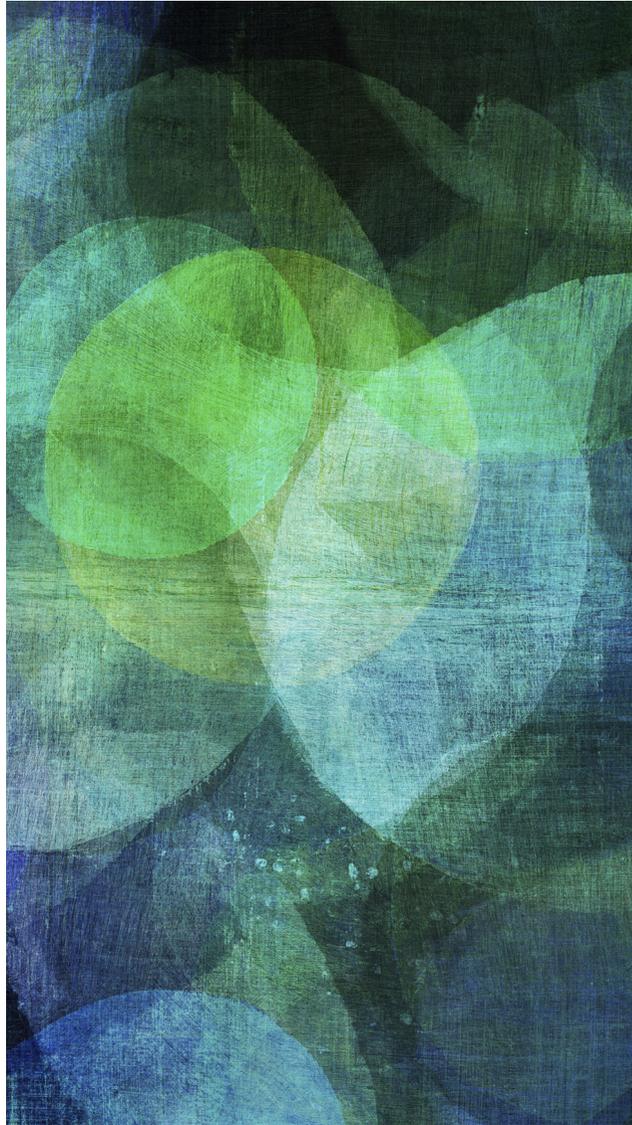
### **Uso, applicazioni per scopi gestionali**

Compromessi tra realismo e affidabilità

- ❑ Semplicità vs Complessità
- ❑ Trattabilità vs Realismo
- ❑ Generalità vs Accuratezza
- ❑ Generalità vs Precisione

I modelli possono avere diversa complessità

- Non necessariamente i modelli più complessi sono migliori



**DOMANDE??**

# Esempio applicativo - 1

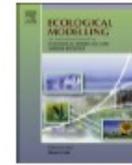
## METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Modelling

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolmodel](http://www.elsevier.com/locate/ecolmodel)



Assessment of spatial distribution of submerged vegetation in the Orbetello lagoon by means of a mathematical model

Elisabetta Giusti<sup>a</sup>, Stefano Marsili-Libelli<sup>a,\*</sup>, Monia Renzi<sup>b,c</sup>, Silvano Focardi<sup>b,c</sup>

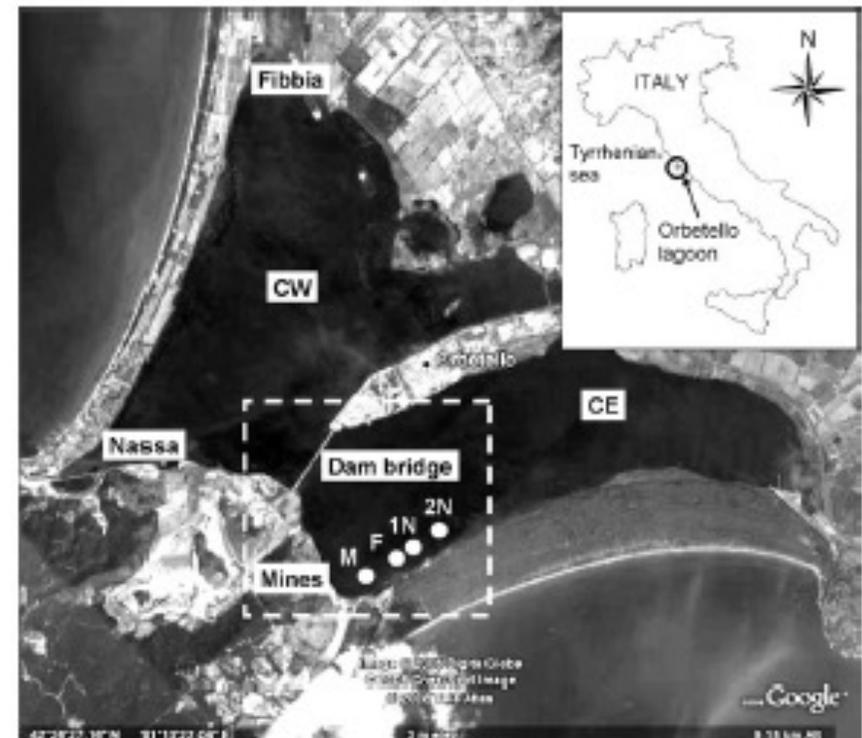
<sup>a</sup> Department of Systems and Computers, University of Florence, Via S. Maria 3, 50139 Florence, Italy

<sup>b</sup> Research Centre of Lagoon Ecology, Fishery and Aquaculture, University of Siena at Grosseto, via Lungolago dei pescatori, 58015 Orbetello, GR, Italy

<sup>c</sup> Department of Environmental Science, University of Siena, Via Mattioli 4, 53100 Siena, Italy

Il modello descrive l'equilibrio complesso tra le popolazioni di fitobentos (macroalghe e fanerogame) in relazione alla fluttuazione dei parametri chimico-fisici delle acque e di forzanti ambientali (vento, caratteristiche del sedimento).

Il modello matematico, sviluppato sulla base del know-how specifico sui trend storici del sito è testato con verifiche in campo (calibrazione dei modelli con dati di campo).



# Esempio applicativo - 1

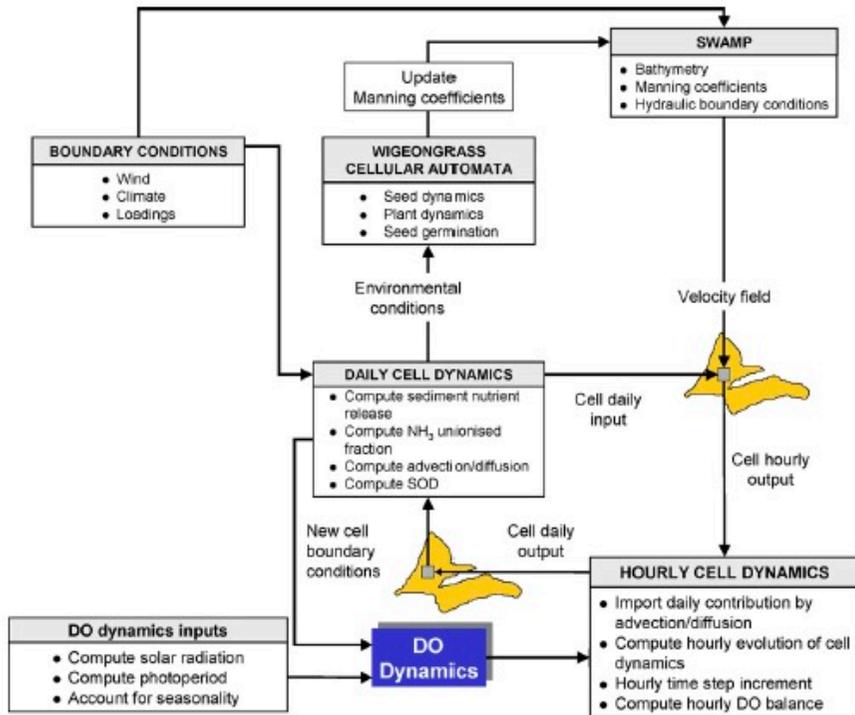
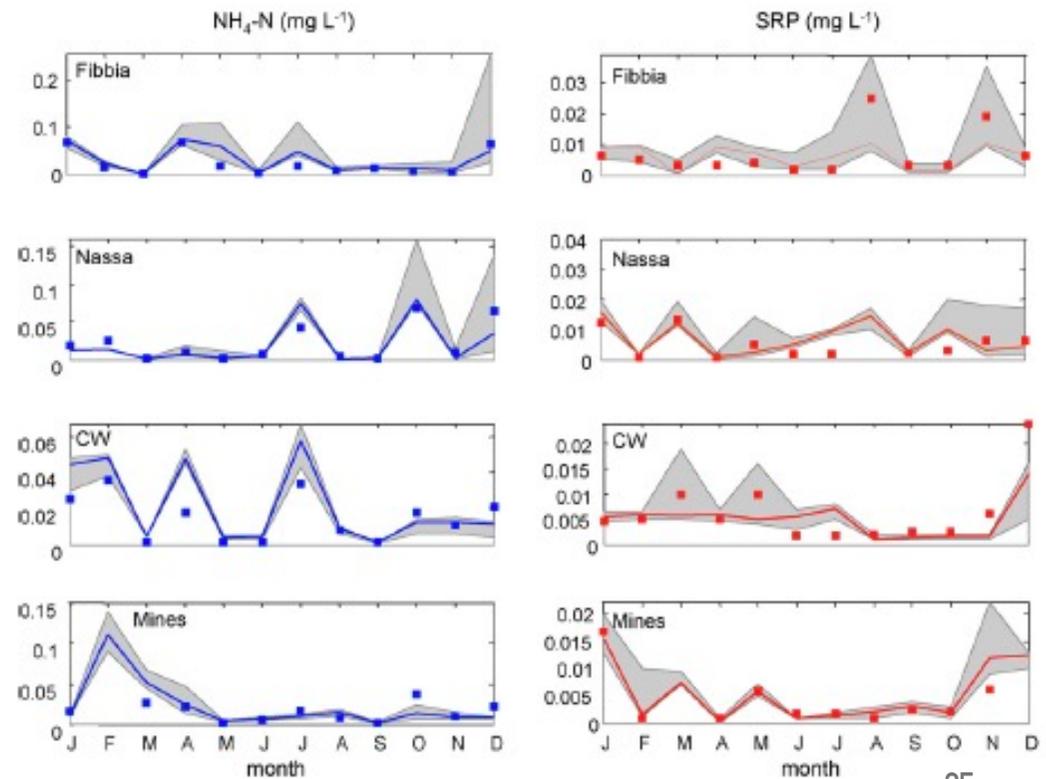
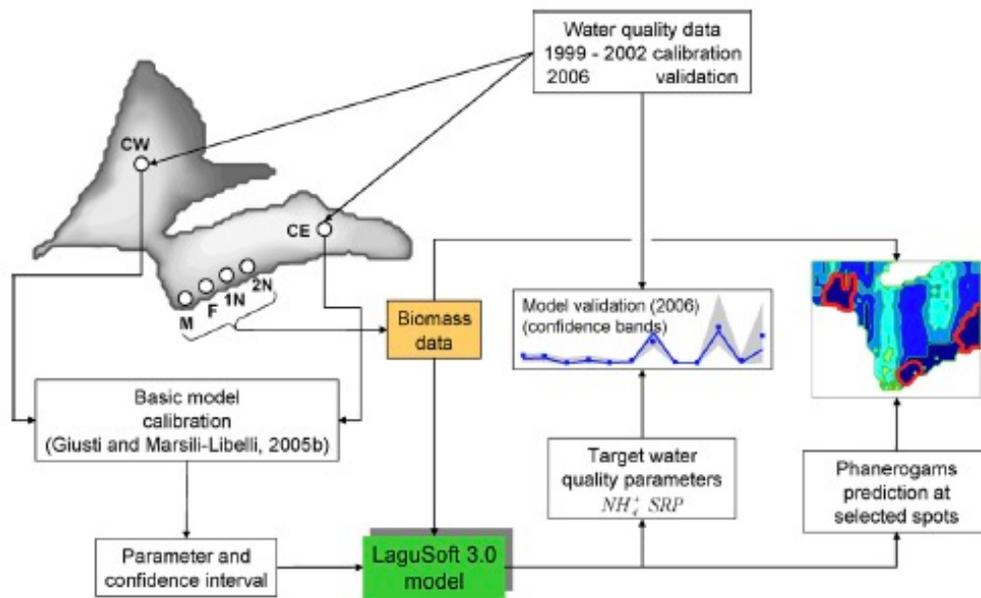


Diagramma funzionale del modello LaguSoft 3.0

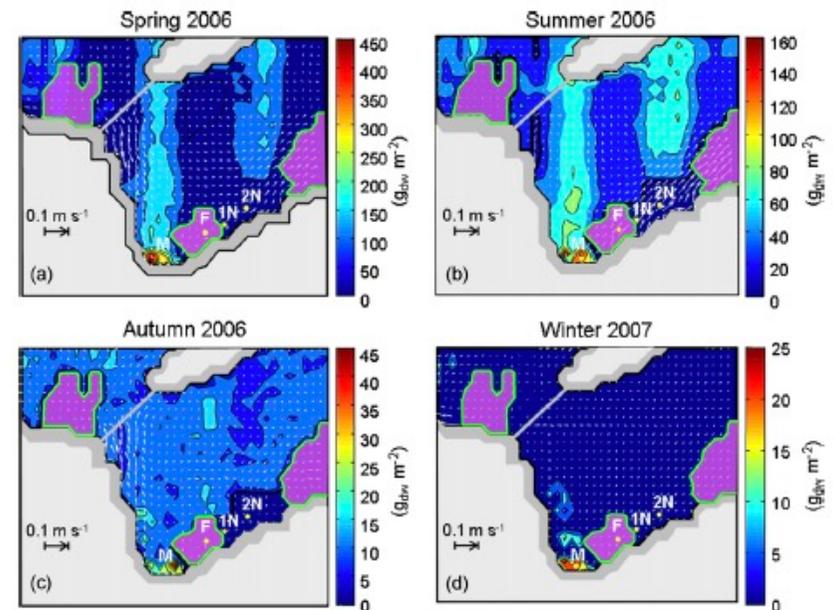
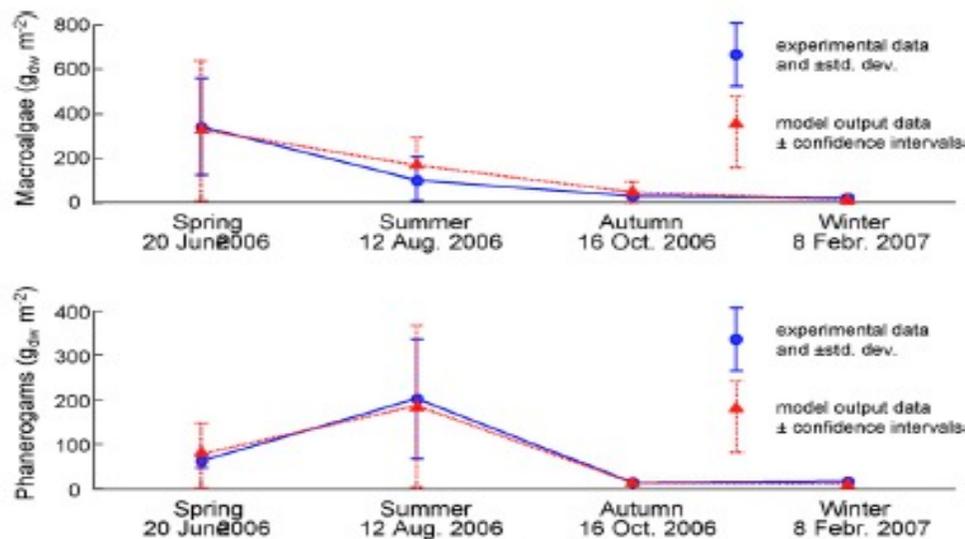
Rispondenza del modello ai descrittori delle acque. I punti rappresentano i dati ARPAT (2006), le linee i risultati del modello, in grigio l'intervallo di confidenza della simulazione.



# Esempio applicativo - 1



Modello concettuale per la calibrazione di LaguSoft 3.0 per la predizione delle biomasse.



## Esempio applicativo - 2

# METODOLOGIE DELLA DISCIPLINA

Mathematical modelling of sediment chemico-physical parameters in a coastal lagoon to estimate high density seagrass meadow (*Ruppia cirrhosa*) distribution

M. Renzi\*, E. Franchi, A. Tozzi,  
M. Volterrani and S.E. Focardi

Il modello descrive la relazione tra i livelli di parametri chimico-fisici ( $pH$ ,  $Eh$ ,  $G$ ,  $TN$ ,  $TP$ ,  $TOC$ ) del sedimento e la densità delle fanerogame presenti.



Stazioni di campionamento per lo sviluppo del modello

# Esempio applicativo - 2



Figure 2 Map of the values of Total Phosphorus in the Orbetello lagoon sediment (data expressed in  $\text{mg}^{-1} \text{kg d.w.}$ )

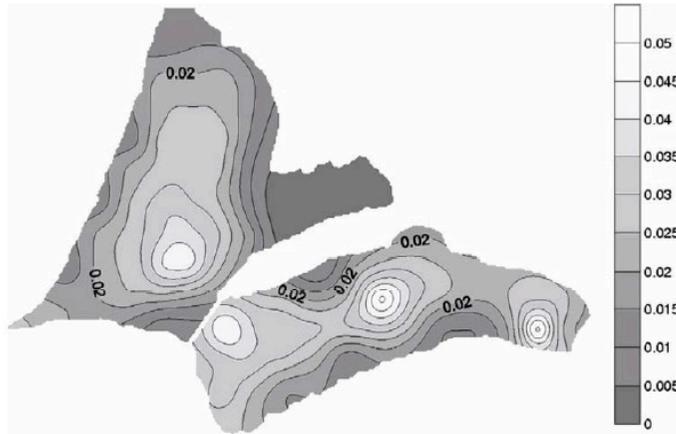


Figure 3 Map of the granulometric fractions (G) < 63  $\mu\text{m}$  in the Orbetello lagoon (data expressed in %)

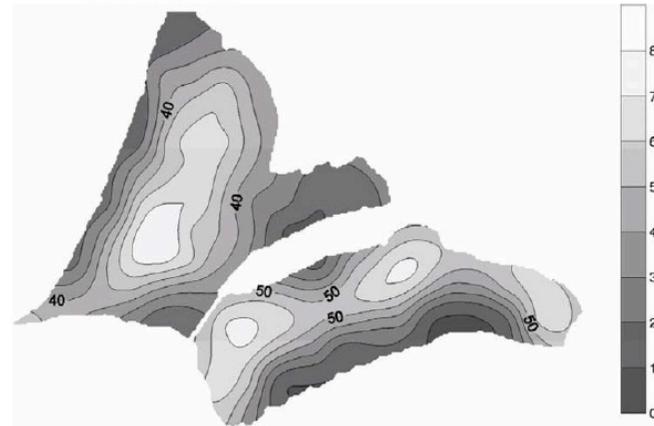


Figure 4 Map of the pH sediment values in the Orbetello lagoon

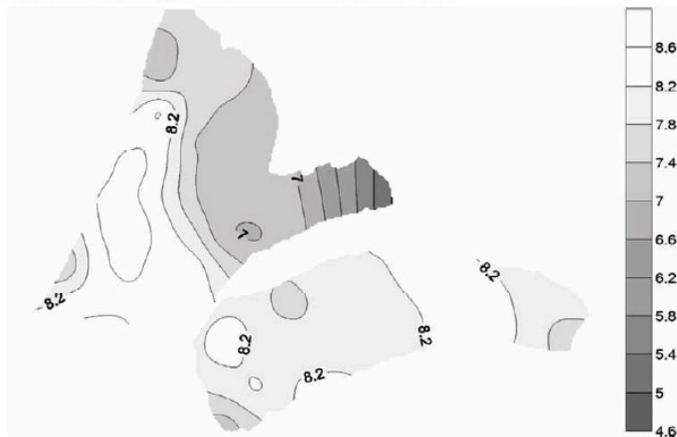
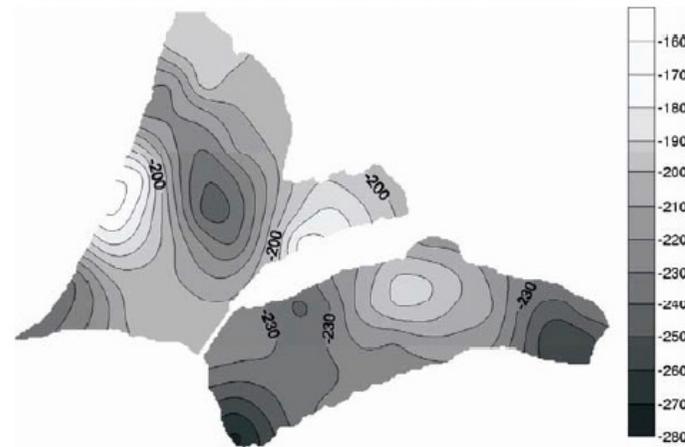


Figure 5 Map of the Eh sediment values in the Orbetello lagoon (data expressed in mV)



*Le distribuzioni possono converge in un modello matematico*

$$Y = b \left( \frac{\ln(\text{Eh} + 400) \times \text{pH}}{\text{TP} \times G} \right)^a$$

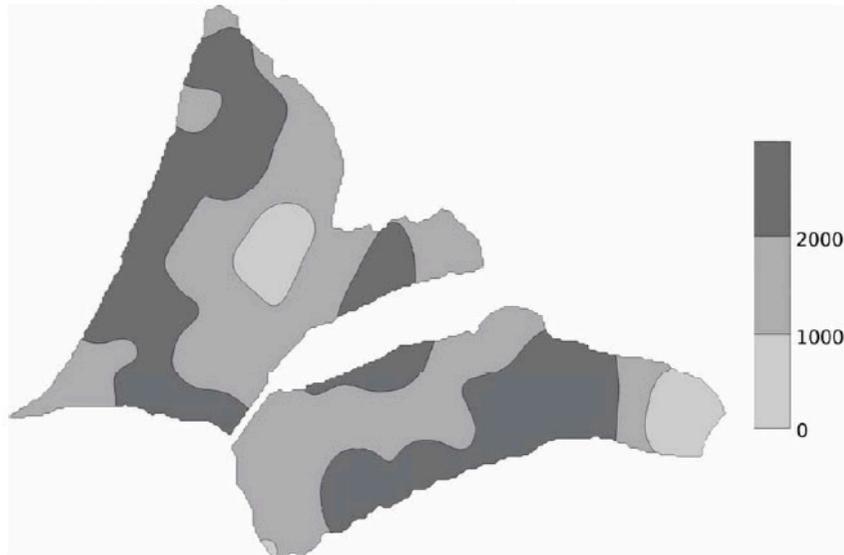
or, equivalently:

$$\ln Y = a \{ \ln [\ln (\text{Eh} + 400)] + \ln \text{pH} - \ln \text{TP} - \ln G \} + b$$

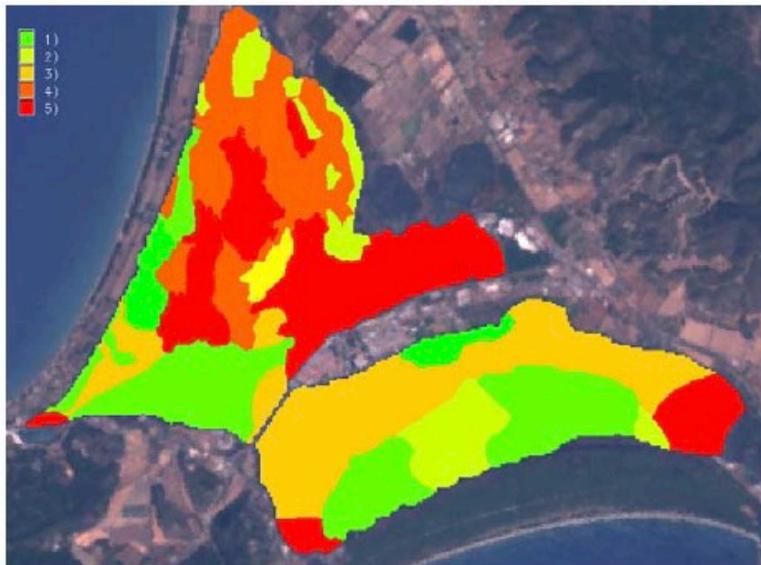
where  $Y$  is the density of the seagrass biomass expressed in  $\text{g w.w.m}^{-2}$ .

# Esempio applicativo - 2

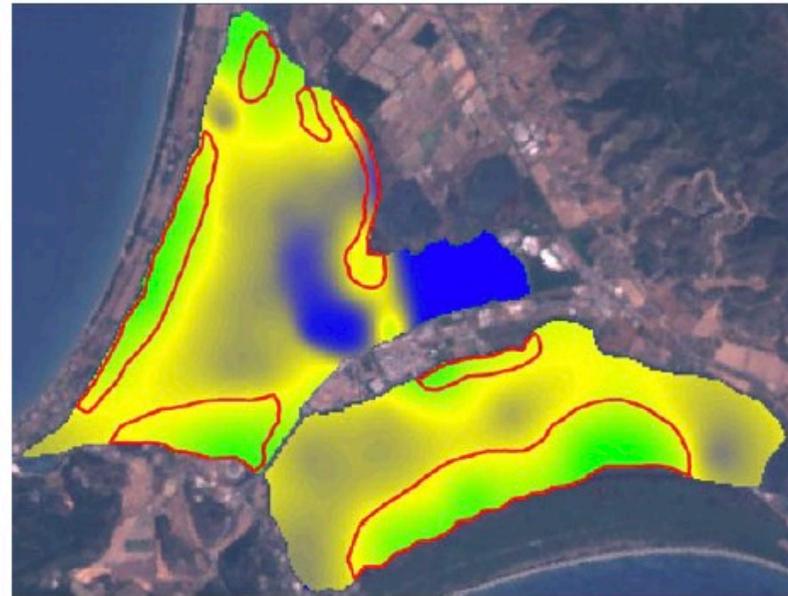
**Figure 6** Geo-referenced map of the seagrass meadow density distribution elaborated by the mathematical model (data expressed in  $\text{g w.w.m}^{-2}$ )



Geo-referenced map of the seagrass meadow density distribution obtained through estimates based on samplings carried out in the field (1) high density ( $> 1500 \text{ g w.w.m}^{-2}$ ); (2) thick ( $1500\text{--}800 \text{ g w.w.m}^{-2}$ ); (3) rare ( $800\text{--}400 \text{ g w.w.m}^{-2}$ ); (4) very rare ( $< 400 \text{ g w.w.m}^{-2}$ ) and (5) absent (rarefied meadow, single installations and isolated spots) (for colours see online version)



**Figure 8** Map obtained through the superimposition of the maps in Figures 6 and 7 (for colours see online version)



Note: Green areas localise the high density seagrass meadows zones elaborated by the mathematical model ( $> 1500 \text{ g w.w.m}^{-2}$ ) while the thick red profiles represent the high density seagrass distribution obtained through estimates based on samplings carried out in the field (Figure 7).

**Table 1** Regression diagnostic elaborated for the validation of the mathematical model concerning the seagrass meadow

| <i>Residuals</i>     |          |          |                 |                      |  |
|----------------------|----------|----------|-----------------|----------------------|--|
| Min                  | 1Q       | Median   | 3Q              | Max                  |  |
| -1.32557             | -0.32047 | -0.08182 | 0.24797         | 2.56888              |  |
| <i>Coefficients</i>  |          |          |                 |                      |  |
|                      | Estimate | SE       | <i>t</i> -value | <i>Pr</i> ( $> t $ ) |  |
| <i>b</i> (intercept) | 3.25445  | 0.15445  | 21.07           | $< 2 e^{-16}$        |  |
| <i>a</i>             | 0.53727  | 0.03606  | 14.90           | $< 2 e^{-16}$        |  |

Note: Residual SE: 0.5489 on 81 d.f., Multiple *R*-Squared: 0.7327, Adjusted *R*-Squared: 0.7294, *F*-statistic: 222 on 1 and 81 d.f., *p*-value:  $< 2.2 e^{-16}$ .

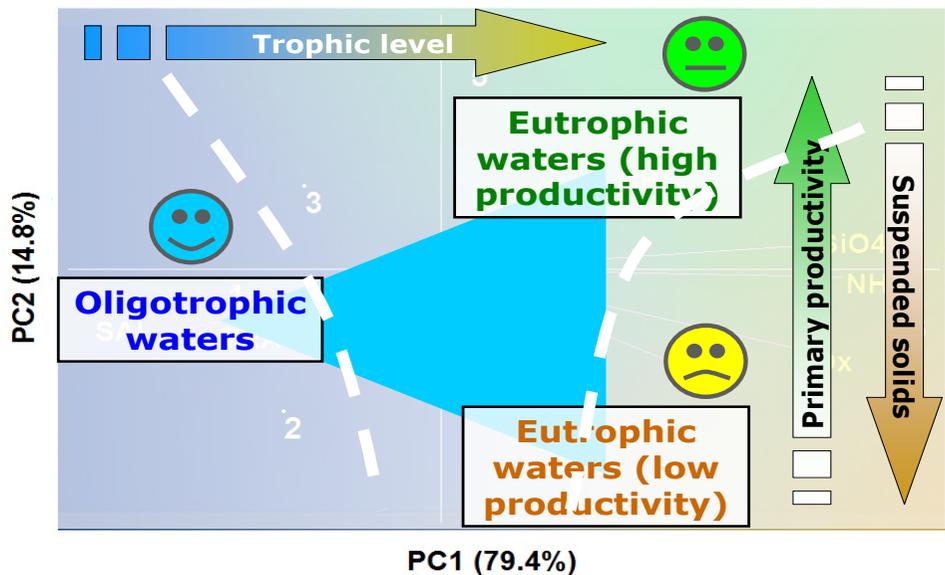
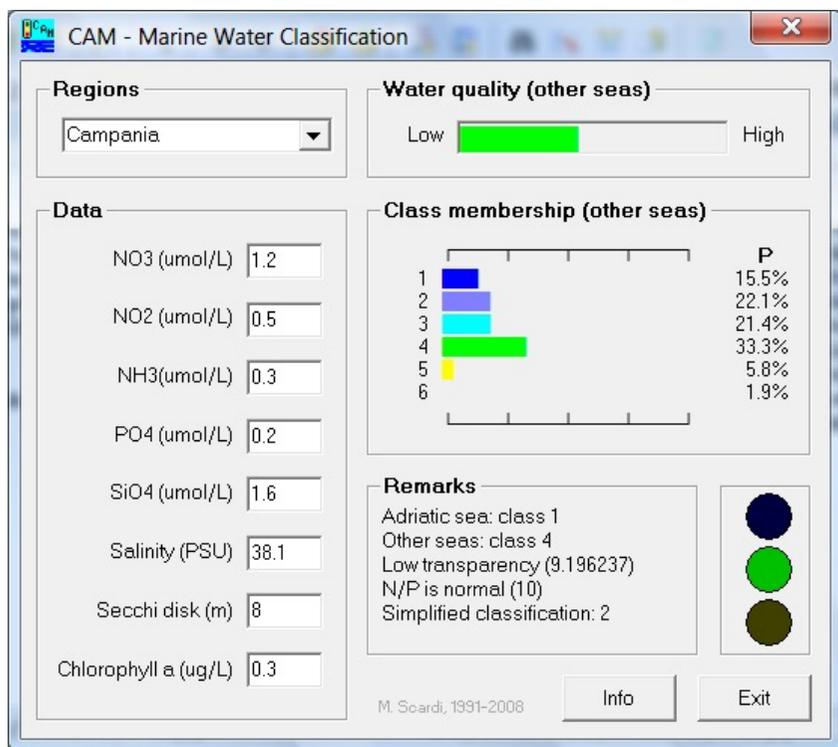
# Esempio applicativo - 3



$$TRIX = \frac{\log(Chl \cdot aD\%O \cdot N \cdot P) - (-1.5)}{1.2} \quad \text{Range} = 0-10$$

Qualità delle acque in ambito marino

CAM (Classificazione delle Acque Marine)



[www.mare-net.com/mcardi/work/cam/cam.htm](http://www.mare-net.com/mcardi/work/cam/cam.htm)  
 (background info and CAM GUI available for download)  
[http://www.minambiente.it/index.php?id\\_sezione=1110](http://www.minambiente.it/index.php?id_sezione=1110)  
 (general info about monitoring activities and CAM)  
<http://www.tutelamare.it/cocoon/sidimar/app/it/index.html>  
 (access to raw data and CAM classification)

Tratto da materiale gentilmente fornito dallo sviluppatore ed ideatore, Prof. M. Scardi, [mcardi@mclink.it](mailto:mcardi@mclink.it)

\* Vollenwieder et al., (1998). *Environmetrics*, 9: 329-357

\*\* Scardi et al. (2008). *Ecol. Inf.* 3: 55-63

# Esempio applicativo - 3

SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 402 (2008) 285-298



available at www.sciencedirect.com

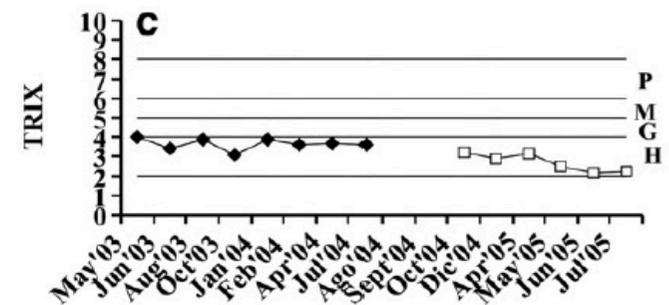
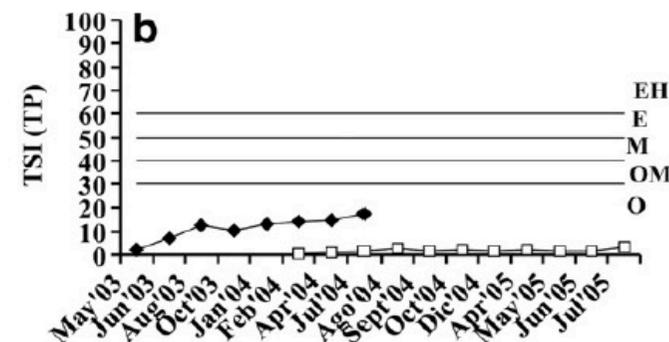
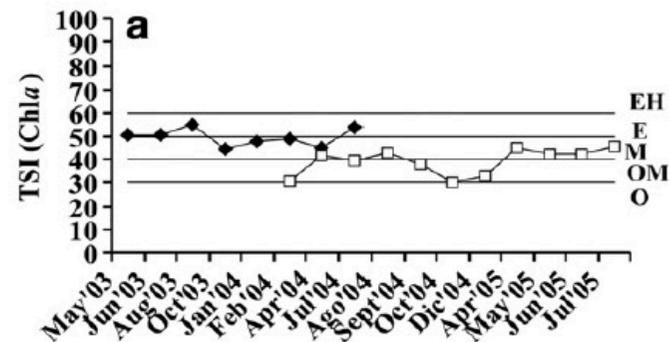
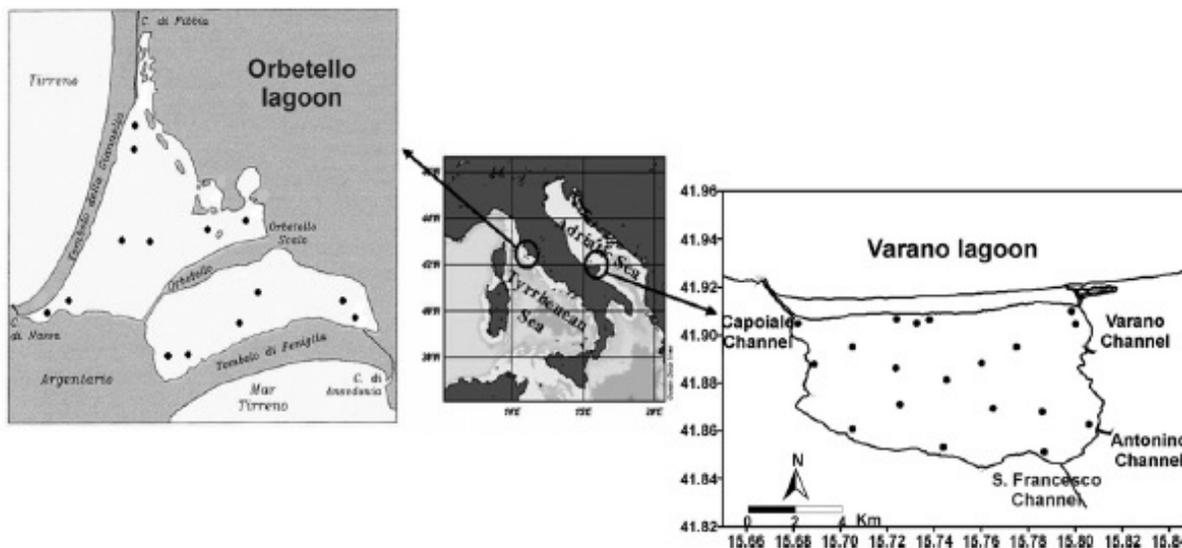


www.elsevier.com/locate/scitotenv



## Environmental heterogeneity patterns and assessment of trophic levels in two Mediterranean lagoons: Orbetello and Varano, Italy

Antonietta Specchiulli<sup>a,\*</sup>, Silvia Focardi<sup>b</sup>, Monia Renzi<sup>c</sup>, Tommaso Scirocco<sup>a</sup>,  
Lucrezia Cilenti<sup>a</sup>, Paolo Breber<sup>a</sup>, Simone Bastianoni<sup>b</sup>



◆ Orbetello □ Varano

### Trend stagionali

Per TSI: O = oligotrofico; OM = oligomesotrofico; M = mesotrofico; E = eutrofico; EH = eutrofico-ipertrofico.  
Per TRIX: H = alta qualità; G = buona qualità; M = mediocre; P = scarsa.

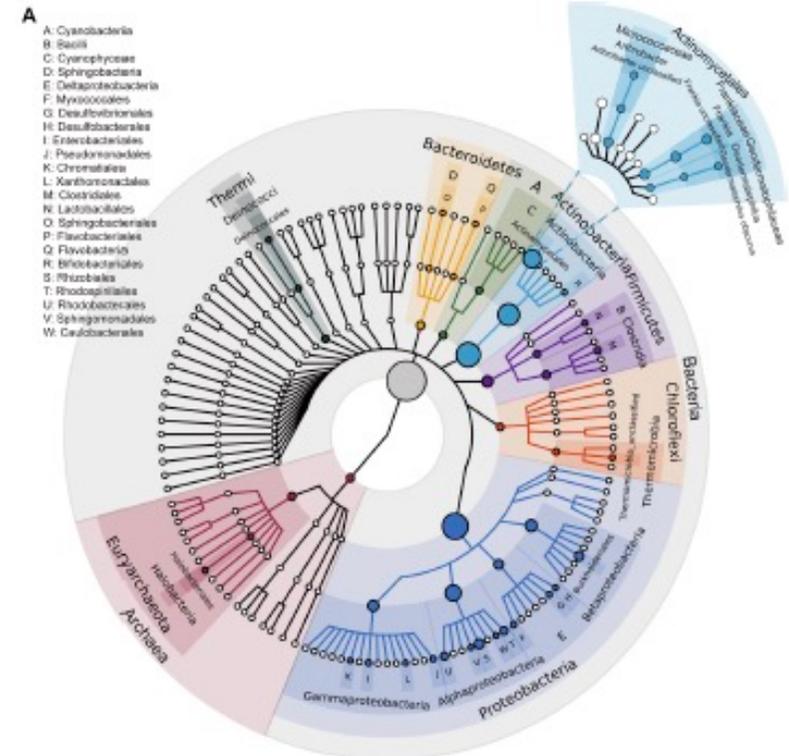
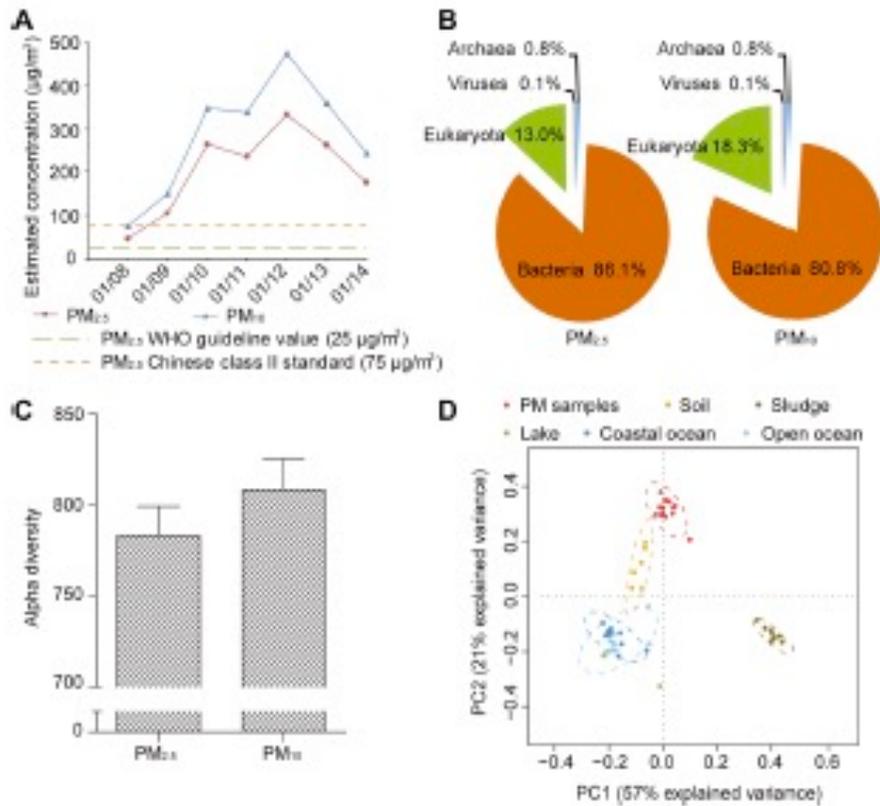
Indice di stato trofico di Carlson (TSI index; 1977) = range 0-100  
Sviluppato per gli ecosistemi acquatici dolci (USEPA, 2000)

Medie mensili di Clorofilla-a (microg/L) e TP (microM):

$$TSI(Chl a) = 9.81 \ln (Chl a) + 30.6$$

$$TSI(TP) = 14.42 \ln (TP) + 4.15.$$

# Esempio applicativo - 4

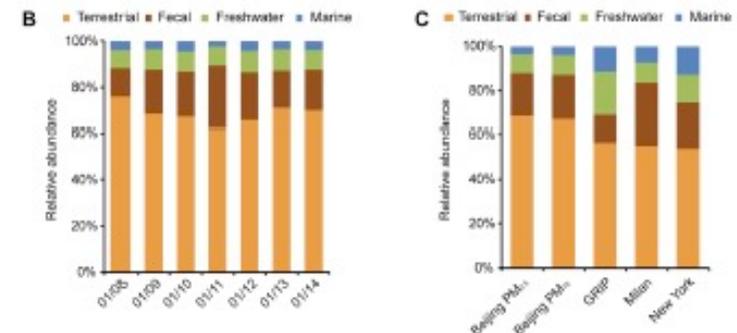


Contaminazione dell'aria da materia particolata  $\text{PM}_{(x)}$  nella città di Beijing.

I microrganismi adesi al  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2.5}$  sono responsabili di allergie e di problemi respiratori.

Sul materiale particolato analizzato, sono stati rilevati batteri, archea, funghi e DNA virale.

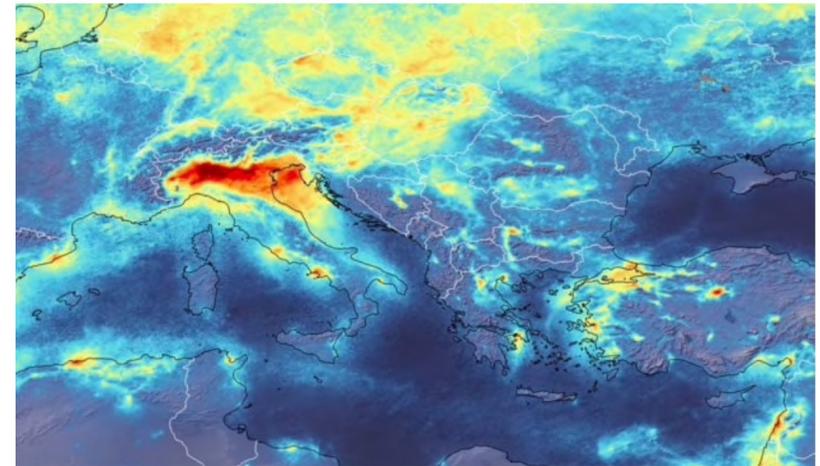
La concentrazione di patogeni inalabili è correlata all'aumentare della concentrazione di PM.



## DISTRIBUZIONI A CONFRONTO

**Distribuzione dei contagi – COVID-19  
positivi (aggiornato al 18 marzo)**

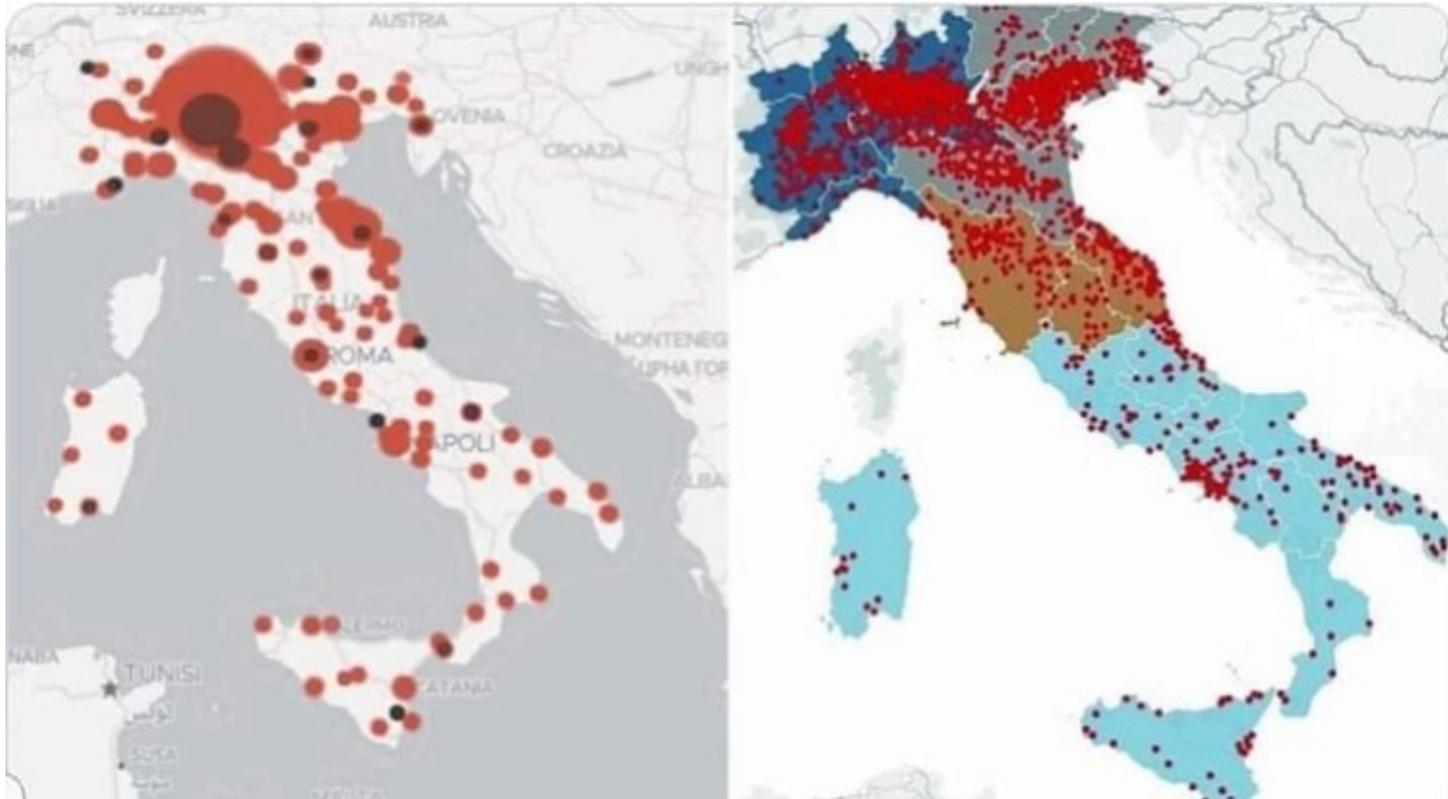
.. . . .



**Inquinamento dell'aria a metà  
gennaio 2020. Dati rilevati da satellite  
Sentinel-5P ESA**

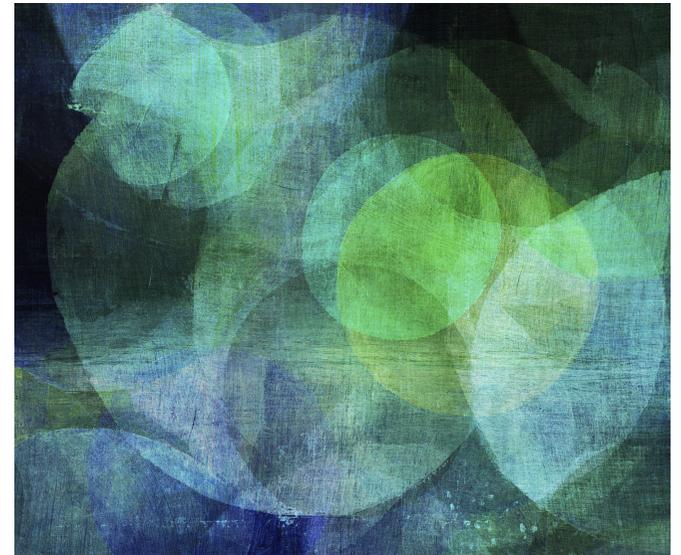
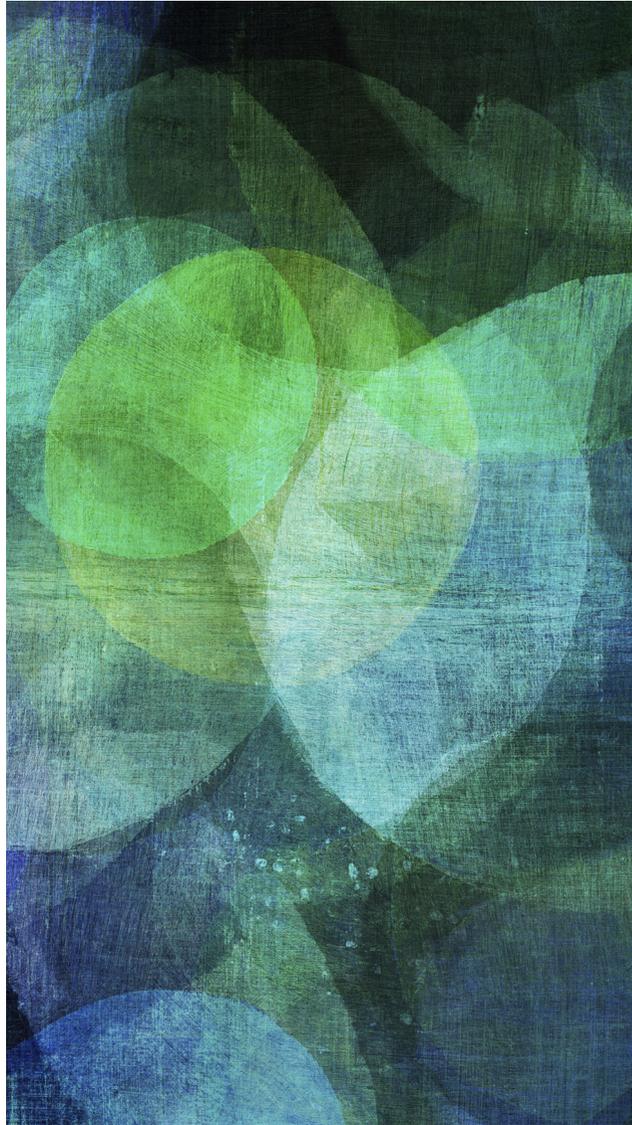
**Link al video relativo all'andamento  
della contaminazione dell'aria nel tempo  
effetto del lockdown del 09 Marzo 2020**

<https://www.facebook.com/lifegate/videos/676835169723850/UzpfSTEWMDAwMDUxNDUxMzU5ODozMzk3MjA1ODQwMzA2NTMz/>



*Contagi COVID-19*

*Distribuzione del manifatturiero*



**DOMANDE??**