

**Riunione di Presentazione del Secondo Programma di Ricerca del CORILA  
(2004-2006)**

**Tipologia, condizioni di riferimento, valutazione  
della qualità e indicatori per le acque di  
transizione: problemi e prospettive**

**Pierluigi Viaroli**

**Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma**

# TIPOLOGIA

**Corpi idrici superficiali in prossimità della foce di un fiume, che sono parzialmente di natura salina a causa della loro vicinanza alle acque costiere, ma sostanzialmente influenzati dai flussi di acqua dolce (direttiva 2000/60/CE)**

**Monitoraggio, valutazione ed azioni devono essere riferiti ai corpi idrici**

Commenti rilevanti in:

Tagliapietra & Volpi Ghirardini, 2006. Notes on coastal lagoon typology in the light of the EU Water Framework Directive: Italy as a case study. Aquatic Conservation, Marine And Freshwater Ecosystems 16

McLusky & Elliott, 2007. Transitional waters: A new approach, semantics or just muddying the waters? Estuarine, Coastal and Shelf Science 71: 359-363

Table 1

Main physiographic forms to be included under the term transitional waters

Type	Characteristics
Classical estuary	Tidally dominated at the seaward part; salinity notably reduced by freshwater river inputs; riverine dominance inward
Fjord	Land freshwater seepage or markedly seasonal riverine inputs; limited tidal influence; stratified; long narrow, glacially eroded sea inlet, steep sided, sill at mouth
Lentic non-tidal lagoon	Limited exchange with the coastal area through a restricted mouth; separated from sea by sand or shingle banks, bars, coral, etc., shallow area, tidal range $\leq 50$ cm
Lentic microtidal lagoon	As above but with tidal range $\geq 50$ cm
Ria	Drowned river valley, some freshwater inputs; limited exchange
Fjord	Glacially carved embayment, sea inlet, smaller than fjord; limited freshwater inputs
River mouth	River outlet as well-defined physiographic coastal feature
Delta	Low energy, characteristically shaped, sediment dominated, river mouth area; estuary outflow
Coastal freshwater/ brackish water plume	Outflow of estuary or lagoon, notably diluted salinity and hence differing biota than surrounding coast

# TIPOLOGIA

## ICRAM

Morfologia x Regime tidale x Dimensione x Salinità

Tagliapietra et al.

Zone lagunari = corpo idrico di riferimento

Approccio scalare con parametri mesologici

Per ciascun tipo di corpo idrico sono fissati

-elementi di qualità idro-morfologici, fisico-chimici e biologici

-condizioni di riferimento per la definizione dello stato ecologico

Non necessariamente indisturbato

Stato ecologico elevato

Riferimento temporale non vincolante

- importanza degli indicatori

Attinenza e capacità di risposta

Sensibilità e range di sensibilità

Variabilità e confidenza

**Le linee 3.11 e 3.12 danno risposte adeguate su tutti i punti rilevanti della WFD e aprono alcune interessanti prospettive su**

- tipologia, scale e unità di riferimento per il monitoraggio

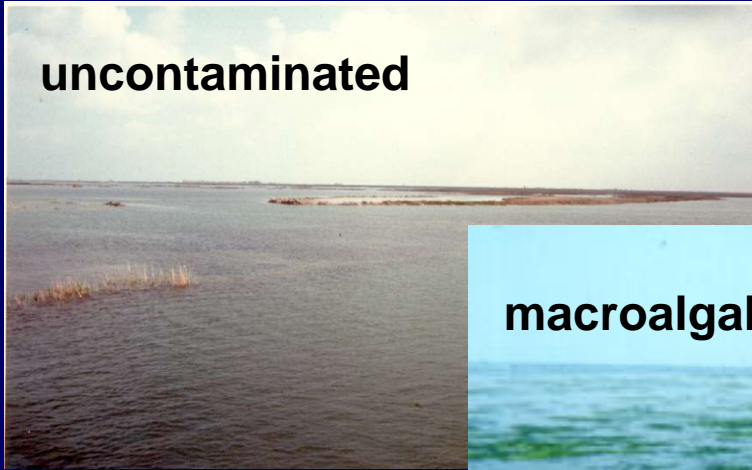
- valutazione dell'inquinamento chimico ed ecotossicologia

- bioindicazione a diversi livelli dell'organizzazione dei sistemi bio-ecologici

- rapporto tra etero e autotrofia a livello del *microbial loop*

# Il quadro di un'evoluzione accelerata, dal 1970 ad oggi

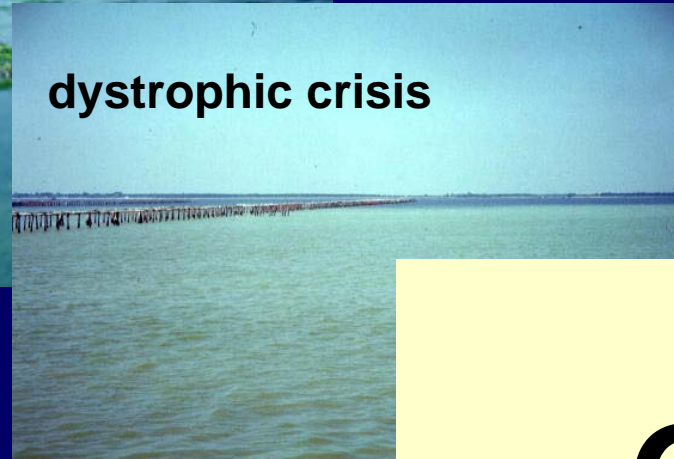
**uncontaminated**



**macroalgal blooms**



**dystrophic crisis**



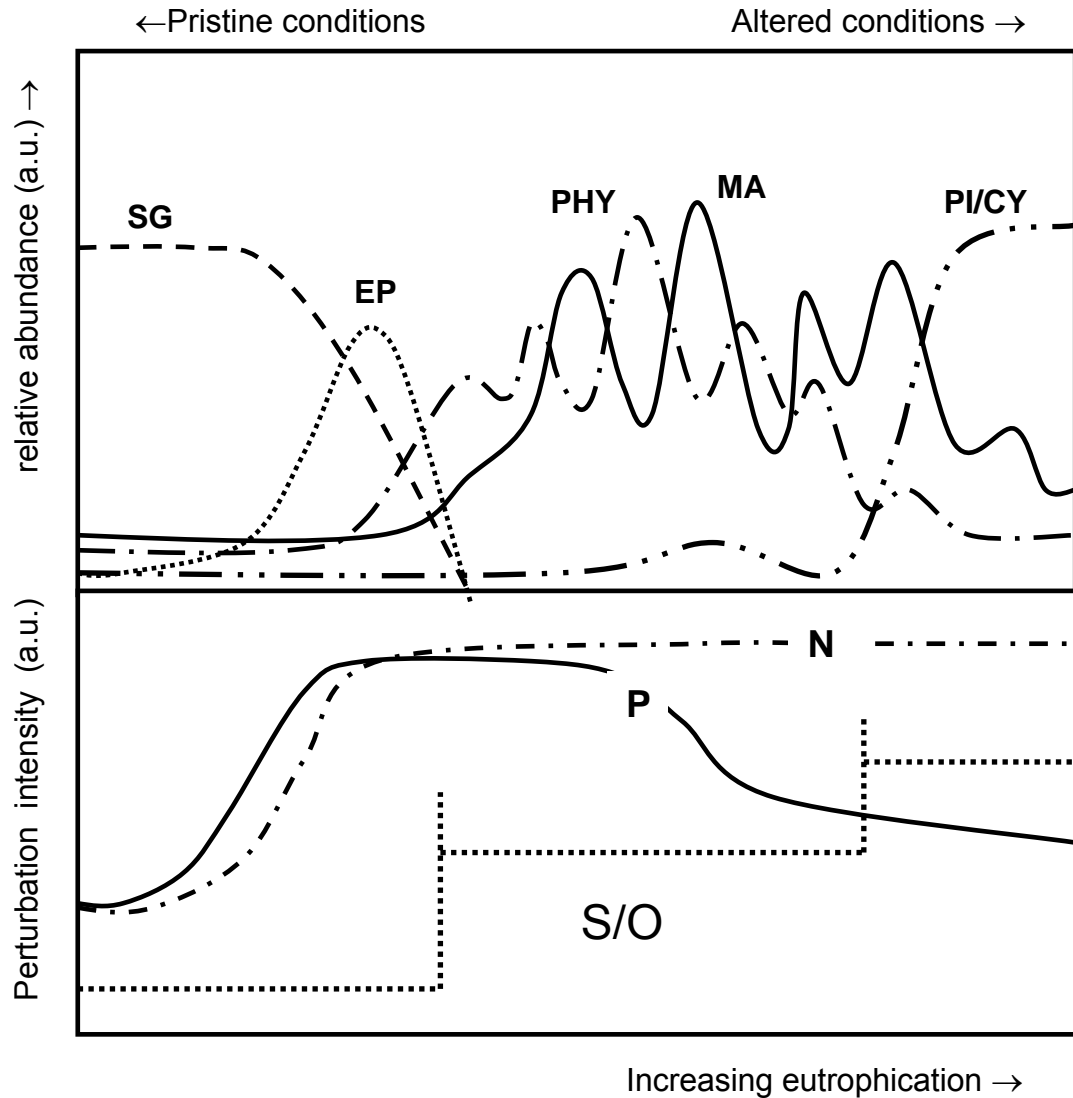
**?**

**Quali condizioni di riferimento?**

Conceptual representation of the succession of aquatic vegetation along an increasing eutrophication gradient according to 1: Nienhuis (1992), 2: Valiela et al. (1997) and Dahlgreen and Kautsky (2004); 3: Schramm (1999)

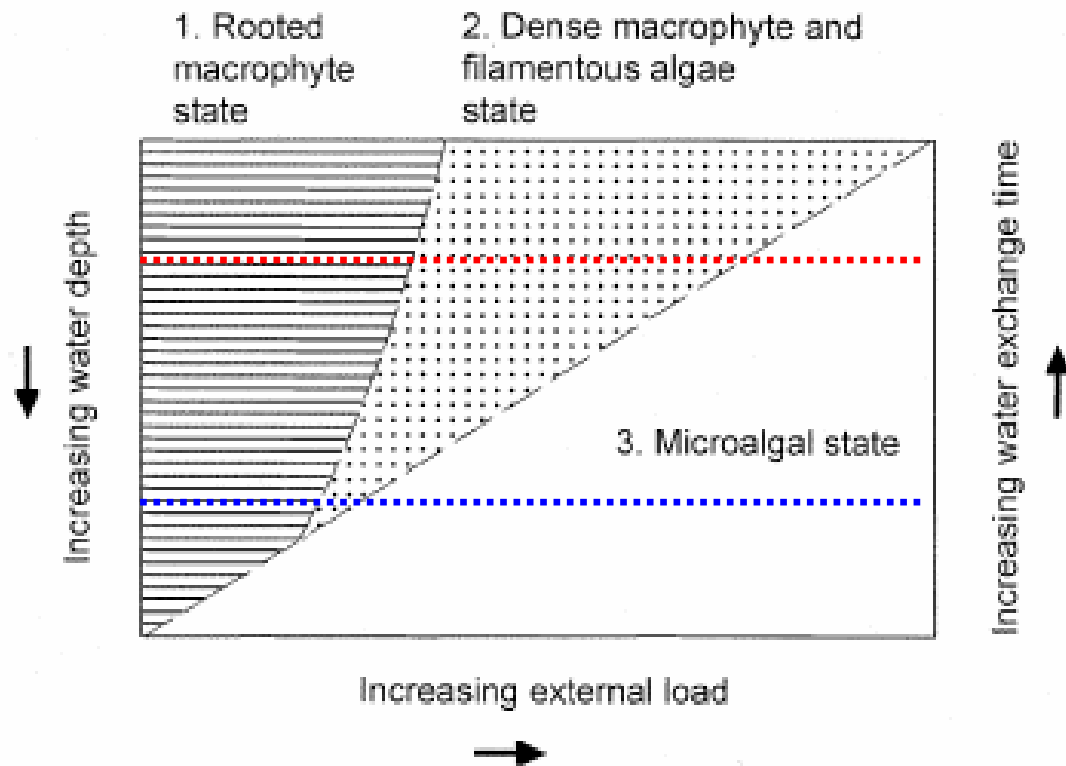
Succession phases and conditions (pristine → altered)				Ref
phanerogams	phanerogams+epiphytes	macroalgae+phytoplankton		1
seagrasses		macroalgae	phytoplankton	2, 3
perennial benthic macrophytes	macrophytes+ fast growing epiphytes	free floating macroalgae+phytoplankton	phytoplankton	4

**Sistemi poco profondi in cui prevale la componente bentonica. Il metabolismo e le proprietà dell'ecosistema dipendono dalla successione delle comunità vegetali**



Thresholds of regions of stability of the main components in the primary producer community. SPM: suspended particulate matter. \* in carbonate rich (iron poor sediments) # in iron rich (carbonate poor sediments). Data from (1) Valiela *et al.* (1997), (1) Dahlgreen and Kautsky (2004), (2) Calleja *et al.* (2005).

	Region of stability	
	DIN loading <sup>(1)</sup> (g m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> )	DS in porewater <sup>(2)</sup> (μM)
Phanerogams	< 10	< 10* ÷ < 1000#
Macroalgae	10-50	no effect
Phytoplankton	> 50	no effect



*Figure 3.* A conceptual model of the links between three vegetative states and increasing external load of nutrients and water exchange time in shallow brackish bays of the Baltic Sea. (1) Rooted macrophyte state, (2) Macrophyte/filamentous algal state, (3) Microalgal state.

Dahlgren & Kautsky, 2004

Recent evolution of benthic communities in selected coastal lagoons. (1) Piccoli *et al.*, 1991; (2), Viaroli *et al.* 2006), (3) Sfriso and Facca (2007); (4) Bombelli and Lenzi (1996); (5) Giusti and Marsili-Libelli (2005); (6) Viaroli *et al.* (1999), (7) Andreoli *et al.* (1998) ; (8) Piccoli (1998) ; (9) Menedez *et al.* (2002) ; (10) Castel *et al.* (1996) ; (11) Souchu *et al.* (2000) ; (12) Orfandis *et al.* (2001) ; (13) Reizopoulou (pers. Com.) ; (14) Reizopoulou and Nicolaidou (2004) ; (15) Bogdanos and Diapoulis (1984) ; (16) Valiela *et al.* (1997).

	<b>Pristine conditions</b>	<b>1975-1995</b>	<b>present</b>	<b>Ref.</b>
Sacca di Goro (Italy)	<i>R. cirrhosa</i> , <i>Z. noltii</i>	<i>Ulva</i> and <i>Gracilaria</i> blooms	Moderate growth of <i>Ulva</i> and <i>Gracilaria</i>	1, 2
Venice lagoon, central basin (Italy)	<i>Z. noltii</i> , <i>C. nodosa</i>	<i>Ulva</i> blooms	phytoplankton	3
Orbetello lagoon (Italy)	<i>R. cirrhosa</i>	<i>Ulva</i> and <i>Gracilaria</i> blooms	<i>Gracilaria</i> blooms	4, 5
S'Ena Arrubia lagoon (Italy)	<i>R. cirrhosa</i>	<i>Ulva</i> and <i>Gracilaria</i>	Filamentous macrolagae and MPB	4, 6
Valli di Comacchio (Italy)	<i>R. cirrhosa</i> , <i>L. papulosum</i>	Filamentous macrolage blooms	Nanoplankton, cyanobacteria	7,8
Encanissada/Tancada (Spain)	<i>R. cirrhosa</i> , <i>Potamogeton crispus</i>	Moderate growth of <i>Chaetomorpha linum</i>	Patchy <i>R. cirrhosa</i> , <i>C. limum</i> and <i>P. crispus</i>	9
Etang du Prévost (France)	<i>Z. noltii</i> , <i>R. cirrhosa</i>	<i>Ulva</i> blooms	<i>Ulva</i> blooms	6, 10, 11
Nestos lagoons, several basins (Greece)	<i>R. cirrhosa</i>	n.a.	<i>R. cirrhosa</i> , <i>Ulva</i> , <i>Gracilaria</i> and Cyanobacteria	12
Tsopeli, Amvrakikos lagoons (Greece)	<i>Zostera noltii</i>	n.a.	<i>Ulva</i> blooms, <i>Zostera noltii</i>	13
Papas lagoon (Greece)	<i>Cymodocea nodosa</i>	n.a.	<i>Ulva</i> , <i>Gracilaria</i> blooms	14
Aetoliko (Greece)	<i>Cymodocea nodosa</i>	<i>Ulva</i> and <i>Cladophora</i>	n.a.	15
Waquoit bay (U.S.)	<i>Zostera</i> sp		<i>Cladophora</i> , <i>Gracilaria</i>	16

# Main community and biogeochemical features of the different alternative stable states determined by shifts in primary producer communities

	Seagrass meadow	Macroalgae (bloom forming)	Phytoplankton Microphytobenthos
<b>Biomass bulk</b>	High/persistent	High/ephemeral	Low/transient
<b>Growth rate</b>	Low	High/very High	High
<b>Biomass degradability</b>	Refractory	Labile	Labile/refractory
<b>Oxygen</b>	Balanced	Unbalanced/dystrophy	Variable
<b>Sulphide</b>	Absent to low	High	Absent to low
<b>Nitrogen</b>	Retention Low concentration	Pulsing; Low to high concentrations	variable
<b>Information (<math>\beta</math> value)</b>	High	Low	Very low

# Possibili indicatori e/o descrittori **biogeochimici**

-Acqua

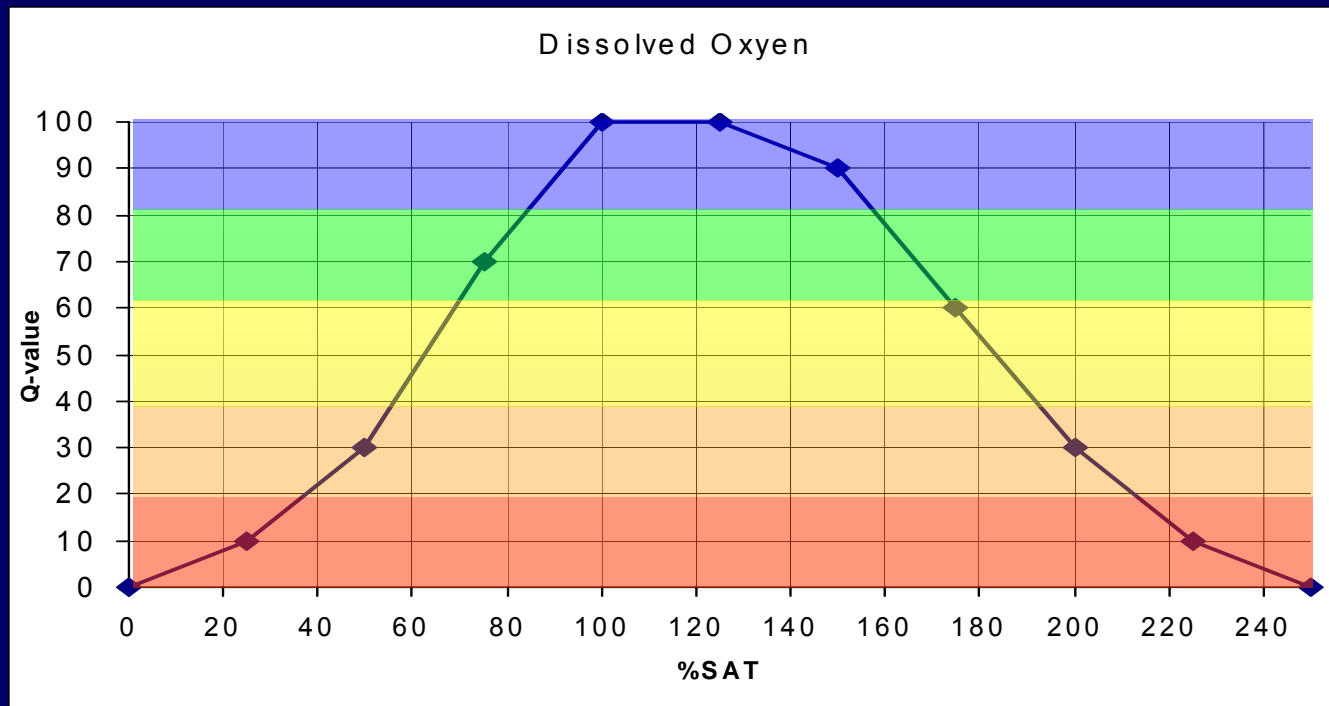
-Sedimento

-Metabolismo

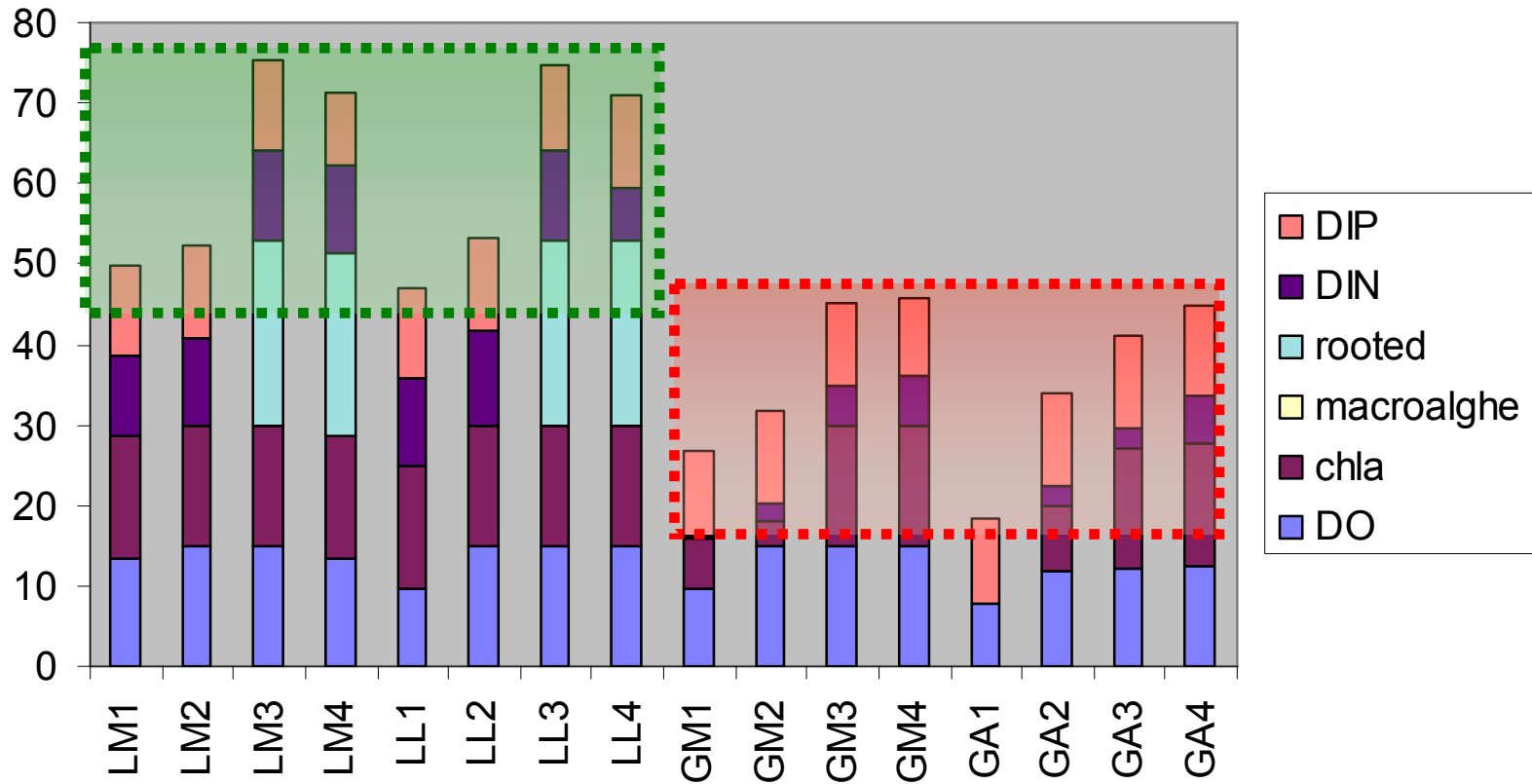
# Indicatore semplice derivato dal Water Quality Index – Lagoon Water Quality Index (LWQI)

Saturazione O<sub>2</sub>, DIN, DIP, Ch-a fanerogame  
macroalghe

Utilizzo di funzioni di utilità e di pesi attribuiti con parere esperto

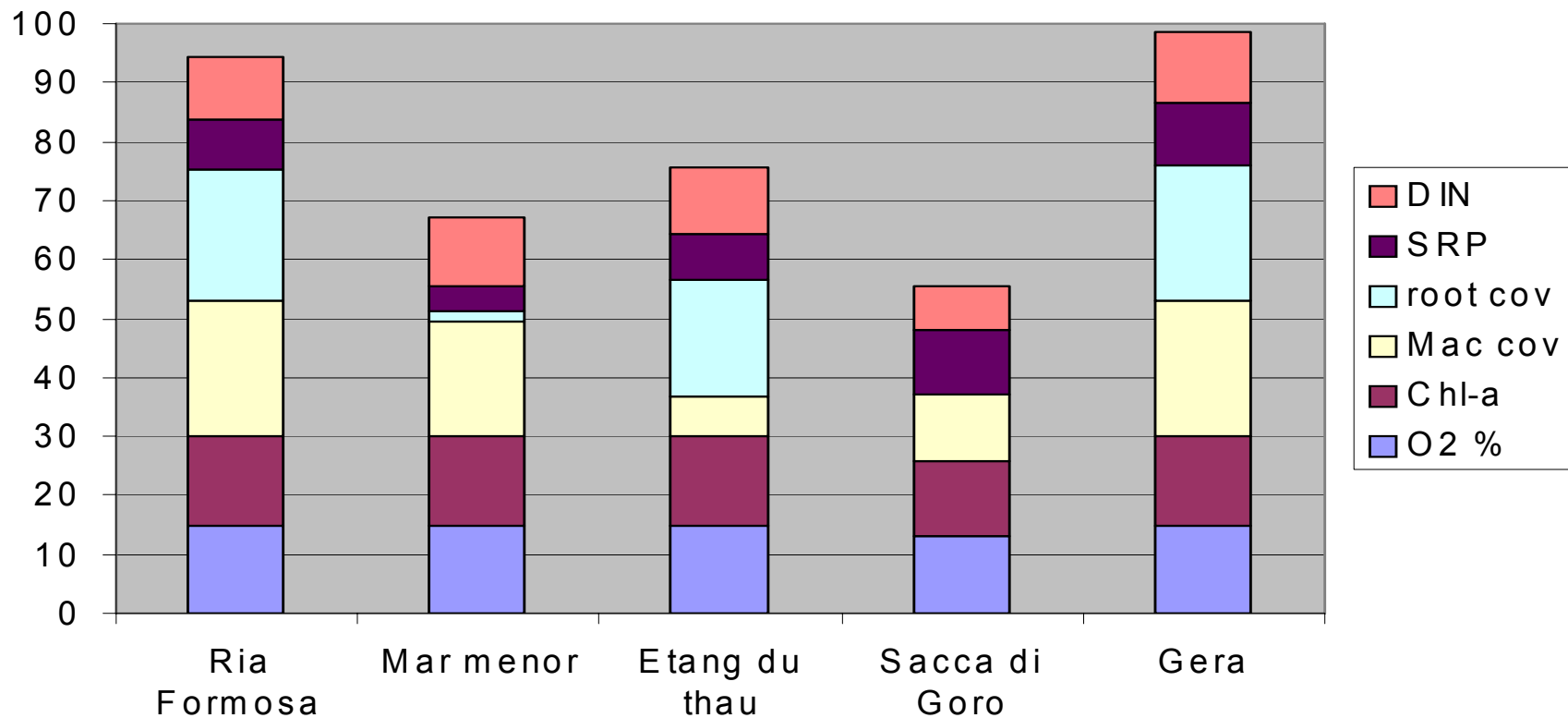


## Lagoon water quality index (Q-pesati)



L = Lesina ; G = Goro;  
M = maggio, L = luglio, A = agosto  
1, 2, 3, 4 = stazione

# Applicazione del L-WQI nelle 5 lagune del progetto DITTY



## descrittori biogeochimici legati a produzione primaria e attività microbica

$O_2$  produzione/respirazione → disponibilità  $O_2$  → vie ossidative

$O_2$  deficit → solfuri → reazioni solfuro-ferro → FeS, FeS<sub>2</sub>

Interazioni ferro-solfuri-fosfati

Ammonificazione/nitrificazione/denitrificazione → perdita di N

$R-NH_2 \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_3^- \rightarrow N_2$

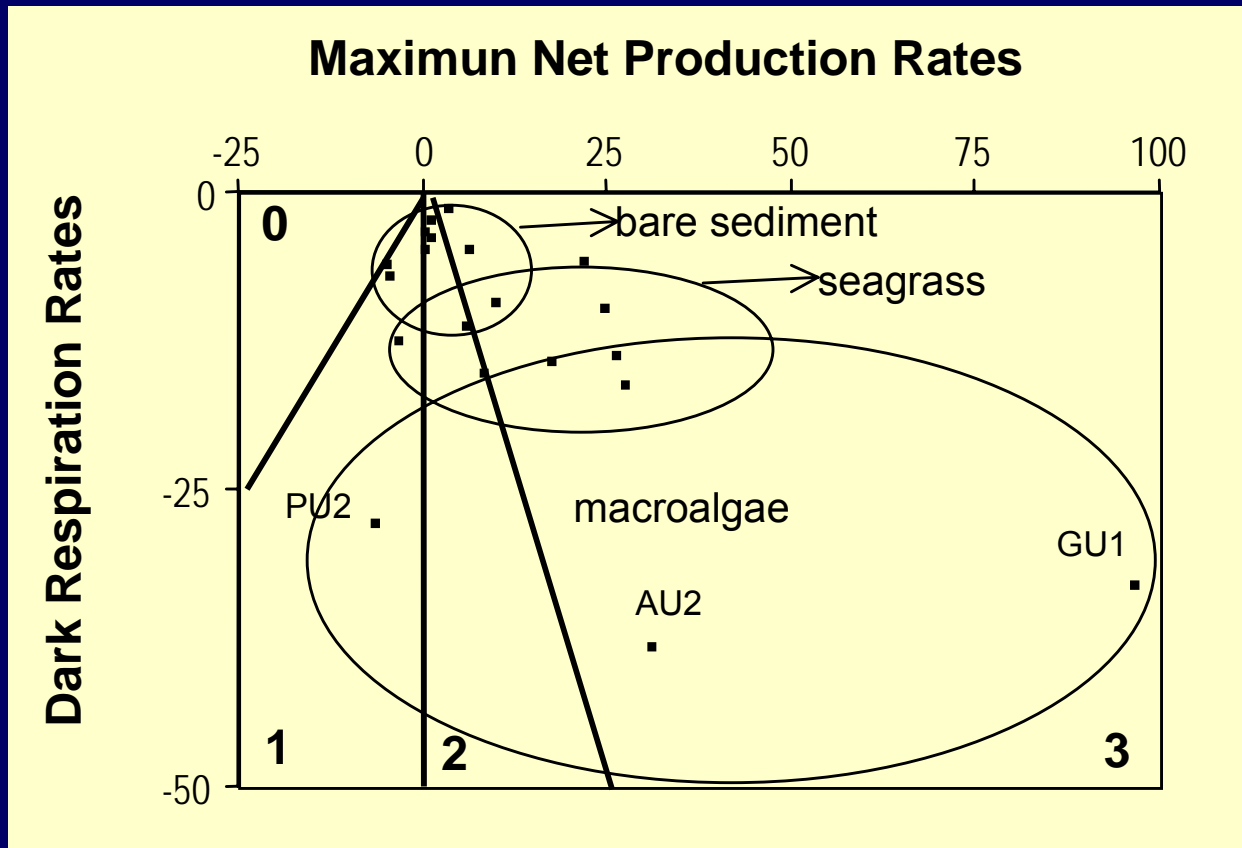
## Reazioni e processi contribuiscono al metabolismo dell'ecosistema

Net Ecosystem Metabolism (NEM)

Buffering functions (BUF)

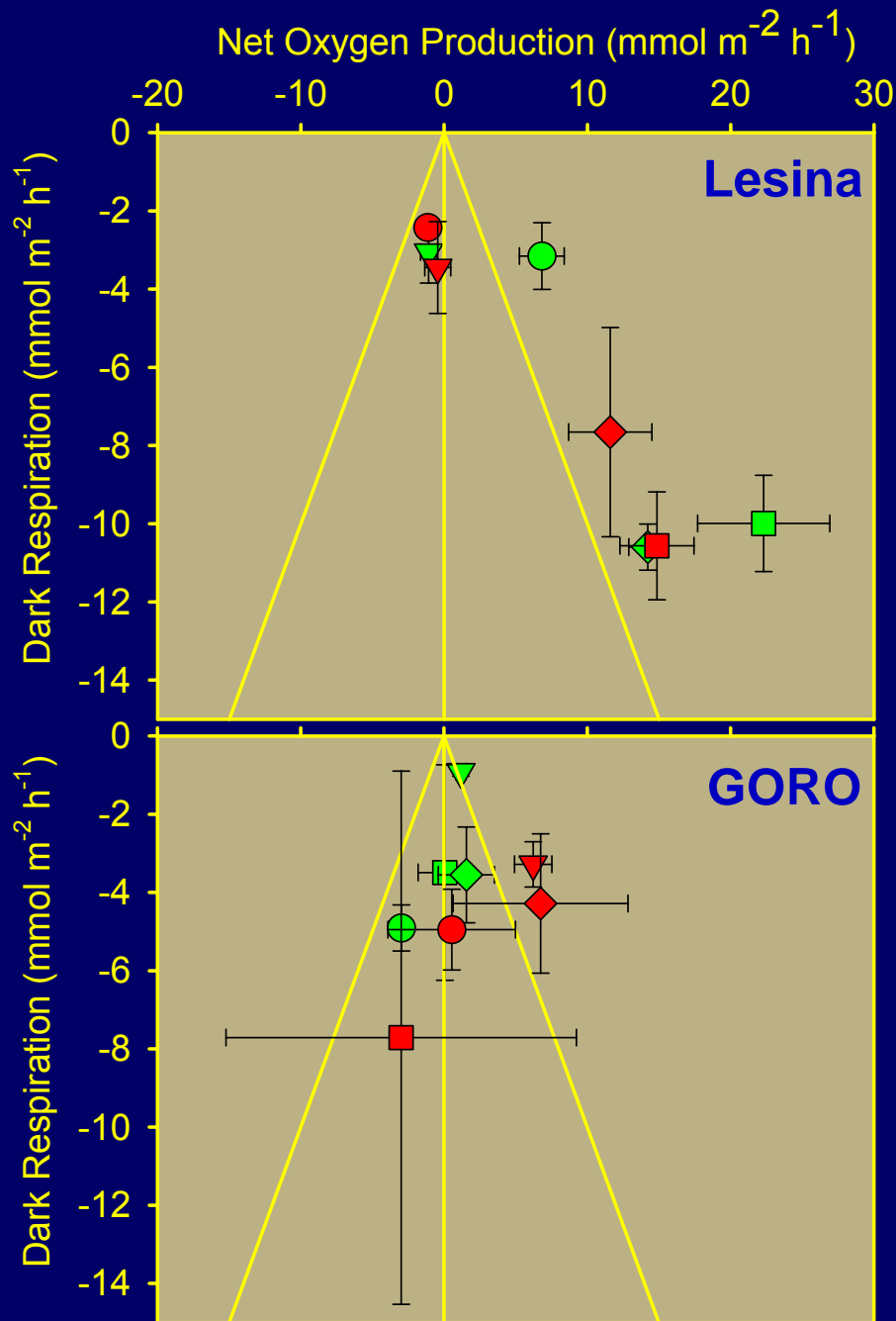
**Classification of ecosystem metabolism .based on oxygen production (NP = net production at light saturation) and consumption (DR = dark respiration). BP = biomass peak (L: low, H:High), BD = biodegradability (R: refractory, La: labile) C= NP and DR peaks are coincident, S= DR peak follows the NP peak (Rizzo et al., Estuaries, 1996; Viaroli & Christian, Ecological Indicators, 2003)**

CATEGORIES	CONDITION	SYSTEM QUALIFICATIONS		
		Rates	BP/BD	Timing
<b>Dystrophy</b>	<b>DR=NP &lt;0</b>	<b>1-10 gO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup></b>	<b>H/La</b>	<b>S</b>
Total heterotrophy	DR=NP ≤0	< 1 gO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	L/La	C
Net heterotrophy	DR < NP ≤0	< 1 gO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	L/R	C
Net autotrophy	0 < NP ≤  DR	< 1 gO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	L /R	C
Total autotrophy	0 <  DR  < NP	< 1 gO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	L/R	C
<b>Hyperautotrophy</b>	<b>0 &lt;  DR  &lt;&lt; NP</b>	<b>1-10 gO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup></b>	<b>H/La</b>	<b>S</b>



**Units:  $\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$**

**The extent of oxygen production and consumption reveals a symptom of disturbance within the ecosystem. A large excess of oxygen production is associated to the retention of a large amount of organic matter**

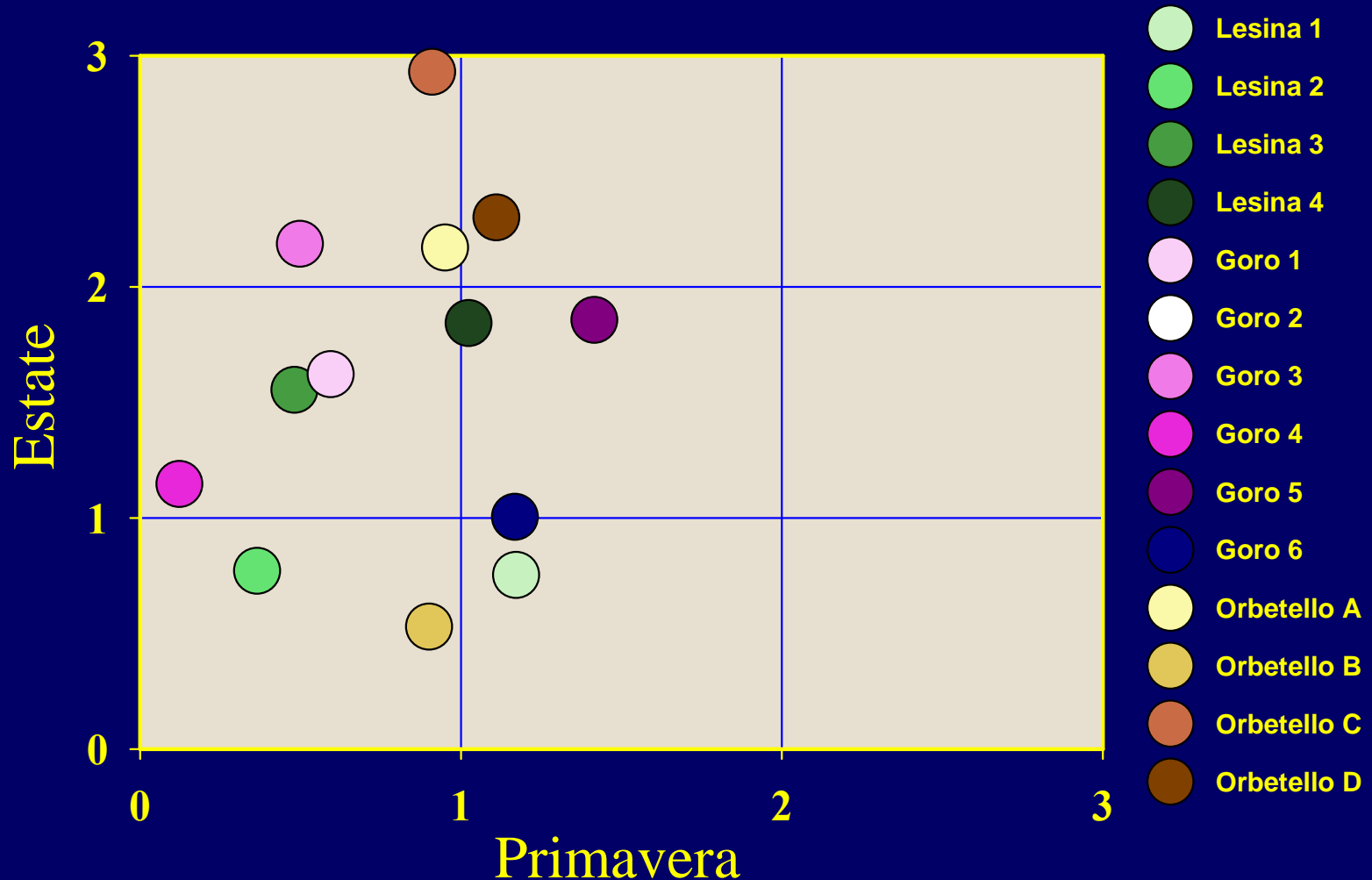


- 1 Primavera
- ▼ 2 Primavera
- 3 Primavera
- ◆ 4 Primavera
- 1 Estate
- ▼ 2 Estate
- 3 Estate
- ◆ 4 Estate

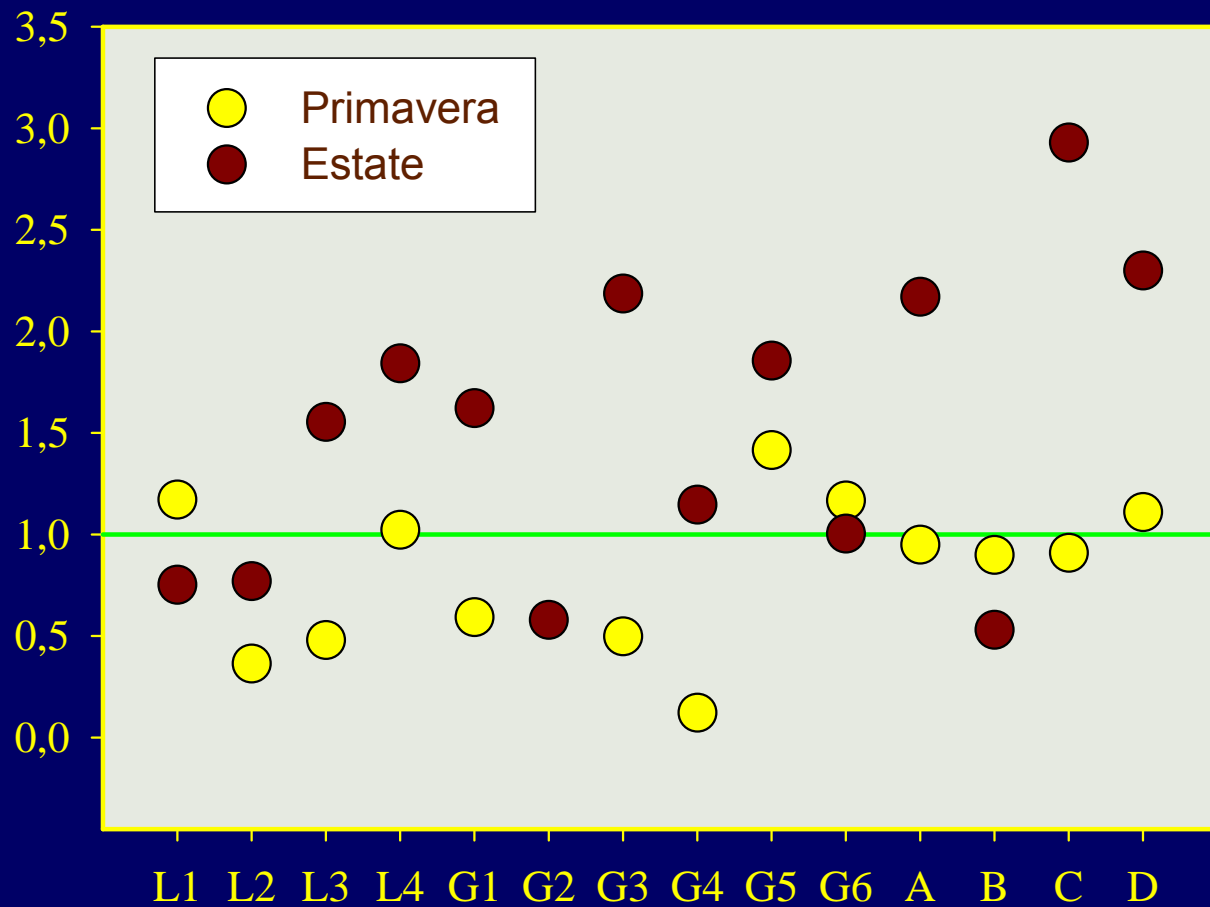
Le stazioni di Lesina sono tendenzialmente autotrofiche (importanza fanerogame?)

Le stazioni di Goro sono tendenzialmente eterotrofiche (importanza vongole?)

Il quoziente respiratorio (flusso  $\text{CO}_2$ /flusso  $\text{O}_2$ ) come indicatore della tendenza evolutiva del metabolismo dell'ecosistema a scala stagionale



# Quoziente respiratorio



**La transizione ossico → anossica altera gli equilibri sedimentari e favorisce il rilascio di solfuri → il rilascio dei solfuri è controllato dalla disponibilità di ferro reattivo labile**



**La predisposizione del sedimento a trattenere/rilasciare solfuri può essere determinata mediante titolazione di un'aliquota di sedimento con del solfuro libero**

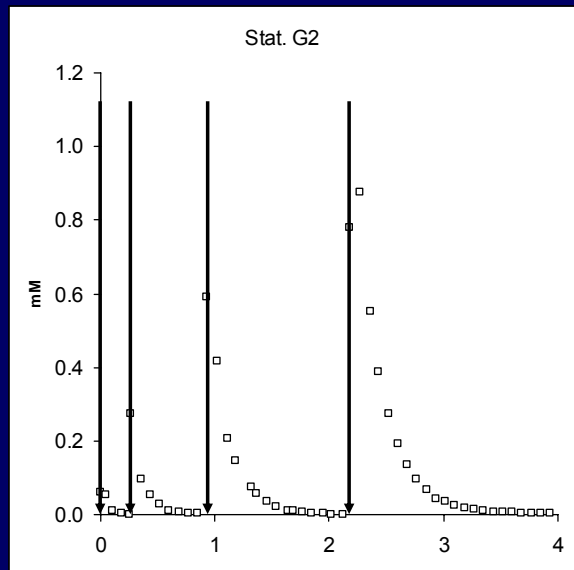
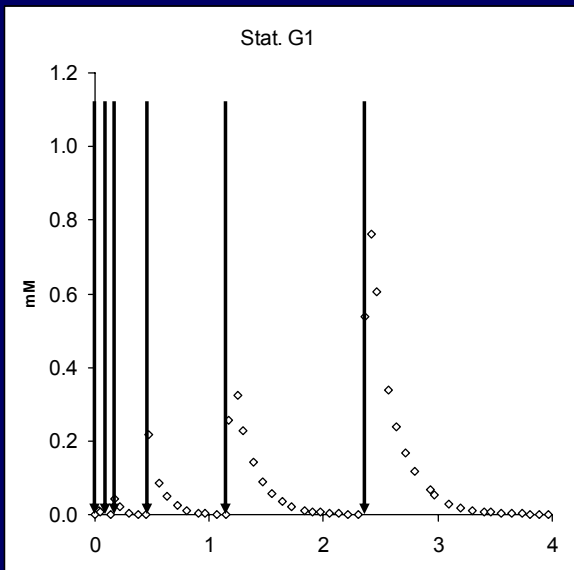
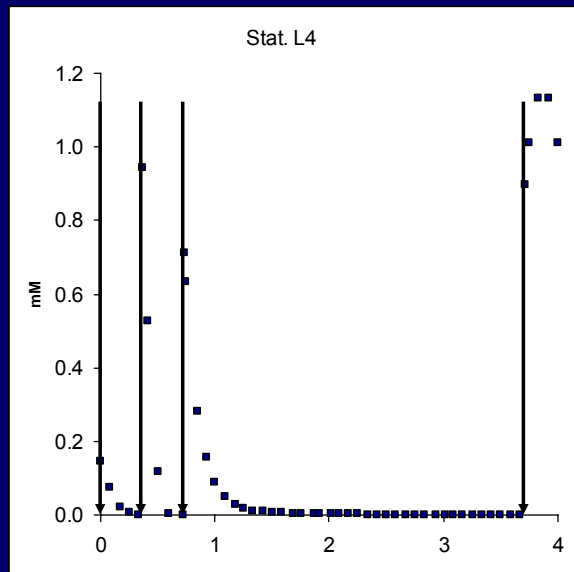
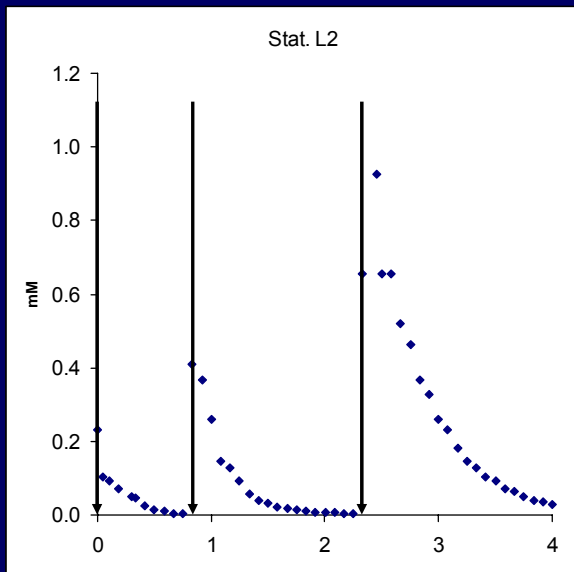
100ml di slurry di sedimento intatto

Titolazione con solfuro disciolto (100 mM) (da 4 a 6 aggiunte sequenziali di 1 mL ciascuna)

Misura dei solfuri con elettrodo ione specifico ad ago o micro

Misura del pH in parallelo

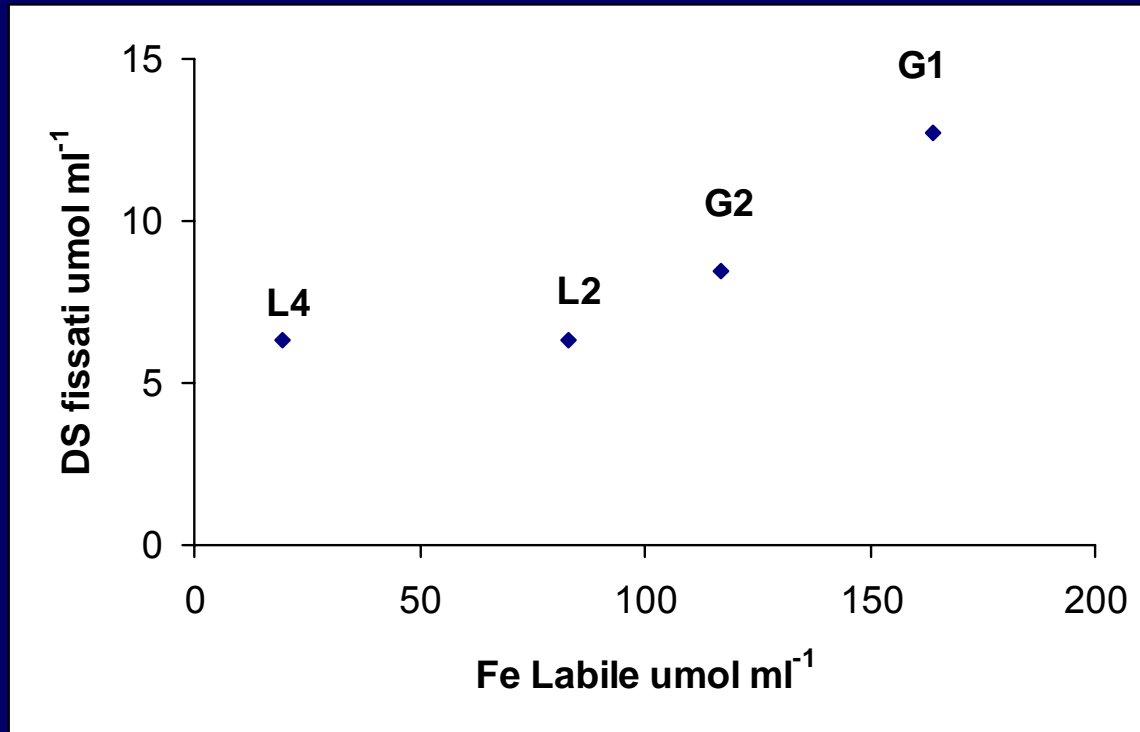
Concentrazione solfuri liberi (mM)

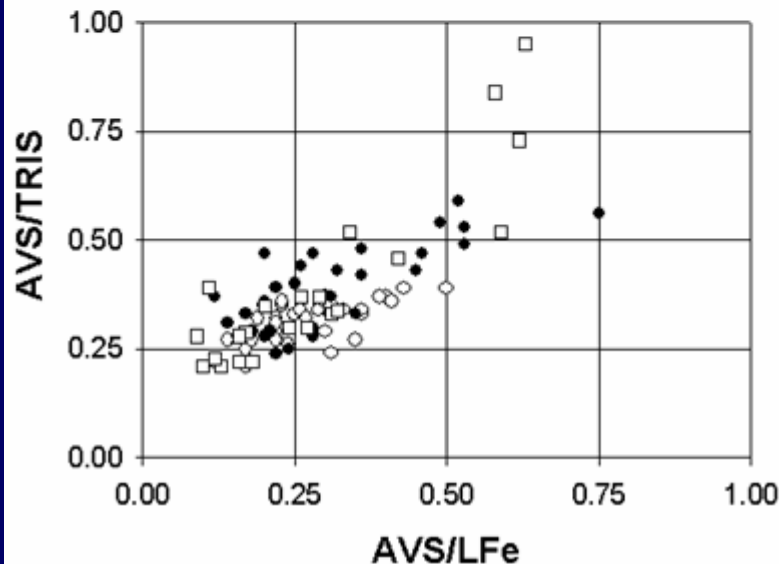
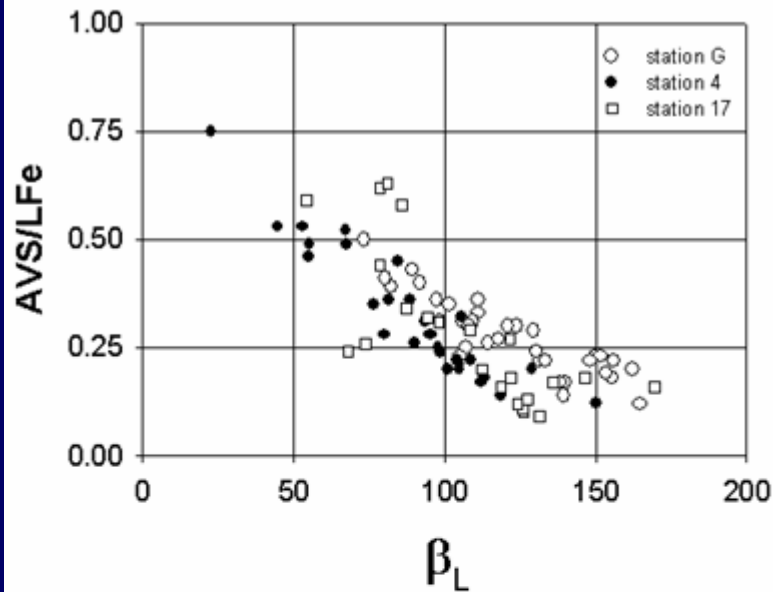


Tempo (h)

Curve di abbattimento dei solfuri reattivi in 100 mL di slurry di sedimento con diverso contenuto di ferro reattivo

# Esperimento sulla capacità del sedimento di precipitare i solfuri disciolti (DS)





Definizioni della buffer capacity dei solfuri nel sedimento della Sacca di Goro (Azzoni et al., 2005, *Hydrobiologia*, 550)

**AVS** = solfuro acido volatile (FeS, solfuro libero)

**TRIS** = AVS+CRS (con CRS = solfuro cromo riducibile, FeS<sub>2</sub> e zolfo elementare)

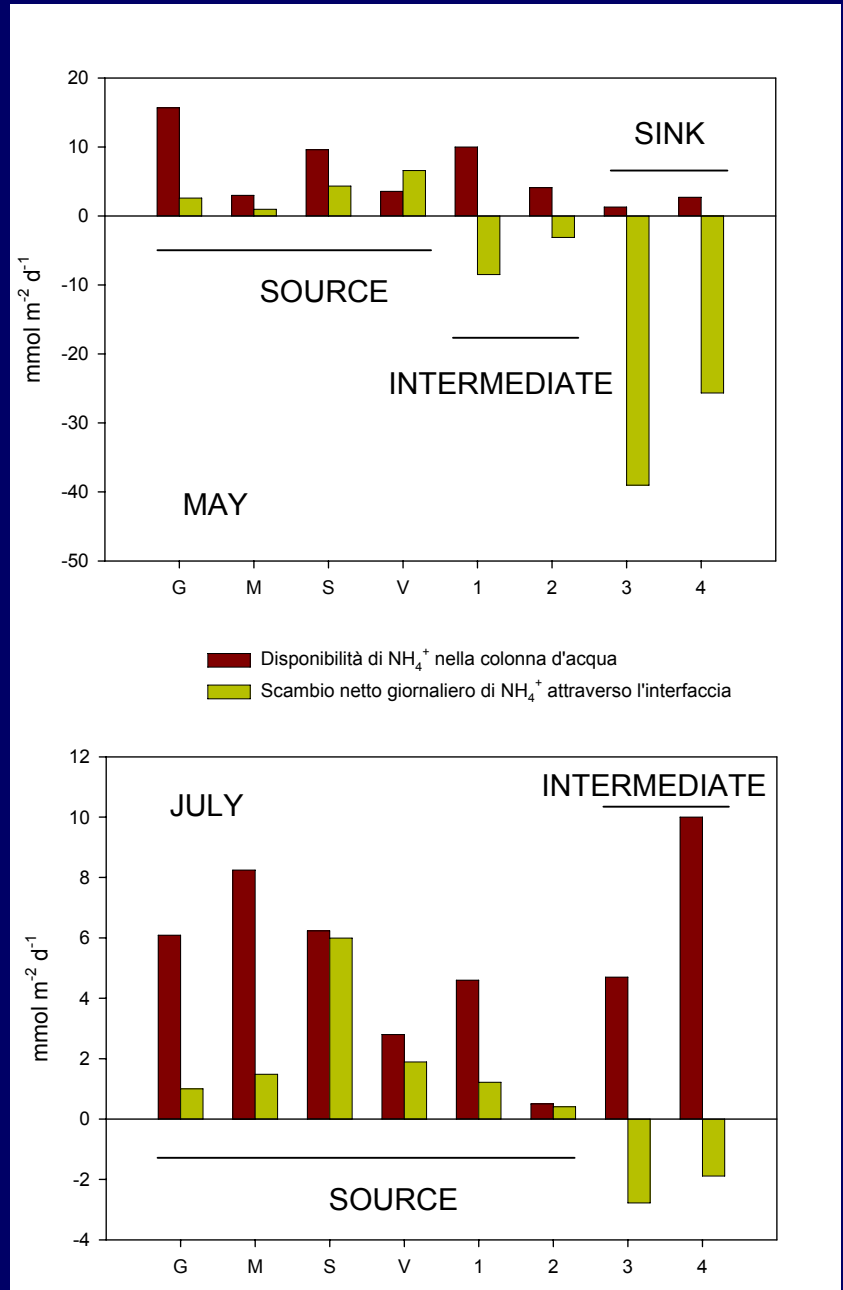
**LFe** = ferro reattivo labile (estraibile con HCl 0.5 M)

$\beta_L = [LFe(II)-AVS] + LFe(III)$   
buffer capacity biogeochimica modificato da Heijs et al. (2000)

# Risposta del sistema ai carichi azotati

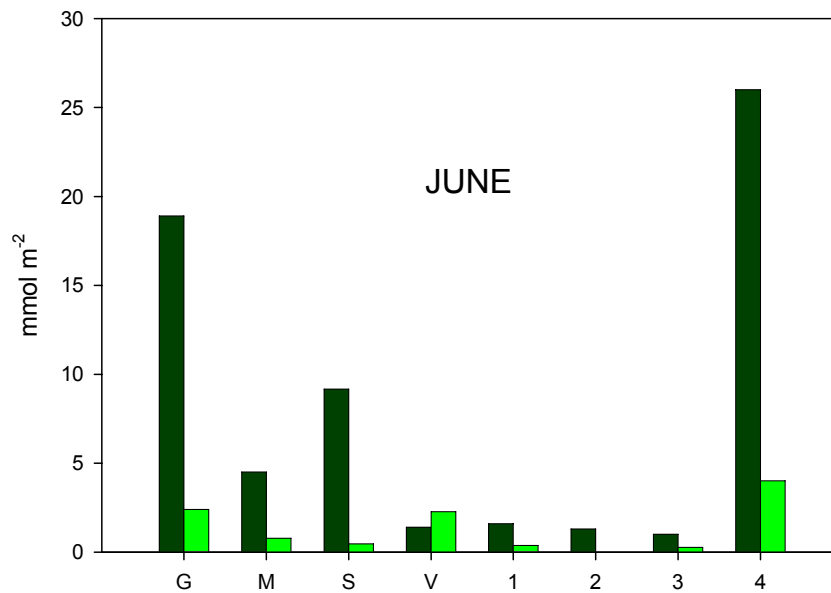
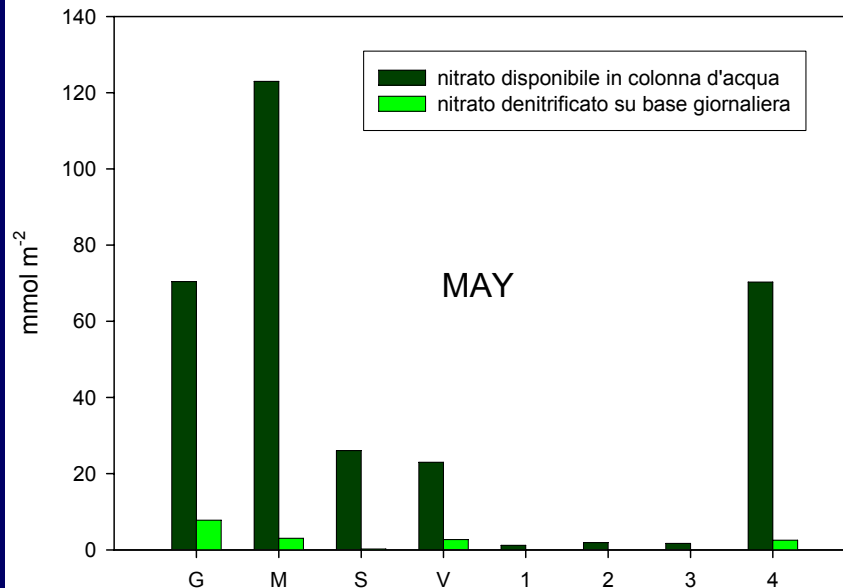
## Controllo dell'azoto ammoniacale

- MPB poco efficace
- Macrofite con una maggiore efficacia

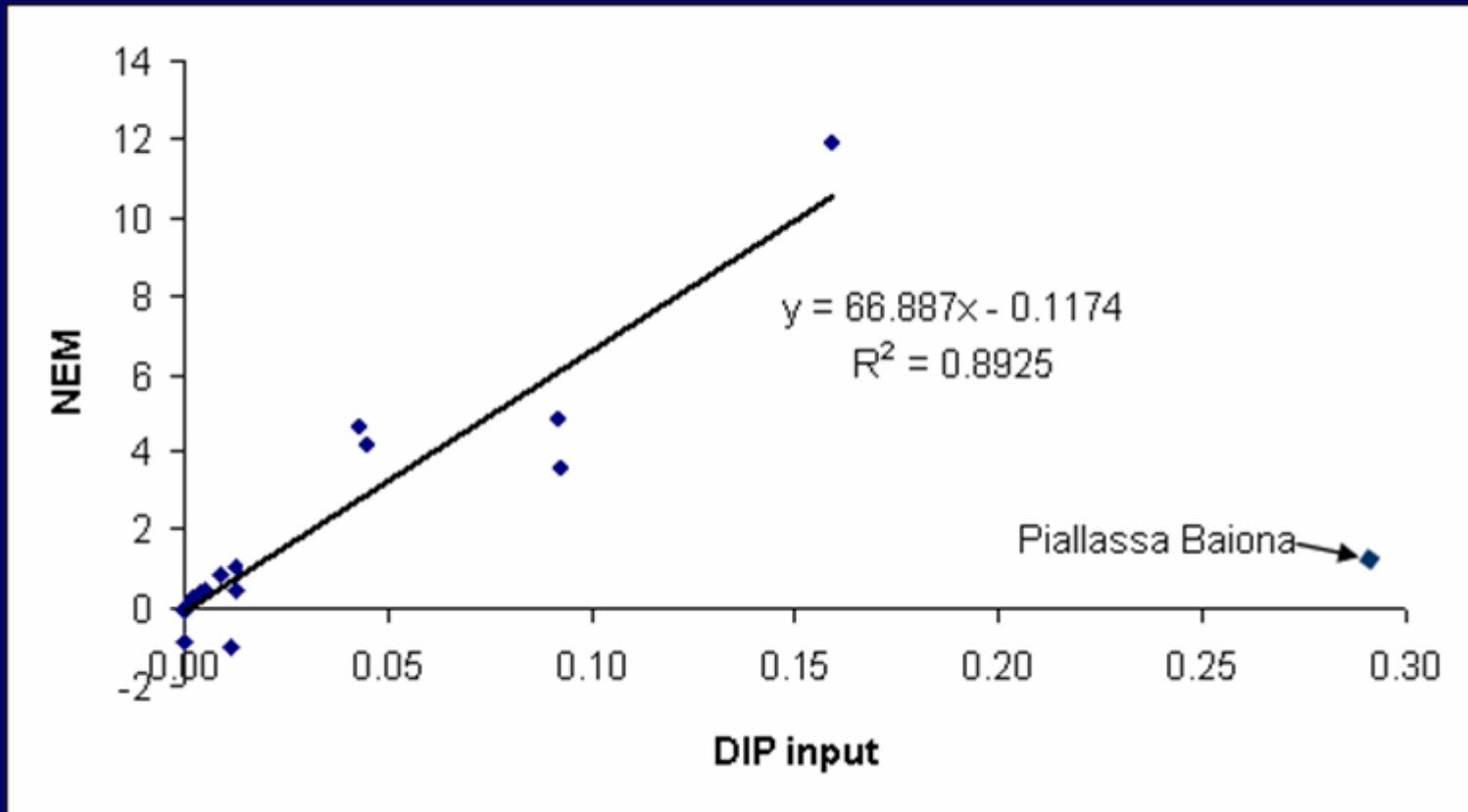


## Denitrificazione e processi microbici poco efficaci

Al crescere del carico organico aumenta il tasso di DNRA (Nizzoli et al., 2006, MEPS in press)



# Metodi semplici per un rapid assessment del metabolismo netto dell'ecosistema (NEM) – LOICZ BM



Relazione tra metabolismo netto dell'ecosistema (NEM, mol m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>) e carico esterno del DIP (mol m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>) in 17 lagune italiane (Giordani et al. LOICZ R&S 28)

Potential Vulnerability Level (PVL)	Units	Low	Moderate	High	Very High
Score		3	2	1	0
Water Residence Time	Days	<1	1-7	7-15	>15
Net Ecosystem Metabolism	mol m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	>5	5-0	0-(-5)	< -5
Granulometry	-	Sand	Sand-silt	Silt-clay	clay
Sedimentary Organic Matter	% dw	< 1	1-5	5-10	>10
Sedimentary C:N ratio	-	>20	10-20	5-10	<5
Sedimentary Reactive Iron	μmol cm <sup>-3</sup>	>200	100-200	50-100	<50
Sedimentary AVS	μmol cm <sup>-3</sup>	<50	50-100	100-150	>150
Sedimentary carbonates	% dw	>40	20-40	5-20	<5

## **APPROCCIO BIOGEOCHIMICO E APPROFONDIMENTI**

- Metabolismo netto del sistema
- Quoziente respiratorio
- Rapporto tra consumo batterico e consumo chimico di O<sub>2</sub>
- Importanza relativa dei processi respiratori
- Rapporto tra denitrificazione e nitrato ammonificazione
- Presenza e Accoppiamento dei processi di nitrificazione
- Velocità di comparsa dei solfuri nella colonna d'acqua
- Pool sedimentari di Fe, S, Ca

### **Cosa può essere integrato in questo approccio?**

- Qualità del detrito organico
- Analisi della comunità meio e macrobentonica

# Qual è il numero minimo di repliche che garantisce una descrizione adeguata dell'eterogeneità spaziale? (Bartoli et al., 2003. Aquatic ecology 37)

$$d = \left| \frac{BEA - An}{BEA} \right|$$

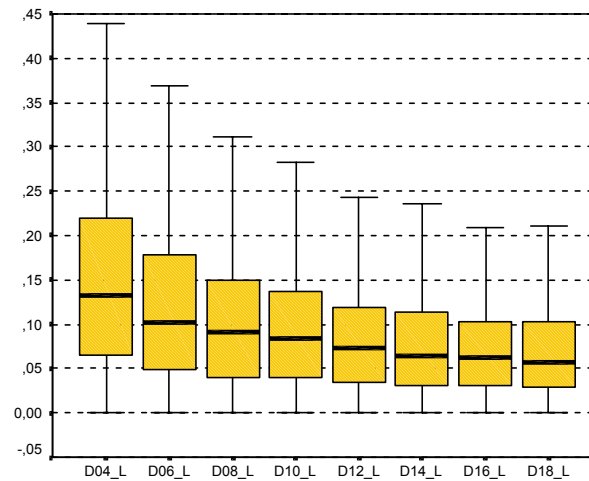
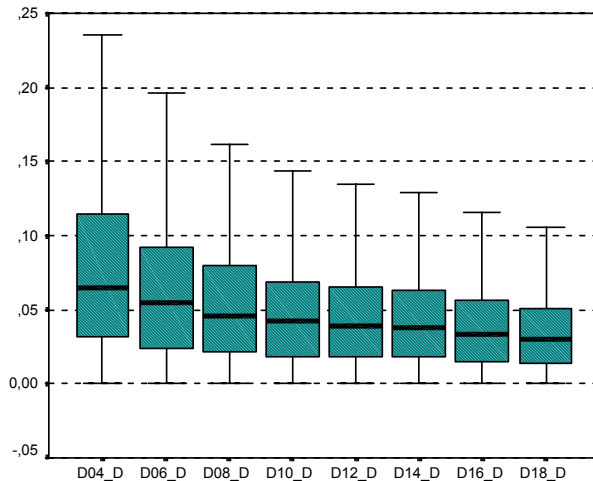
Where:

*BEA = Best Estimate of the true Average (assumed as the average of 18 replicates)*

*An = Average of n replicates with  $4 \leq n \leq 18$*

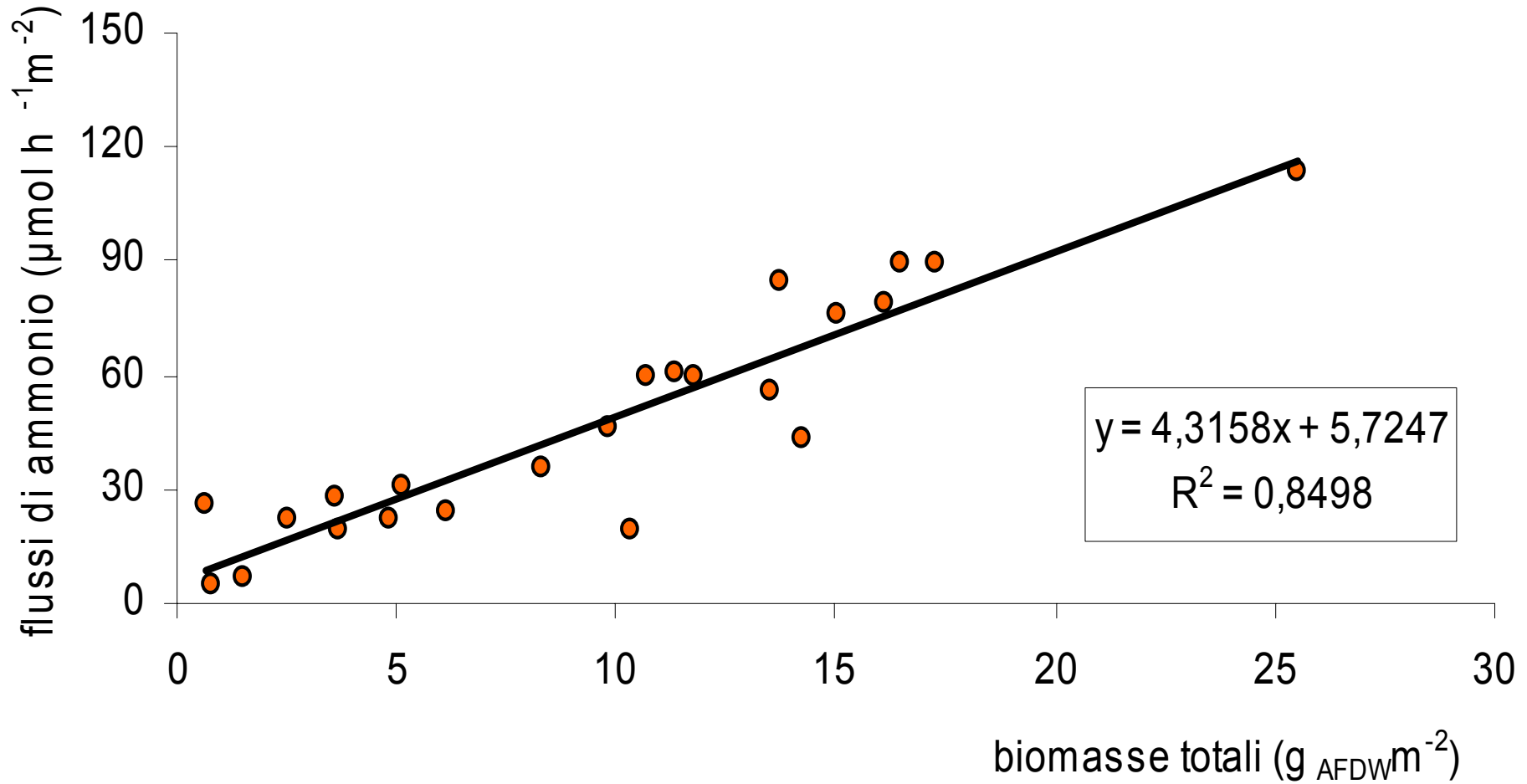
$d < 0,05$  if  $n > 6$

$0,05 < d < 0,1$  if  $n > 6$



Deviation from BEA (Best Estimation from the true Average) in the dark (left) and light oxygen incubations

# Relazione flussi-biomasse:



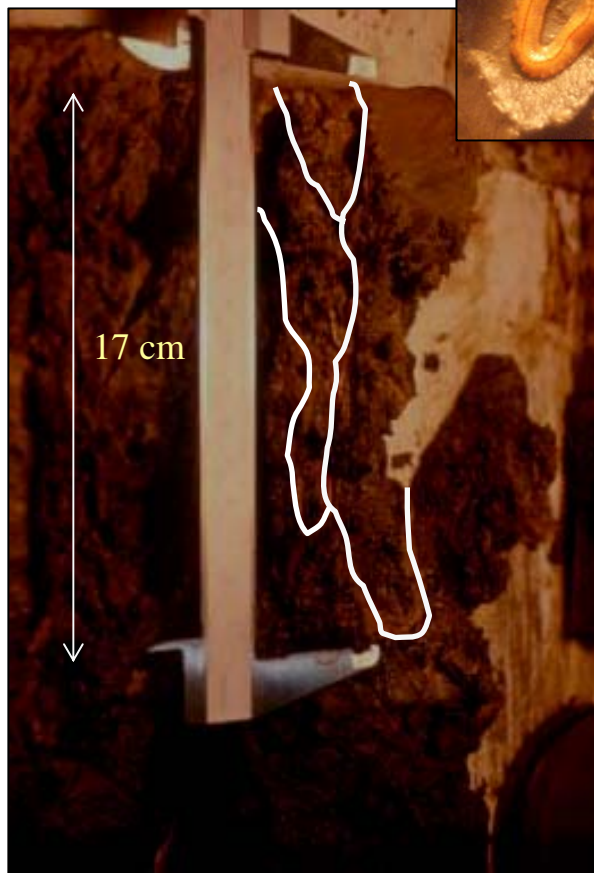
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23  
carote

**Stazione Faro, luglio 2000**

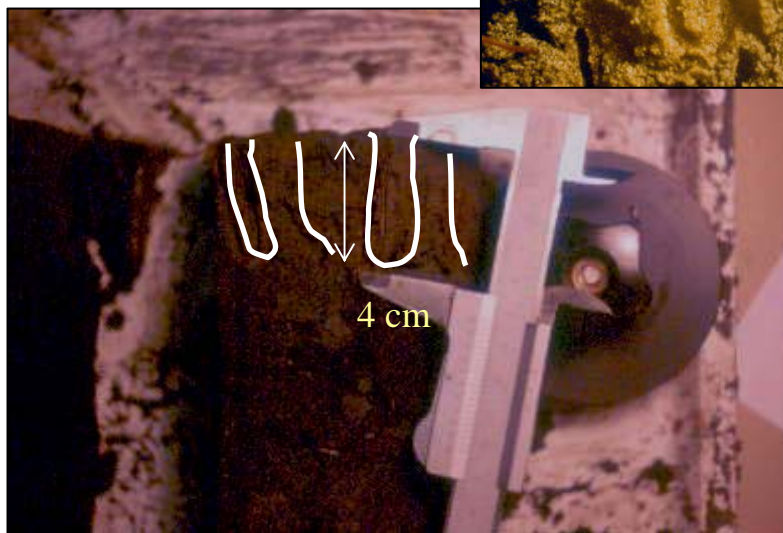
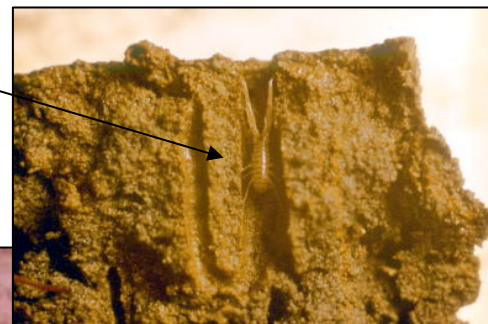
*Neanthes* spp.



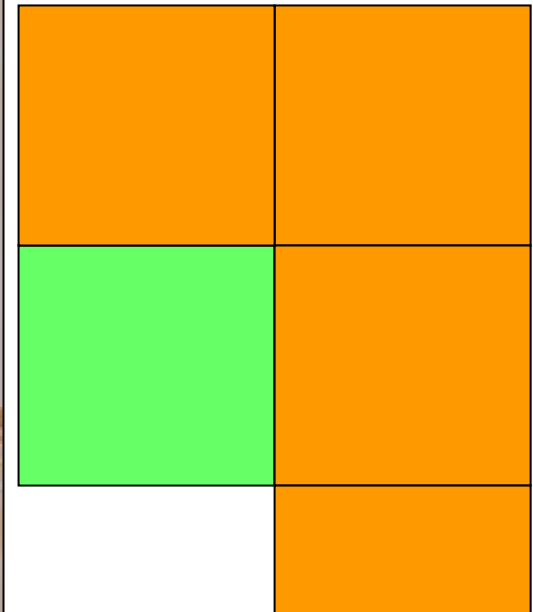
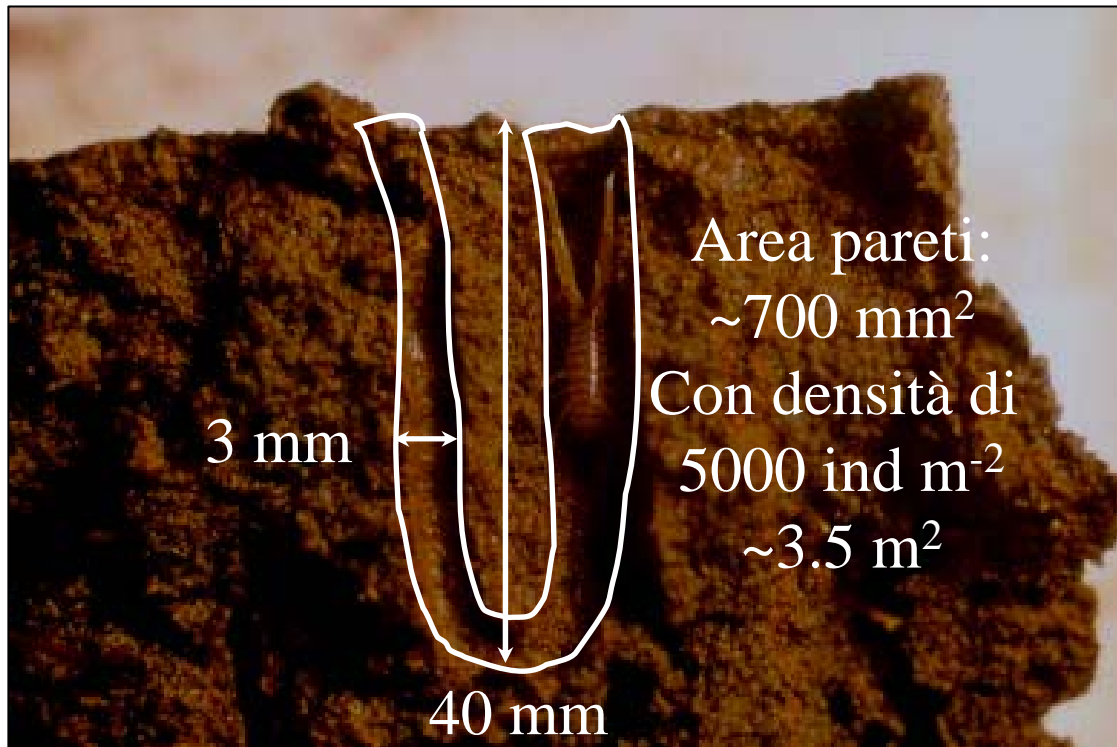
## Profondità delle tane



*Corophium* spp.



# Estensione dell'interfaccia acqua-sedimento in relazione alla densità di *Corophium*



# PROBLEMI APERTI

1) quanti indici per una laguna? Il problema dell'eterogeneità

Esempi di eterogeneità su piccola scala:

- La distribuzione delle microalghe bentoniche
- La distribuzione della macrofauna bentonica

2) La stabilità delle interfacce, un buon indicatore?

3) Le transizioni ossico-anossiche e le implicazioni per i processi all'interfaccia