



Con il patrocinio di:



DIPARTIMENTO  
DI SCIENZE DELLA TERRA  
**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA



# SCUOLA **ESTIVA** DI GEOMORFOLOGIA, ECOLOGIA E **BIOLOGIA** IN AMBIENTE MARINO E INSULARE **TERZA EDIZIONE**

**PONZA** 20-23.09.2022

Sala Comunale

# I foraminiferi bentonici come indicatori ambientali

d.ssa Luisa Bergamin (ISPRA)

## GLI INDICATORI

Un indicatore è una misura sintetica, in genere espressa in forma quantitativa, in grado di riassumere l'andamento del fenomeno cui è riferito. È quindi una semplificazione di fenomeni complessi.



L'indicatore non è il fenomeno, ma rappresenta e riassume in un valore numerico, che può rientrare in una categoria, il comportamento del fenomeno che dobbiamo valutare e/o monitorare.

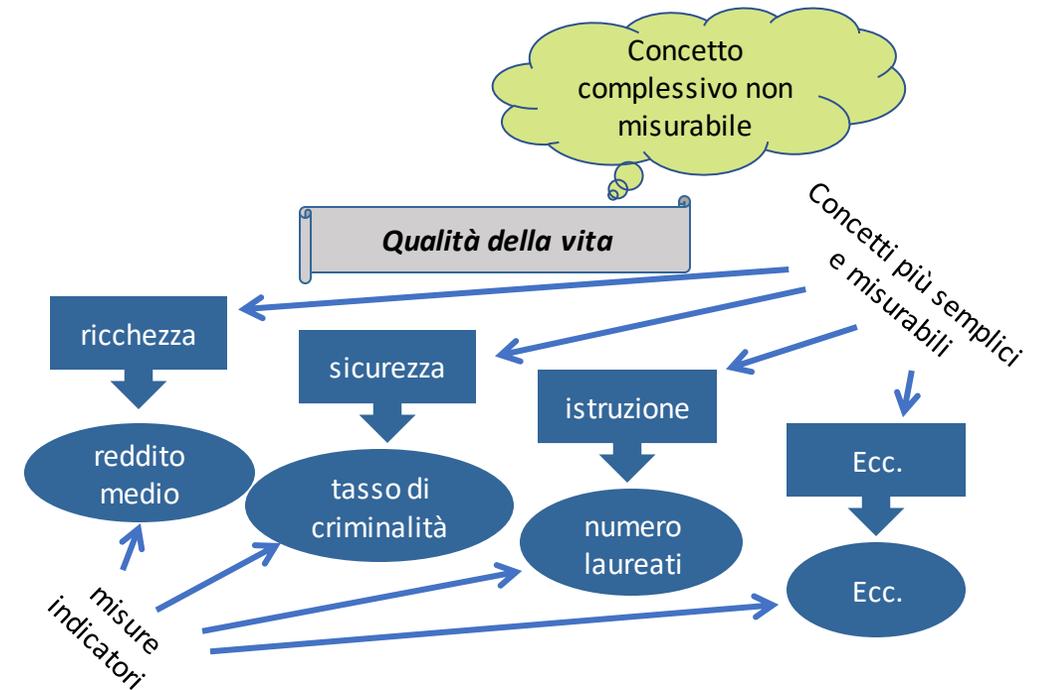
# GLI INDICATORI AMBIENTALI



un indicatore ambientale è una componente o una misura di fenomeni rilevanti dal punto di vista ambientale (pressioni, stati e risposte). Viene utilizzato per descrivere o valutare le condizioni ambientali, per valutarne i cambiamenti o per definire obiettivi da raggiungere.

## L'indicatore

- standardizza l'informazione
- permette il confronto tra territori diversi (ad esempio ai diversi livelli regionale, nazionale, europeo)
- consente l'analisi dell'andamento e delle tendenze nel corso del tempo
- semplifica il processo di comunicazione attraverso il quale fornire l'informazione



# GLI INDICATORI ECOLOGICI

Un indicatore ecologico è un “sistema biologico” in grado di indicare, attraverso relazioni di causa-effetto, un’alterazione della situazione ambientale riconducibile a una probabile attività antropica, soprattutto di tipo negativo. Può mostrare variazioni evidenti nella fisiologia, morfologia o distribuzione come conseguenza delle variazioni ambientali.

Gli indicatori ecologici comunemente utilizzati sono più o meno specifici per diverse tipologie di stress e, in funzione della scala d’osservazione, possono essere collocati su più livelli gerarchici.

L’indicatore può essere

- una porzione di organismo, come cellule, tessuti, organi;
- una specie particolarmente sensibile (specie indicatrice);
- un gruppo di specie con comportamento analogo (gruppo ecologico);
- una intera comunità che modifica la sua composizione e/o struttura.



## A COSA SERVONO

Gli indicatori ecologici, come organismi singoli o come sistema biologico, servono a valutare una modificazione (generalmente degenerativa) della qualità dell'ambiente e a fornire informazioni quantitative sullo stato dell'ecosistema. Se correttamente utilizzati rivelano condizioni e tendenze utili per pianificare le politiche ambientali.

La *contaminazione* misurata attraverso variabili chimiche non è "inquinamento"  
*Inquinamento* è una risposta misurabile biologica/ecologica alla contaminazione  
Il *disturbo ambientale* misurato dalle variabili fisiche non è "impatto ambientale"  
*Impatto ambientale* è la risposta biologica/ecologica al disturbo

È quindi necessario utilizzare *indicatori biologici* per misurare *inquinamento* e *impatto ambientale*

Cambiamenti nelle dinamiche delle popolazioni, cambiamenti comportamentali o risposte patologiche sono indicatori dello stato ambientale

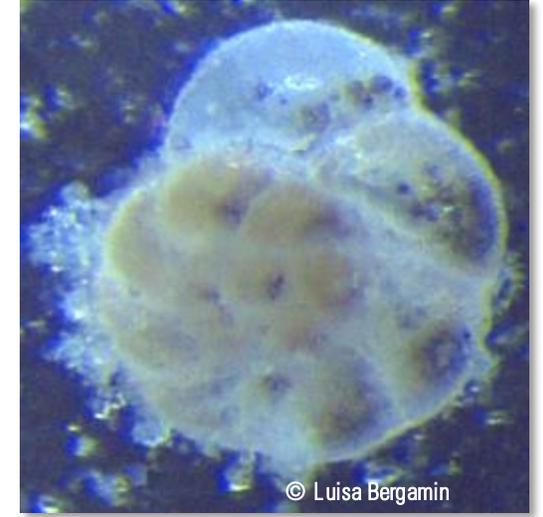


I foraminiferi bentonici sono potenziali indicatori?

# I FORAMINIFERI BENTONICI

I FORAMINIFERI BENTONICI sono

- unicellulari, costituiti da una sola cellula che svolge tutte le funzioni vitali
- eucarioti, la loro cellula è provvista di nucleo
- eterotrofi, assumono sostanze nutritive dai tessuti animali o vegetali di cui si nutrono
- dotati di pseudopodi, filamenti di citoplasma cellulare che usano per spostarsi e nutrirsi
- La maggior parte di essi è provvista di un guscio mineralizzato.



## Guscio agglutinato



Viene costruito dall'organismo raccogliendo i granuli di sabbia dall'ambiente in cui vive e cementandoli con una sostanza da lui stesso prodotta

## Guscio calcareo imperforato



Viene costruito dall'organismo secernendo un guscio di calcite spesso e privo di pori

## Guscio calcareo perforato



Viene costruito dall'organismo secernendo un guscio di calcite trasparente e dotato di pori

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI

- Sono presenti in tutti gli ambienti marini e negli ambienti di transizione e vivono sia su substrati duri che mobili.
- Hanno le dimensioni di qualche decimo di mm e quindi per studiarli basta prelevare piccoli campioni.
- Sono generalmente molto abbondanti nel sedimento e quindi piccoli campioni contengono normalmente alcune migliaia di individui.
- Nello stesso campione possono essere presenti molte specie che reagiscono in modo diverso ai cambiamenti ambientali.
- Hanno elevata sensibilità ai cambiamenti ambientali anche a breve termine grazie al loro breve ciclo vitale.
- Hanno elevata resistenza ad elevate concentrazioni di contaminanti consentendo lo studio di siti altamente inquinati.
- Hanno un guscio resistente che si conserva nei sedimenti dopo la morte consentendo lo studio di associazioni di sedimenti antichi, depositi prima dell'impatto antropico, che corrispondono alle condizioni di riferimento.



# COME REAGISCONO ALLO STRESS

Qualsiasi variazione ambientale improvvisa e rilevante, sia di origine naturale che antropica, costituisce fonte di stress per i foraminiferi, che sviluppano diverse tipologie di risposta.



Da tutte queste risposte si possono ricavare parametri numerici, potenzialmente idonei ad essere considerati affidabili indicatori dello stato ambientale. Per essere considerati tali devono soddisfare una serie di requisiti.

# PROPRIETÀ FONDAMENTALI DI UN INDICATORE

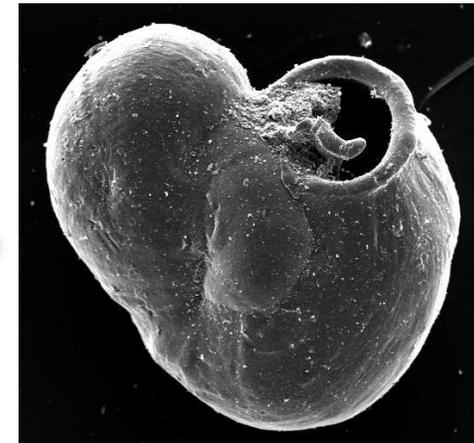
Un indicatore affidabile, basato su un certo tipo di risposta all'impatto antropico, deve soddisfare le seguenti condizioni:

- A. avere una forte ed importante correlazione dal punto di vista ecologico con il parametro di interesse;
- B. avere una correlazione persistente in condizioni diverse;
- C. avere un rapporto causale dimostrato con la fonte dello stress;
- D. avere una relazione diretta e prevedibile per ogni valore della variabile ambientale.

AD ESEMPIO:



Correlazione e causalità



Frequenza delle anomalie morfologiche

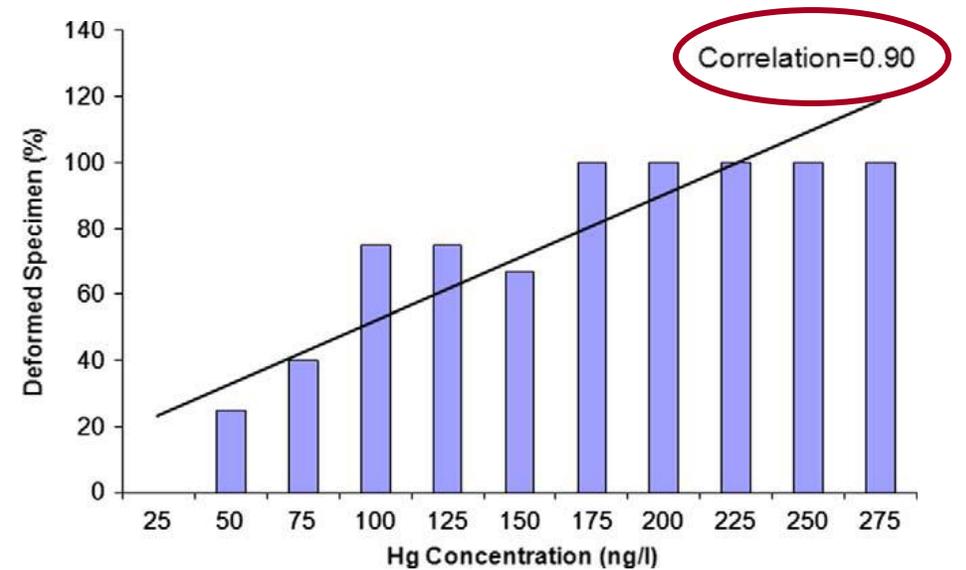
# UNA ROBUSTA CORRELAZIONE

È indispensabile che la variabile proposta come indicatore sia fortemente correlata con il parametro ambientale di interesse.

La correlazione deve essere testata con metodi statistici. Questa correlazione deve essere più che significativa perché una debole correlazione ha un valore predittivo limitato, poiché la correlazione spiega una bassa % della variabilità.

Se una correlazione è debole significa che ci sono altri fattori ambientali, oltre a quello oggetto del monitoraggio, che concorrono a modificare la variabile considerata come *marker*. Questo avviene normalmente in studi effettuati in ambiente naturale, dove più parametri ambientali variano contemporaneamente.

Un elevato grado di correlazione può essere riconosciuto in studi di laboratorio in cui tutti i parametri ambientali che influenzano una risposta, tranne quello d'interesse vengono mantenuti costanti.

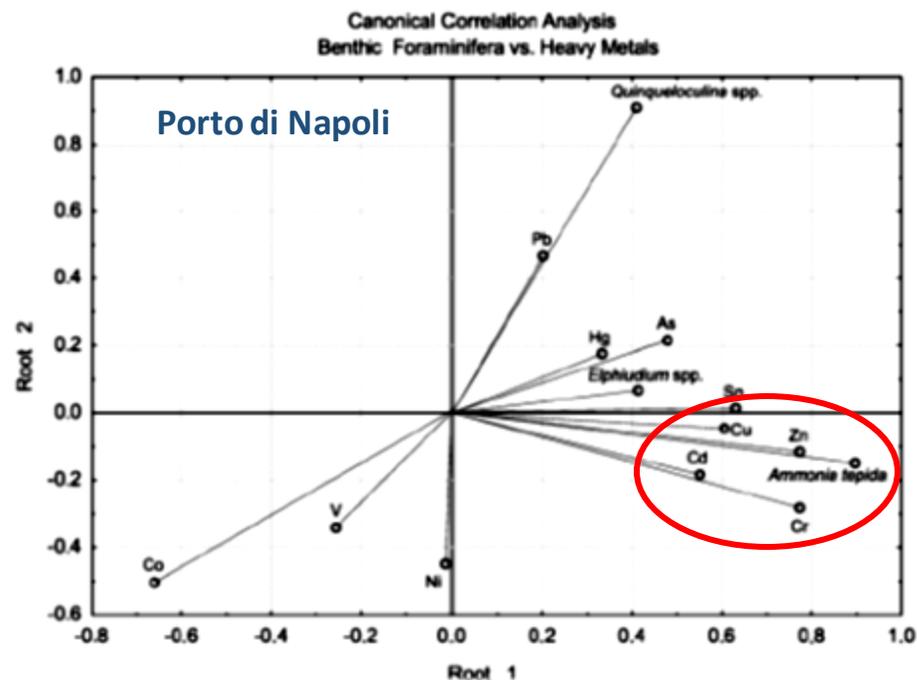


Nigam et al., Mar. Poll. Bull. 2009 59, 362-368

# UNA PERSISTENTE CORRELAZIONE (1/2)

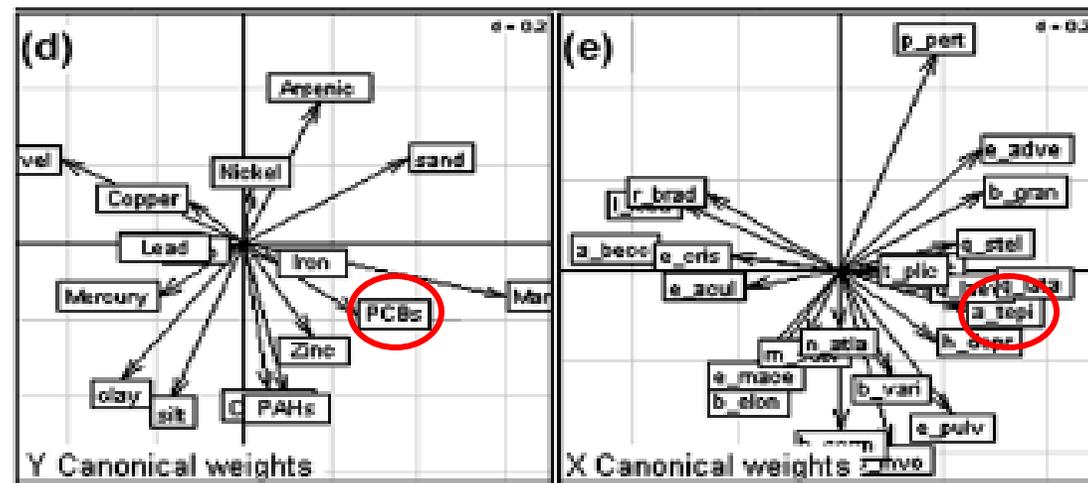
La correlazione deve essere riconoscibile in aree diverse e con diverse condizioni.

*Ammonia tepida* è stata riconosciuta specie *pollution-tolerant* da studi diversi in aree con diverse caratteristiche e con diverse tipologie di contaminazione.

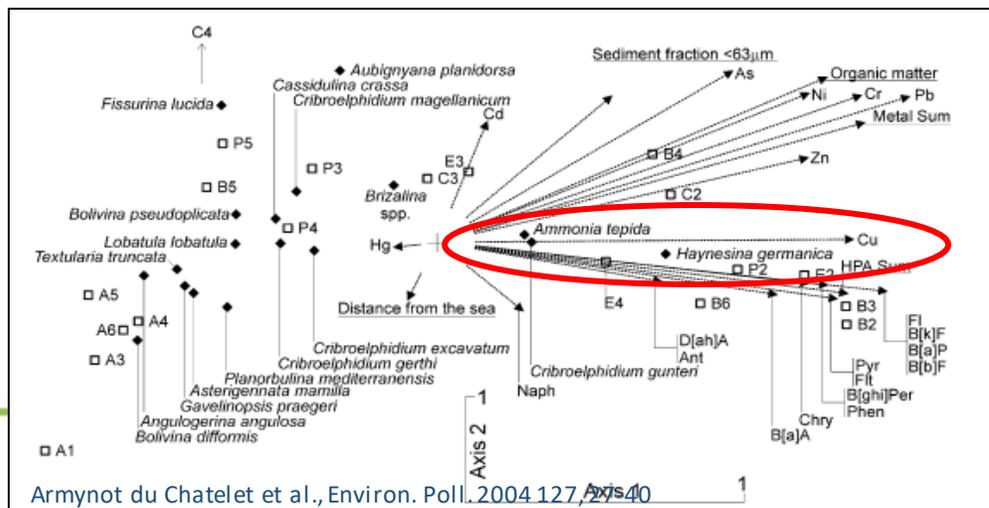


Ferraro et al., J. Environ. Monit. 2009 11, 1226-1235

Zona costiera di Baia (Napoli)



Bergamin et al., Mar. Poll. Bull. 2009 59, 234-244



Porti della costa atlantica (Francia)

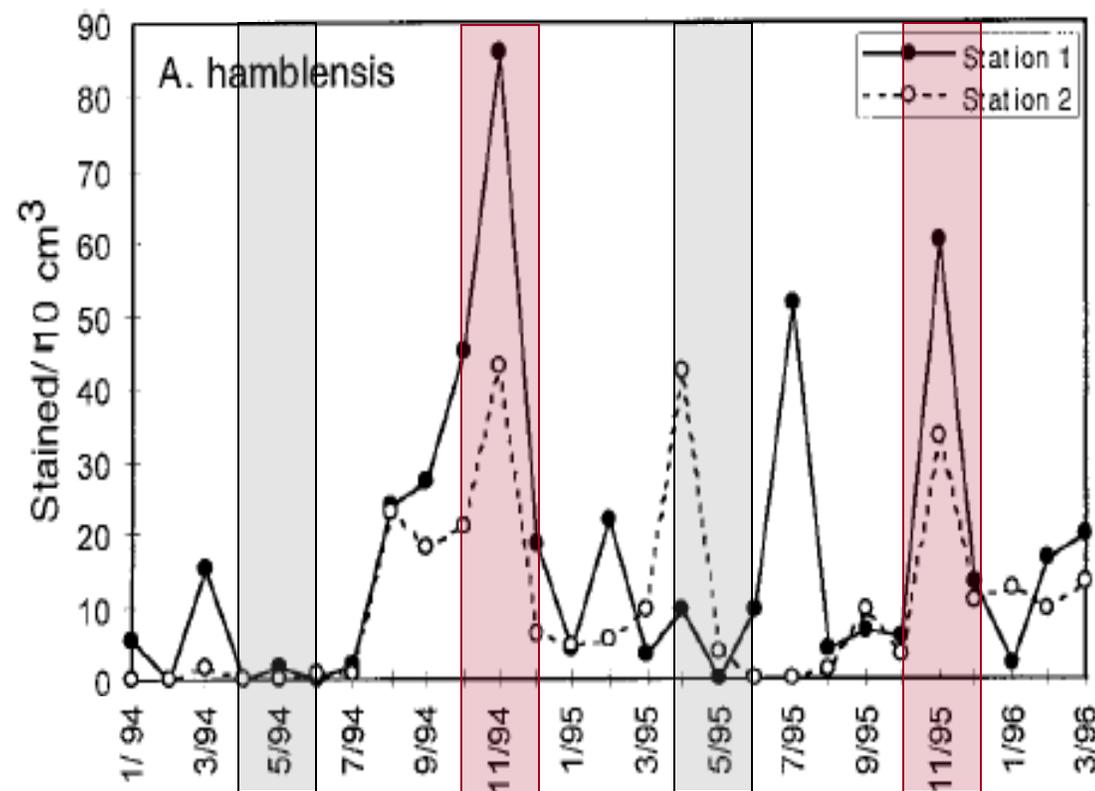
Armynot du Chatelet et al., Environ. Poll. 2004 127, 27-40

## UNA PERSISTENTE CORRELAZIONE (2/2)

Nella stessa area la correlazione deve essere persistente nel tempo e nello spazio

Per riconoscere la persistenza il campionamento deve tener conto della scala a cui avvengono le variazioni naturali. In caso contrario variazioni dovute all'azione antropica possono venire perse o mascherate da quelle naturali o, viceversa, variazioni naturali possono essere scambiate per antropiche.

Ad esempio, la naturale scomparsa di una specie *pollution-tolerant* dovuta alla sua ciclicità stagionale in un ambiente costantemente contaminato potrebbe mascherare la correlazione esistente tra concentrazioni e abbondanza della specie.

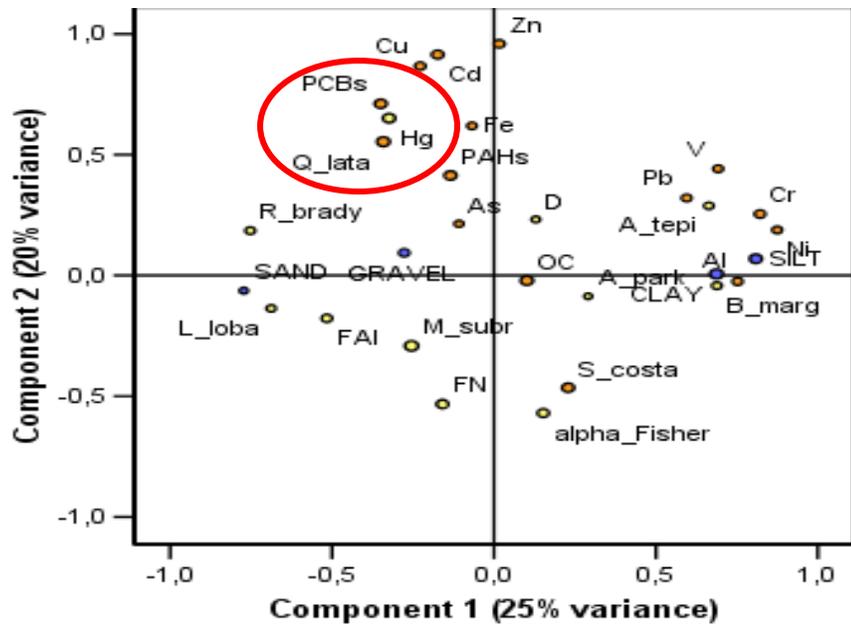


Alve e Murray, J. Foraminiferal Res., 2001, 31(1), 12-24

# UN RAPPORTO CAUSALE (1/2)

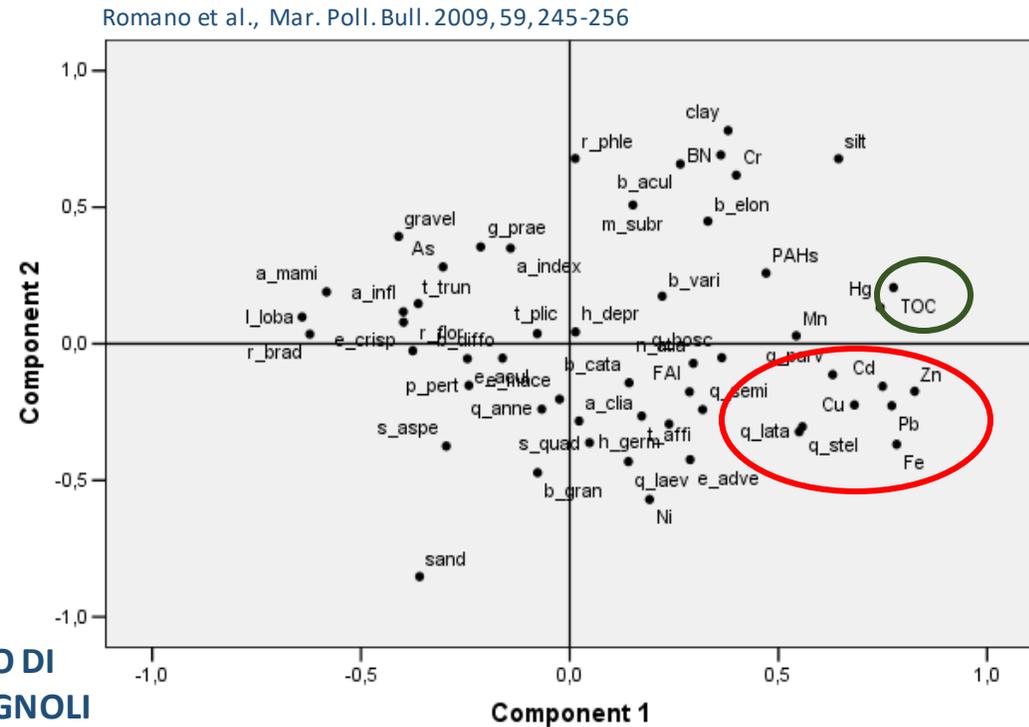
Una correlazione tra due variabili, anche forte, non dimostra il rapporto di causalità

Le specie più abbondanti in sedimenti contaminati sono considerate *pollution-tolerant* perché vivono numerose in ambiente contaminato. Tuttavia non è dimostrato che la contaminazione sia la causa della loro abbondanza perché in ambiente naturale altri fattori possono favorirne la presenza.



RADA DI  
AUGUSTA

Romano et al., Environ. Sci.: Processes Impacts 2013, 15, 930-946

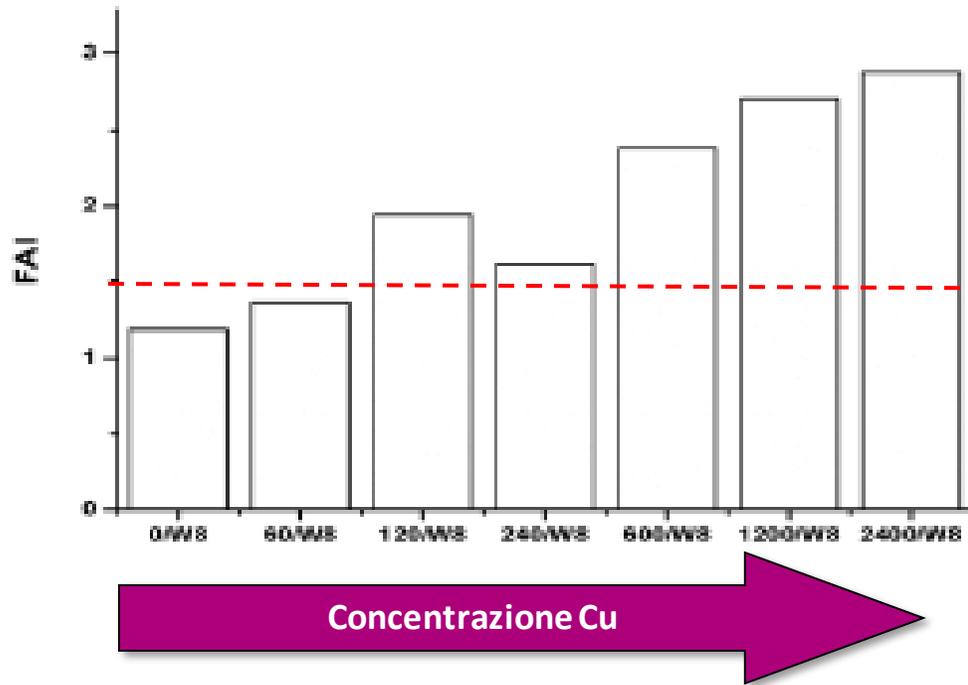


SITO DI  
BAGNOLI

Tuttavia, la stessa correlazione trovata in ambienti diversi con diverse condizioni è forte indizio di causalità.

## UN RAPPORTO CAUSALE (2/2)

Il rapporto causale può essere dimostrato con esperimenti di laboratorio



Frontalini e Coccioni, J. Env. Protection 2012, 3, 342-352

La causalità viene dimostrata in laboratorio dove tutti i parametri ambientali, tranne quello di interesse, vengono mantenuti costanti e dove si possono attribuire le variazioni dell'indicatore ad un unico parametro modificato.

Le correlazioni riconosciute in ambiente controllato non sempre si riconoscono in ambiente naturale perché si tratta di sistemi complessi in cui variano numerosi parametri. Nel caso della contaminazione questa raramente è dovuta ad un singolo elemento o composto ma più spesso è la combinazione di diversi contaminanti.

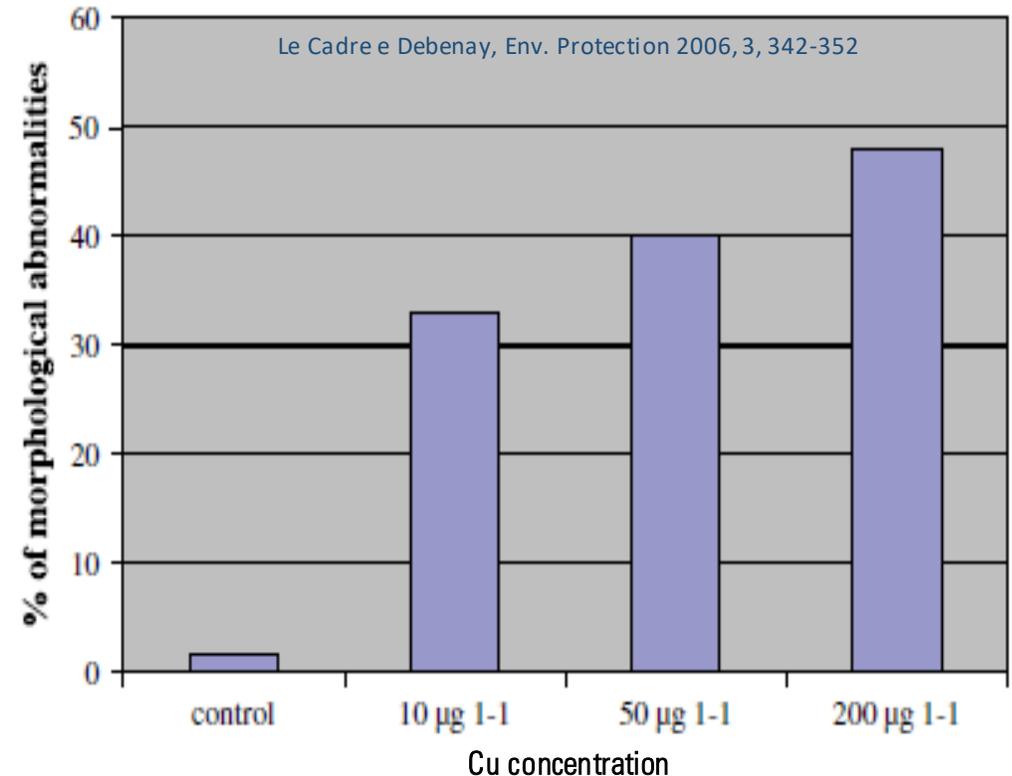
## UNA RELAZIONE DIRETTA E PREVEDIBILE

È necessario che per ogni valore della variabile ambientale si possa prevedere il valore della variabile considerata come indicatore.

Per gli studi in habitat naturale il rapporto dosi/risposta deve essere replicato nello spazio e nel tempo e a differenti livelli di concentrazione.

Tuttavia, spesso l'entità della risposta in ambiente naturale non è prevedibile perché la causa dello stress non è attribuibile ad un singolo parametro.

Comunque, l'indicatore non può essere usato come misura diretta della dose della contaminazione al di sopra o al di sotto delle dosi per le quali è stato misurato.



# DIVERSI TIPI DI INDICI

Le risposte degli organismi all'impatto antropico devono essere quantificate attraverso indici biotici. La direttiva europea (WFD 200/60/EC) sullo stato degli ecosistemi acquatici ha incentivato la ricerca di validi e condivisi indicatori ambientali che possono essere basati su criteri diversi.

- 1. SPECIE INDICATRICI** – Specie rappresentative di determinate condizioni ambientali. Ad esempio specie la cui presenza o dominanza è indice di deterioramento ambientale perché particolarmente tolleranti verso un certo tipo di contaminazione. Es: AMBI, Ecological Reference Index  
*Le specie opportuniste possono essere comuni anche in ambienti naturali stressati ma non soggetti a impatto antropico. Limitazioni in caso di poche specie o pochi individui o più del 20% di specie non classificabili*
- 2. STRATEGIE ECOLOGICHE** – Stress ambientale evidenziato dalle strategie ecologiche adottate dai diversi organismi. Es: Infaunal Trophic Index  
*Sono indicatori molto dipendenti da parametri come profondità e granulometria del sedimento e affetti da risposte a volte imprevedibili in relazione al tipo di contaminazione*
- 3. MISURE DI DIVERSITÀ SPECIFICA** – La diversità diminuisce all'aumentare di stress o impatto antropico. Tuttavia si registrano elevati valori di diversità in condizioni di stress moderato. Es: Shannon index, Margalef richness index  
*Indici diversi evidenziano caratteristiche diverse di una associazione (e.g. numero delle specie, distribuzione degli individui tra le specie) e non esiste un indice che sia idoneo a descrivere tutte le risposte di ogni associazione*
- 4. MISURE DI BIOMASSA** – Si basa sul confronto tra la distribuzione del numero di individui e la distribuzione della biomassa tra le specie. In condizioni di inquinamento cambia il rapporto tra queste due curve  
*La dominanza di specie piccole e numerose può caratterizzare anche ambienti sottoposti a stress naturale. Questo indice funziona per l'inquinamento organico, ma non in aree antropizzate si ha spesso un inquinamento multifattoriale*

# GLI INDICI DEI FORAMINIFERI

Tutte le tipologie di risposta allo stress possono essere quantificate attraverso indici biotici, ovvero dei parametri numerici da cui poter dedurre lo stato di qualità ecologica. Le metodiche analitiche devono essere standardizzate.

## RISPOSTE



## INDICI

### SPECIE INDICATRICI

Foram Index  
Foram Stress Index  
Foram-AMBI Index

### DIVERSITÀ SPECIFICA

$Exp(H'_{bc})$

### DEFORMAZIONI DEI GUSCI

Foraminiferal Abnormality Index (FAI)  
Foraminiferal Monitoring Index (FMI)

### DIMENSIONI DEI GUSCI

Foraminiferal Size Index (FSI)  
Lost Species Index (LSI)

### NUMERO DI INDIVIDUI

Numero assoluto di individui per area volume o peso unitario del campione

## EcoQs



DA TESTARE

# FORAMINIFERA AS BIOINDICATORS IN CORAL REEF ASSESSMENT AND MONITORING: THE FORAM INDEX

PAMELA HALLOCK<sup>1\*</sup>, BARBARA H. LIDZ<sup>2</sup>  
ELIZABETH M. COCKEY-BURKHARD<sup>3</sup>, AND KELLY B. DONNELLY<sup>4</sup>

<sup>1</sup>College of Marine Science, Univ. of South Florida, 140 Seventh Ave. S., St. Petersburg, FL 33701, USA;  
<sup>2</sup>U.S. Geological Survey Center for Coastal and Regional Marine Studies, 600 Fourth St. S., St. Petersburg, FL 33701, USA; <sup>3</sup>Minerals Management Service, 381 Elden Street, Herndon, VA 20170, USA;  
<sup>4</sup>Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 100 Eighth St. SE, St. Petersburg, FL 33701, USA

 Environmental Monitoring and Assessment **81**: 221–238, 2003.  
©2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

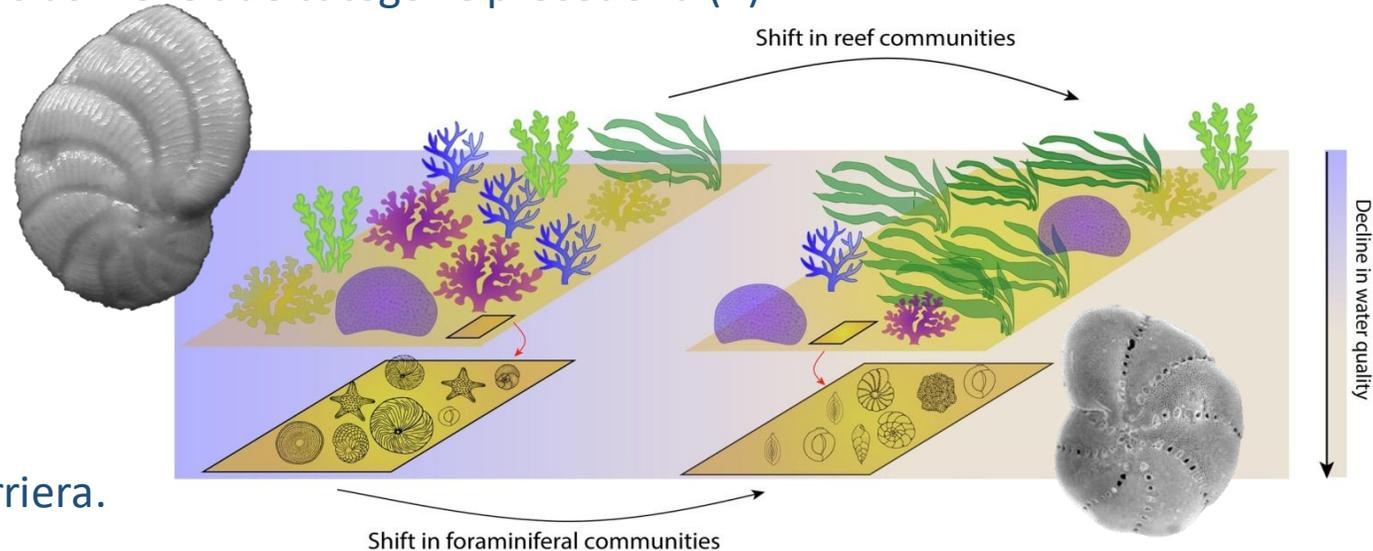
## FORAM INDEX

L'ambiente di barriera corallina è popolato prevalentemente da specie sensibili portatrici di alghe simbiotici. La loro sostituzione da parte di altre specie più opportuniste è indicativa del degrado di questo habitat.

Il "FORAM" (*Foraminifera in Reef Assessment and Monitoring*) Index (FI) si basa sull'abbondanza dei taxa appartenenti a 3 diversi gruppi funzionali: le specie sensibili portatrici di simbionti (**S**), quelle opportuniste (**O**) e altri taxa non inclusi nelle due categorie precedenti (**h**).

$$FI = 10 * N_s/T + N_o/T + 2 * N_h/T$$

- FI > 4. Ambiente favorevole alla crescita della barriera;
- FI 2-4. Ambiente al limite per la crescita della barriera;
- FI < 2. condizioni stressate inadatte alla crescita della barriera.



Prazeres et al., 2019. ENVPOL , <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113612>

# FORAM STRESS INDEX

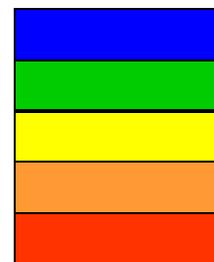


Negli ambienti soggetti a stress ambientale prevalgono le specie tolleranti su quelle sensibili.

Il “Foram Stress Index” (FSI) basa sull’abbondanza relativa dei taxa appartenenti a 2 diversi gruppi ecologici, che rispondono in maniera diversa all’**arricchimento organico**: Sensibili (**Sen**) e Stress tolleranti (**Str**).

Si assume che le specie tolleranti per l’arricchimento organico siano in genere tolleranti in genere per lo stress ambientale di varia natura, poiché ambienti molto ricchi in sostanza organica di solito sono soggetti anche a valori anomali di altri parametri come salinità, pH e ossigeno disciolto. L’attribuzione delle specie ai due gruppi è basata su informazioni disponibili da studi precedenti.

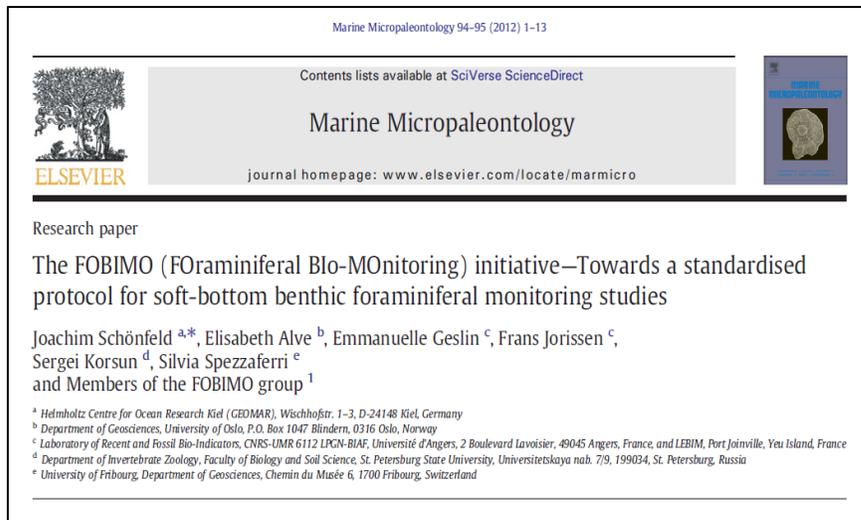
$$FSI = 10 * Sen + Str$$



High:  $9.0 \leq FSI \leq 10.0$ . Normal pristine conditions  
Good:  $5.5 \leq FSI \leq 9.0$ . Slightly polluted  
Moderate:  $2.0 \leq FSI \leq 5.5$ . Moderately polluted  
Poor:  $1.0 \leq FSI \leq 2.0$ . Heavily polluted  
Bad: azoic conditions

# FORAM-AMBI INDEX (1/2)

È frutto della pluriennale attività di un gruppo internazionale di esperti che si sono riuniti annualmente a partire dal 2011 per arrivare ad elaborare un indice per il monitoraggio della qualità ambientale basato sui foraminiferi.



Marine Micropaleontology 94-95 (2012) 1-13

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Marine Micropaleontology

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

Research paper

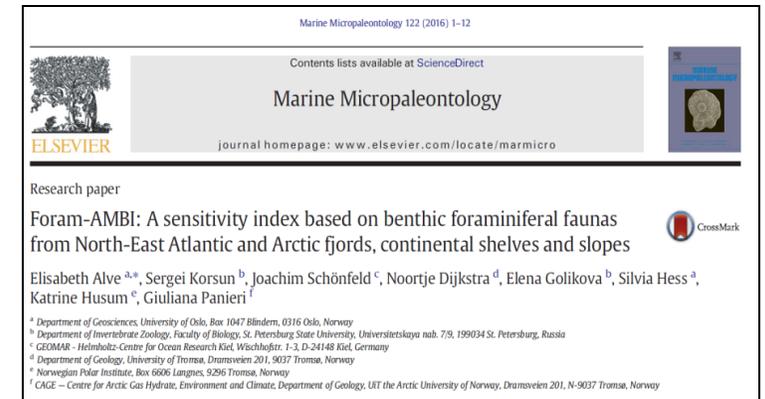
The FOBIMO (FORaminiferal Bio-MONitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminifer monitoring studies

Joachim Schönfeld <sup>a,\*</sup>, Elisabeth Alve <sup>b</sup>, Emmanuelle Geslin <sup>c</sup>, Frans Jorissen <sup>c</sup>, Sergei Korsun <sup>d</sup>, Silvia Spezzaferri <sup>e</sup> and Members of the FOBIMO group <sup>1</sup>

<sup>a</sup> Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel (GEOMAR), Wischhofstr. 1-3, D-24148 Kiel, Germany  
<sup>b</sup> Department of Geosciences, University of Oslo, P.O. Box 1047 Blindern, 0316 Oslo, Norway  
<sup>c</sup> Laboratory of Recent and Fossil Bio-Indicators, CNRS-UMR 6112 LPGN-BIAF, Université d'Angers, 2 Boulevard Lavoisier, 49045 Angers, France, and LEBIM, Port Joiville, Yeu Island, France  
<sup>d</sup> Department of Invertebrate Zoology, Faculty of Biology and Soil Science, St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7/9, 199034, St. Petersburg, Russia  
<sup>e</sup> University of Fribourg, Department of Geosciences, Chemin du Musée 6, 1700 Fribourg, Switzerland

Prima di tutto sono state valutate tutte le metodiche usate nelle pubblicazioni uscite fino al 2012 finalizzate allo studio dei foraminiferi come indicatori ambientali, e le hanno standardizzate

Successivamente è stata valutata tutta la letteratura scientifica, disponibile per diverse aree geografiche, in cui fossero riportati dati di abbondanza di specie e dati di TOC per assegnarle, in base alla loro risposta, ad uno dei 5 gruppi ecologici. Sono state categorizzate 199 specie per il Mediterraneo e 128 per i mari del Nord.



Marine Micropaleontology 122 (2016) 1-12

Contents lists available at ScienceDirect

Marine Micropaleontology

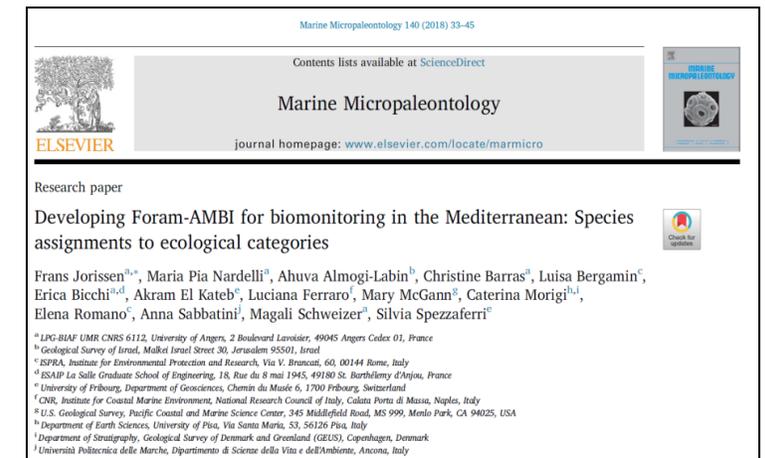
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/marmicro](http://www.elsevier.com/locate/marmicro)

Research paper

Foram-AMBI: A sensitivity index based on benthic foraminiferal faunas from North-East Atlantic and Arctic fjords, continental shelves and slopes

Elisabeth Alve <sup>a,\*</sup>, Sergei Korsun <sup>b</sup>, Joachim Schönfeld <sup>c</sup>, Noortje Dijkstra <sup>d</sup>, Elena Golikova <sup>b</sup>, Silvia Hess <sup>a</sup>, Katrine Husum <sup>e</sup>, Giuliana Panieri <sup>f</sup>

<sup>a</sup> Department of Geosciences, University of Oslo, Box 1047 Blindern, 0316 Oslo, Norway  
<sup>b</sup> Department of Invertebrate Zoology, Faculty of Biology, St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7/9, 199034 St. Petersburg, Russia  
<sup>c</sup> GEOMAR - Helmholtz-Centre for Ocean Research Kiel, Wischhofstr. 1-3, D-24148 Kiel, Germany  
<sup>d</sup> Department of Geology, University of Tromsø, Drømsveien 201, 9037 Tromsø, Norway  
<sup>e</sup> Norwegian Polar Institute, Box 6606 Langnes, 9296 Tromsø, Norway  
<sup>f</sup> CAGE - Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate, Department of Geology, UiT the Arctic University of Norway, Drømsveien 201, N-9037 Tromsø, Norway



Marine Micropaleontology 140 (2018) 33-45

Contents lists available at ScienceDirect

Marine Micropaleontology

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

Research paper

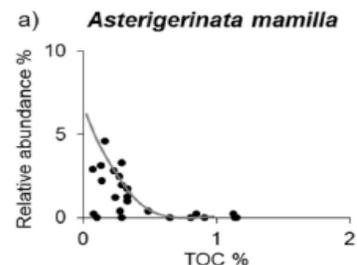
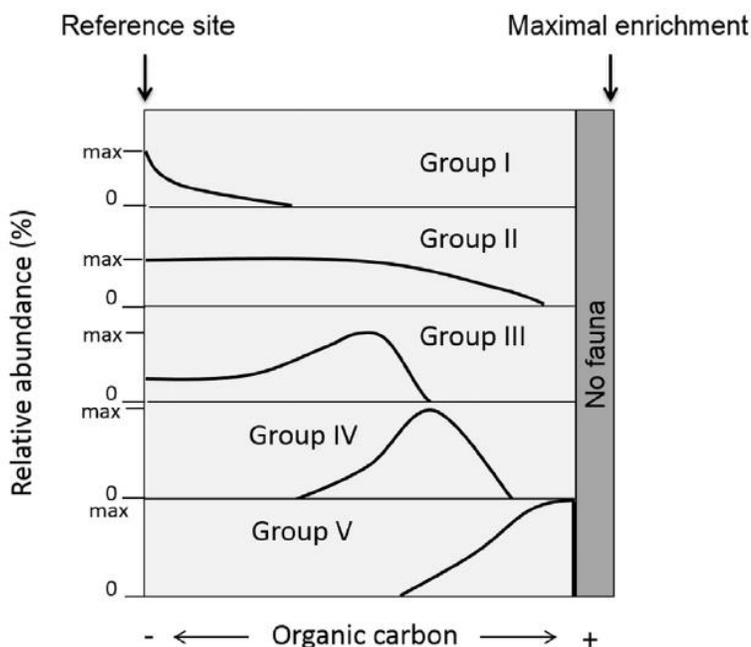
Developing Foram-AMBI for biomonitoring in the Mediterranean: Species assignments to ecological categories

Frans Jorissen <sup>a,\*</sup>, Maria Pia Nardelli <sup>b</sup>, Ahuva Almogi-Labin <sup>b</sup>, Christine Barras <sup>a</sup>, Luisa Bergamin <sup>c</sup>, Erica Bicchi <sup>d,e</sup>, Akram El Kateb <sup>e</sup>, Luciana Ferraro <sup>a</sup>, Mary McGann <sup>a</sup>, Caterina Morigi <sup>b,f</sup>, Elena Romano <sup>e</sup>, Anna Sabbatini <sup>g</sup>, Magali Schweizer <sup>a</sup>, Silvia Spezzaferri <sup>h</sup>

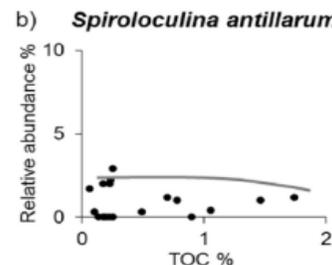
<sup>a</sup> LPG-BIAF UMR CNRS 6112, University of Angers, 2 Boulevard Lavoisier, 49045 Angers Cedex 01, France  
<sup>b</sup> Geological Survey of Israel, Malki Israel Street 30, Jerusalem 95501, Israel  
<sup>c</sup> ISPRA, Institute for Environmental Protection and Research, Via S. Brancati, 60, 00144 Rome, Italy  
<sup>d</sup> ISADP La Silla Graduate School of Engineering, 18, Rue de 9 mai 1945, 49180 St. Barthélemy d'Anjou, France  
<sup>e</sup> University of Fribourg, Department of Geosciences, Chemin du Musée 6, 1700 Fribourg, Switzerland  
<sup>f</sup> CNR, Institute for Coastal Marine Environment, National Research Council of Italy, Calata Porta di Massa, Naples, Italy  
<sup>g</sup> U.S. Geological Survey, Pacific Coastal and Marine Science Center, 345 Middlefield Road, MS 999, Menlo Park, CA 94025, USA  
<sup>h</sup> Department of Earth Sciences, University of Pisa, Via Santa Maria, 53, 56126 Pisa, Italy  
<sup>i</sup> Department of Stratigraphy, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Copenhagen, Denmark  
<sup>j</sup> Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Ancona, Italy

# FORAM-AMBI INDEX (2/2)

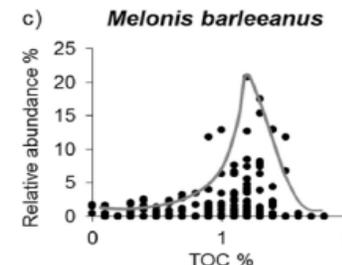
Maggiore è il grado di stress ambientale e maggiore è l'abbondanza delle specie con carattere sempre più opportunisto. Il Foram-AMBI index si basa sullo stesso principio dell'indice AMBI per la macrofauna, ovvero l'abbondanza relativa di 5 diversi gruppi ecologici con diverso grado di opportunismo.



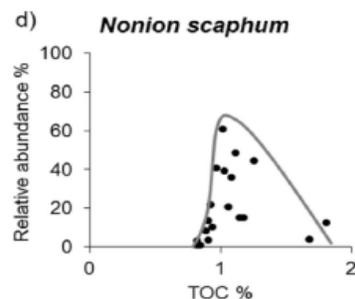
Sensitive (group I)  
From Donnici and Serandrei Barbero (2002)



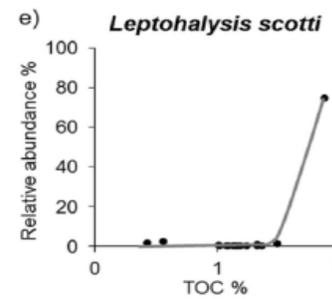
Indifferent (group II)  
From Samir and El Din (2001)



Third-order opportunist (group III)  
From Jorissen (1987; 1988)



Second-order opportunist (group IV)  
From Mojtahid et al. (2009)



First-order opportunist (group V)  
From Goineau et al. (2011)

AMBI	EcoQs
0-1.2	High
1.2-3.3	Good
3.3-4.3	Moderate
4.3-5.5	Poor
5.5-7	Bad

$$\text{Foram-AMBI} = (0 \cdot \%GI + 1.5 \cdot \%GII + 3 \cdot \%GIII + 4.5 \cdot \%GIV + 6 \cdot \%GV) / 100$$

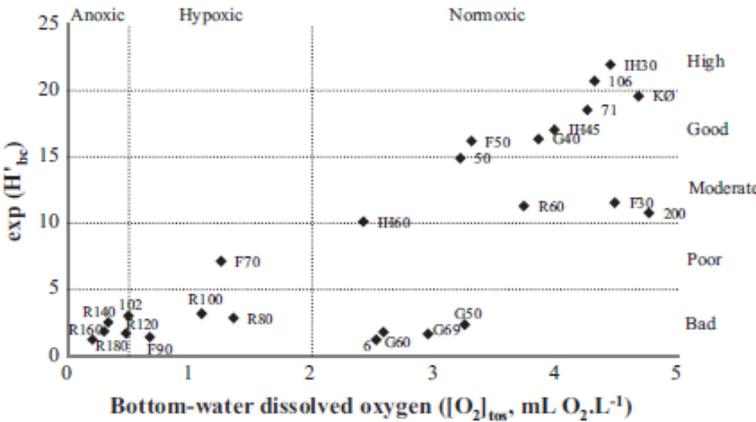
# DIVERSITÀ SPECIFICA - $EXP(H'_{bc})$

La diversità specifica di una associazione è considerata indicativa della qualità ambientale e diminuisce all'aumentare dello stress. Numerosi indici, basati su diverse formulazioni, vengono utilizzati per quantificare la diversità delle associazioni a foraminiferi. Uno di questi, che rappresenta il numero effettivo di specie, sembra particolarmente idoneo come indicatore della qualità ambientale.



$Exp(H'_{bc})$   
 dove  $H'_{bc}$  è una versione modificata dell'indice di Shannon  $H'(\log_2)$

Questo indice è stato testato con successo nella valutazione dello stato di qualità delle acque dei fiordi della Norvegia, dove esistono problemi di arricchimento in materia organica e conseguente ipossia/anossia. Il numero effettivo di specie era correlato positivamente con i livelli di ossigenazione delle acque ed è stato utilizzato per ottenere una classificazione della qualità ambientale.



**Table 2**  
 Criteria for determining EcoQS using living benthic foraminifera.

EcoQS and associated colour code	Bad	Poor	Moderate	Good	High
EcoQS derived from 0-2 cm, >63 µm, living wet-picked assemblages	<5	5-10	10-15	15-20	>20
EcoQS derived from 0-1 cm, >125 µm, living dry-picked assemblages	<2.5	2.5-5	5-7.5	7.5-10	>10

# FORAMINIFERAL ABORMALITY INDEX - FAI

Lo sviluppo di anomalie morfologiche al di sopra di una soglia di background dell'1-2% è considerato una reazione avversa allo stress ambientale.

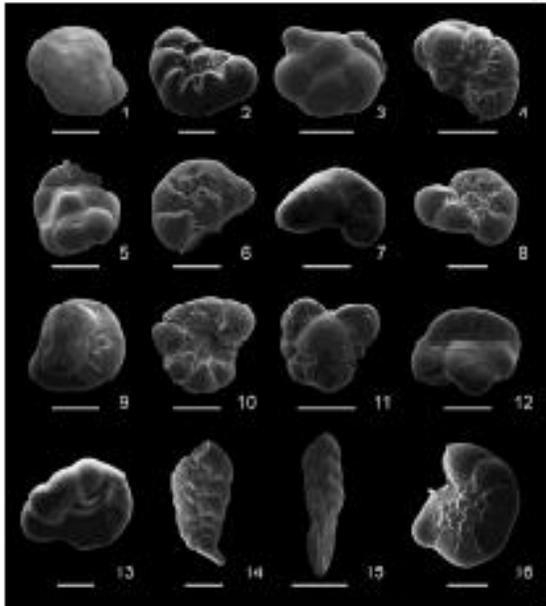
*Journal of Environmental Protection*, 2012, 3, 342-352  
doi:10.4236/jep.2012.34044 Published Online April 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/jep>)

Scientific Research

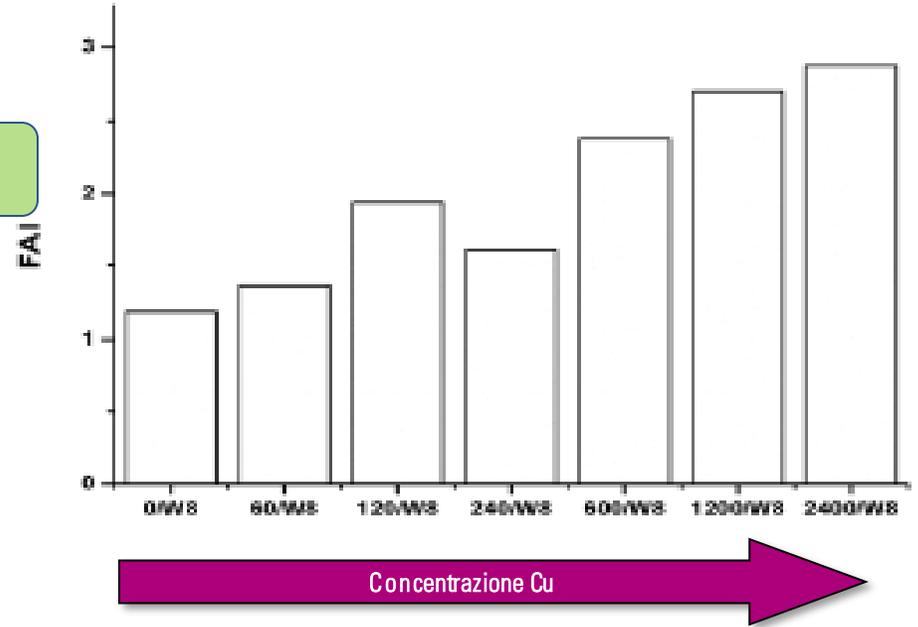
**The Response of Benthic Foraminiferal Assemblages to Copper Exposure: A Pilot Mesocosm Investigation**

Frontalini Fabrizio, Coccioni Rodolfo

$$FAI = \frac{N_{DEF}}{N_{TOT}} * 100$$



Studi di laboratorio hanno dimostrato che la correlazione tra concentrazione di alcuni metalli pesanti e indice FAI è dovuta ad un rapporto di causalità.



Alcuni studi effettuati in aree costiere a diverso grado di contaminazione hanno trovato correlazione positiva tra concentrazione di metalli pesanti e indice FAI, che quindi può essere considerato un idoneo indicatore della qualità ambientale. Tuttavia, in altre aree pesantemente contaminate non si riscontrano livelli di contaminazione superiore al background. Sembra che il FAI sia sensibile solo alla contaminazione di alcuni metalli pesanti

# FORAMINIFERAL SIZE INDEX - FSI

Lo sviluppo di associazioni a foraminiferi di taglia mediamente ridotta è considerato una risposta patologica allo stress ambientale. Numerosi studi hanno segnalato questo fenomeno in aree contaminate da metalli pesanti.

Contents lists available at ScienceDirect

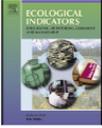
Ecological Indicators

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

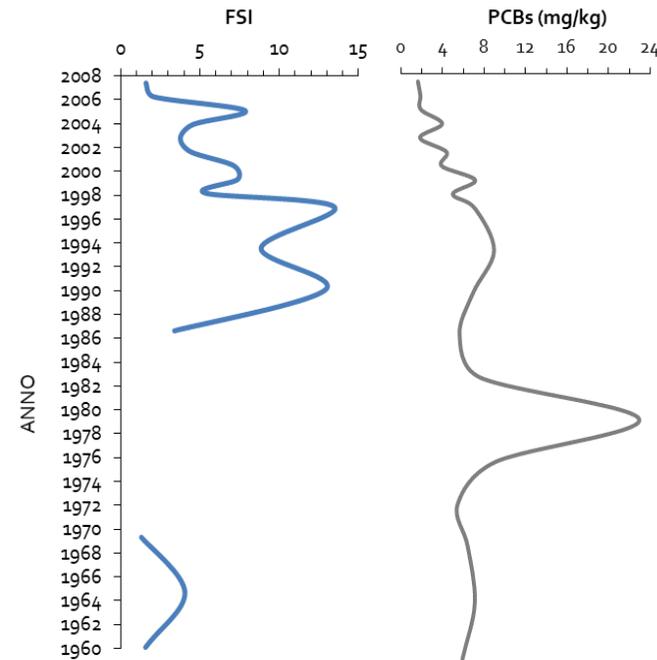
Suitable sediment fraction for paleoenvironmental reconstruction and assessment of contaminated coastal areas based on benthic foraminifera: A case study from Augusta Harbour (Eastern Sicily, Italy)

Luisa Bergamin, Elena Romano\*

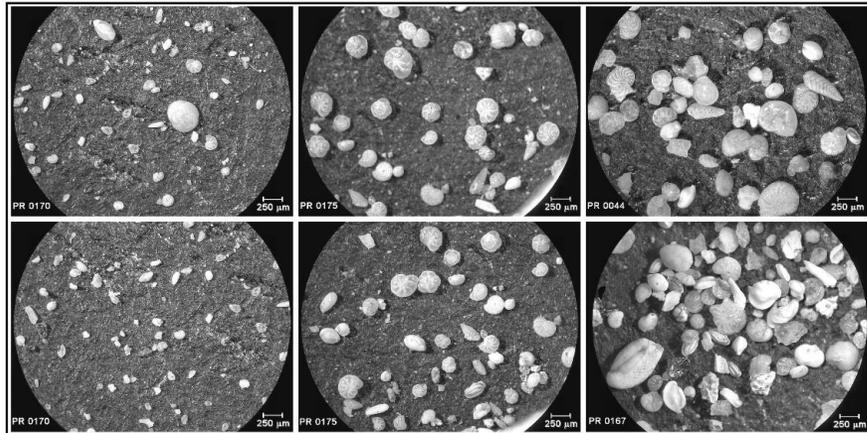
ISPR, Institute for Environmental Protection and Research, Via di Castel Romano, 100, 00128 Rome, Italy



$$FSI = N_{63-125 \mu m} / N_{>125 \mu m}$$



Questo indice è stato testato in un'area pesantemente contaminata da attività industriali. La correlazione positiva di FSI e PCB, persistente nel tempo, indica un possibile utilizzo di questo indice come indicatore in aree affette da contaminazione dovuta a contaminanti organici. Maggiori studi sono necessari per confermare questo risultato.



# FORAMINIFERAL NUMBER - FN

Nella maggior parte dei casi un elevato numero di individui (calcolato rispetto ad unità di peso, area o volume del campione), è indice di elevata qualità ambientale. Concentrazioni crescenti di metalli pesanti prima inibiscono la riproduzione e poi causano la morte degli individui. Quindi, l'abbondanza assoluta degli individui può fornire un indice candidato ad essere un affidabile indicatore.

RECENT SEDIMENTS: ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, ECOTOXICOLOGY AND ENGINEERING

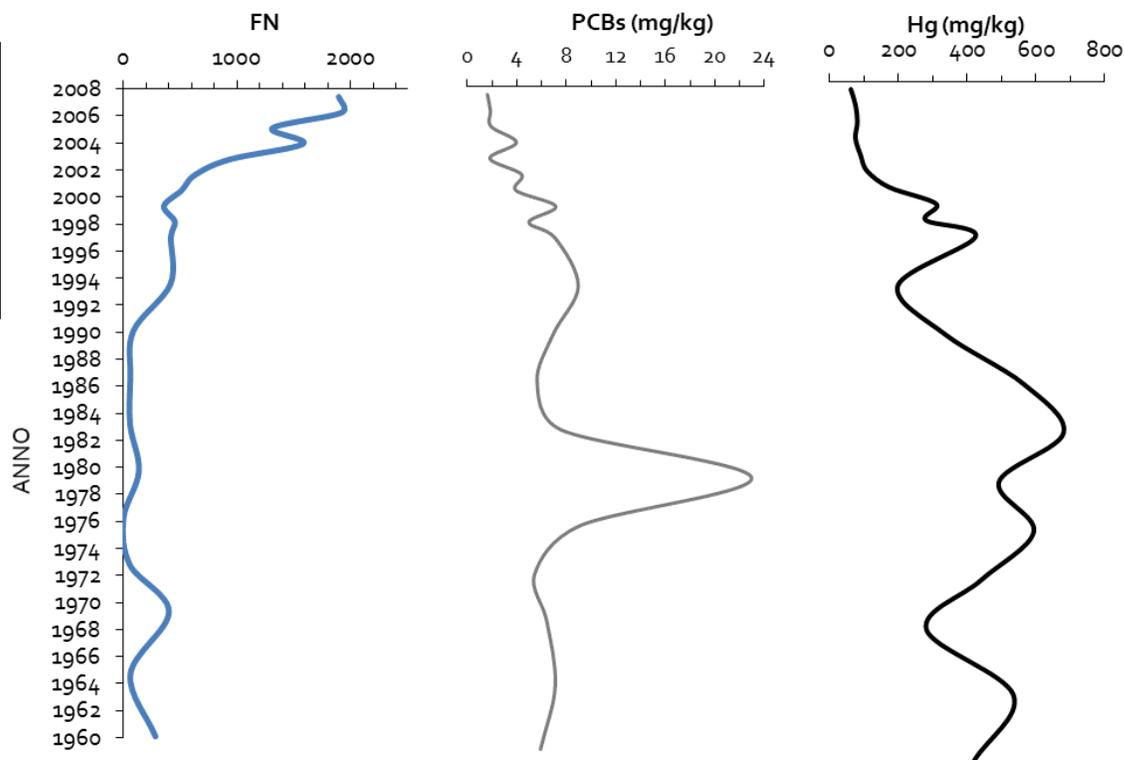
Evolution of the anthropogenic impact in the Augusta Harbor (Eastern Sicily, Italy) in the last decades: benthic foraminifera as indicators of environmental status

Elena Romano<sup>1</sup> · Luisa Bergamin<sup>1</sup> · Antonella Ausili<sup>1</sup> · Maria Celia Magno<sup>1</sup> · Massimo Gabellini<sup>1</sup>

$$FN = N_{tot} / P_s$$

$N_{tot}$  = Numero di individui contati in un campione

$P_s$  = peso secco del campione



La forte correlazione negativa di FN con IPA, PCB e Hg indica chiaramente un possibile utilizzo di indici legati all'abbondanza assoluta come indicatori.

# IL VANTAGGIO DEI FORAMINIFERI: LE CONDIZIONI DI RIFERIMENTO

Ecological Indicators 29 (2013) 219–233

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Ecological Indicators

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



Defining past ecological status and *in situ* reference conditions using benthic foraminifera: A case study from the Oslofjord, Norway

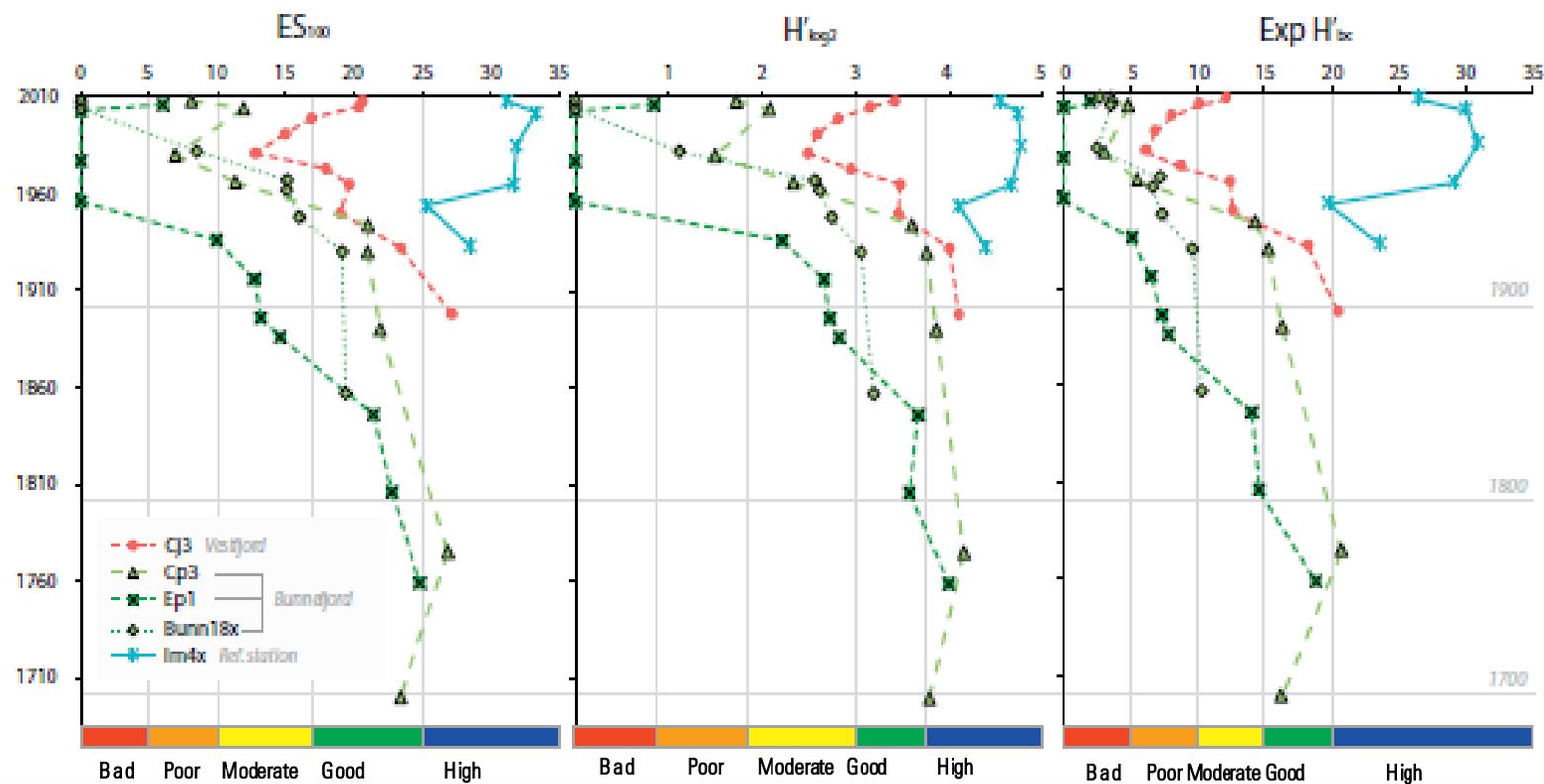
Jane K. Dolven<sup>a</sup>, Elisabeth Alve<sup>a,\*</sup>, Brage Rygg<sup>b</sup>, Jan Magnusson<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Geosciences, University of Oslo, P.O. Box 1047, Blindern, 0316 Oslo, Norway

<sup>b</sup> Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Gaustadalléen 21, 0349 Oslo, Norway

Gli indici di diversità specifica dei foraminiferi hanno fornito risultati concordanti per ricostruire l'evoluzione temporale dell'EcoQs, partendo da condizioni di riferimento pre-industriali da elevate a buone, fino a condizioni da moderate a cattive dopo il 1960. Si registra anche un miglioramento della qualità ambientale in tempi più recenti.

Poiché i foraminiferi a guscio mineralizzato sono molto abbondanti e diversificati, possono fornire indicatori delle condizioni di riferimento *in-situ*, studiando i livelli pre-industriali di carote datate.



# FORAMINIFERI: QUALE INDICATORE?

**Nessun indice può essere considerato universalmente valido**

INDICI BASATI SU SPECIE INDICATRICI – Funzionano bene nel caso di arricchimento organico, meno quando esiste una contaminazione di tipo industriale (metalli pesanti, IPA, POPs)

INDICI BASATI SU DIVERSITÀ SPECIFICA – Funzionano bene nel caso di diverse tipologie di contaminazione, anche se, nel caso di metalli, per le grande capacità di adattamento dei foraminiferi, la diversità specifica può essere meno influenzata di quanto atteso in base all'entità della contaminazione

INDICI BASATI SU ABBONDANZA ASSOLUTA – Funzionano bene nel caso di contaminazione multipla da metalli pesanti e contaminanti organici

INDICI BASATI SU DIMENSIONE DEI GUSCI – Sembrano funzionare solo per alcuni metalli pesanti

**La scelta dell'indice in base al tipo prevalente di impatto e l'uso integrato di più indici basati su principi diversi sono criteri necessari per applicare indicatori idonei ad ottenere una corretta valutazione dello stato ambientale**

# Grazie per la pazienza

[luisa.bergamin@isprambiente.it](mailto:luisa.bergamin@isprambiente.it)