

## FOSSILI COME INDICATORI AMBIENTALI

### Paleoecologia:

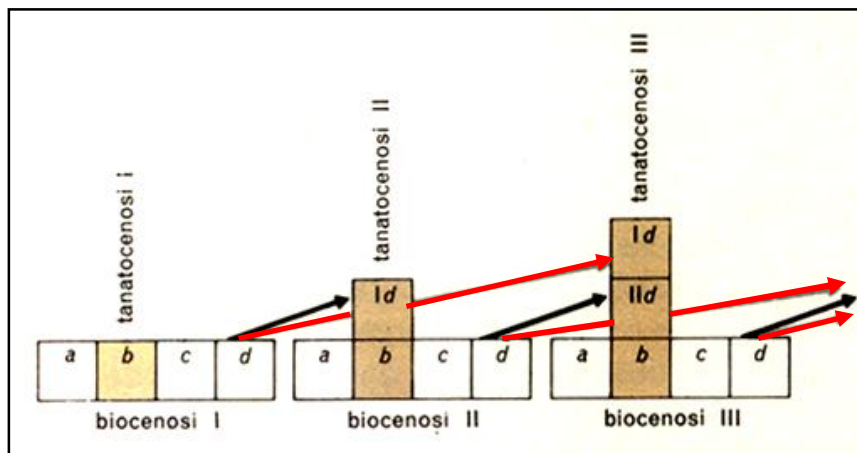
Quadro incompleto degli organismi + dati sedimentologici + relazioni ipotetiche

→ Ambiente

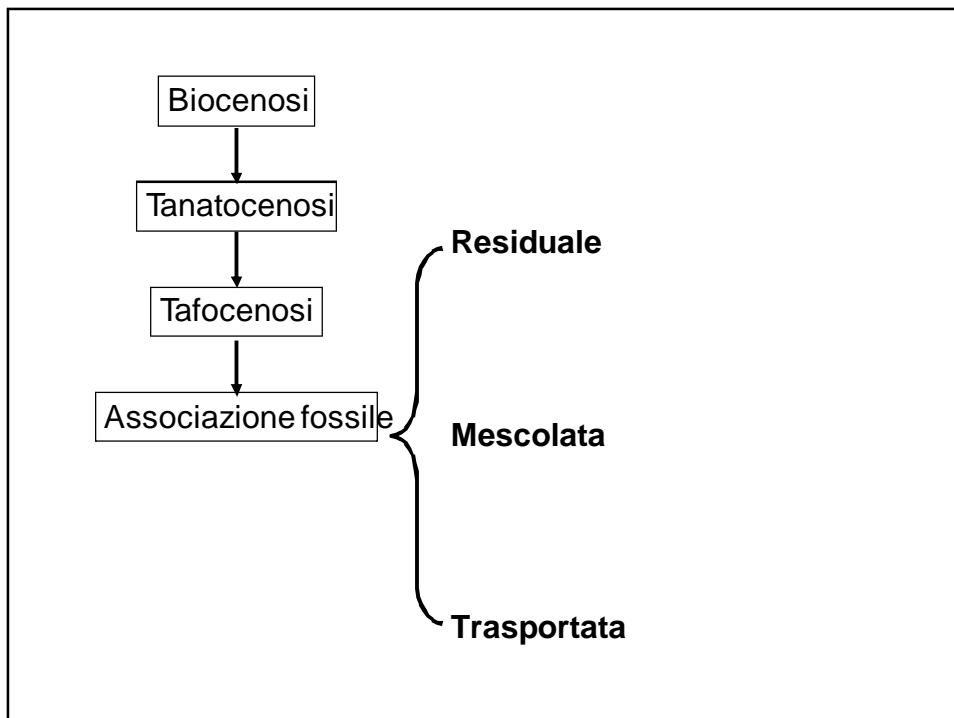
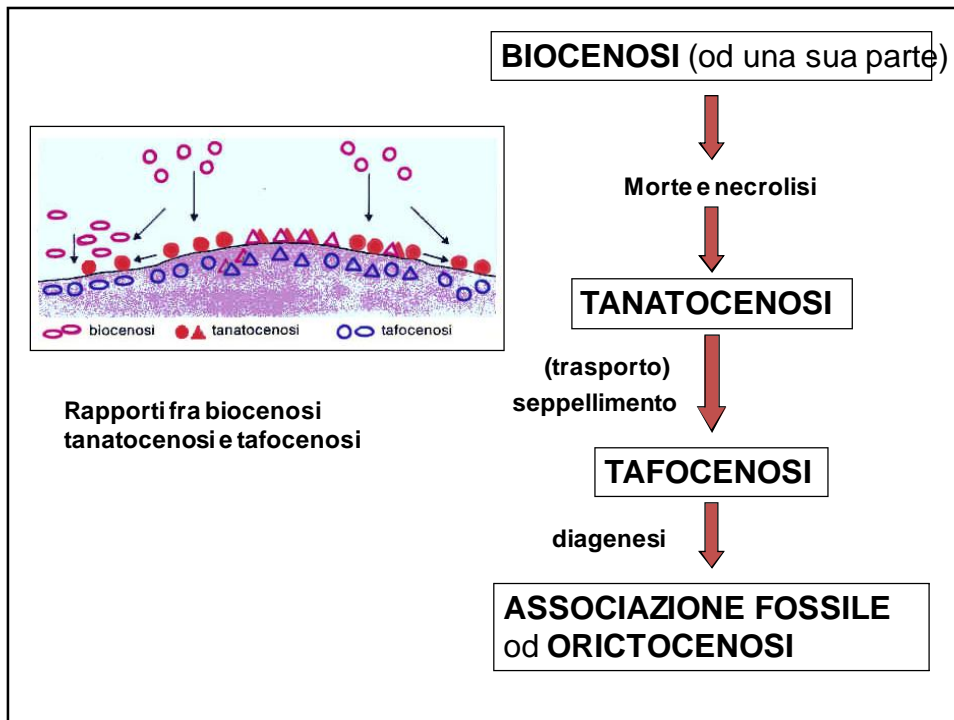
Importanza dei dati sedimentologici  
Importanza dei dati desunti dall'ecologia attuale

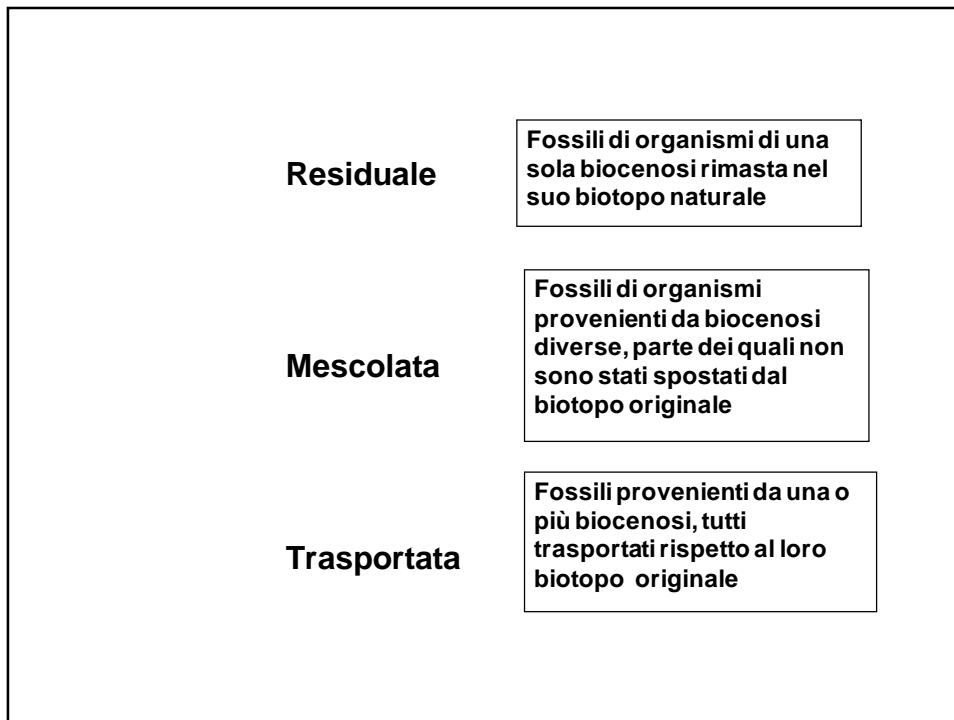
Conoscenza parziale della fauna  
Impossibilità di compiere osservazioni

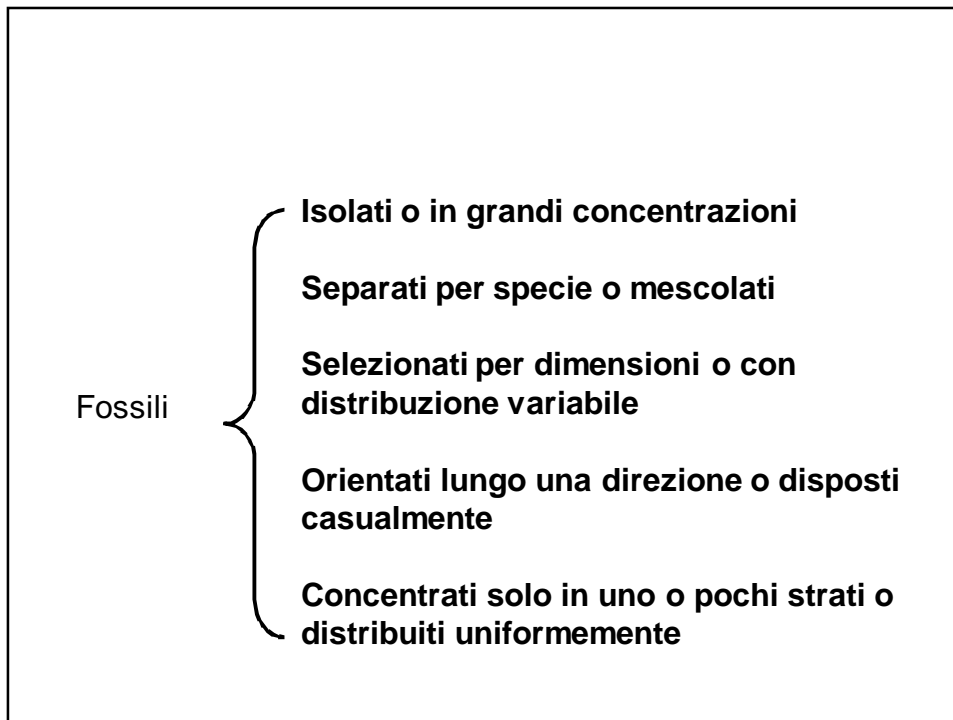
**Paleoecologo** dirette sull'ambiente inorganico  
*La ricostruzione dell'ambiente è anzi uno degli scopi della Paleoecologia*



- Scompare senza lasciare traccia
- Si fossilizza in situ
- Scompare dopo essere stata trasportata altrove
- Si fossilizza in altro luogo, eventualmente mescolandosi con la parte b) di altre biocenosi







### Autoctonia

Tronchi od altri vegetali fossilizzati in posizione di vita



**Taxodium**

Organismi del benthos sessile fossilizzati in posizione di vita od organismi infaunali fossilizzati all'interno del sedimento in cui vivevano



**Corallo coloniale**

**Le tracce fossili  
non possono  
essere trasportate  
per cui sono  
sempre autoctone**

**Fattore tempo**

Una ricostruzione paleoambientale andrebbe collocata in un tempo ben definito

- a) L'analisi paleoecologica va integrata con una datazione dell'associazione
- b) Ogni livello stratigrafico rappresenta un evento geologico la cui durata raramente è quantificabile, tranne in casi particolari, quali tempeste, correnti di torbida

Raramente è possibile ricostruire le variazioni stagionali o l'evoluzione dell'ecosistema nel corso degli anni, salvo casi eccezionali (varve, analisi pollinica)

Il processo di sedimentazione può essere un fenomeno discontinuo, inoltre l'erosione e la bioturbazione possono alterare ulteriormente i dati.

### **Fattore geografico**

Il paleoecologo non conosce in anticipo la posizione geografica e le condizioni climatiche dell'ambiente che deve studiare.

### **In conclusione**

Lo studio dell'associazione fossile va dunque integrato, quando possibile, da analisi biostratigrafiche, paleobiogeografiche e paleoclimatiche.

## Metodi di indagine paleoecologica

### 1) L'ambiente:

- Le relazioni tra organismi viventi e ambiente dedotte dall'ecologia
- La documentazione fossile
- L'analisi sedimentologica

Costituiscono le basi della ricerca paleoecologica

## **1) INDICAZIONI CLIMATICHE DALLE PIANTE**

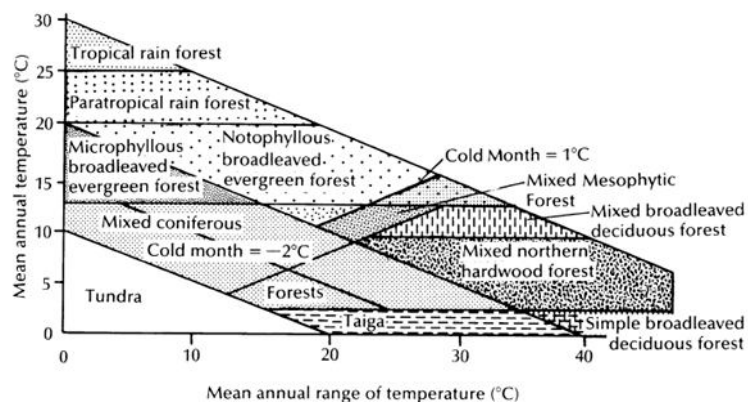
La struttura e composizione di una comunità vegetale in equilibrio è in gran parte controllata, e quindi riflette, le condizioni climatiche, che quindi possono essere desunte dalla struttura dei vegetali.

Interpretazioni {

- Struttura e composizione
- Morfologia delle foglie
- Anatomia del legno

Questo approccio è più affidabile di quello NLR (Nearest Living Relative) per taxa pre Neogenici

Se l'acqua non è un fattore limitante, i tipi vegetazionali sono correlati con la temperatura. Si può risalire fino al tardo Cretacico.



**Correlazione principali tipi vegetazionali e regimi di temperatura**

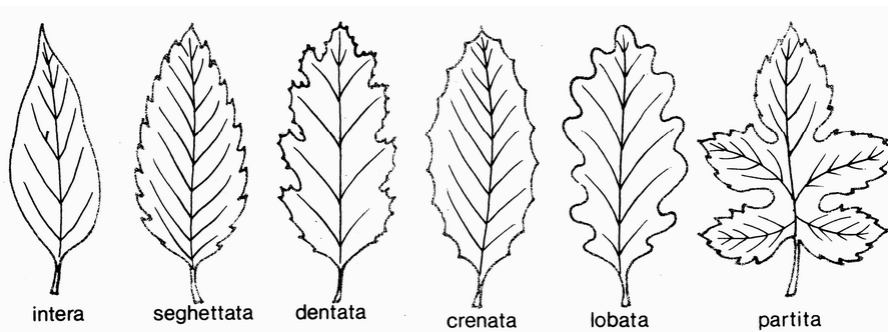
## CARATTERI DELLE FOGLIE UTILI ALLA DETERMINAZIONE DEI PALEOCLIMI

Organi vegetativi Angiosperme

Considerevole variabilità  
morfologica secondo il  
clima

Caratteri utili: **MARGINE FOGLIARE**

**Correlazione rapporti fra margine fogliare da  
dentellato ad intero e Temperatura Media Annua  
(MAT)**



Emisfero NORD: una variazione del 3% del rapporto tra margine intero e margine dentellato corrisponde circa ad una variazione di 1°C di MAT (diminuzione % margine intero = diminuzione temperatura)

Emisfero SUD: maggiore presenza di sempreverdi: una variazione del 4% del rapporto corrisponde alla stessa variazione di temperatura

Occorrono almeno 20 tipi fogliari diversi per ciascuna località e bisogna tenere presenti gli aspetti tafonomici

I tipi principali di dentellature del margine fogliare compaiono intorno al Cenomaniano (Cretacico Superiore) per cui è applicabile da quell'epoca al presente.

### **DIMENSIONI FOGLIARI**

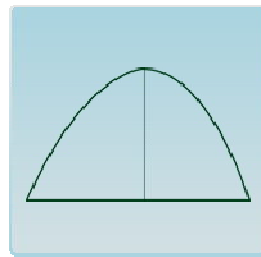
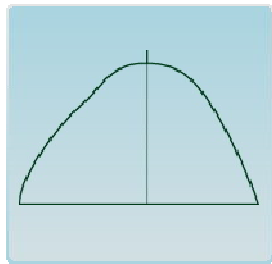
Sono fortemente correlate con la temperatura, l'umidità o più in generale la disponibilità di acqua.

Foglie **larghe** sono tipiche del sottobosco umido.

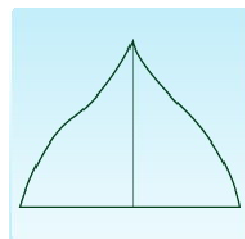
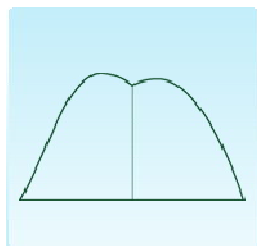
Le dimensioni diminuiscono al diminuire della temperatura e/o delle precipitazioni.

## ADATTAMENTI PER FAVORIRE LO SGOCCIOLIO

Apici fogliari attenuati sono tipici di foglie sempreverdi di climi umidi, soprattutto negli strati bassi delle foreste pluviali



Le strutture per lo sgocciolamento migliorano il drenaggio dell'acqua alla superficie della foglia, ritardando la crescita di epifite.



### **TRAMA FOGLIARE**

Foglie coriacee sono solitamente sempreverdi e predominano nella vegetazione mega e mesotermica

Foglie sottili (cartacee) sono tipicamente decidue e più comuni in climax microtermali o vegetazioni mesotermiche successionali

### **FORMA DELLA FOGLIA**

La vegetazione ripariale contiene un'alta percentuale di foglie allungate e strette (stenofille).

Foglie lobate o composte sono più frequenti in successioni vegetazionali o comunità di sottobosco.

Foglie spesse e cilindriche testimoniano aridità, oppure crescita in acqua salmastra, oppure un sistema vascolare inefficiente.

### **CUTICOLA**

Un cuticola spessa con molti tricomi (peli) rappresenta un adattamento a condizioni di essiccamento (aridità o salinità)

Stomi scarsi, profondi, specie se sovrastati da papille, indizio di carenza di acqua

Cuticole sottili, indizio di ambiente ricco di acqua

## **ANATOMIA DEL LEGNO**

Legno MONOXILICO  
(parenchimatoso) ad es.  
pteridosperme relitte, sensibile al  
gelo.

Legno PICNOXILICO (con  
xilema secondario) è solitamente  
resistente al gelo

## **ANELLI DI CRESCITA**

Dove la temperatura varia frequentemente il legno  
picnoxilico produce anelli come conseguenza delle  
variazioni del tasso di crescita.

Anelli annuali sono dati da alternanza di legno  
primaverile con grossi lumi cellulari che digrada nel  
legno tardo estivo con lumi cellulari più piccoli e  
pareti più spesse

Anelli AMPI sono indicativi di buone condizioni climatiche ma dipendono anche dalla posizione dell'albero.

Un rapporto elevato legno primaverile/legno tardivo indica un alto tasso di crescita primaverile/estiva seguita da una rapida dormienza. Alle alte latitudini può essere influenzato dalla luce più che dalla temperatura

**Variazioni interannuali** della larghezza degli anelli vengono descritte statisticamente come **sensibilità media (SM)**

$SM < 0.3$  condizioni di crescita uniformi di anno in anno

$SM > 0.3$  sensibile, condizioni ambientali variabili o alberi al limite del range di distribuzione

**Variazioni intra annuali**

**Falsi anelli**

A volte incompleti, gradazioni alterate.

Traumi temporanei durante la stagione di crescita

**Ristagni nelle radici**

Indicano basse temperature o aggressioni massicce da parte di insetti

**Anelli di congelamento**

Distruzione delle pareti cellulari dovute a congelamento del contenuto del lume cellulare

Nelle angiosperme il diametro medio dei vasi diviso la loro frequenza permette una stima della suscettibilità all'embolia causata da stress traspirazionale o congelamento.

COME PER LE FOGLIE, ANCHE PER IL LEGNO  
L'AFFIDABILITA' DELLE INTERPRETAZIONI  
AUMENTA CON L'ABBONDANZA DEI CAMPIONI E LA  
CONSOCENZA DELLA TAFONOMIA DELLA  
LOCALITA'

### **Metodi NLR (Nearest Living Relative)**

#### **Criteri di affidabilità**

- 1) Il NLR di ciascun taxon deve essere identificabile ALMENO a livello di genere
- 2) Tentare il livello di specie (il genere può avere ampie tolleranze).
- 3) MAT media e MAR stimate sul NLR
- 4) Temperatura efetiva estrapolata dal MAT e MAR (Range Annuale Medio)

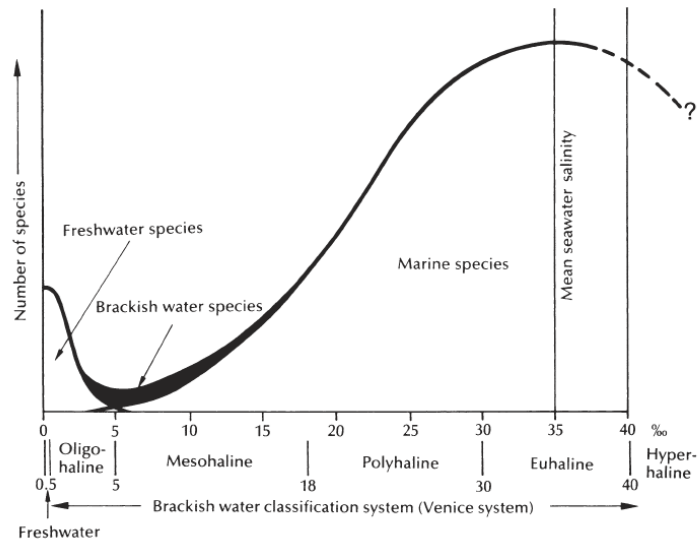
### **2) Salinità dall'analisi faunistica**

La salinità è uno dei principali fattori limitanti nella distribuzione degli organismi acquatici

Le interpretazioni riguardano soprattutto l'analisi di invertebrati bentonici con gusci mineralizzati, tenendo conto ovviamente anche dei dati sedimentologici.

Stima empirica delle paleosalinità espressa  
in parti per mille (‰) o sistema Venice

**Relazione  
fra  
salinità,  
specie  
marine e  
d'acqua  
dolce**



Ci sono vari metodi sufficientemente affidabili per riconoscere le specie francamente marine e quelle d'acqua dolce (soprattutto per il Mesozoico e Cenozoico) mentre è più difficile identificare quelle di ambienti salmastri o iperalini.

Molti ambienti salmastri sono effimeri e/o il loro tasso di salinità può variare, influenzando gli organismi.

Nei corpi d'acqua a salinità variabile di solito variano anche temperatura e profondità, oltre alle risorse, per cui diventa difficile isolare gli effetti della sola salinità.

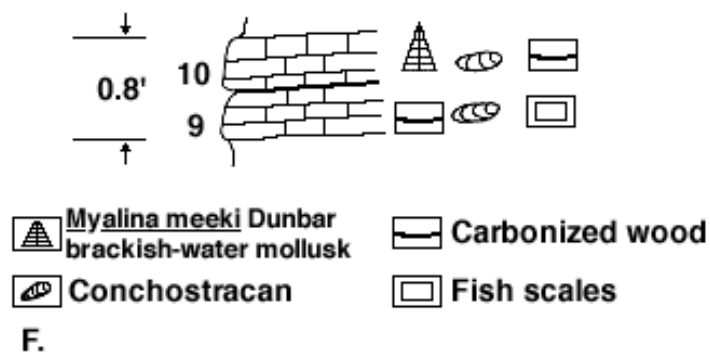
### **INTERPRETAZIONE PALEOAMBIENTALE**

Esiste una fauna peculiare di ambienti salmastri o si tratta semplicemente di una fauna marina impoverita?

Studio dell'origine evolutiva delle faune di acque salmastre e delle reazioni di queste faune all'invasione di specie di acqua dolce/terrestri

## ANALISI FAUNISTICA

Date le variabilità delle condizioni è  
fondamentale il controllo sulla raccolta  
bed by bed (strato per strato)



Molti taxa superiori di piante ed animali marini  
sono stenoalini e la loro presenza , specialmente  
in associazione, è molto utile per dedurre le  
condizioni di salinità delle facies marine

Coralli

Brachiopodi articolati

Echinodermi

Foraminiferi planctonici (e bentonici  
di grosse dimensioni)

Cefalopodi

Alghe rosse e verdi

Pochi taxa comprendono la maggior parte dei  
componenti delle faune di acque salmastre e dolci:

Foraminiferi bentonici di piccole dimensioni

Alghe caroficee

Gli artropodi senza esoscheletro calcareo sono importanti ma si conservano raramente allo stato fossile (con l'eccezione dei Concostraci)

Molti Pesci sono euriolini, ma sono spesso migratori o sono necessarie particolari condizioni biostratigrafiche per la conservazione

Faune di acque salmastre caratterizzate da bassa diversità e taxa peculiari che difficilmente si fossilizzano

Sono pochi i taxa adattati specificamente alle acque salmastre

Si ritrovano insieme alle forme più eurioline di faune marine ed in acque mesoaline sono queste ultime a dominare.

Le forme di acqua dolce penetrano nelle zone oligoaline

Il minimo di diversità faunistica si riscontra con una salinità del 5-9 per mille

Lo shift  $\text{NaCl} \longrightarrow \text{CaHCO}_3$

Si riscontra in acque oligohaline e crea una netta distinzione fra alcuni organismi, ad es. ostracodi marini e non marini.

Nei laghi il rapporto fra gli ioni è più importante della salinità totale.

Le acque salmastre sono spesso molto produttive, per via dei nutrienti introdotti dal continente tramite delta ecc. Oltre che da ingressione di acque marine subsuperficiali che trasformano gli estuari in trappole per nutrienti

Questa combinazione di elevata fertilità e stress fisiologico da' alle faune e alle flore delle acque salmastre il loro carattere di oligotipia e abbondanza di individui.

*Fucus ceranoides*

*Ruppia cirrhosa*

*Zostera marina*

Le specie caratteristiche sono solitamente dei generalisti di piccole dimensioni (opportunisti r-selected per lo sfruttamento rapido di risorse incostanti e molti giovani)

Le faune di lagune ipersaline somigliano a quelle salmastre ad alto livello tassonomico, ma al livello minore i taxa sono differenti e ovviamente lo sono le facies sedimentarie

Usando una combinazione di analisi di facies, biodiversità, uniformismo tassonomico è possibile identificare faune fossili di ambiente salmastro; inoltre se la conservazione è buona, l'analisi dei livelli isotopici danno una ulteriore precisazione.

Nel Paleozoico questi principi sono di più difficile applicazione.

### **3) STIMA DEI LIVELLI DI OSSIGENO DA BIOFACIES E TRACCE FOSSILI**

Sono frequenti gli strati rocciosi derivati da sedimenti depositati in ambiente marino povero di ossigeno.

Sono importanti come sorgenti di idrocarburi e spesso ospitano Lagerstaetten importanti (Holzmaden, Cene, Monte San Giorgio)

Questi strati sono importanti indicatori delle oscillazioni dei livelli di Ossigeno a lungo e breve termine e di conseguenza sulle variazioni della circolazione negli oceani.

E' quindi importante ottenere modelli che consentano di ricostruire i livelli di paleo-ossigenazione nelle acque degli antichi fondali marini

Primi approcci di studio di tipo uniformitario:

Analisi della fauna e della tessitura sedimentaria lungo gradienti di  $O_2$  in bacini attuali

<b>AMBIENTE</b>	}	AEROBICO	>1.0 ml/l $O_2$
		DISAEROBICO	0.1-1.0 ml/l $O_2$
		ANAEROBICO	< 0.1 ml/l $O_2$

Le zone così definite usate per definire le biofacies nei sedimenti antichi

Biofacies **AEROBICHE**

Sedimenti bioturbati, alta diversità, fossili ben calcificati e di grosse dimensioni

Biofacies **DISAEROBICHE**

Scarsa bioturbazione o assente, bassa diversità, fossili piccoli e meno calcificati

Biofacies **ANAEROBICHE**

Sedimenti laminati, assenza di macrobenthos autoctono

Gli strati depositatisi in condizioni anaerobiche possono però contenere resti ottimamente conservati di Vertebrati e Invertebrati nectoplanctonici

Recentemente sono state aggiunte altre due facies potenziali:

**ANOSSICA**

**e**

**ESAEROBICA**

**ANOSSICA:** Ambienti anaerobici possono contenere bassissime concentrazioni di ossigeno tali da non consentire la vita al macrobenthos, ma può esserci del microbenthos che produce microbioturbazioni (parziale distruzione della struttura laminare del sedimento).

Le facies ANOSSICHE si distinguono da quelle anaerobiche perché l'ossigeno manca completamente, si ha assenza di microbenthos e microbioturbazione

**ESAEROBICA**      Facies di transizione tra  
*disaerobica e anaerobica*

I primi modelli di biofacies postulavano una relazione costante tra il diminuire della concentrazione di  $O_2$  e la diminuzione delle dimensioni degli organismi e una sostanziale riduzione del grado di calcificazione del loro scheletro al passaggio disaerobico-anaerobico.

Questi modelli interpretavano tutti i macroinvertebrati ritrovati in strati laminati come planctonici o nectonici o epiplanctonici

Studi più recenti indicano che in particolari condizioni si possono riscontrare macroinvertebrati ben calcificati anche in zone con livelli di O<sub>2</sub> più bassi di quelli corrispondenti alla zona disaerobica

Studi su strati antichi indicano che alcuni organismi epibionti dotati di conchiglia possono vivere su fondali di ambienti il cui substrato è sufficientemente povero di O<sub>2</sub> da escludere l'infrafauna causa di bioturbazione.

Un esempio è la Monterey Formation, dove si trovano in situ delle *Anadara*, quasi esclusivamente in strati al limite fra la zona disaerobica e quella anaerobica.

Questi bivalvi avrebbero potuto addirittura favorire la formazione di un ambiente povero di O<sub>2</sub> tramite la simbiosi con batteri solfoossidanti, (insieme ad altri fattori).

I trend analizzati consentono individuare tracce che dimostrano relazioni su più livelli.

Il modello consente di individuare icnocenosi ossigeno dipendenti (ORI: *Oxygen Related Ichnocoenoses*).

Ossia unità di strati depositatisi in condizioni simili di ossigenazione.

Applicando i modelli di ORI ad analisi dettagliate di sequenze verticali le tracce fossili possono essere usate per costruire curve che riflettono il tasso e l'ampiezza delle variazioni temporali delle condizioni di ossidoriduzione.

Considerando la prevalenza di facies disaerobiche nel record stratigrafico, le tracce fossili sono una delle migliori testimonianze per valutare le condizioni di ossigenazione di un ambiente povero di Ossigeno.

