

Roma 28-29 Aprile 2011

**Caratterizzazione sedimentologico-paleoambientale delle successioni  
carbonatiche tramite l'analisi delle facies e dei processi diagenetici:  
esempi evolutivi di sistemi deposizionali carbonatici mesozoici e terziari  
dell'area circummediterranea**

*lezioni curate da Flavio Jadoul*

*Dipartimento Scienze della Terra Università degli Studi di Milano*

Programma 28 aprile mattina : ore 10.15

1. Fattori che controllano i processi sedimentari e la produttività carbonatica,
2. Caratterizzazione dei sistemi deposizionali carbonatici e misti: tipi di “fabbriche dei carbonati”, geometrie e terminologia utilizzata nell’analisi di facies;
3. Caratterizzazione ambientale dei sistemi deposizionali carbonatici attuali

Pomeriggio 28 aprile: inizio ore 14.30

4 L’analisi di facies delle piattaforme e delle rampe carbonatiche:

4a) la piattaforma interna;

4b) le facies di alta energia: spiagge, barre e margini sabbiosi della piattaforma;

4c) lo shelf subtidale aperto e le facies marginali biocostruite della piattaforma;

4d) le facies di scarpata, pendio

17.00 Discussione in aula

# 1. Fattori che controllano i processi sedimentari e la produttività carbonatica,

La preparazione del seminario ISPRA sulla caratterizzazione sedimentologico paleoambientale delle successioni carbonatiche ha utilizzato materiale didattico proveniente da: molteplici articoli scientifici, testi didattici di:

- *Autori vari citati nelle figure,*
- *dispense delle lezioni di Sedimentologia dei carbonati (Univ. di Milano)  
preparate da F. Jadoul e da G. Della Porta*
- *AAPG mem.33 Carbonate depositional environments, foto CD della SEPM 1,2,3,22  
a cura di P. Sholle,*
  - *sito web USC di Sedimentologia e Stratigrafia Sequenziale  
a cura di K.J.Kendall 2002-2004,*
- *W. Schlager : Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy SEPM n8 2005*
- *A. Bosellini: Introduzione allo studio delle rocce carbonatiche Ed Bovolenta 1991*

# Come si formano i carbonati ?

- I minerali carbonatici precipitano da una soluzione marina, di acque dolci oppure crescono nell'ambito del tessuto organogeno di organismi scheletrici attraverso processi inorganici, organici, biochimici e biologici.
- La maggior parte dei carbonati derivano da resti scheletrici di organismi (animali e piante) con scheletro calcareo.

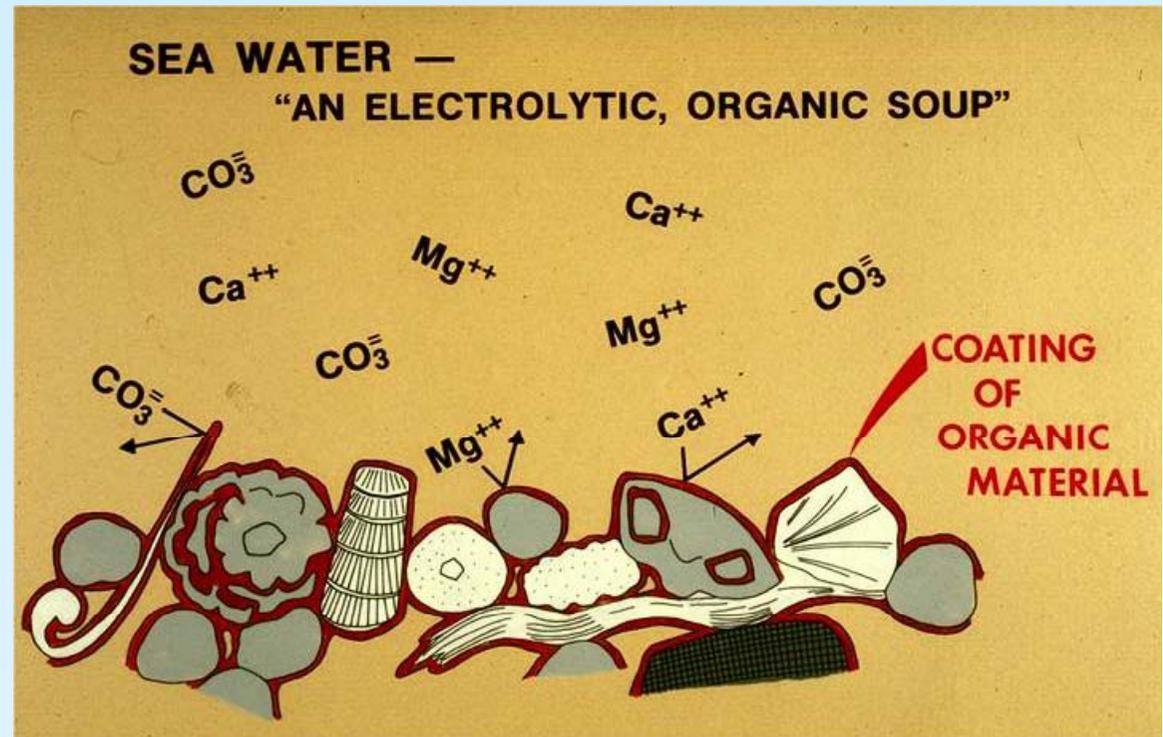
***“Carbonates are born not made!”***

(N. James)

1) I carbonati possono precipitare direttamente da acque marine sature in  $\text{CaCO}_3$ ,

2) Possono precipitare da fluidi diagenetici in sedimenti e cementi,

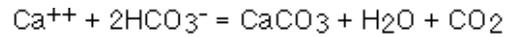
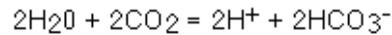
3) La loro formazione può essere indotta biologicamente (es batteri e cianobatteri).



L'acqua marina e gli ioni comunemente a disposizione nei processi di precipitazione inorganica, organica, biochimica e biologica

# Concetti di base

## The Carbon Dioxide Equilibrium



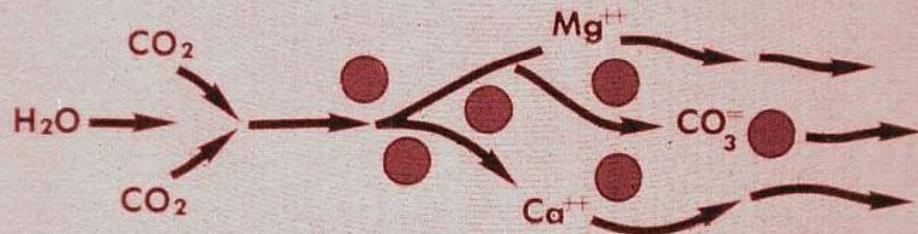
simplified: **water** + **carbon dioxide** + **dissolved calcium** yields **lime stone**

**reduction of carbon dioxide in water**

- \*expulsion by **high temperatures**
- \*used up by **algal photosynthesis**
- \*used up by **skeletons of organisms**

La reazione chimica di equilibrio che determina la precipitazione del carbonato di calcio e/o la sua dissoluzione

## DIAGENETIC CONTROL OVER POROSITY EVOLUTION DEPENDS ON REACTIVE FLUID MOVEMENT THROUGH THE AVAILABLE PORE SYSTEM



ALLOWS  
DISSOLUTION CEMENTATION DOLOMITIZATION  
LEADING TO POROSITY  
GENERATION DESTRUCTION GENERATION

C. MOORE '79

# Metodi per sottrarre la CO<sub>2</sub> e promuovere la precipitazione di carbonati:

## 1. Incremento della temperatura

Incrementando la T diminuisce la solubilità del CaCO<sub>3</sub>. La degassazione della CO<sub>2</sub> può avvenire perché i gas sono meno solubili in acque calde che in quelle fredde:  $2\text{HCO}_3^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

## 2. Agitazione

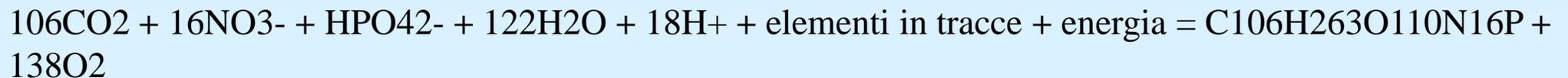
L'agitazione del fluido può liberare la CO<sub>2</sub> che è in eccesso di quella che dovrebbe essere in equilibrio con la CO<sub>2</sub> atmosferica (es è importante l'azione delle onde). Il caso è simile a quello dovuto all'agitazione di una bottiglia di acqua che viene gasata iniettando gas ad alta pressione, una volta rimosso il tappo il gas in eccesso fuoriesce sino ad realizzarsi un equilibrio con la CO<sub>2</sub> atmosferica. Se si agita la bottiglia questo processo avviene più rapidamente.

## 3. Incremento della salinità

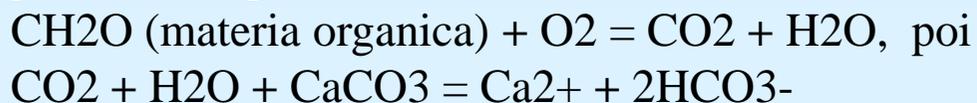
CO<sub>2</sub> è meno solubile in acque saline che in quelle dolci. La salinità normalmente aumenta attraverso l'evaporazione che non solo porta alla perdita di CO<sub>2</sub>, ma anche incrementa la quantità di Ca<sup>2+</sup> e CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> lasciata nel fluido. Anche questo incrementa il potenziale per la precipitazione dei minerali.

## 4. Attività biochimica

I carbonati sono comunemente prodotti da attività dirette o indirette di organismi, specialmente microbi. Per esempio, durante la fotosintesi CO<sub>2</sub> è rimosso dall'ambiente per provvedere al carbonio organico (es nelle alghe) e il rilascio di ossigeno:



L'inverso di questa reazione — il decadimento della sostanza organica — porta alla dissoluzione del carbonato con produzione di porosità:



La maggior parte dei carbonati marini sono dovuti a attività dirette e/o indirette degli organismi.

# Diagenesi delle rocce carbonatiche

- Molte caratteristiche dei sedimenti carbonatici sono analoghe a quelle dei terrigeni clastici ma con qualche differenza:
- La maggior parte delle rocce carbonatiche sono intrabacinali e i processi di trasporto non sono così importanti come per i silicoclastici.
- Molte rocce carbonatiche sono biogeniche in origine altre dovute a precipitazione di minerali indotti da processi biochimici o per alta concentrazione di frammenti scheletrici (biomineralizzazione). Solo una parte sono abiotiche in origine.
- I carbonati in genere litificano molto rapidamente.
- Le tessiture particellari dei carbonati non necessariamente riflettono l'energia ambientale di deposizione.

## Mineralogia

I principali minerali in rocce carbonatiche sono::

Calcite:  $\text{CaCO}_3$  (chiamata anche *low-magnesium calcite*)

Mg-calcite:  $\text{CaCO}_3$ , ma con parecchie mol% Mg (tipicamente > 4 mol% in pratica è >12-17%)

Aragonite:  $\text{CaCO}_3$

Dolomite:  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

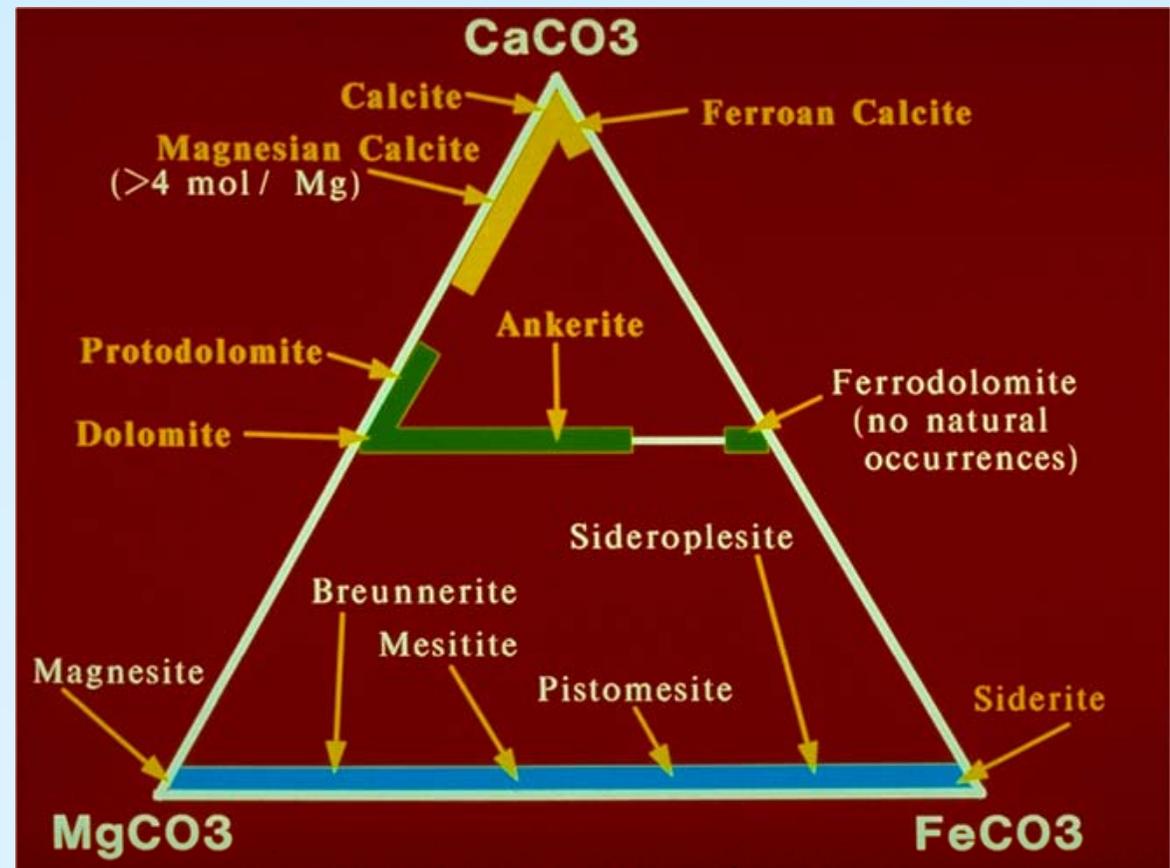
Altri meno comuni minerali:

Dolomite ferrifera ( $\text{Ca}(\text{MgFe})(\text{CO}_3)_2$  (chiamata anche *ankerite*)

Siderite ( $\text{FeCO}_3$ )

Magnesite ( $\text{MgCO}_3$ )

Dolomite ferrifera e siderite sono comunemente associate con ambienti riducenti, la magnesite è stata trovata in alcuni laghi salini.



Da Moore 1979

# I più comuni minerali carbonatici

## Polimorfi del $\text{CaCO}_3$ :

- Calcite (trigonale, esagonale scalenoedrica, <2-3 moli % di  $\text{MgCO}_3$ )
- Aragonite (ortorombico), più solubile della calcite in quanto polimorfo con minore simmetria, ma meno solubile in acque marine poco profonde rispetto alla Mg-calcite). NB Pur avendo stessa composizione chimica gli elementi in tracce possono essere diversi da quelli della calcite (es. lo Sr).
- Vaterite (esagonale anche chiamata  $\mu$ -calcite, si trova in alcuni carbonati lacustri).

## Le magnesio-calciti.

Si tratta di calciti con almeno 12-17%  $\text{MgCO}_3$  (in soluzioni solide) molto diffuse in organismi e sedimenti marini attuali.

**Dolomiti e protodolomiti:** La dolomite ideale ha un rapporto Ca/Mg 1:1 (stechiometrica) e sono presenti raramente in antiche dolomiti. Più frequenti in natura sono le dolomiti con rapporti Mg/Ca che possono variare (protodolomiti). Si hanno anche le calciti magnesiate e dolomie calcitiche.

Le trasformazioni dei minerali carbonatici possono avvenire attraverso una **trasformazione “dry”** (inversione aragonite-calcite avviene solo ad alta temperatura circa  $400^\circ$ )

**Trasformazioni “wet”** (inversione aragonite calcite in acque povere di  $\text{Mg}^{2+}$  è più rapida per la funzione catalitica dell' $\text{H}_2\text{O}$ ).

Ci sono inoltre alcuni **altri fattori da considerare nelle trasformazioni dei minerali carbonatici:**

- l'effetto del  $\text{Mg}^{++}$  inibisce la precipitazione della lo Sr favorisce la stabilità della aragonite,
- i coefficienti di partizionamento del  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Sr}^{++}$  condizionano la stabilità dei polimorfi di  $\text{CaCO}_3$ ,
- l'importanza della sostanza organica ( film organogeni sulle particelle carbonatiche) nelle reazioni particella acqua,
- la solubilità è aumentata dalla presenza di grani piccole dimensioni.

Per approfondimenti vedi il testo “Carbonate Sediments and their diagenesis” di Bathurst (Elsevier, 1976)

# Composizione chimica e mineralogia dei carbonati

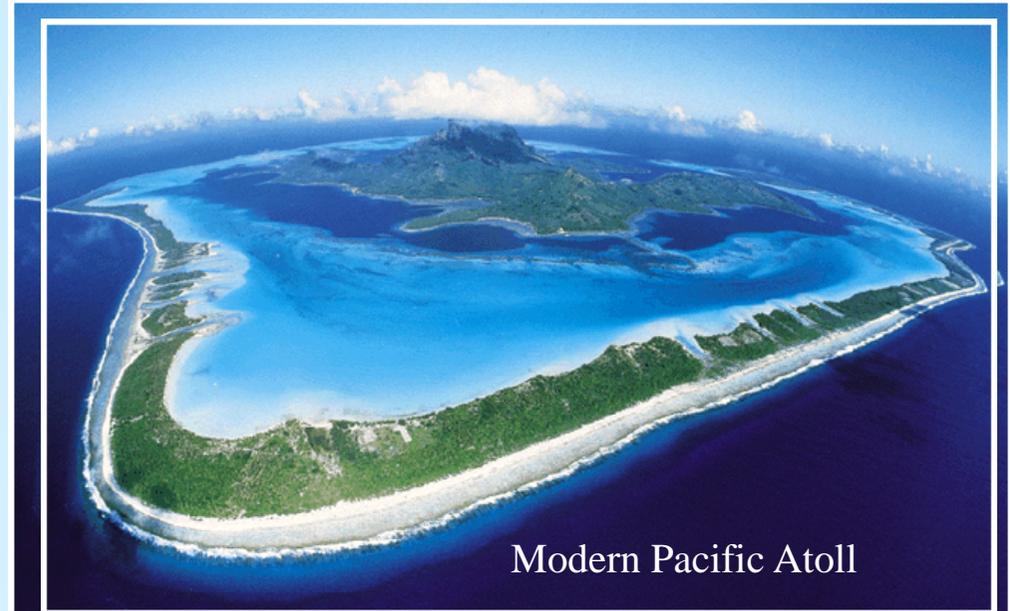
**Calcari** – > 50% calcium carbonate  
 $\text{CaCO}_3$

Il carbonato di Ca attuale può formarsi principalmente come 3 polimorfi:

1. **Aragonite** –Mg-poor (<5000ppm); Sr-rich form (10000ppm)
2. **High Mg calcite** with >4 mole%  $\text{MgCO}_3$  (HMC)
3. **Low Mg calcite** (LMC) <4 mole%  $\text{MgCO}_3$

I calcari antichi sono di calcite a basso contenuto fdi Mg con +/- dolomite

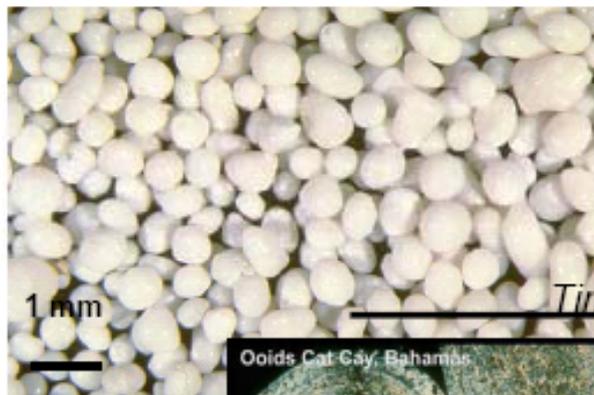
4. **Dolomie** – > 50% **dolomite**,  $\text{CaMg}(\text{CaCO}_3)_2$



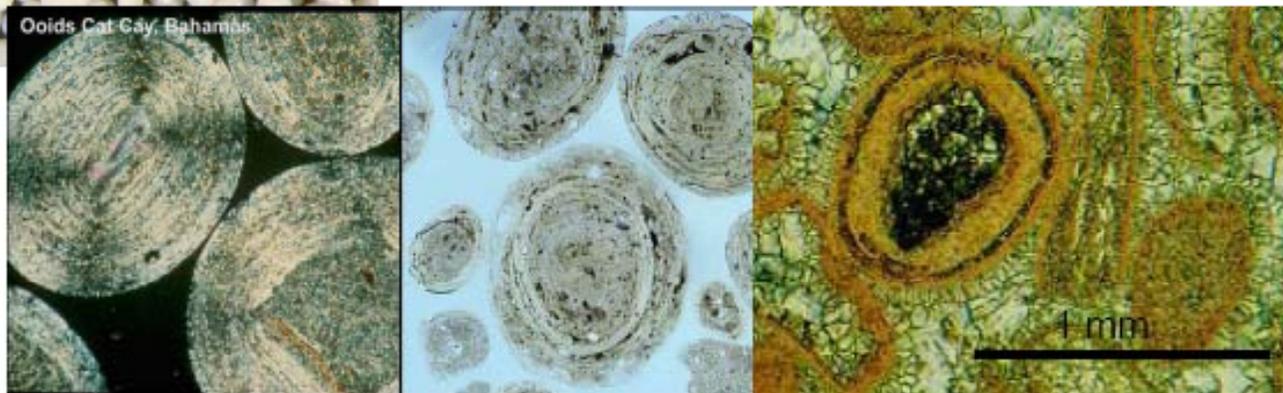


## From sediment to rock

significant mineralogical and textural changes have occurred in most carbonate rocks; each mineral phases behaves slightly differently during diagenesis under superficial conditions

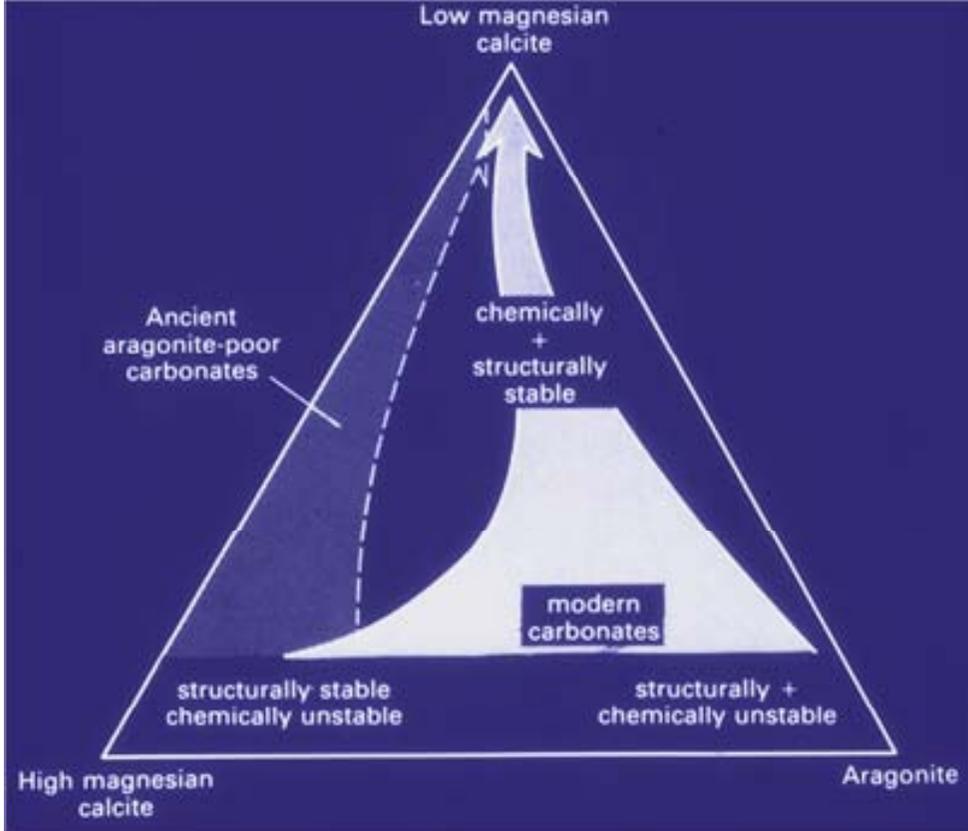


*Time/Diagenesis* →



# Le principali modificazioni diagenetiche precoci

La composizione degli organismi scheletrici e le più comuni trasformazioni diagenetiche (neomorfismo) dei minerali polimorfi del CaCO<sub>3</sub>

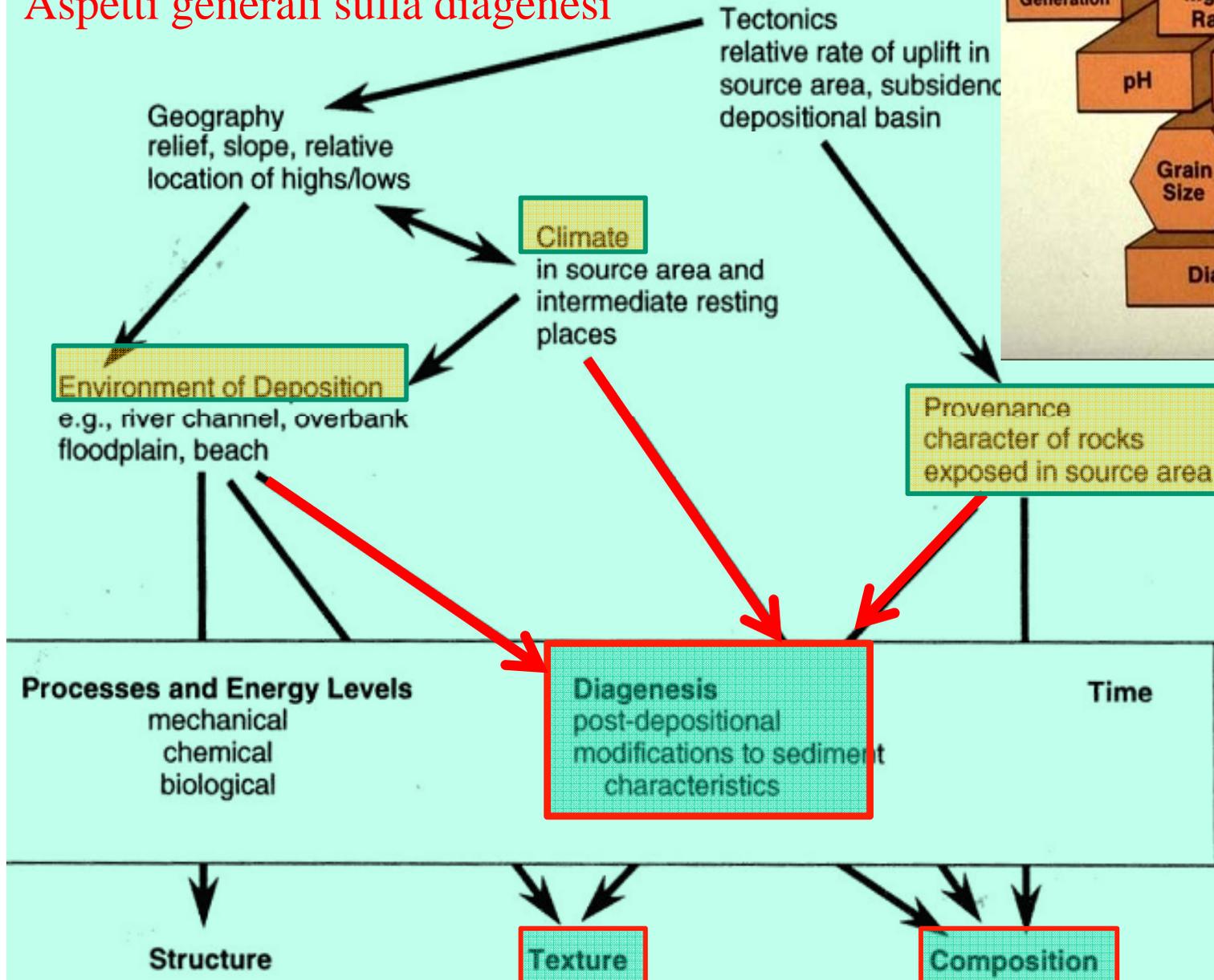
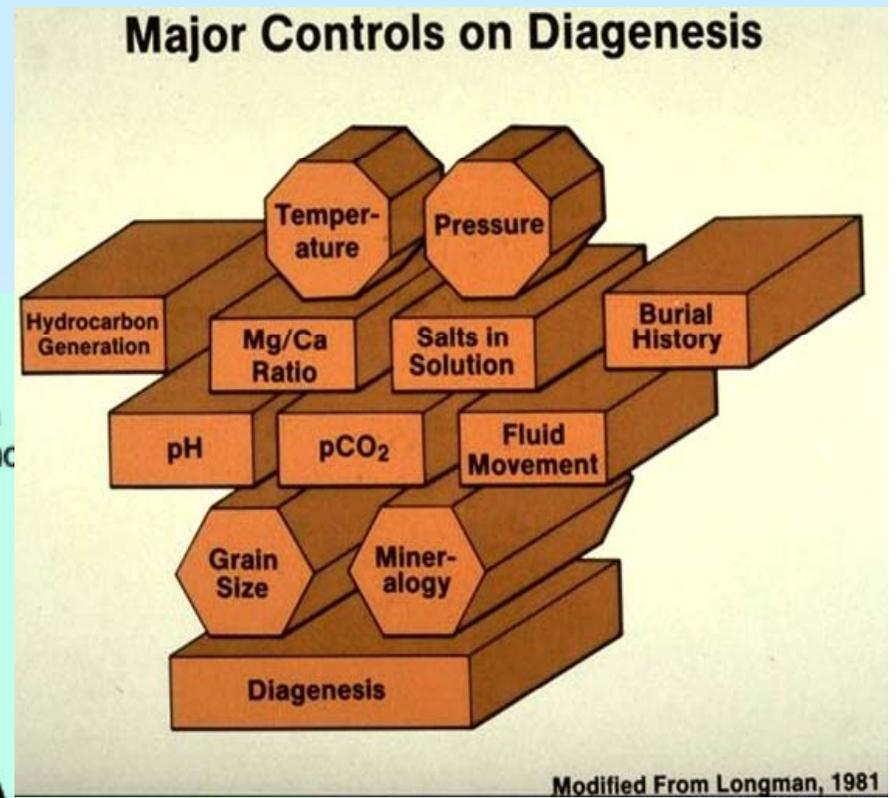


## DIAGENETIC POTENTIAL

P.Sholle CD SEPM 1997



## Aspetti generali sulla diagenesi



# TRACE ELEMENT CONTENTS

(Marine carbonates/ppm)

	CALCITE	ARAGONITE	DOLOMITE
Sr	1000	7000-9400	470-550
Na	200-300	1500	<110-160
Mg	16300-75400	750-6300	130400
Fe	2-39	---	3-50
Mn	1	<1	1
Zn	10-39	10	24-93
Co	<1	---	<1-1
Cd	<1-2	<1	<1-1
Cu	7-19	<1-5	110-300
Ba	<1	2-4	<1
UO 2	<1	1-4	---

## Ionic Sizes, Alkaline Earth Cations

Mg<sup>++</sup>



0.66Å

Ca<sup>++</sup>



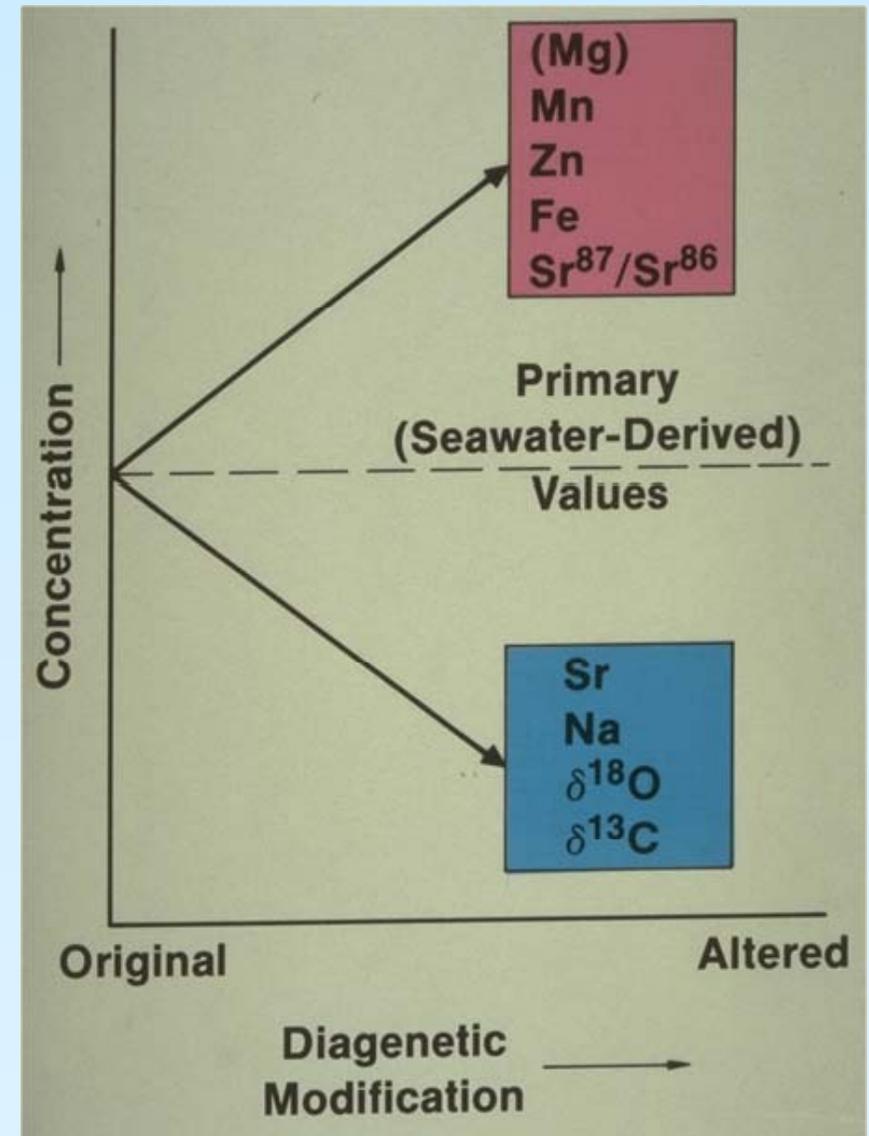
0.99Å

Sr<sup>++</sup>



1.12Å

**Gli elementi in traccia nell'interpretazione diagenetica e ambientale dei carbonati.**



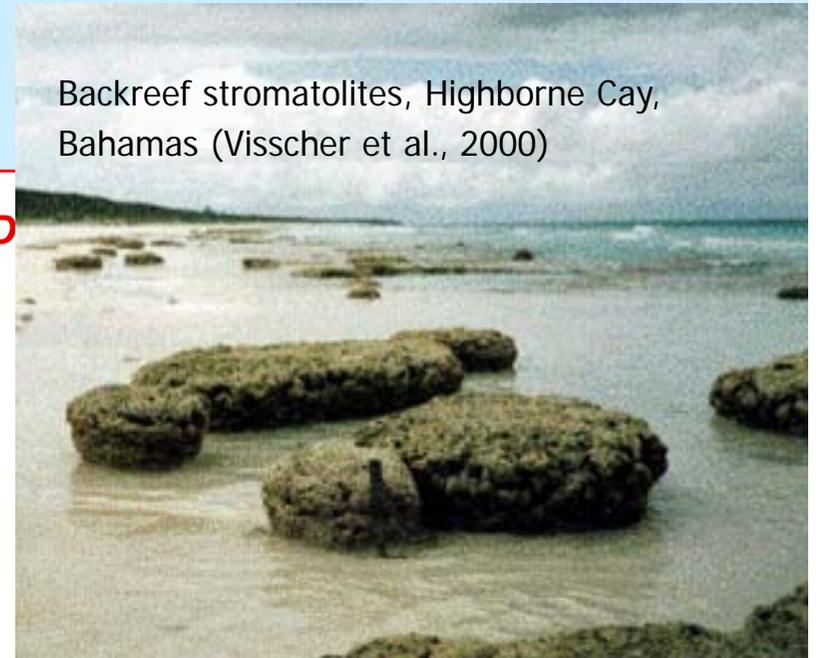
Probable trends of isotopic and trace element geochemistry during diagenesis. Such diagrams have been used to identify the least-altered samples in a data suite. Peter A. Scholle (14521); modified from Veizer (1983), Veizer (1983)

# Modes of Carbonate precipitation

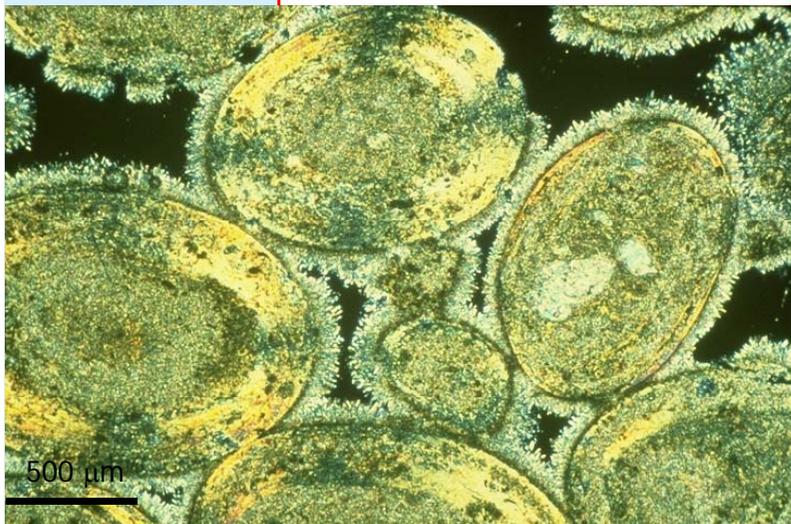
(Burne and Moore, 1987; Lowenstam and Weiner, 1989; Schlager, 2003)



**BIOLOGICALLY CONTROLLED  
MINERALIZATION**  
*Skeletal calcification*

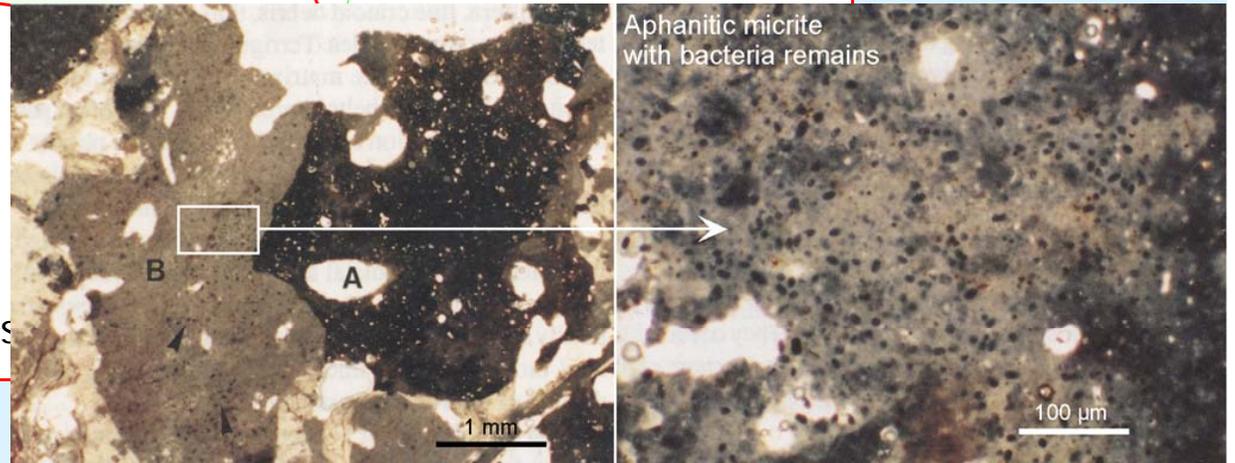


Backreef stromatolites, Highborne Cay, Bahamas (Visscher et al., 2000)



Burne and Moore (1987); Lowenstam and Weiner (1989)

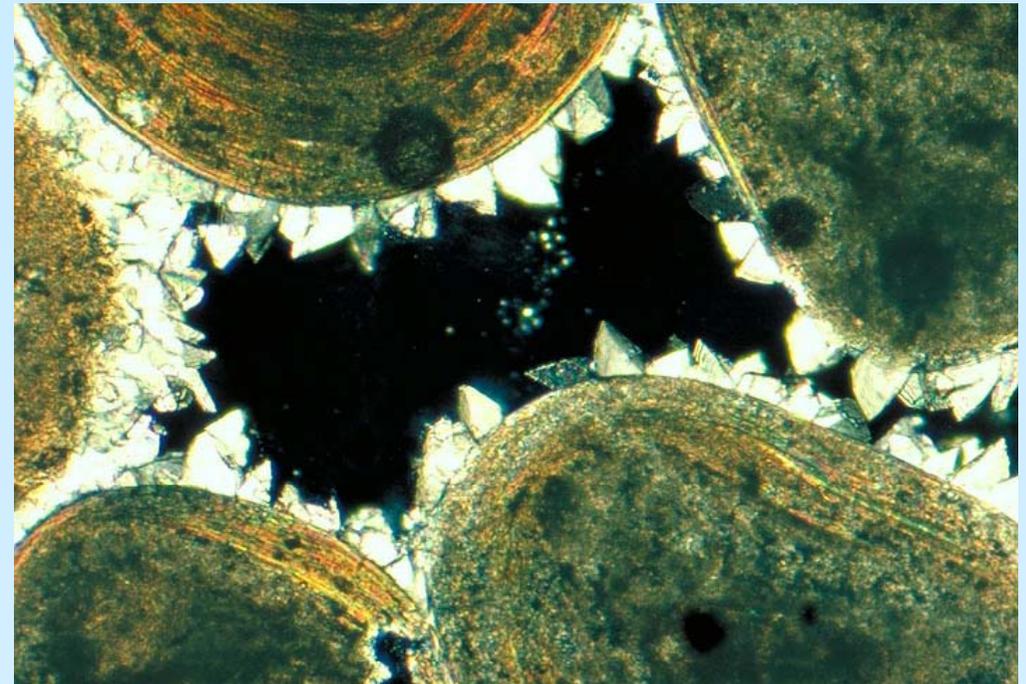
*Trapping and binding  
of detrital sediment*



*In situ* micrite precipitation within reef cavities (Lizard Island, Australia; Reitner et al., 1995)

# Abiotic (inorganic)? Mineralization Carbonate Cements

In recent carbonate sediments,  
passive, pore-filling,  
relatively coarsely crystalline,  
high Mg calcite spar  
(‘sparite’) is the most



Aragonite – Florida reef tract

# Role of organisms in carbonate sediment precipitation

## Biologically controlled precipitation

- Carbonate precipitated from **body fluids** of organisms that need to build a skeleton. The body fluids can be **different from ambient seawater**
- Carbonate formed **intra-cellular**, seeded onto organic template
- Precipitates can have **complex forms**, shells tests etc.



Modern scleractinian coral reef

## Biologically induced precipitation

- Non skeletal organisms (microbes) **change chemistry of (micro)environment** through physiologic activity
- Carbonate is precipitated **extra-cellular**
- Precipitate **indistinguishable** from inorganic precipitate



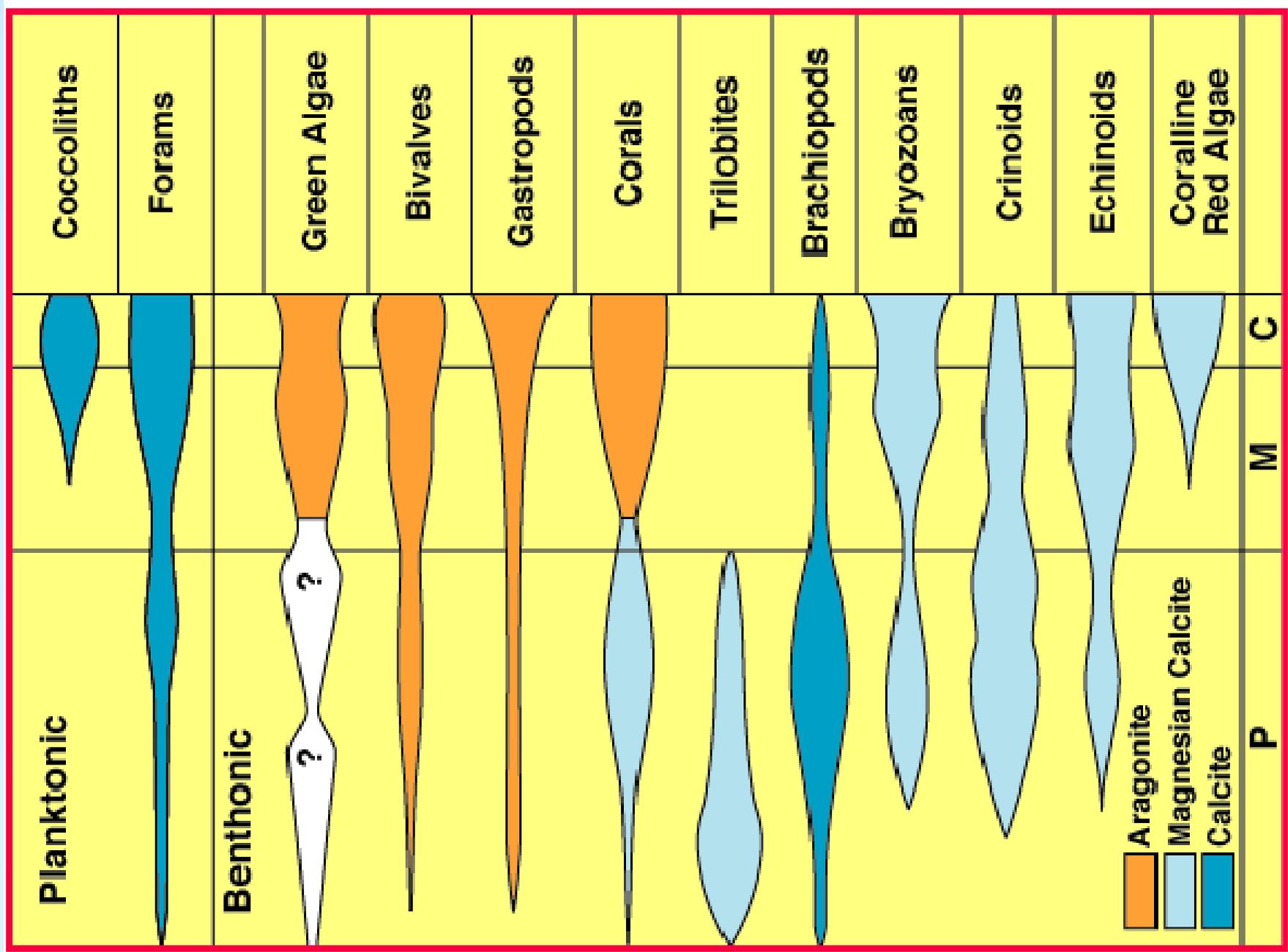
Shark Bay, W Australia –  
modern stromatolites

Sediment stabilisation (algal-cyanobacterial mats),  
post-depositional modification, redistribution,  
destruction (endolithic boring by cyanobacteria)



Cambrian Stromatolites

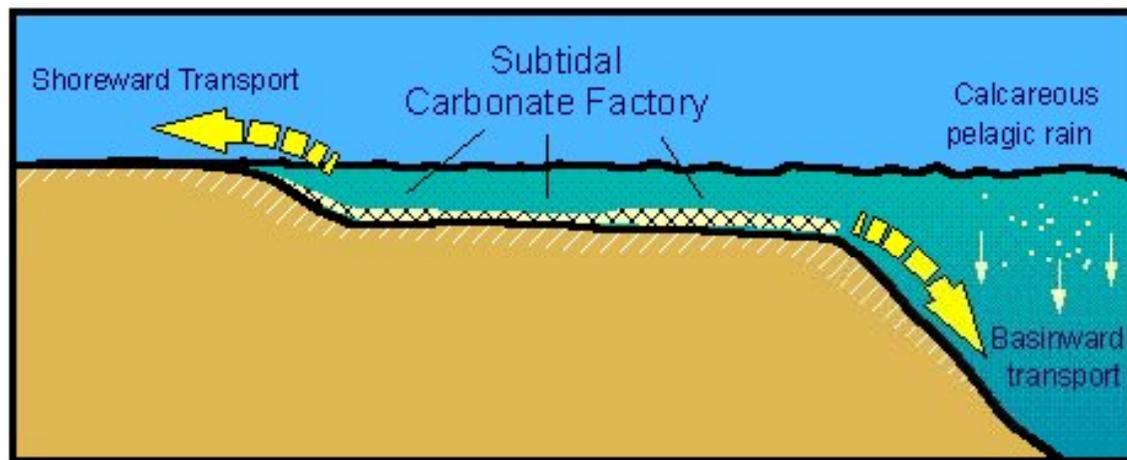
# Mineralogical composition of carbonate skeleton of marine organisms through Phanerozoic



# ” *La carbonate factory*” ( N. James)

## cosa significa?

Rappresenta lo spazio dove il sedimento carbonatico viene prodotto e tutti i processi sedimentari che portano alla produzione di carbonato (Schlager, 2003)



Not to scale. Modified from James (1984)

La traduzione italiana di *factory* permette di conciliare sia il significato di *fattoria* (carbonatici di origine biotica) sia di *fabbrica dei carbonati s.l.* (componenti abiotici, cementazioni).

I carbonati di mare basso si formano e accumulano soprattutto in corrispondenza di margini passivi

Generalmente negli ambienti subtidali, di bassa profondità, estesi e diffusi sullo shelf carbonatico, si verifica la più consistente produttività di sedimento e fanghi carbonatici i quali possono essere esportati lateralmente negli ambienti adiacenti.

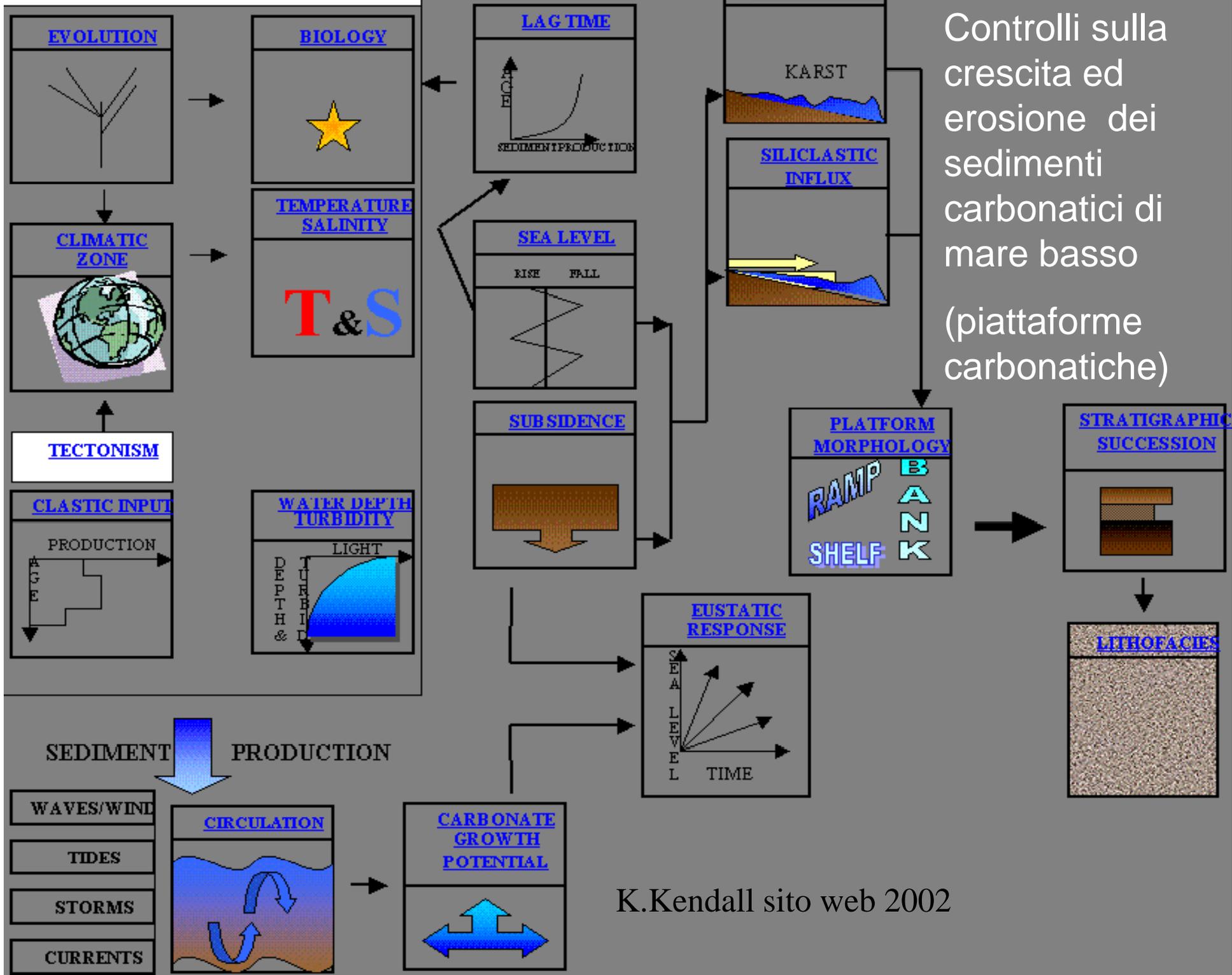
# 1) Fattori che controllano i processi sedimentari e la produttività carbonatica,

L'organizzazione stratigrafico-paleogeografica e l'evoluzione temporale degli ambienti deposizionali carbonatici attuale è regolamentata e condizionata da **molte fattori bio e abiologici che possono interagire tra loro in modi diversi agevolando o inibendo lo sviluppo areale e temporale dei sistemi deposizionali carbonatici.**

**I fattori di controllo sottoelencati** regolamentano lo sviluppo, la diffusione e la persistenza di molteplici processi sedimentari, diagenetici precoci e permettono una moderna classificazione e caratterizzazione degli ambienti-subambienti deposizionali carbonatico-evaporitici:

- 1. *Clima (latitudine, oceanografia, forma e dimensioni areali della piattaforma continentale\shelf)***
- 2. *Penetrazione della lucei fondali dei fondali, variazioni del livello marino***
- 3. *Chimismo-salinità, temperatura delle acque, esposizione ai venti e alle correnti, loro intensità (idrodinamismo)***
- 4. *Attività , sviluppo, competizione, dominanza degli organismi che forniscono il carbonato di origine scheletrica.***
- 5. *Comunità biologica e “catena del cibo” a disposizione dei organismi***
- 6. *Assetto geotettonico, input di terrigeno, nutrienti e correnti di upwelling***
- 7. *Variazioni relative del livello marino, spazio a disposizione nel bacino per la deposizione e preservazione dei sedimenti (interazione tra accomodamento e tassi di sedimentazione).***

**CARBONATE FACTORY**



Controlli sulla crescita ed erosione dei sedimenti carbonatici di mare basso (piattaforme carbonatiche)

# I fattori che condizionano la crescita e l'erosione delle piattaforme carbonatiche

La geometria delle piatt. carbonatiche è determinata dalla natura e consistenza della fattoria carbonatica e dalla loro interazione con le variazioni del livello marino.

Molti studiosi ritengono che quest'ultimo fattore sia determinate sull'anatomia delle piatt carbonatiche (Kendall and Schlager, 1981; Crevello et al., 1989; Loucks and Sarg, 1993). Meno enfasi è data agli effetti dei cambiamenti nelle caratteristiche del sistema di produzione carbonatica.

Nei moderni oceani esistono due maggiori domini carbonatici:

- A) di acque calde tropicali,
- B) di acque più fredde (<20°C) dei domini temperati (Lees and Buller, 1972).

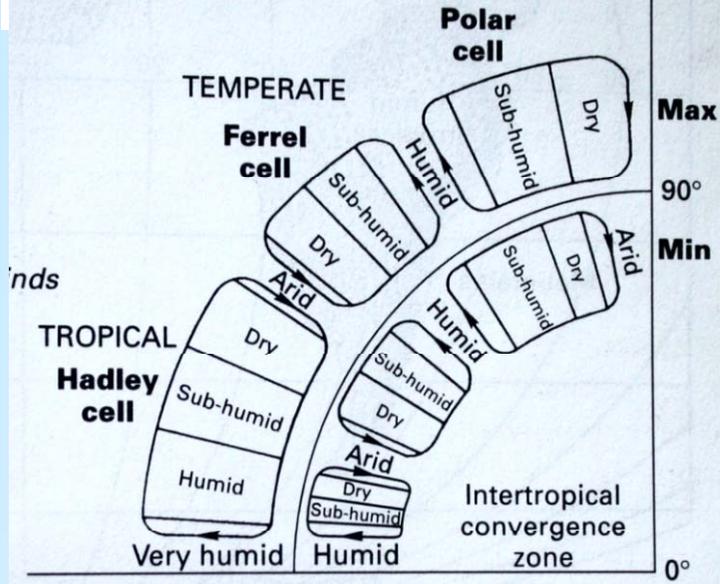
Questi due domini sono esistiti anche nel Fanerozoico (James and Clarke, 1997).

- A) I domini di acque calde sono spesso marginati da reefs o barre sabbiose bioclastiche e presentano un considerevole rilievo sopra i bacini circostanti, contengono molte facies subtidali di bassa energia e sono marginati anche da piane tidali (Wilson, 1975; Tucker and Wright, 1990; James and Kendall, 1992). Questi sedimenti sono composti da associazioni di organismi fotozoici (necessitano della luce) (James, 1997) e da precipitati non scheletrici con alti tassi di produttività e crescita.

Le rampe carbonatiche sono presenti in questi domini ma sono meno comuni delle piattaforme marginate.

- B) Il dominio di acque fredde è caratterizzato da shelf aperti e rampe con generalmente facies di alta energia nello shelf interno-medio, mound biogenici solo sullo slope o sulle rampe esterne e forniscono molti sedimenti verso gli ambienti di mare profondo (James, 1997). I sedimenti derivano da associazioni eterogenee di organismi anche non dipendenti dalla luce e in genere presentano bassi tassi di produttività e accumulo.

# Clima



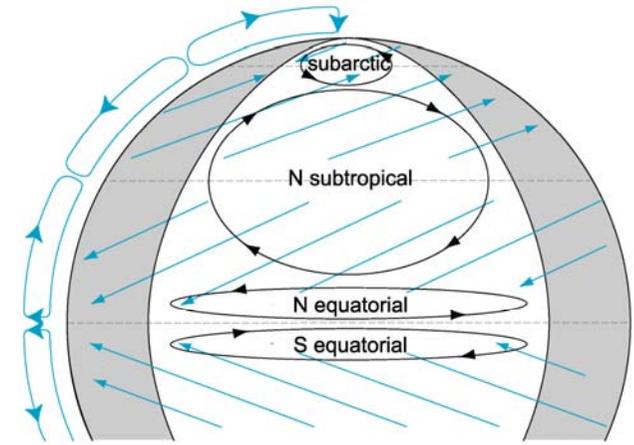
(b)

1992). (b) Predicted position of circulation patterns and climatic belts at both climatic maximum and climatic minimum due to changes in the amount and distribution of heat received from the Sun (after Mathews & Perlmutter, 1994).

Aspetti importanti sono:

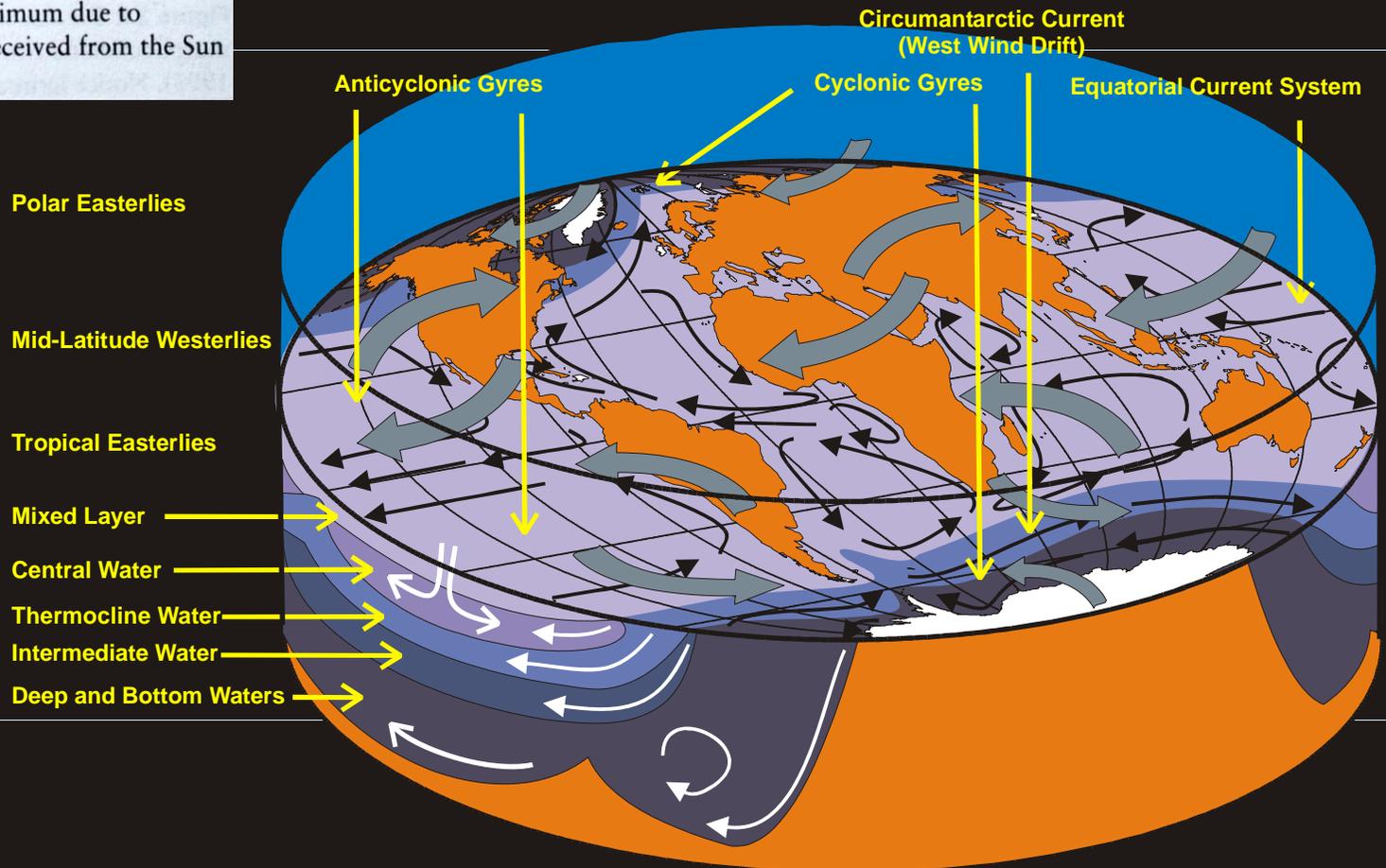
- le temperature e le precipitazioni,
- localmente il regime del vento e le loro variazioni stagionali e non,
- la grandezza e intensità di eventi estremi.

## OCEANIC CIRCULATION INDUCED BY ATMOSPHERIC WIND FIELDS



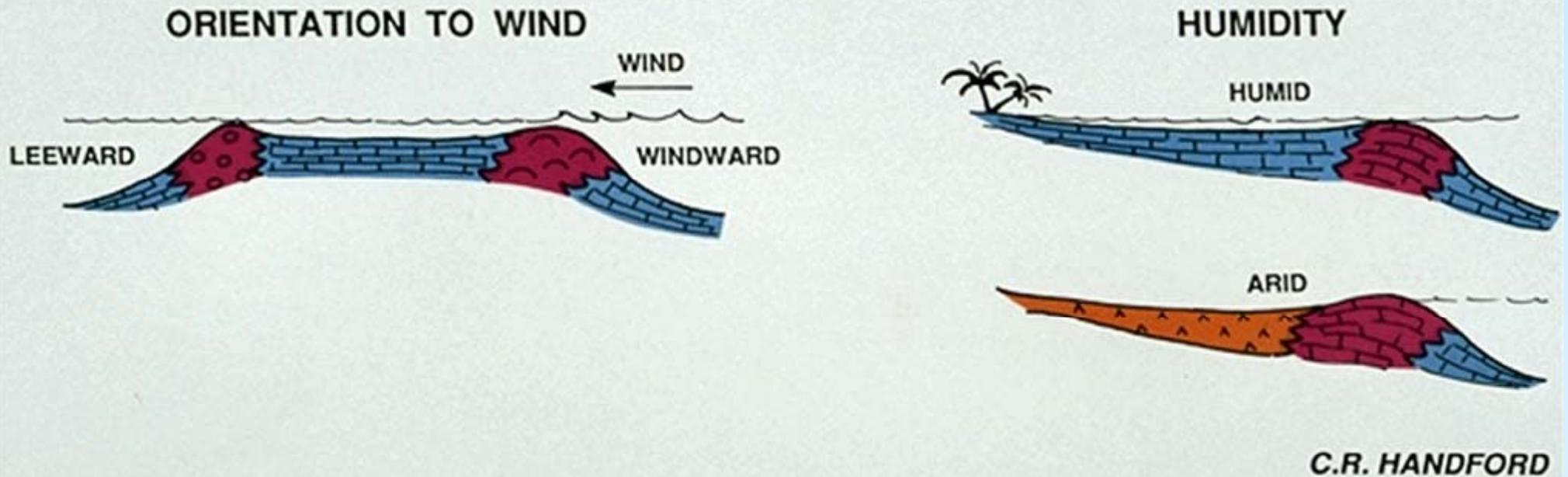
Wind fields and circulation cells in the atmosphere surface circulation cells (gyres) induced by wind in an ocean flanked by continuous landmasses

Weyl 1970, modif.



# VARIABLES CONTROLLING CARBONATE SYSTEMS TRACTS

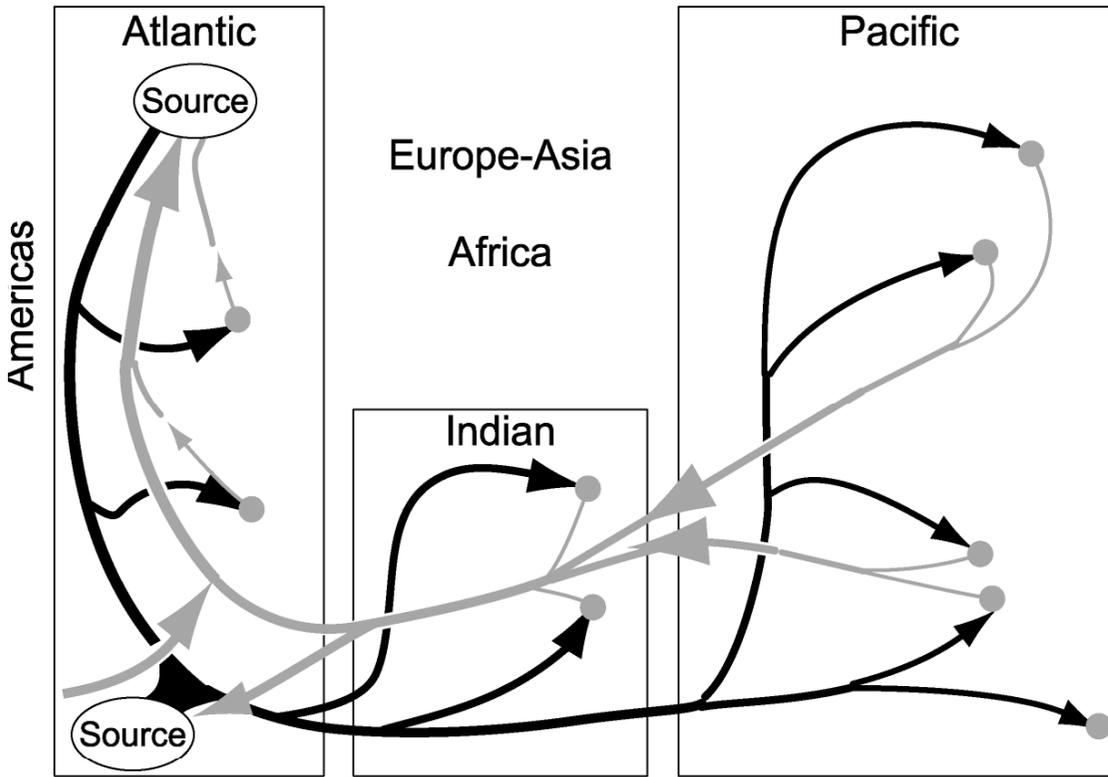
## CLIMATE



Altre importanti variabili climatiche condizionano lo sviluppo delle facies carbonatiche di mare basso:

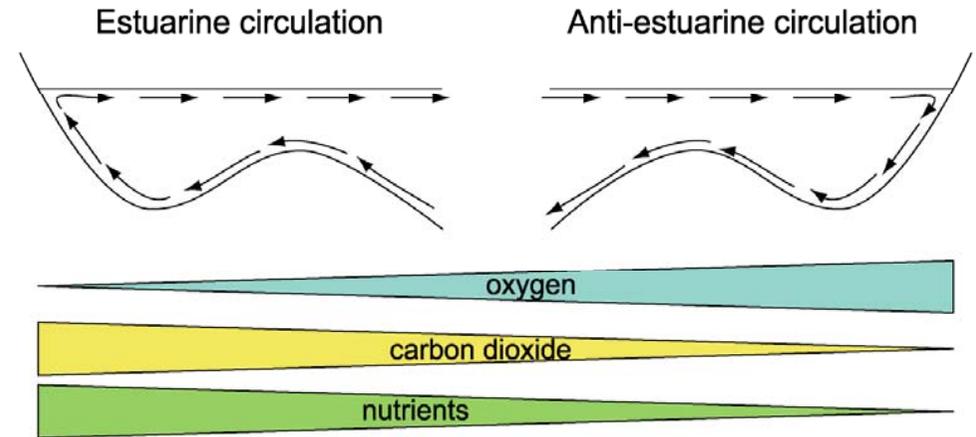
- orientazione ai venti dominanti (influenzano i margini della piattaforma)
- tipo di clima (influenza e condiziona la vita degli organismi, la caratterizzazione dei sedimenti, la diagenesi)

# OCEANIC DEEP-WATER CIRCULATION - A CONNECTED SYSTEM



Broecker & Peng 1982, 1

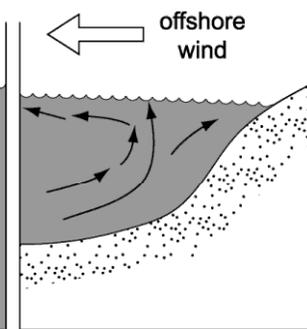
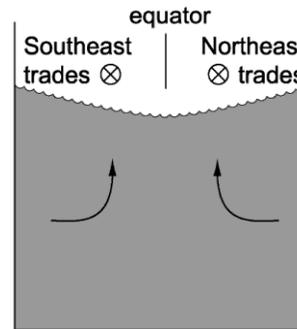
## WATER EXCHANGE AND BASIN-BASIN FRACTIONATION IN THE OCEAN



Berger & Winterer 1974, modif.

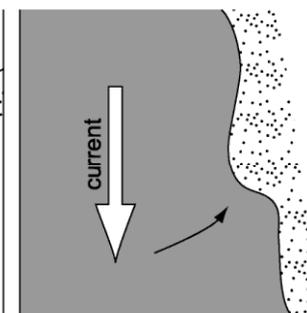
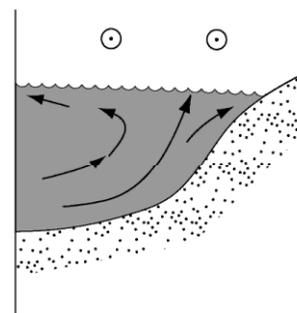
## UPWELLING CONNECTS OCEAN LAYERS

Open-ocean  
Coriolis  
upwelling



Wind-driven  
upwelling

Coriolis  
upwelling  
(shown for  
northern  
hemisphere)



Obstruction  
upwelling  
(plan view)

after Pipkin et al.  
1987, modified

## Concetti di base di oceanografia:

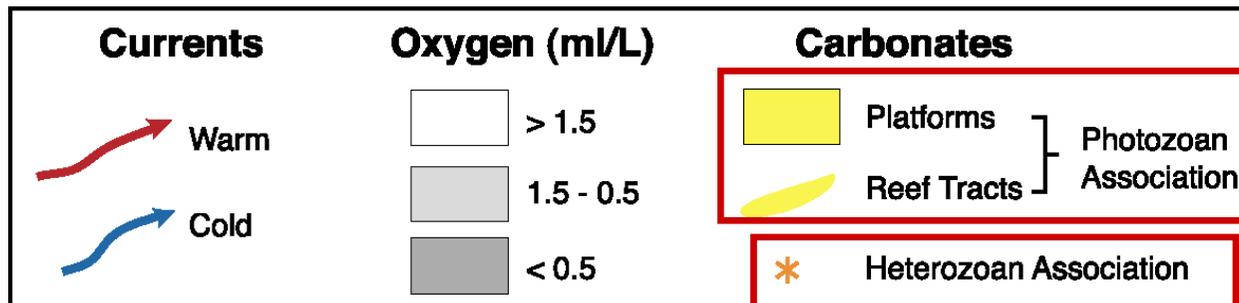
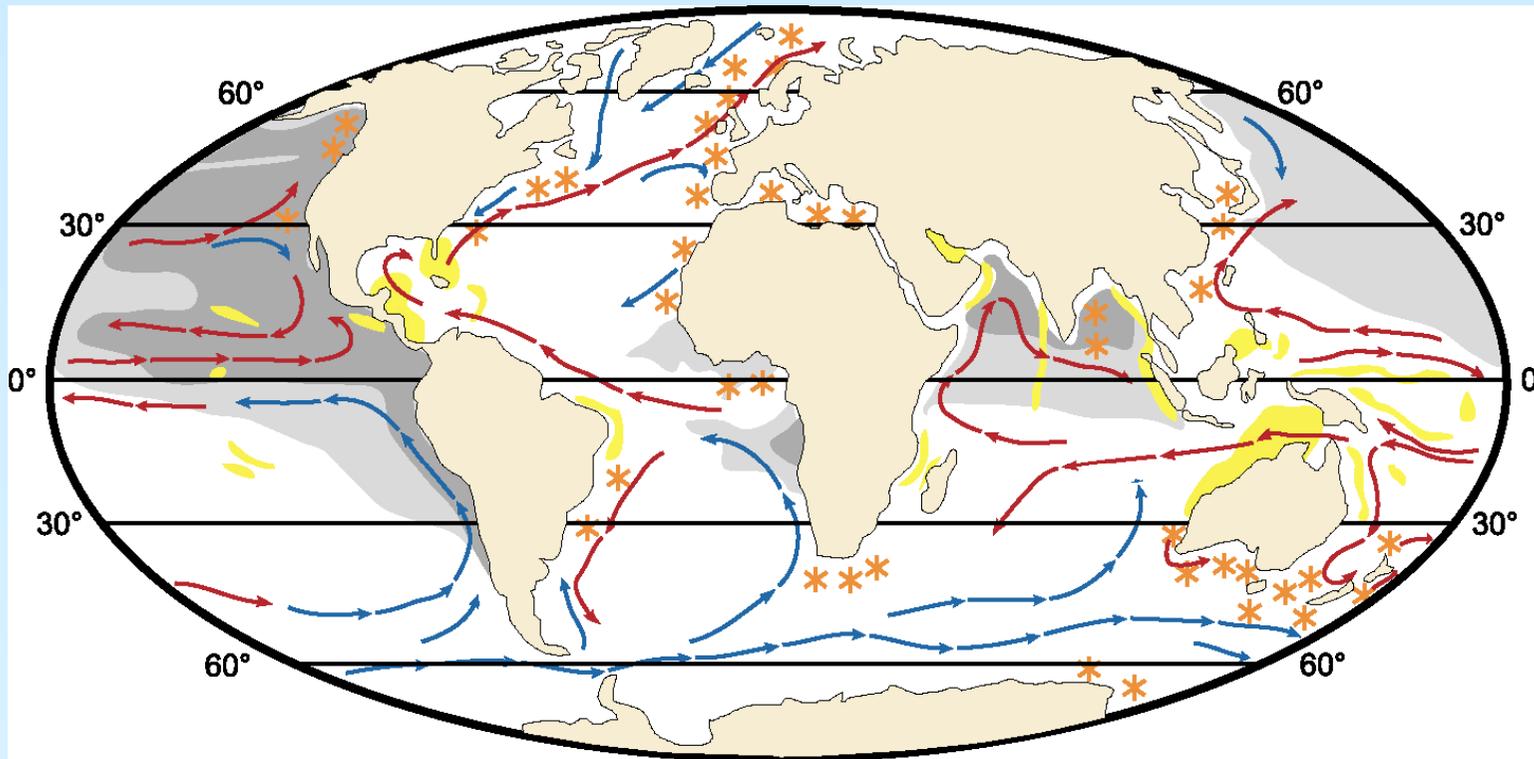
-circolazioni delle acque profonde,

Circolazione costiera  
eustarina\antieustarina,

- Upwelling e sue tipologie

# Fattori di controllo: **latitudine e oceanografia**

*James (1997)*



Tropical carbonates  
(Photozoan)

Non tropical carbonates at  
high latitude and upwelling  
areas (nutrients)

	tropical	subtropical	warm-temperate	cold-temperate	cold-water
Lees (1975)	chlorozoan	chloralgal		foramol	
Carannante et al. (1988)	chlorozoan	chloralgal	rhodalgal		molechfor
James (1997)	photozoan		heterozoan		
oooids / aggregates	abundant		common		
corals	abundant		common	rare	
green algae	abundant		common	rare	
red algae	common	abundant			
foraminifera	abundant			common	
bryozoans	abundant			common	
molluscs	abundant			common	



abundant



common



rare

# Penetrazione della luce\torbidità delle acque e batimetria dei fondali.

La profondità delle acque e la torbidità sono fattori fondamentali per la penetrazione della luce (zona fotica).

La torbidità è aumentata solitamente dalla sedimentazione clastica.

Tuttavia la penetrazione della luce è bassa nei settori occidentali degli oceani tropicali subtropicali , in aree di upwelling e in aree con un'elevata produttività sui settori orientali degli oceani.

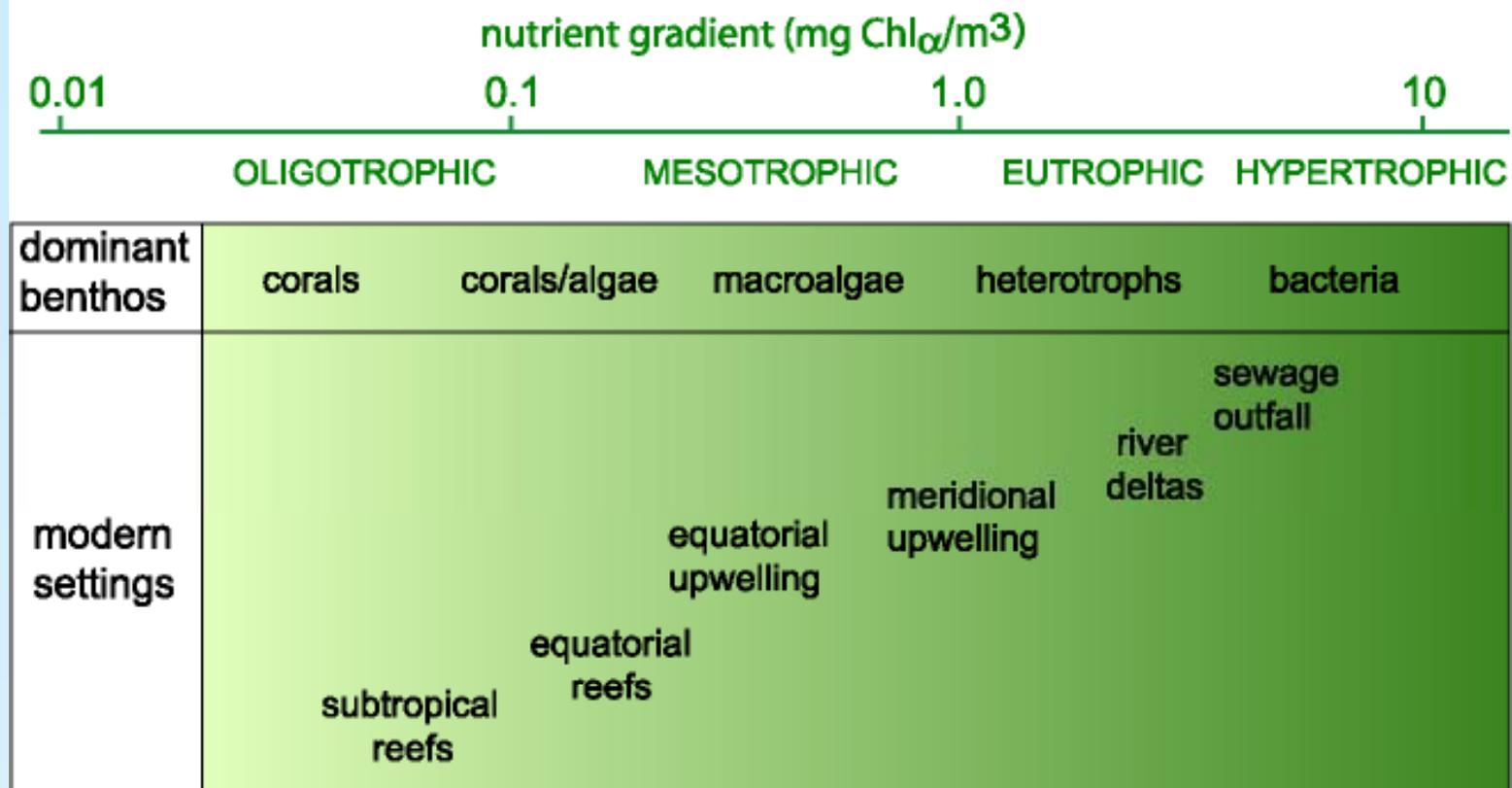
La profondità entro cui si realizza e si forma la fattoria carbonatica varia grandemente a causa della morfologia e tipo di piattaforma.

Le piattaforme di acque calde hanno profondità più basse rispetto a quelle di acque fredde.

Ci sono fattorie che crescono completamente in meno di 20 m (in genere quelle di acque calde), altre si sviluppano sino a 170.

Ciò dipende da molti fattori come: tipologia degli organismi che ricercano zone della colonna d'acqua favorevoli e con concentrazione ideali dei nutrienti ricerca dei nutrienti.

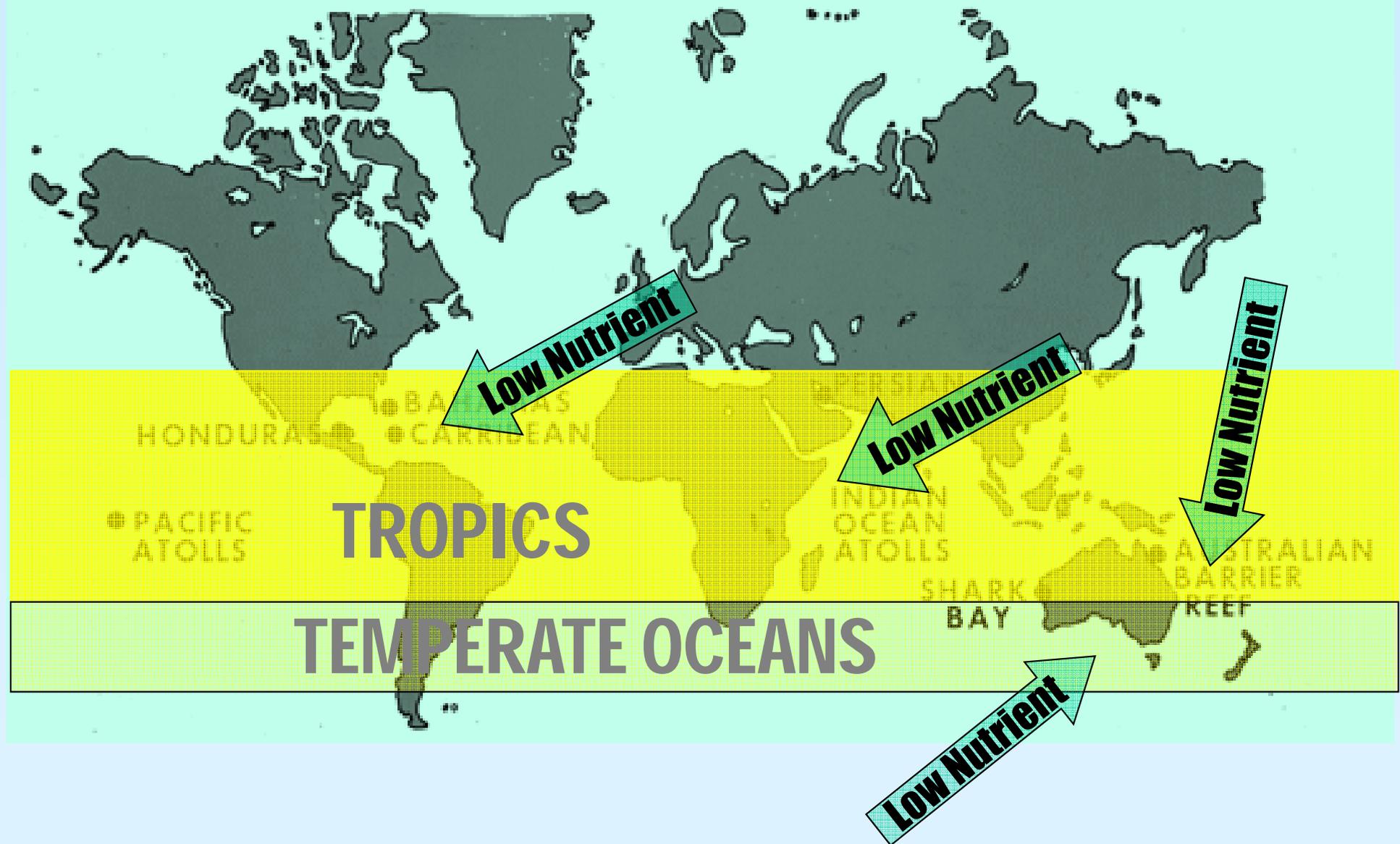
# NUTRIENTS AND CARBONATE PRODUCTION IN THE OCEAN



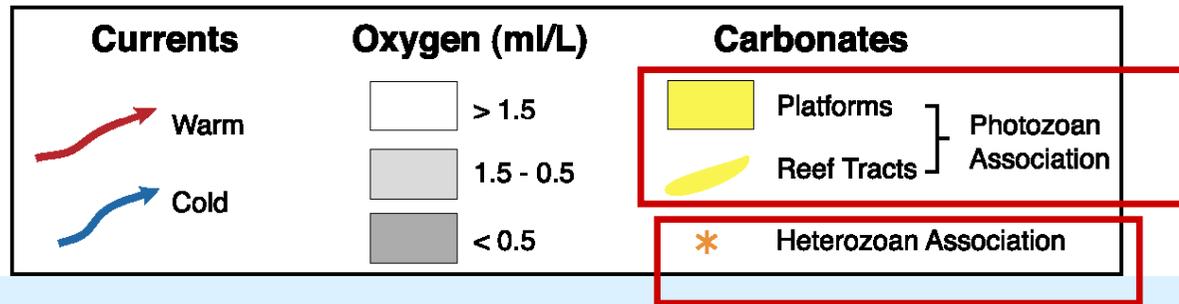
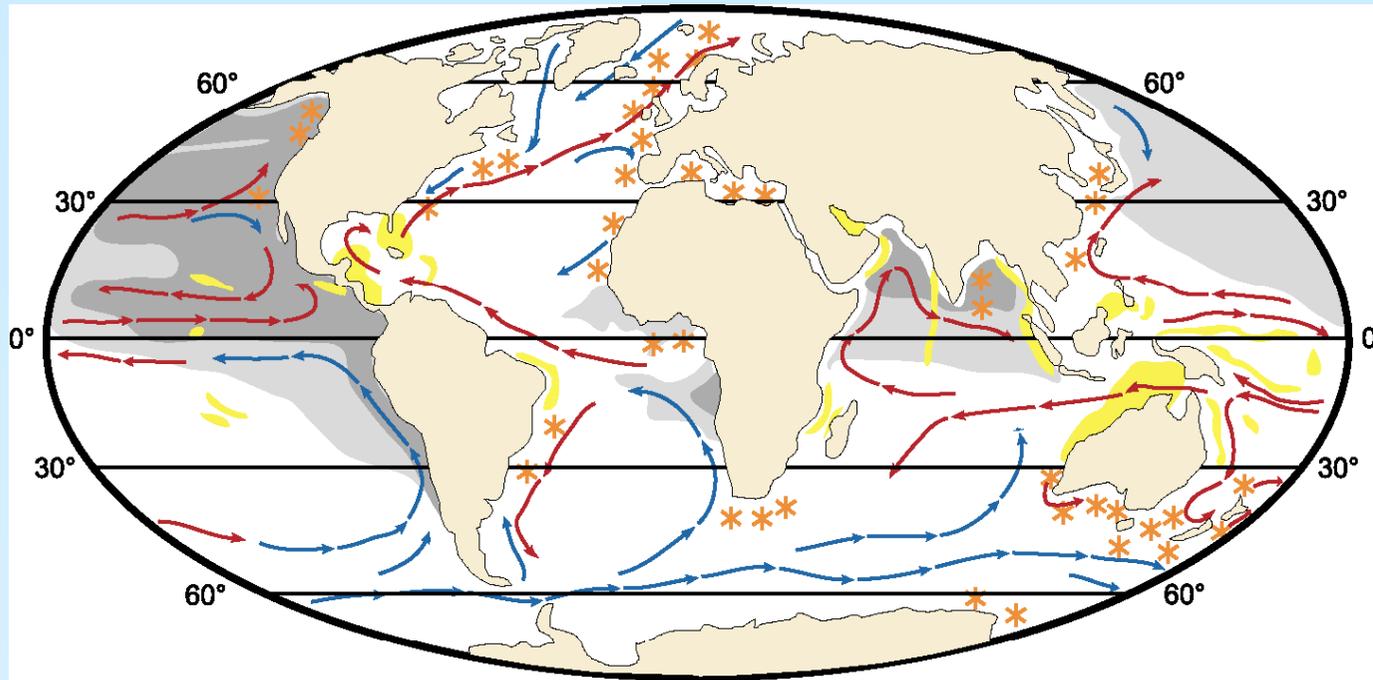
*Mutti & Hallock 2001, modif.*

Un importante parametro biologico è dato dal gradiente dei nutrienti presenti negli oceani, in relazione alla produzione di carbonato (Mutti e Hallock 2001 mod.)

# AREAS OF MODERN CARBONATE DEPOSITION



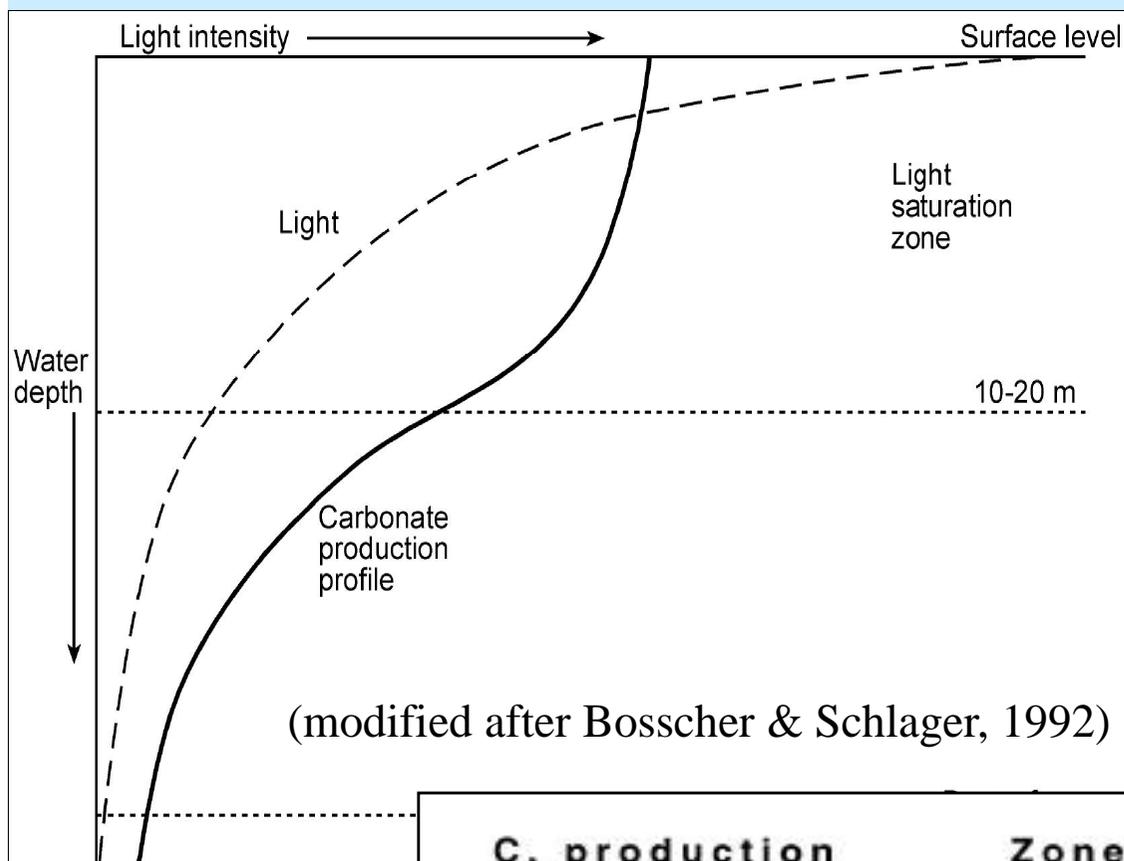
# Controlling factors: nutrients



- Eastern ocean margins (upwelling)
- Deltas

Tropical **OLIGOTROPHIC** carbonates

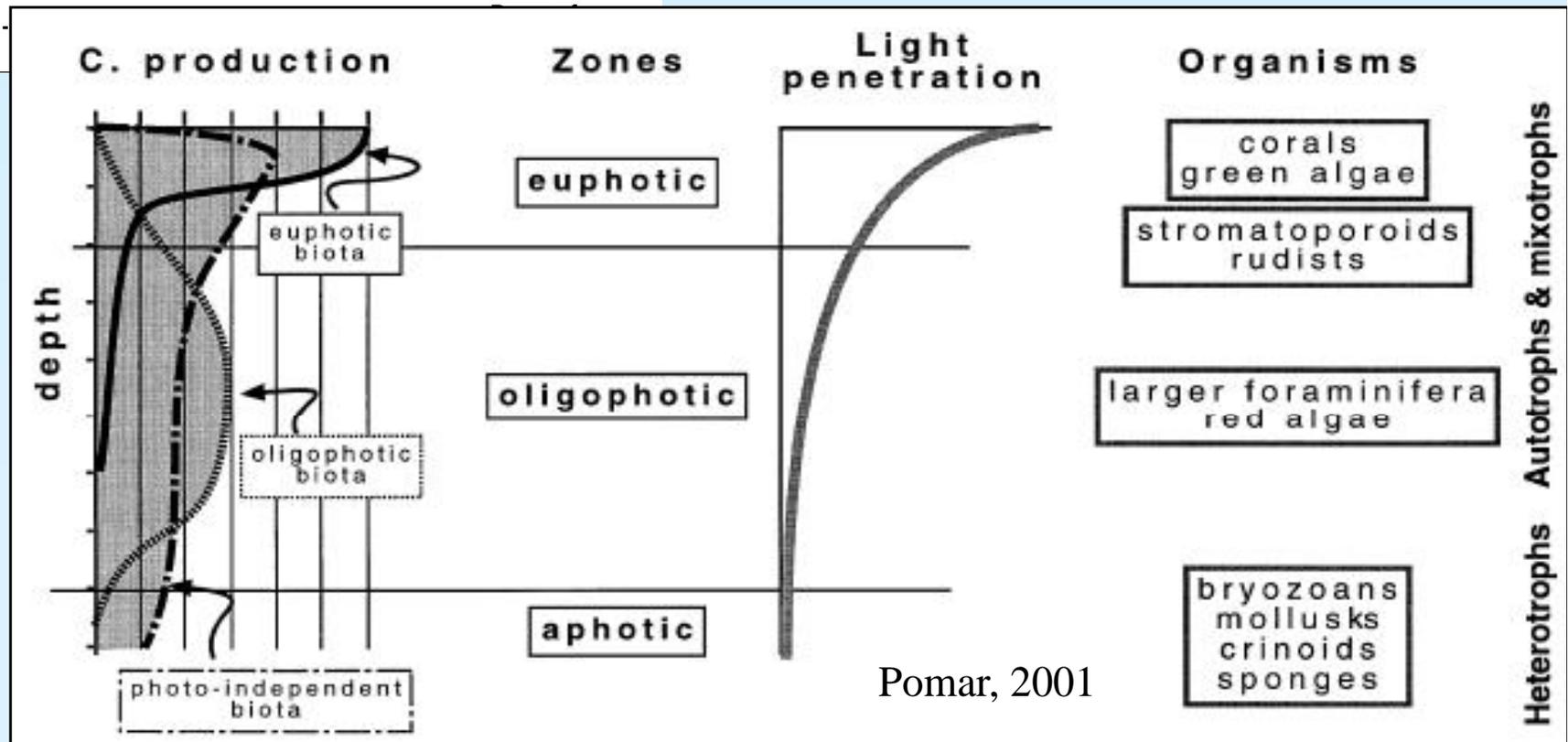
Non tropical carbonates at high latitude and upwelling areas (**EUTROPHIC**)



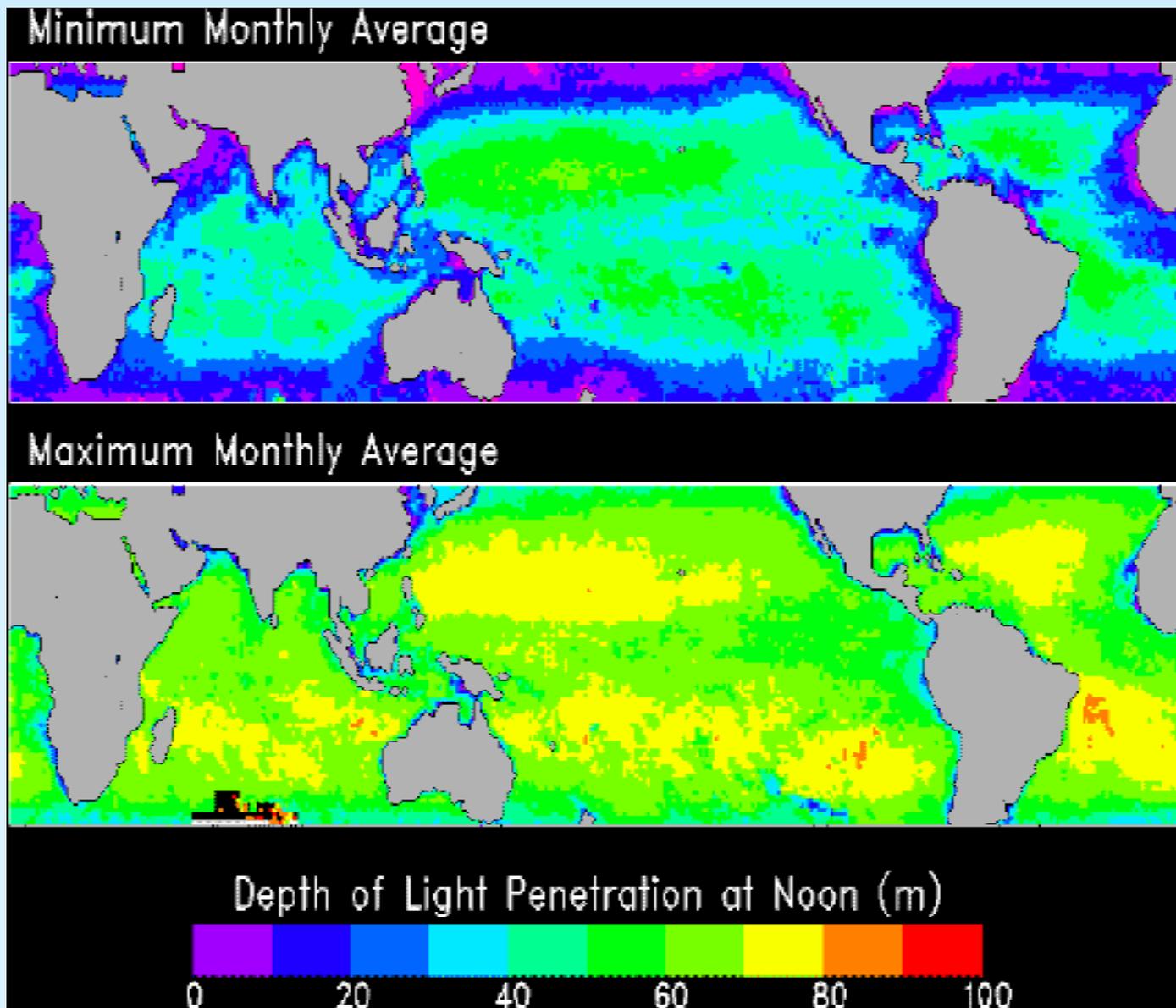
## Relazione tra produttività carbonatica e profondità del fondale

I bioclasti degli organismi bentonici scheletrici costituiscono spesso gran parte delle componenti carbonatiche nei sistemi di piattaforma. I planctonici producono sedimento carbonatico principalmente in contesti pelagici.

La produzione di carbonato è funzione anche della penetrazione della luce nella colonna d'acqua.

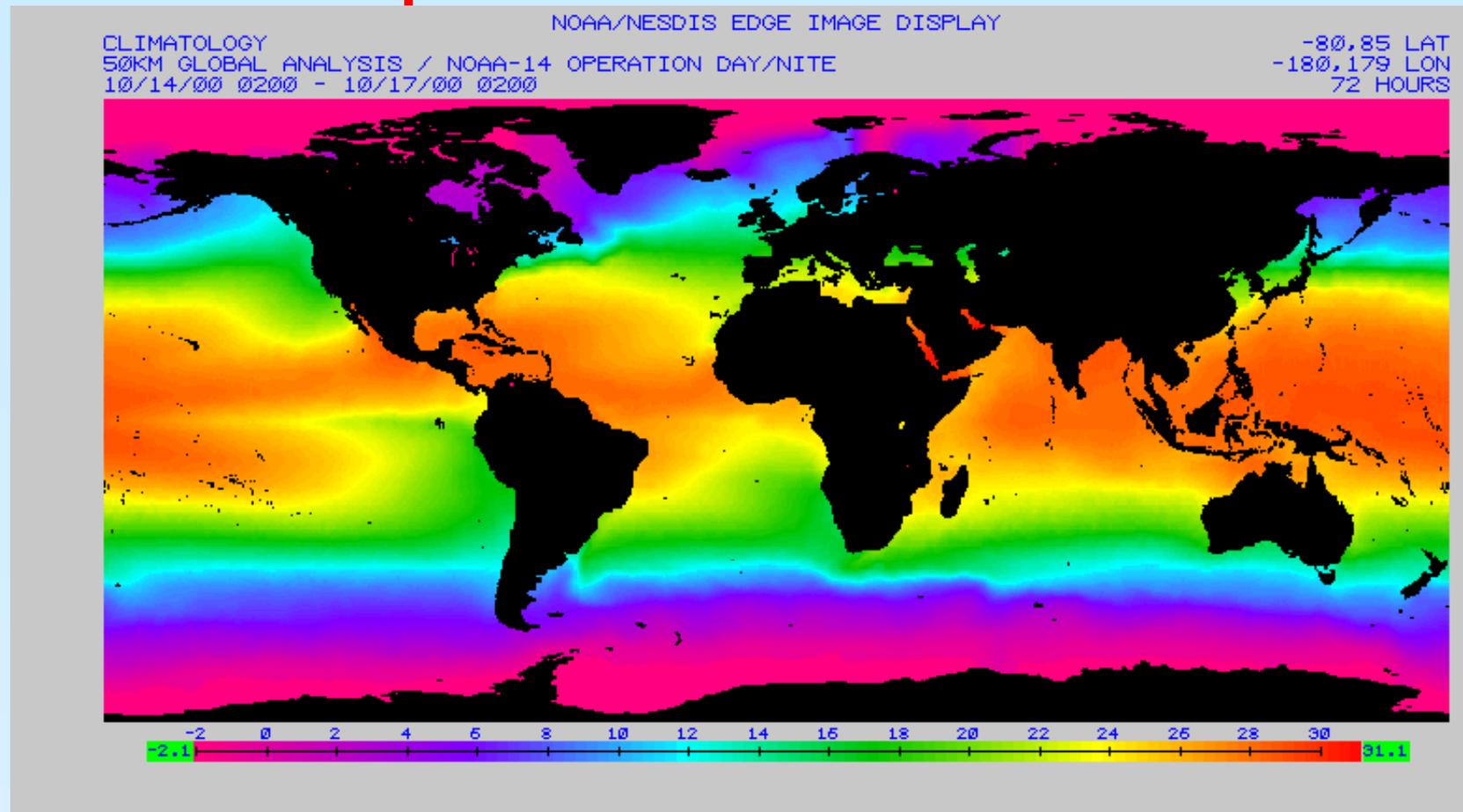


Fattore di controllo:  
penetrazione della luce\profondità dell'acqua



Profondità media  
della  
penetrazione  
della luce negli  
attuali oceani

# Temperatura



## Temperatura

Gli oceani sono suddivisi in settori di acque fredde e calde (il marker è circa  $18^\circ$ ).

### Sistemi di acque calde:

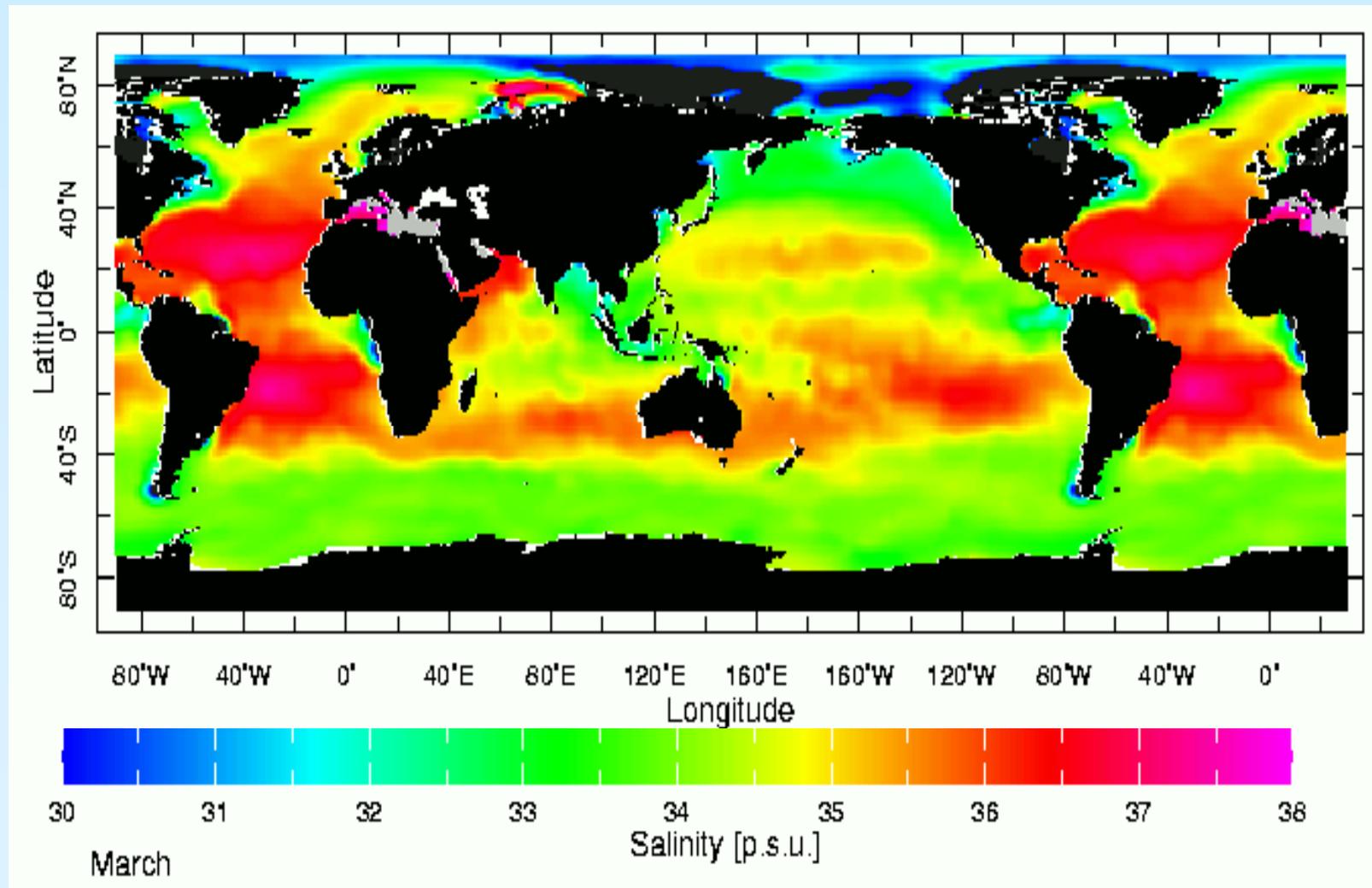
- tipiche di basse latitudini
- la zona fotica si estende a circa 70 m.
- la produzione di carbonato è maggiore entro i primi 10-20 m.
- si produce una associazione di sedimenti con organismi **Chlorozoan**.

### Sistemi di acque fredde:

- la zona fotica gioca un ruolo minore nella produzione di carbonato
- i tassi di sedimentazione sono più bassi
- si produce un associazione di sedimenti con **Foramol**.

# Salinità

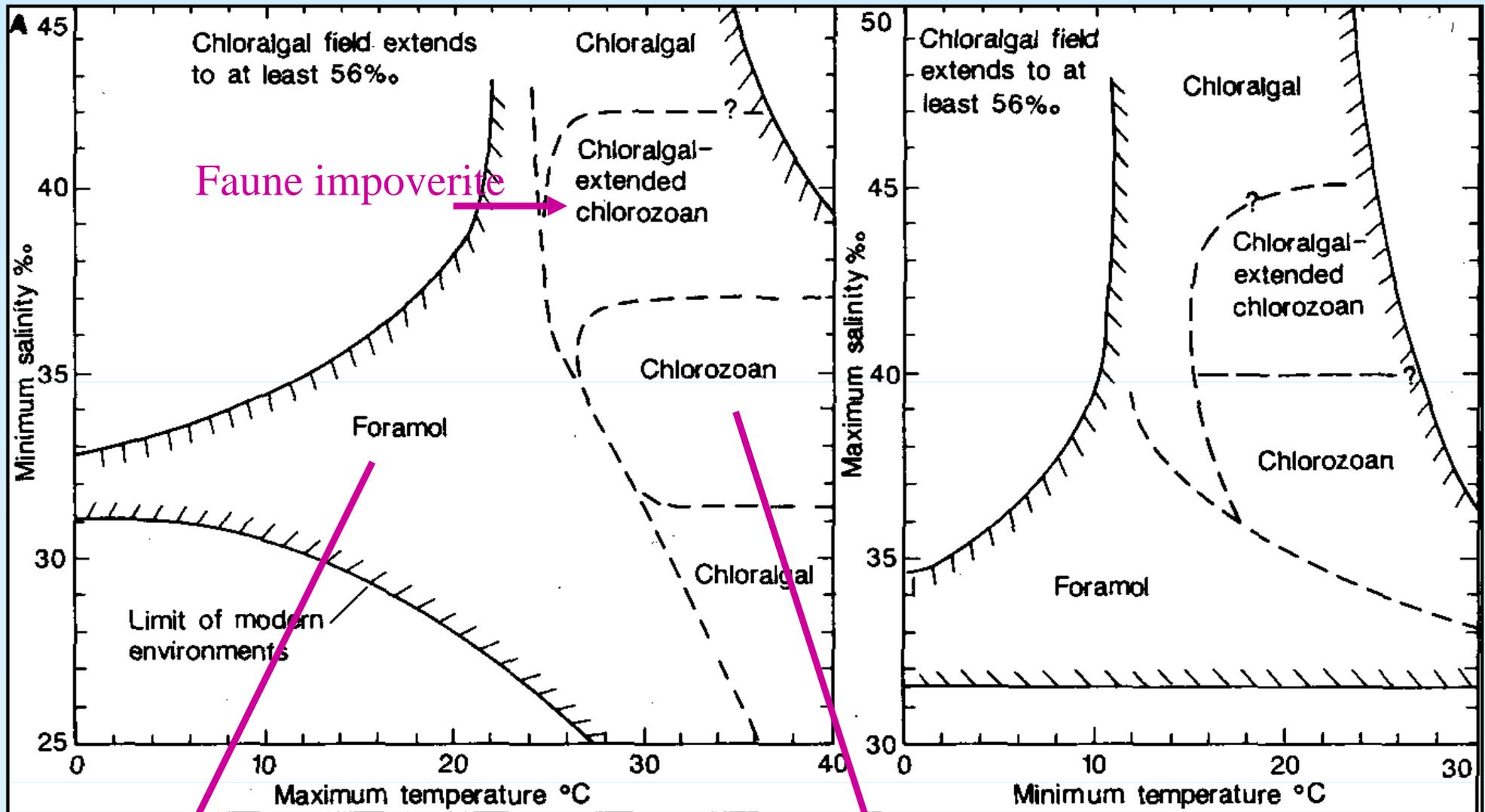
Le due associazioni si trovano con salinità comprese tra 32 e 40 per mille.  
Quando la salinità supera 40 per mille nei tropici le associazioni diventano **Chloralgal**.  
L'incremento della salinità sopra la media oceanica riduce la diversità biotica e può portare a grandi accumuli di evaporiti.



Le differenze di salinità negli oceani riflettono il ciclo idrologico del pianeta

# Fattori di controllo: **Temperatura e salinità**

Lees, 1975; James, 1997



• Foramol = *Heterozoan Association*: light-independent organisms +/- calcareous red algae

Chlorozoan = a *Photozoan Association*: carbonates scheletrici dipendenti dalla luce +/- grani non scheletrici (oidi, peloidi)

## Controlli biologici:

La maggior parte dei sedimenti carbonatici sono prodotti secondo processi biologici o biochimici mediati tra loro.

Ci sono 4 tipi di particelle carbonatiche:

1. **Precipitati**: si formano direttamente o per mediazione biologica di  $\text{CaCO}_3$  (es. ooidi e fango micritico).
2. **Bioclasti**: valve e gusci calcarei, spicole e altre strutture scheletriche
3. **Peloids**: feci agglutinate o cementate e/o corpuscoli di alterazione diagenetica di altri grani carbonatici.
4. **Litoclasti**: frammenti di sedimenti consolidati, induriti o litificati.

La maggior parte dei sedimenti carbonatici sono prodotti da frammenti scheletrici o precipitati attorno a organismi fototrofici (organismi marini fotosintetici dai microbi, alghe corali e bivalvi) che vivevano in prevalenza nella zona fotica.

Le particelle carbonatiche recenti possono essere comparate con quelle degli antichi depositi in quanto il loro arrangiamento non cambia a differenza di quello delle specie marine.

Esistono solo due modi in cui i carbonati scheletrici si presentano:

1. Strutture interamente rigide (es coralli valve di bivalvi).
2. Frammenti segmentati tenuti insieme da altro tessuto molle (es trilobite, crinoidi).

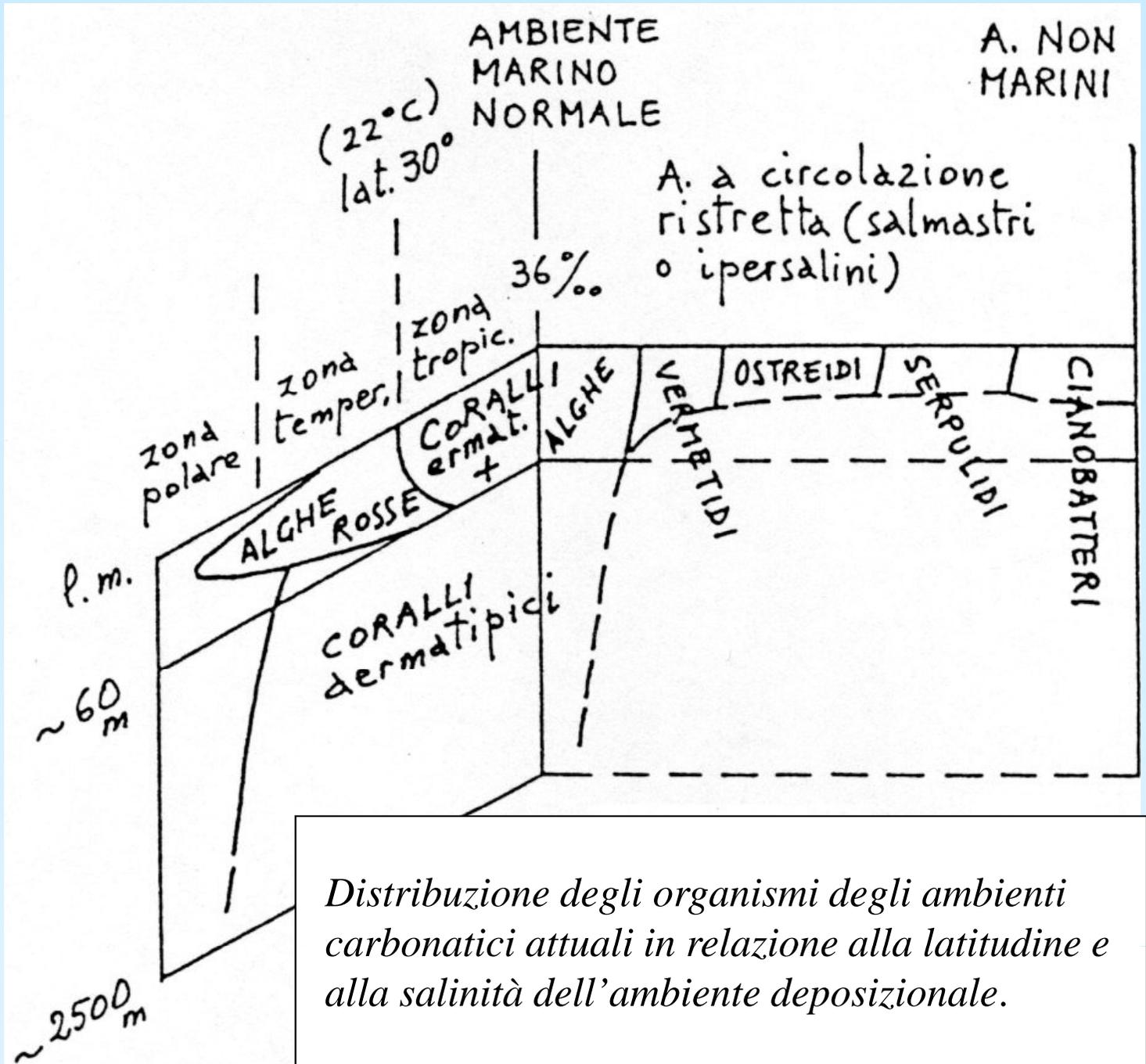
Dopo la produzione e deposizione di queste particelle carbonatiche altri organismi (es alghe, microbi) possono intrappolarli e stabilizzarli. In questo caso l'intera fabbrica dei carbonati è controllata ed evolve con la biologia del suo proprio sistema deposizionale.

Ci sono alcune associazioni faunistiche presenti nella fattoria carbonatica:

1. **Foramol**: include foraminiferi bentonici, molluschi, briozoi and alghe calcaree rosse. Questa associazione vive in acque più fredde sotto  $18^\circ$ .
2. **Chlorozoan**: costituite da hermatipici coralli, alghe calcaree verdi e costituenti del foramol. Questa è un'associazione di acque calde.
- 3) **Cloralgal**: costituite da prevalenti alghe e coralli hermatipici

Esempio di condizionamento climatico sullo sviluppo della produttività carbonatica biogenica.

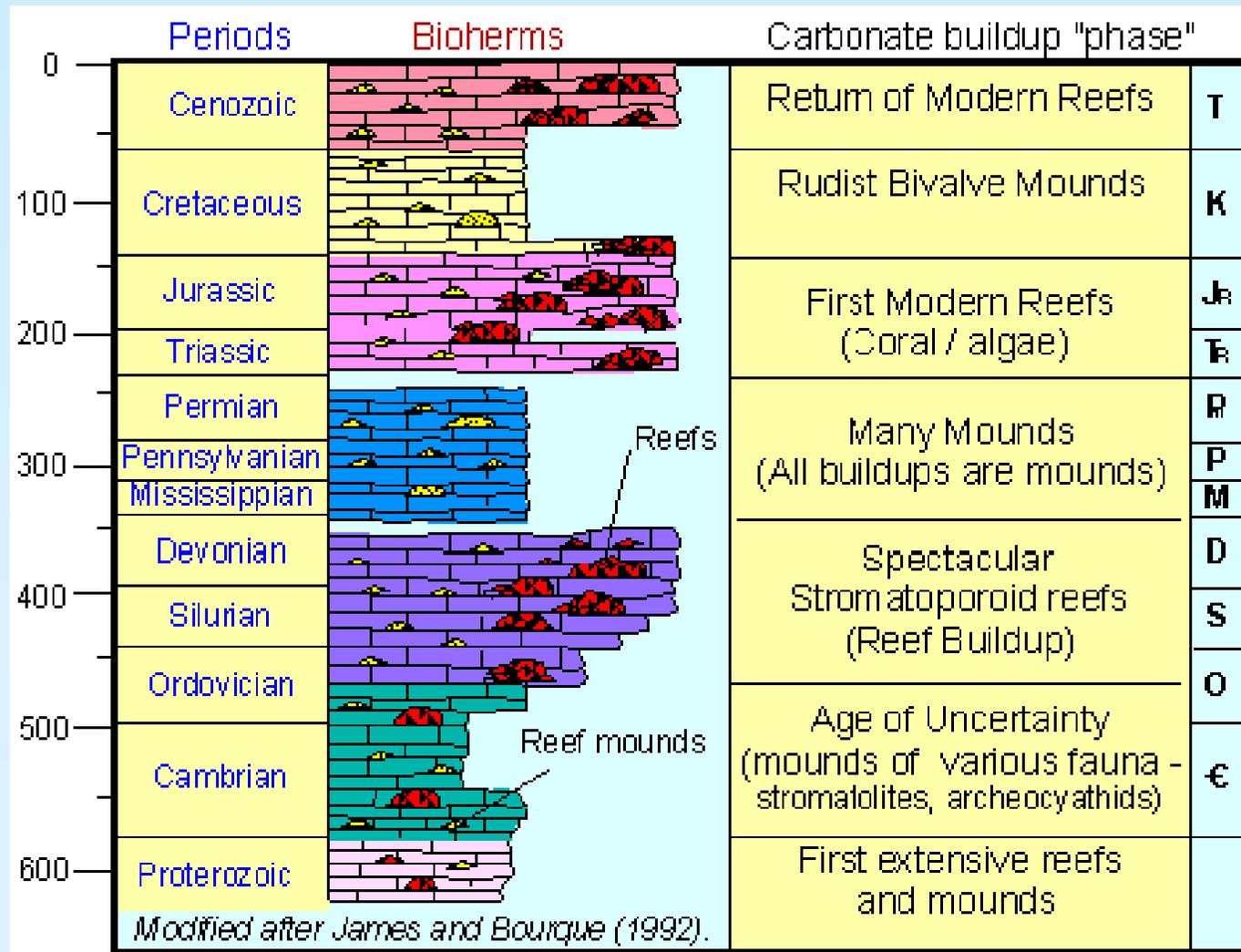
I risultati conseguiti da numerose campagne oceanografiche e dalle perforazioni dei fondali oceanici documentano che certi atolli carbonatici del Cretacico-Terziario a seguito di migrazioni della placca su cui erano sviluppati verso latitudini equatoriali sono andati incontro a crisi di produttività sino ad annegare (guyot sottomarini).

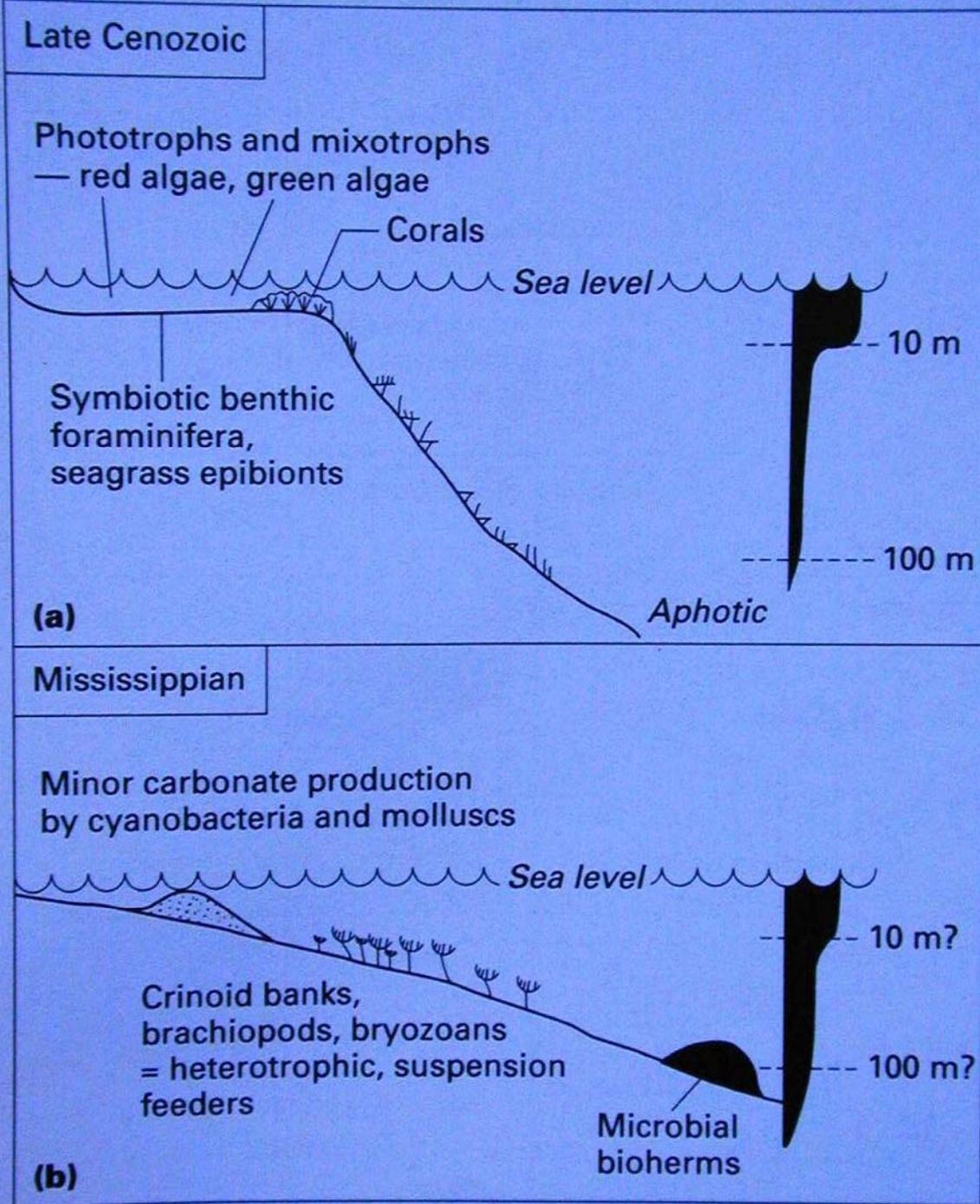


*Distribuzione degli organismi degli ambienti carbonatici attuali in relazione alla latitudine e alla salinità dell'ambiente deposizionale.*

# Limitazioni all'utilizzo del principio dell'attualismo nello studio di antichi sistemi carbonatici

a) La differenziazione degli principali gruppi di organismi presenti nei sistemi carbonatici a partire dal Cambriano.





**Figure 9.4** Contrasting locations and contributions made by different organisms in platform development for (a) late Cenozoic systems and (b) Mississippian systems.

Due esempi che mostrano una diversa associazione di biofacies in contesti paleoambientali simili (piattaforma marginale):

confronto tra le comunità bentoniche tardo Cenozoiche e del Carbonifero inf.