

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

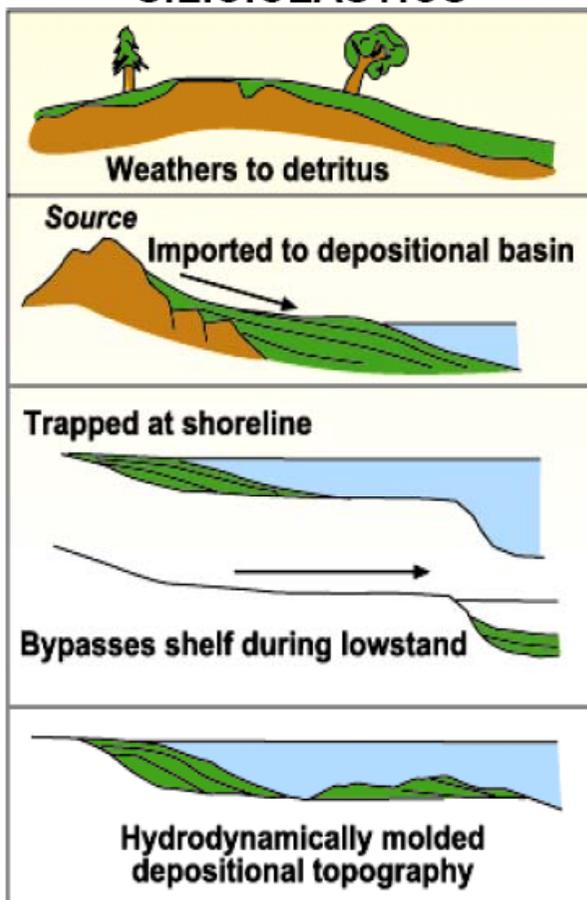
28 Aprile mattino ore 10.15

**2 Caratterizzazione ed evoluzione dei sistemi deposizionali
carbonatici:**

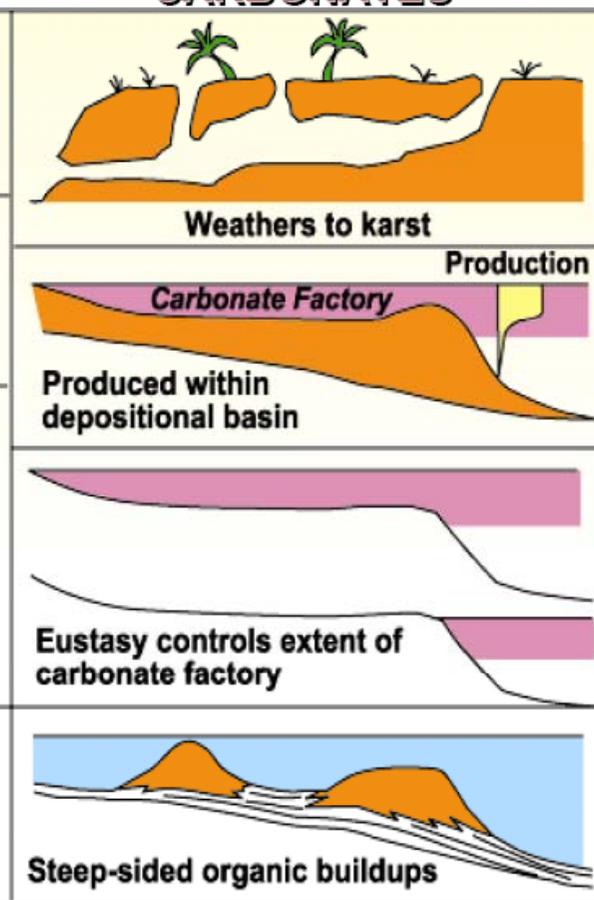
- classificazione delle “carbonate factories”,
- geometrie dei corpi sedimentari e terminologie utilizzate
- evoluzione spazio-temporale delle litofacies carbonatiche.

UNIQUE GEOMETRIES

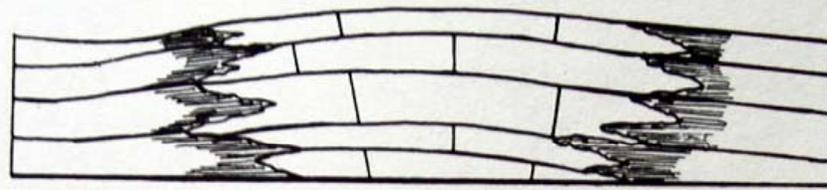
SILICICLASTICS



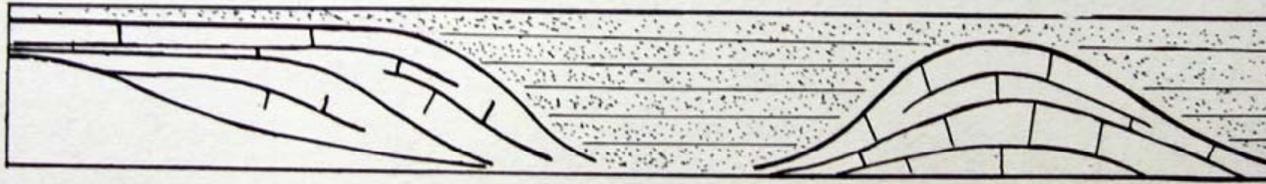
CARBONATES



Handford (1998)



CARBONATE MASS



CARBONATE BUILDUPS

Fig. II-1. Definition of carbonate masses and carbonate buildups

Classificazioni morfologiche e geometriche dei sistemi deposizionali carbonatici

a) Nomenclatura utilizzata nello studio delle
piattaforme carbonatiche antiche (Wilson 1975)

Suddivisione semplificata con
terminologia italiana delle piattaforme
carbonatiche (Bosellini, 1992).

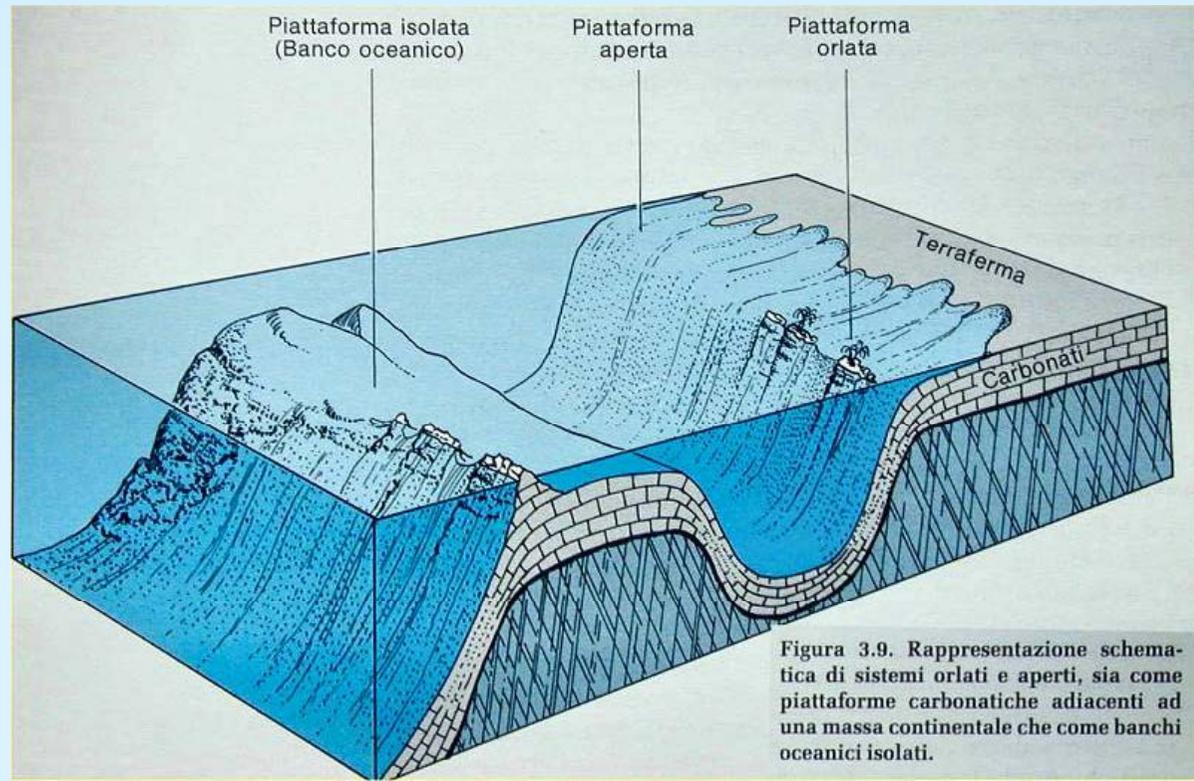


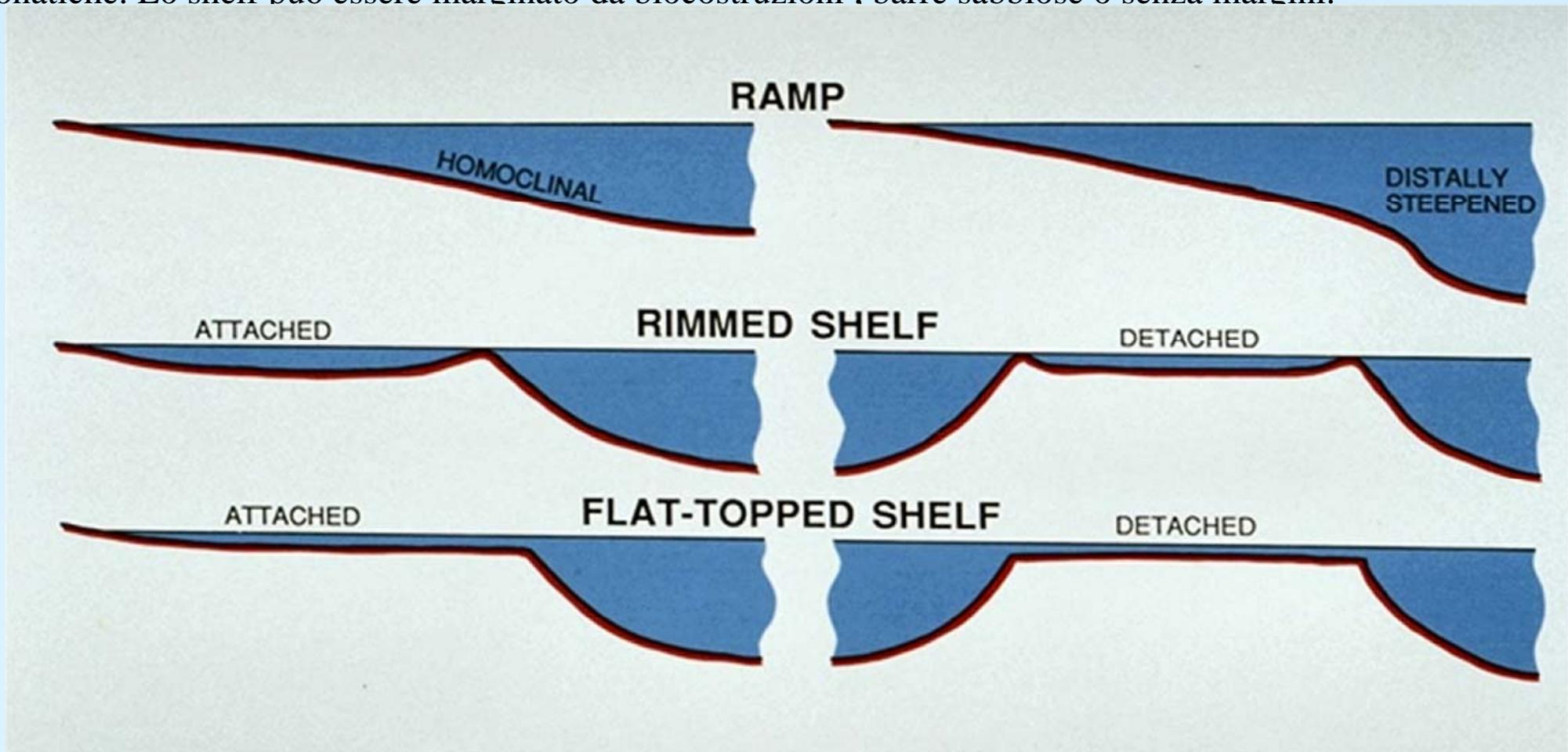
Figura 3.9. Rappresentazione schematica di sistemi orlati e aperti, sia come piattaforme carbonatiche adiacenti ad una massa continentale che come banchi oceanici isolati.

b) In base alle caratteristiche morfologiche regionali (Ahr, 1973, Read 1982, Wright e Burchette 1998, Schlager 2000, 2005,)

Rampa carbonatica: vasta piattaforma con un pendio regionale poco inclinato che si raccorda alle facies più profonde con inclinazioni di pochi gradi. Si distingue la rampa monoclinale dalla “deep steepened”.

Shelf: area al tetto di una piattaforma o rampa carbonatica. Si riconosce un shelf margin, una shelf lagoon.

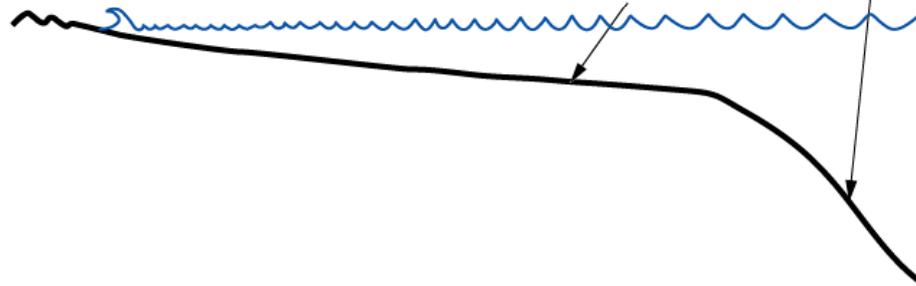
Banchi offshore maggiori: complessi buildup di grandi dimensioni e spessore esterni a rampe e piatt. carbonatiche. Lo shelf può essere marginato da biocostruzioni, barre sabbiose o senza margini.



Shelf siliciclastici e carbonatici, piattaforme carbonatiche e rampe.

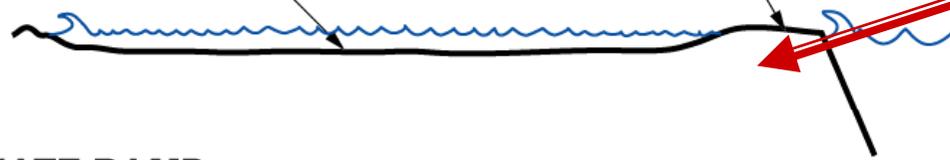
SILICICLASTIC SHELF

profile in equilibrium with wave action
continental slope



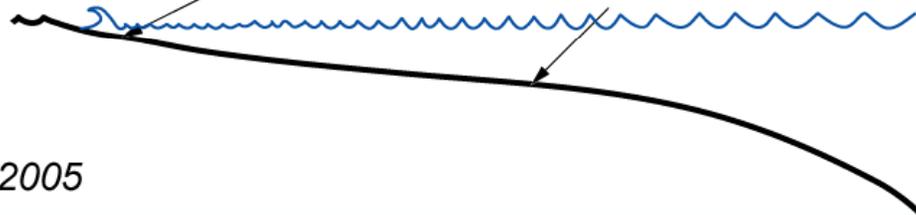
RIMMED PLATFORM

protected
sand shoals and reefs (framebuilding, cementation)



CARBONATE RAMP

high energy
profile in equilibrium with wave action

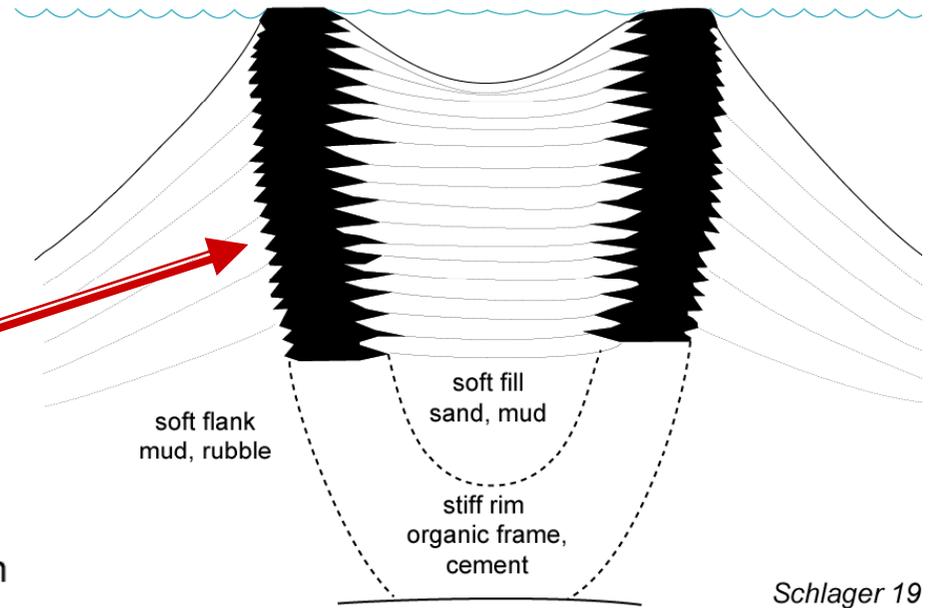


Schlager 2005

Il concetto della cementazione dei margini rigidi mentre la piattaforma interna è protetta e riempita da sabbie e fanghi soffici.

La figura in basso mostra come una rampa possa passare rapidamente a una piattaforma e viceversa (Schlager 1981, 2005)

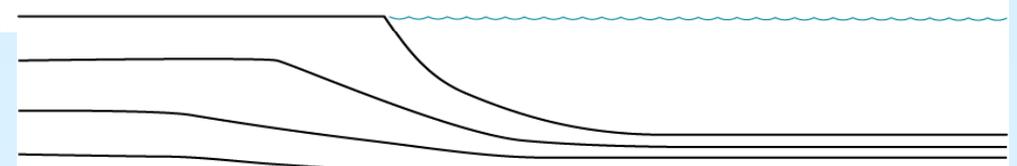
The rimmed platform - a bucket of stiff rims, soft fill and soft flank



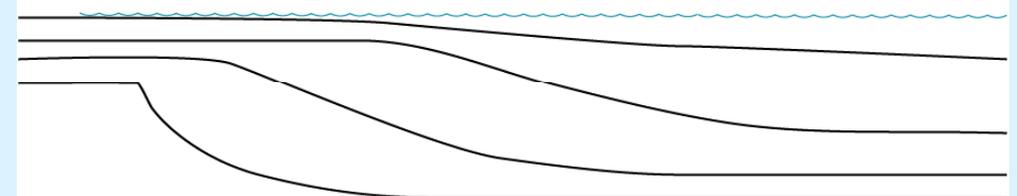
Schlager 19

RAMP AND RIMMED PLATFORM - A CONTINUUM

ramp to rim (slope height generally increasing)



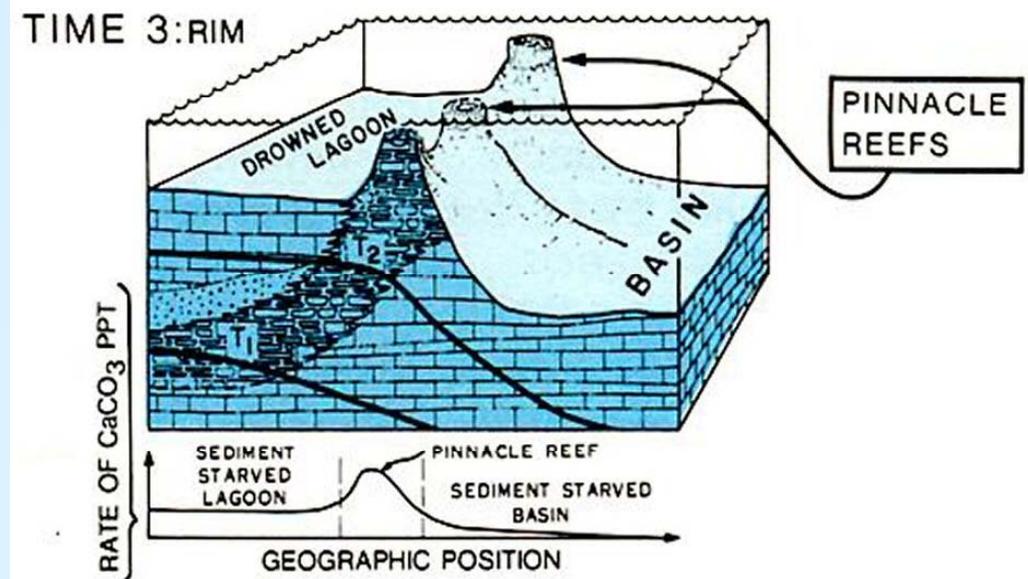
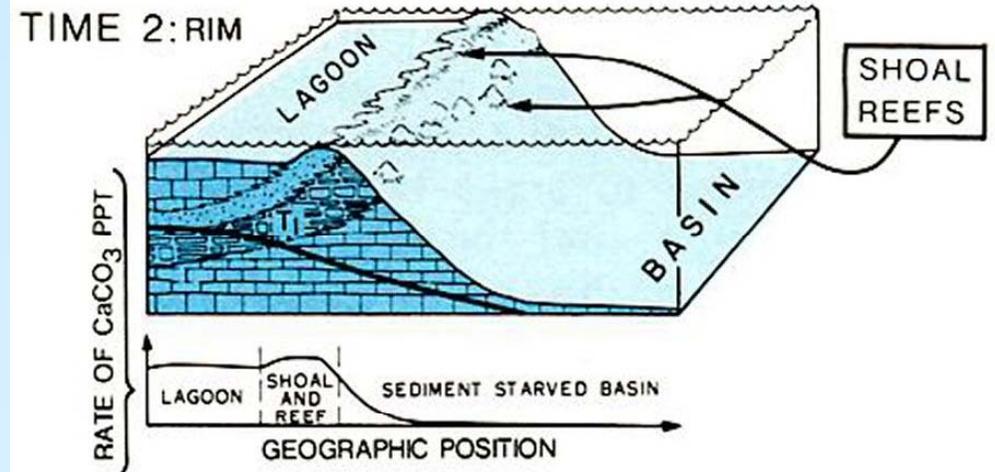
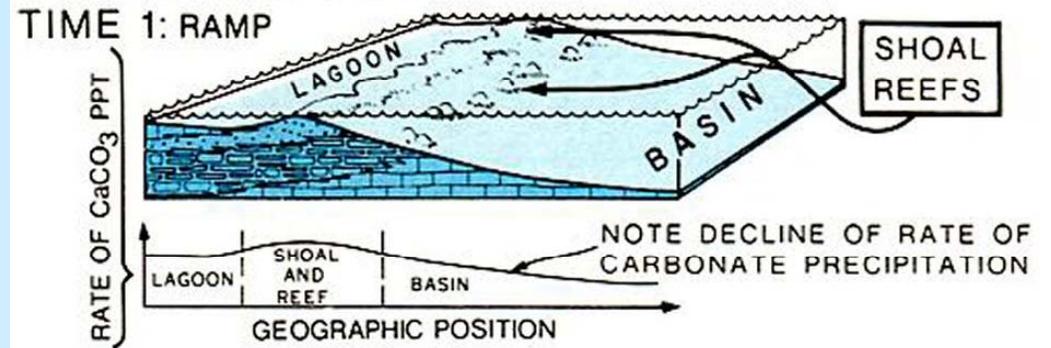
rim to ramp (slope height generally decreasing)



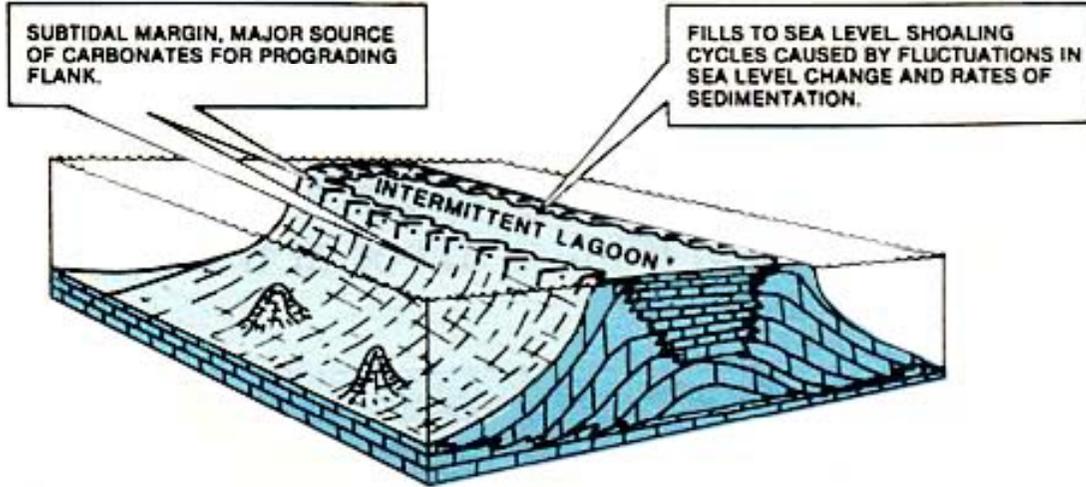
Schlager 2005

Evoluzione di una rampa (1) in
 piattaforma marginata (2) sino
 ad atolli marginali (3) a seguito
 di un trend trasgressivo marino
 associato a progressiva crisi
 nella produttività carbonatica

(ASSUMING UNIFORM RATE OF TECTONIC SUBSIDENCE FOR PLATFORM AND BASIN)

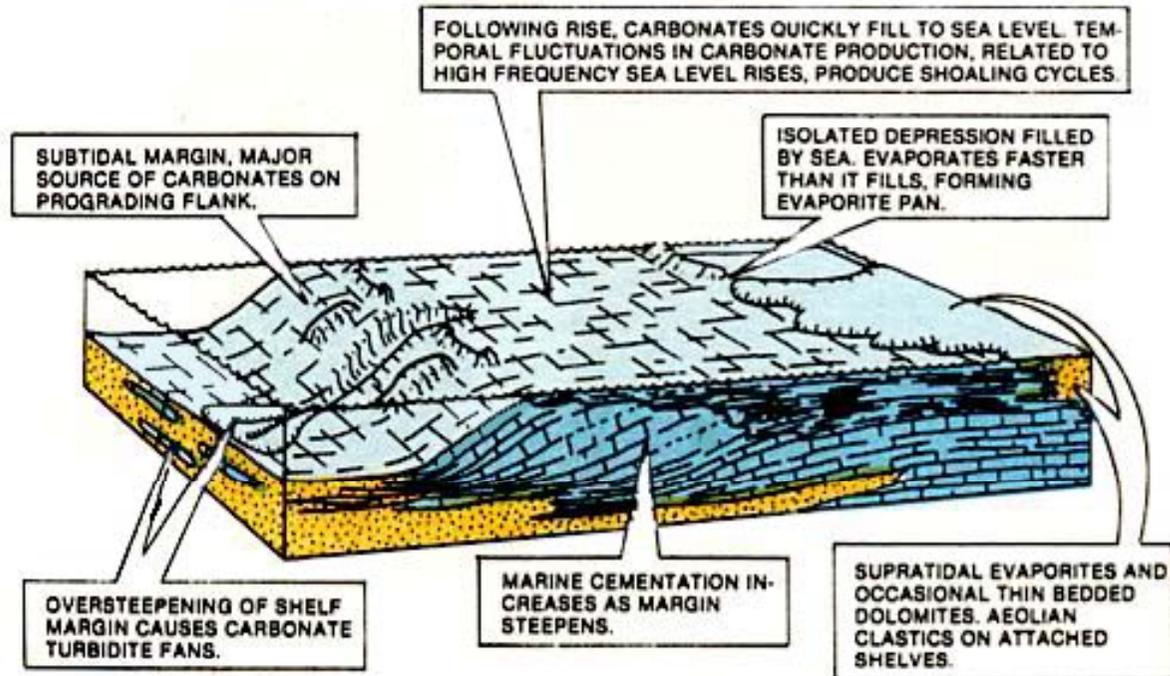


ISOLATED PLATFORM



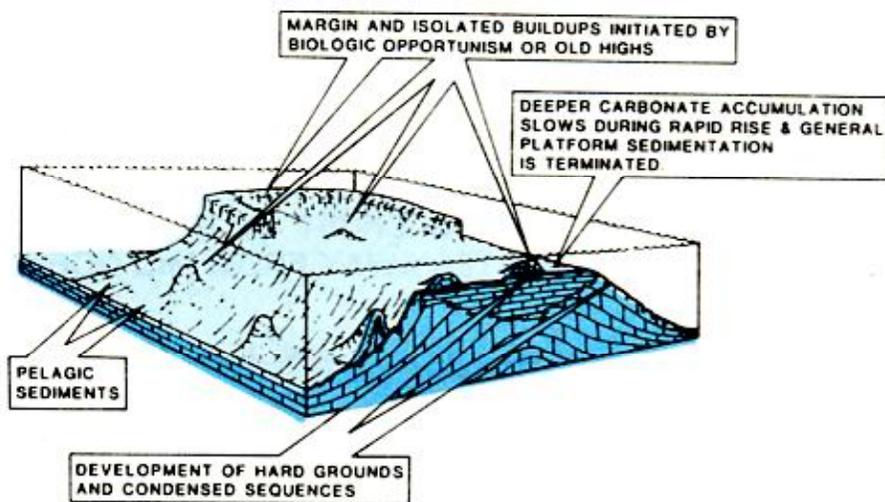
RAMP TO RIM

GROWTH POTENTIAL MATCHES OF EXCEEDS
RELATIVE SEA LEVEL RISE

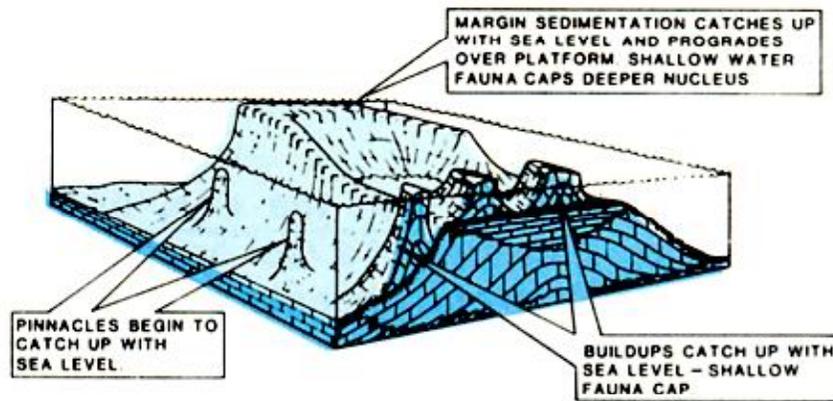


Reef Margins

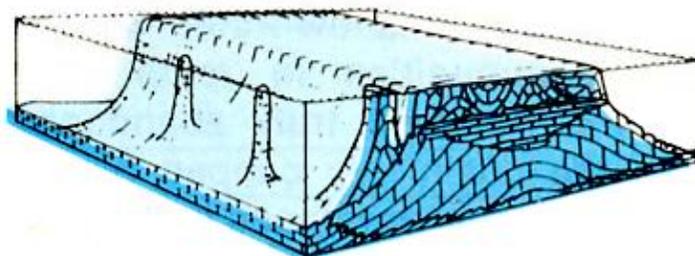
- ➔ Break in slope
- ➔ Irregular to massive beds
- ➔ Cross bedded in hollows
- ➔ Heterogeneous carbonate
- ➔ often cemented at deposition
- ➔ High porosities & permeability's
- ➔ Diverse fauna & sediment high



GROWTH POTENTIAL OF INTERIOR BEGINS TO EXCEED RELATIVE SEA LEVEL RISE



GROWTH POTENTIAL EXCEEDS RELATIVE SEA LEVEL RISE AND CARBONATES COVER WHOLE SHELF ON REACHING SEA LEVEL



Esempi di evoluzione morfologica di una piattaforma carbonatica in relazione alle variazioni del livello marino e ai tassi di produttività carbonatica.

In base alla configurazione e/o alle caratteristiche geometriche a scala minore e locale i corpi carbonatici possono essere suddivisi ulteriormente:

Mound: un buildup equidimensionale o ellissoidale

Barrier reef: accumulo organico curvilineo separa la laguna dagli ambienti offshore.

Fringe reef: accumulo organico curvilineo costruito in prossimità della costa.

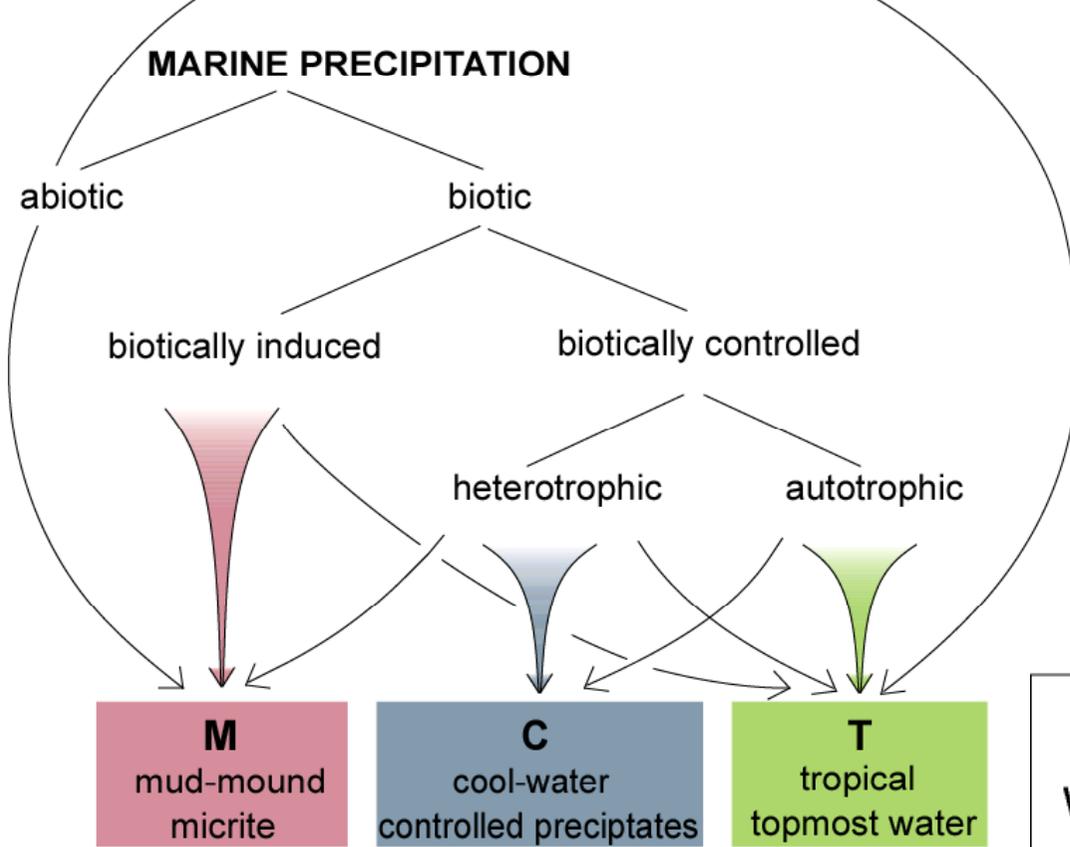
Patch reef: piccole scogliere isolate in genere retrostanti il margine esterno della piattaforma.



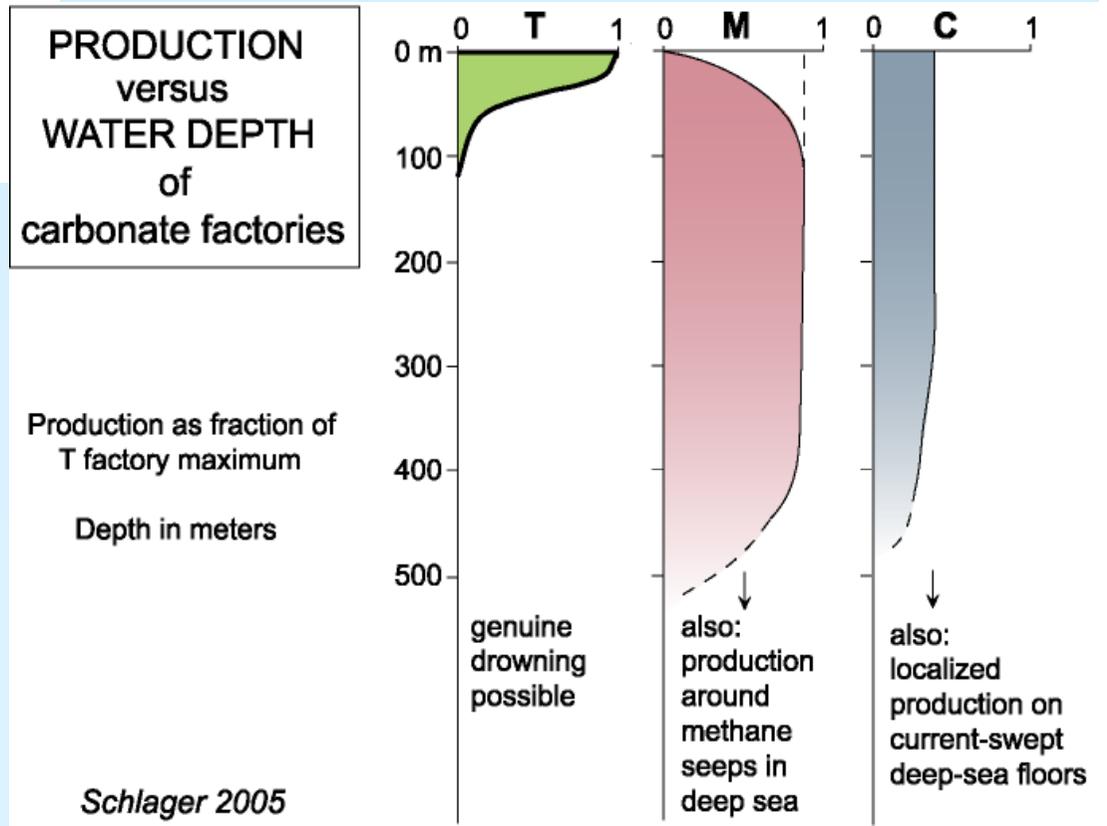
Fotografie varie di barrier reef e di patch reefs subcircolari in laguna.



CARBONATE FACTORIES

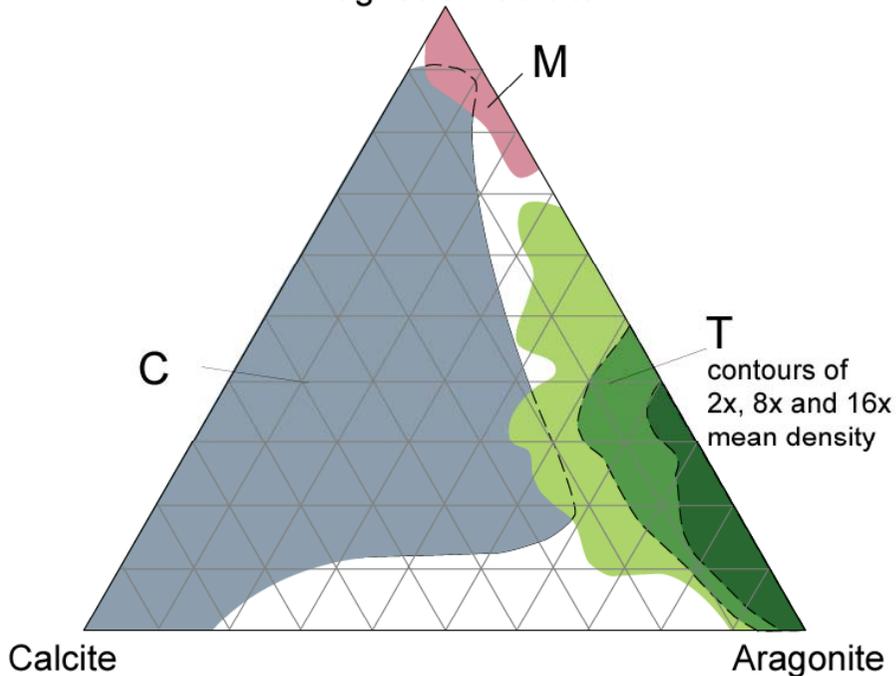


La classificazione più recente delle carbonate factories (Schlager, 2005)



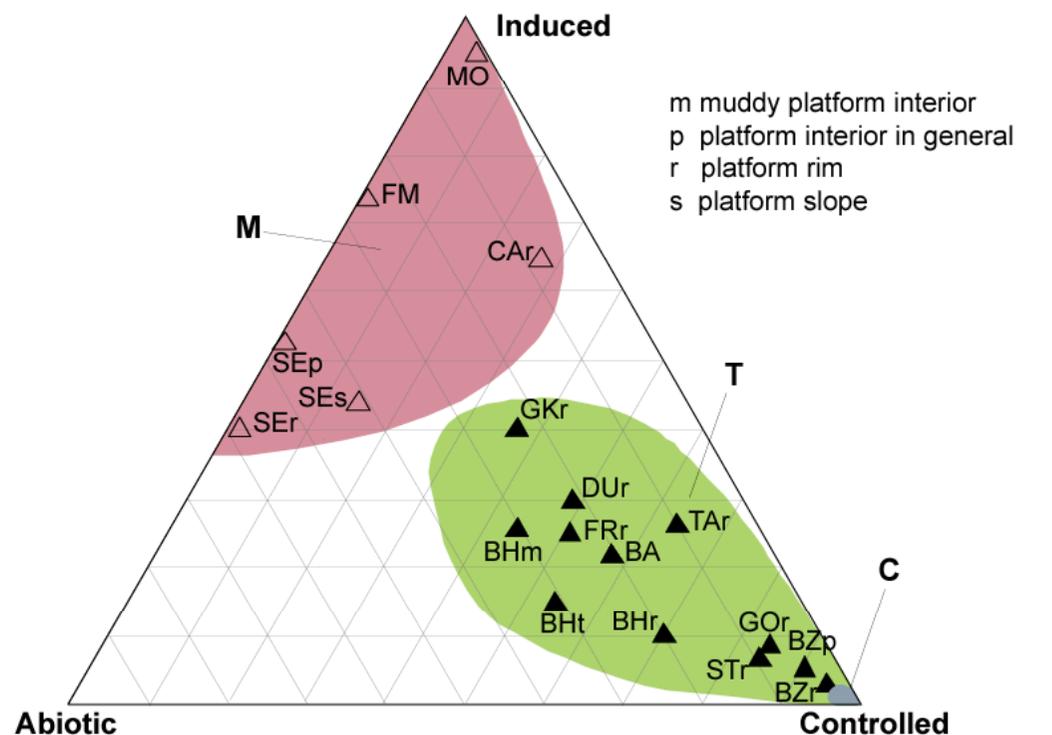
MINERALOGY OF FACTORY OUTPUT

Magnesian Calcite



(Schlager 2005)

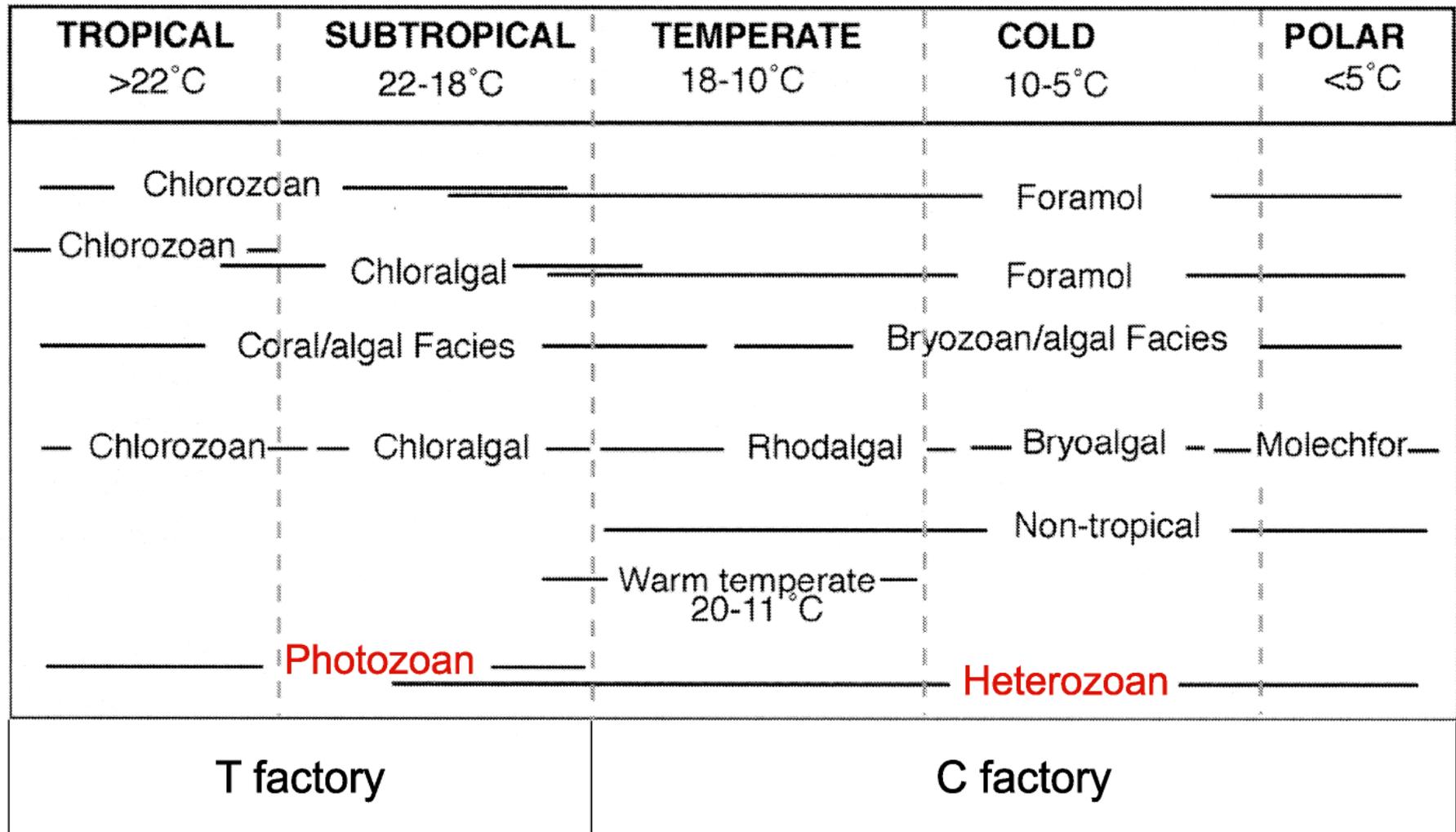
FACTORIES - CONTENT OF ABIOTIC, INDUCED AND CONTROLLED PRECIPITATES



m muddy platform interior
 p platform interior in general
 r platform rim
 s platform slope

Schlager, 2005

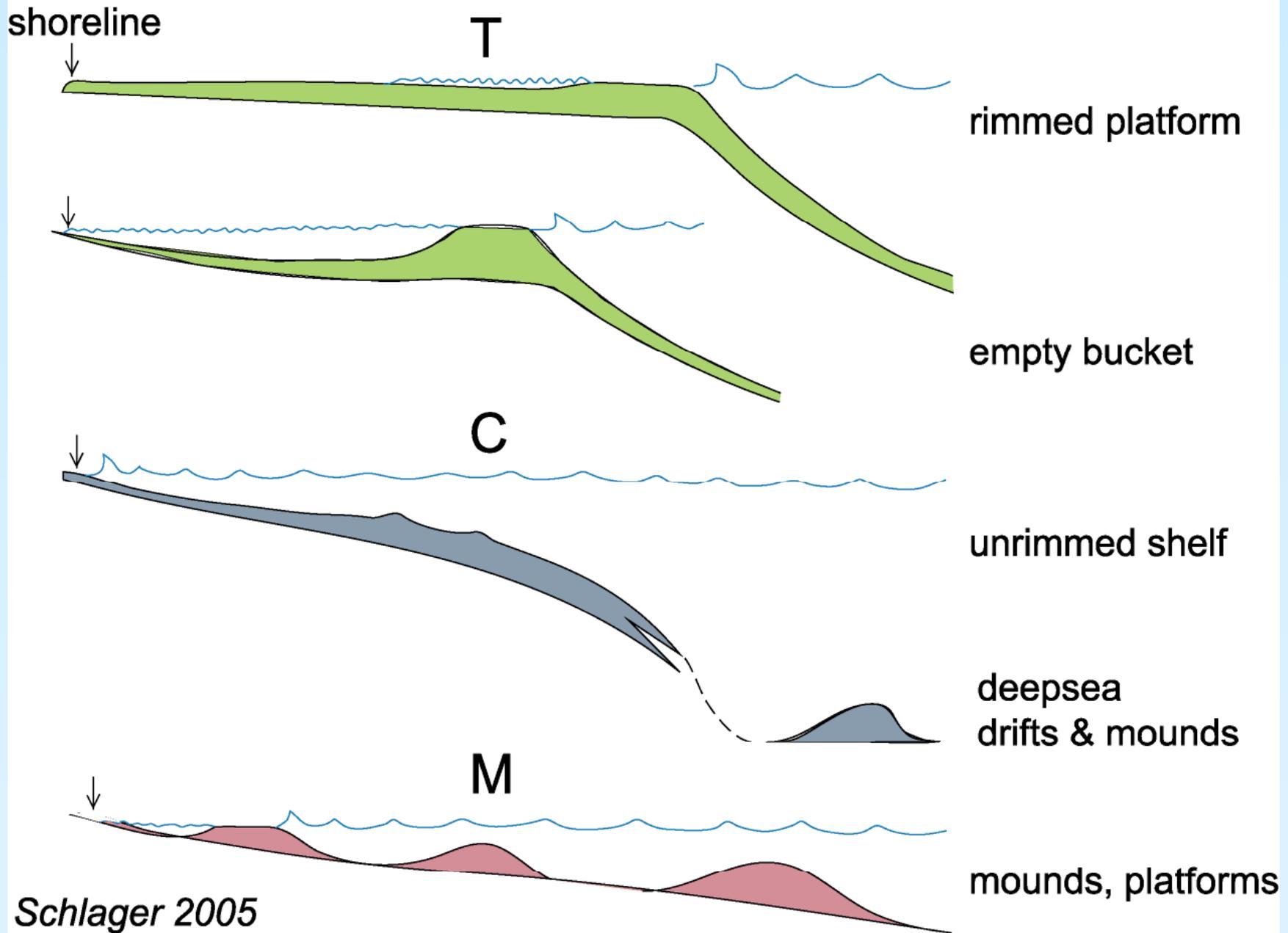
TERMINOLOGIES FOR TROPICAL-COOLWATER TRANSITION



After Mutti & Hallock 2001, Schlager 2005

Recentemente Schlager (2005) ha suddiviso le fattorie carbonatiche in 3 tipi: M, C, T le cui caratteristiche sono presentate nei grafici della pagina seguente.

Typical accumulation geometries of T, C and M factories



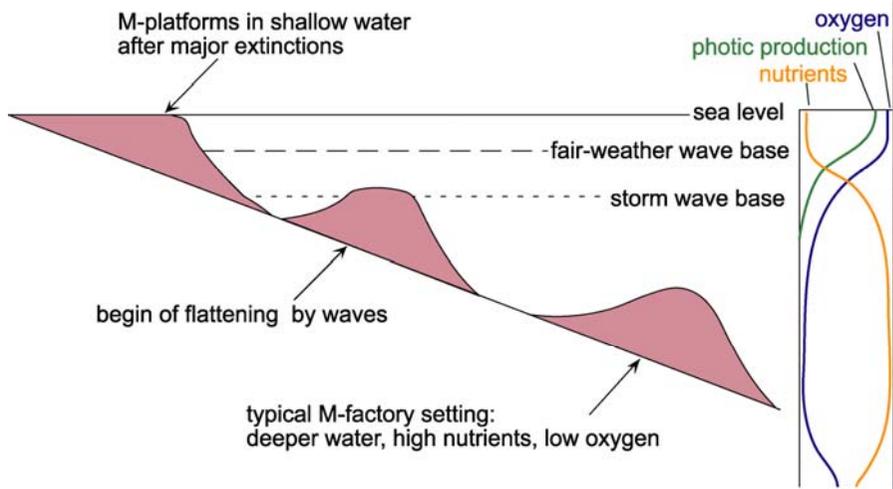
BORA BORA - TYPICAL T FACTORY



OTWAY SHELF (AUSTRALIA) - COASTAL ZONE OF THE C FACTORY



TYPICAL SETTINGS OF M FACTORY



Schlager 2001

Devonian, Algeria (B.Kaufmann)

La produzione di sedimenti

- La fattoria carbonatica produce sedimenti attraverso le particelle biologiche sul fondo del mare. Come già detto ogni nicchia biologica cresce in uno specifico ambiente e crea certi tipi di sedimenti.
- A discapito della quantità di sedimenti prodotti ci sono alcuni fattori che possono cambiare la quantità di sedimenti deposti.

Onde: in fattorie protette hanno un effetto limitato sull'erosione dei sedimenti ma in contesti di alta energia le parti delicate dei sedimenti carbonatici possono essere erose e trasportate lungo la piattaforma.

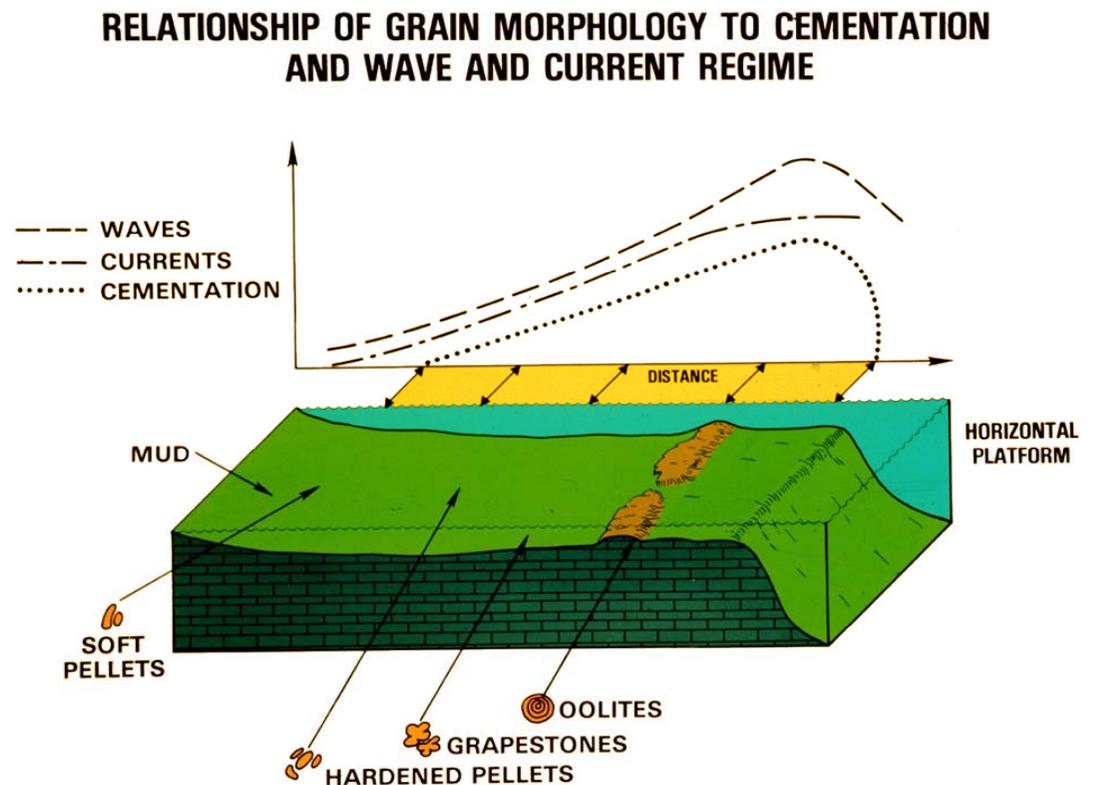
Maree: agiscono giornalmente e portano sedimenti e nutrienti nella fattoria carbonatica dalle pianie tidali e verso le acque profonde. Cambiano anche la profondità permettendo alla luce di penetrare maggiormente durante le basse maree.

Tempeste: sono eventi temporanei di alta energia che possono influenzare la produttività carbonatica anche in modo negativo (apporto di silicoclastici, distruzione di ecosistemi carbonatici). In genere le tempeste distruttive sono meno cicliche e avvengono in periodo più lunghi rispetto agli uragani tropicali stagionali.

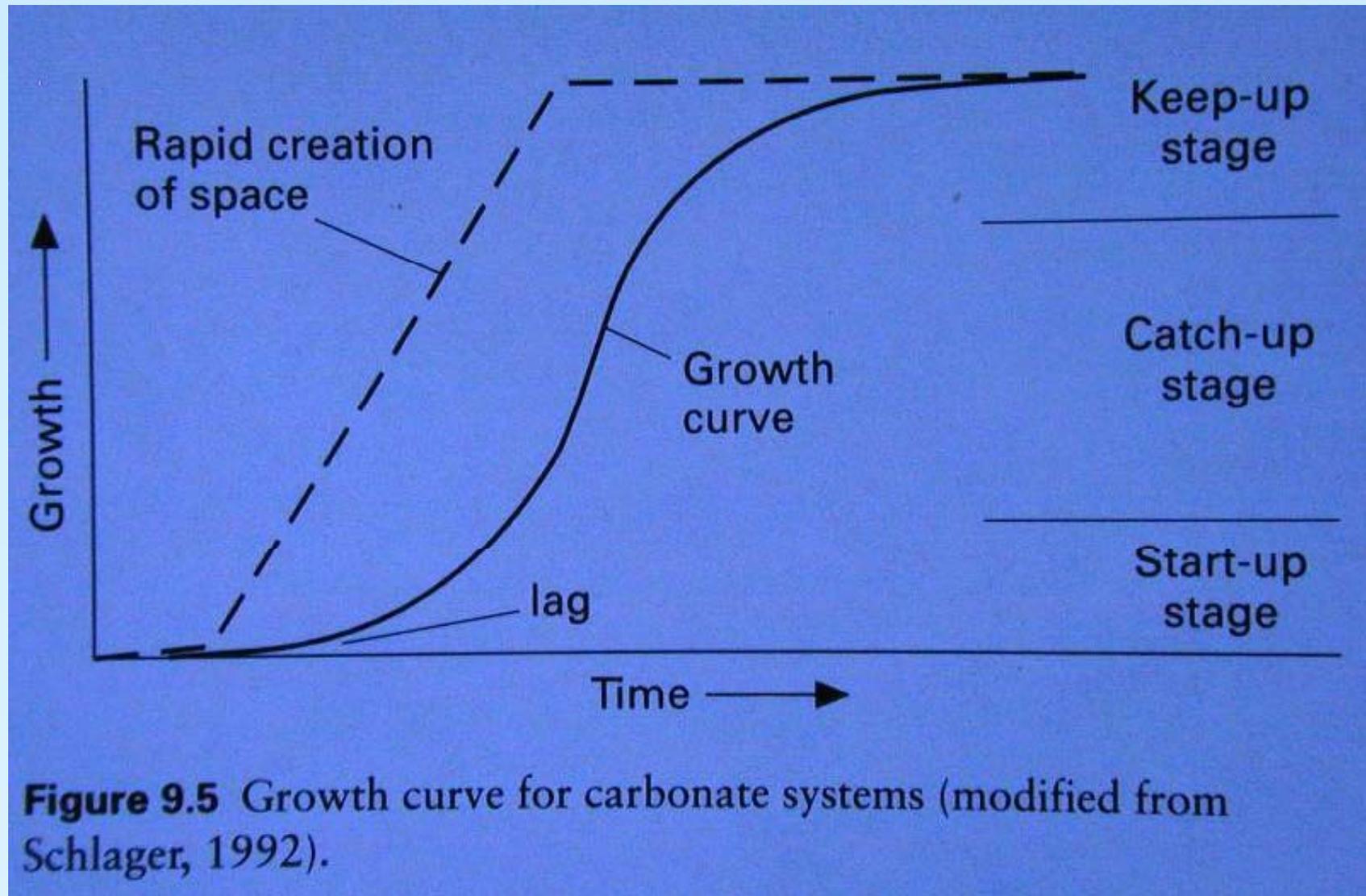
Correnti oceaniche: portano nutrienti e acque ossigenate nella fattoria carbonatica e incoraggiano lo sviluppo degli organismi. Possono però anche portare silicoclastici o portare offshore della piattaforma grandi quantità di sedimenti della piattaforma.

Un altro fattore che influenza la fattoria carbonatica sono i cicli da alto a basso livello marino non di origine tidale (sono simili ma a scala maggiore).

Durante le fasi di livello marino alto le fattorie carbonatiche si trovano in genere sotto l'azione delle onde, la redistribuzione dei sedimenti è minore e si hanno quindi maggiori tassi di sedimentazione.



Le variazioni del livello del mare e la produttività-accumulo dei carbonati



Schlager, 1992; from Wright and Burchette, 1996

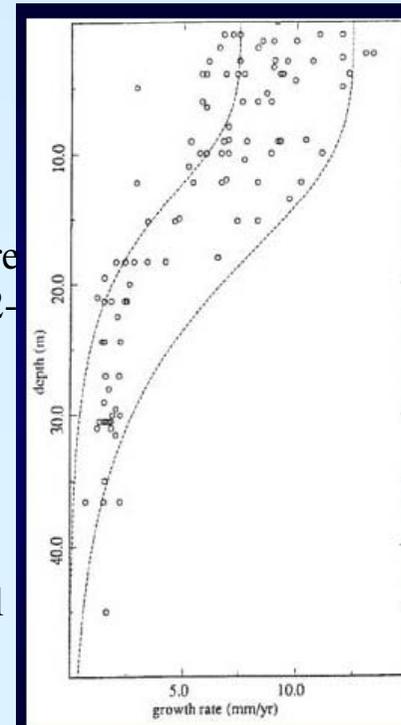
h) Potenziale di crescita carbonatica

Globalmente circa il 10% di tutta la produzione carbonatica avviene in ambiente marino poco profondo (>15 m).

- Tra gli ambienti di mare profondo e basso il 60% dell'accumulo carbonatico è dato dai reefs.
- La produzione organica dipende dagli organismi specifici ma condizionata da condizioni ambientali ideali (es. salinità, temperatura, profondità delle acque, ecc.), i tassi di produttività media sono 1.5-4.5 kg CaCO₃ yr⁻¹ (0.5-1.5 m ky⁻¹) (Schlager, 1981).
- Il calcolo della produttività dei sedimenti deve tenere in considerazione non solo lo sviluppo verticale (record stratigrafico) ma pure gli effetti della progradazione laterale dei sedimenti dei reefs (Hardie et al., 1991).
- L'accumulo carbonatico dipende non solo dalle condizioni ambientali delle acque ma dalla loro localizzazione nella piattaforma. Lagune e retroscogliere (back reefs) recenti hanno un tasso di accumulo di 0.2-0.4 m ky⁻¹ (Florida Keys, Bosence, 1989). Questi accumuli sono minori rispetto alla media della piattaforma a seguito dei minori nutrienti e possibili più alte salinità e temperature. Anche nelle rampe profonde i tassi di accumulo riflettono condizioni meno ideali (media di 0.1-0.2 m ky⁻¹). Al contrario sul fronte dei reefs i nutrienti maggiori determinano tassi di produttività alti (fino a 6 m ky⁻¹ (Bosence, 1989).
- Esempi tratti dai reefs della Florida forniscono dati insolitamente alti per un periodo di 3000-6000 anni (spessore massimo 14 m e tasso di accumulo di 2.3 m ky⁻¹ (ky=1000 anni). Le piattaforme carbonatiche attuali in media hanno un tasso di accumulo medio di 0.5-1.5 m ky⁻¹.

Le antiche piattaforme forniscono dati di accumulo molto più bassi rispetto alle piattaforme recenti. Per la piattaforma delle Bahamas solo 4 km di sedimenti si deposero nel Cretacico sup. con tassi medi pari a 0.04 m ky⁻¹. Anche nel Trias-Lias inferiore Lombardo i tassi medi variano tra 0,05 (Hettangiano) a circa 0,2-0,3 m ky⁻¹ (200-300 m per milione di anni nel Norico e Ladinico).

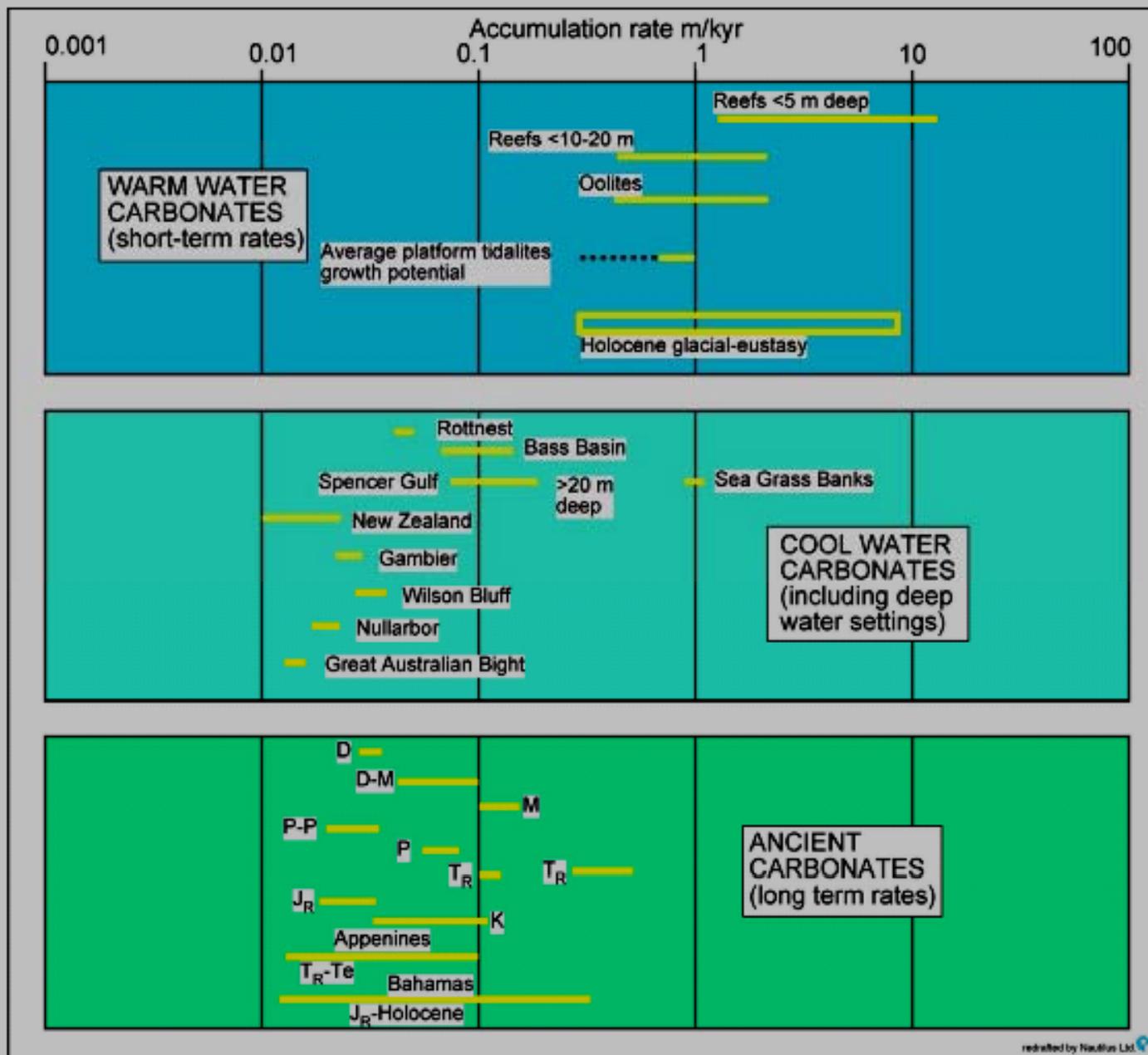
La comparazione dei dati di accumulo recenti e antichi appare sconcertante. Tuttavia se deve considerare che il record geologico dei carbonati preservati è influenzato anche da lunghi periodi di non deposizione ed erosione (attraverso variazioni del livello del mare e esposizioni subaeree, Wilkinson et al., 1991) che possono avere falsato di molto gli originari tassi di sedimentazione.



Tassi di crescita (mm/yr)

Montastrea annularis





Nautilus,
Della Porta
2009

La risposta alle variazioni eustatiche

La produttività carbonatica dipende dalla **profondità dei fondali e da tassi di sedimentazione** (spazio di accomodamento disponibile). Questi parametri sono i limiti critici da prendere in considerazione quando si vuole ricostruire l'evoluzione spazio-temporale di un sistema deposizionale.

A queste due variabili dipendono i concetti di :

1. **Esposizione:** Essa è associata con periodi di abbassamento del livello marino quando la piattaforma è emersa e soggetta a erosione-dissoluzione e diagenesi meteorica.
- 2. **Annegamento:** Una rapida trasgressione può sommergere la fattoria carbonatica sotto la zona fotica zone e causare una interruzione della crescita della piattaforma. Il tasso della trasgressione deve eccedere il tasso di produttività carbonatica. Questi annegamenti possono creare unconformities da deposizione silicoclastica. Un annegamento della piattaforma può essere dovuto a subsidenza tettonica. Se la profondità dell'annegamento non è estrema può però avvenire che si verifichi di nuovo una ripresa della produttività nella piattaforma. Mentre i reefs riescono a seguire anche consistenti risalite del livello marino (hanno alti tassi di produttività) i carbonati tidali (minore tasso di produttività) possono invece subire un annegamento e in questo modo si potrebbe formare una piattaforma orlata (Kendall and Schlager, 1981).
- 3. **Crescita verticale (aggradazione), laterale (progradazione), arretramento (retrogradazione)**

Annegamento (Drowning):

E' associato a un rapido innalzamento rapido del livello marino che non permette alla piattaforma di accrescersi verticalmente (es. situazioni del Cretacico viste in profili sismici, le "growing unconformities" of Schlager, (1989, e le situazioni di terreno dove si ha un contatto rapido tra sedimenti di mare basso e profondo.

Retrogradazione (Back Step):

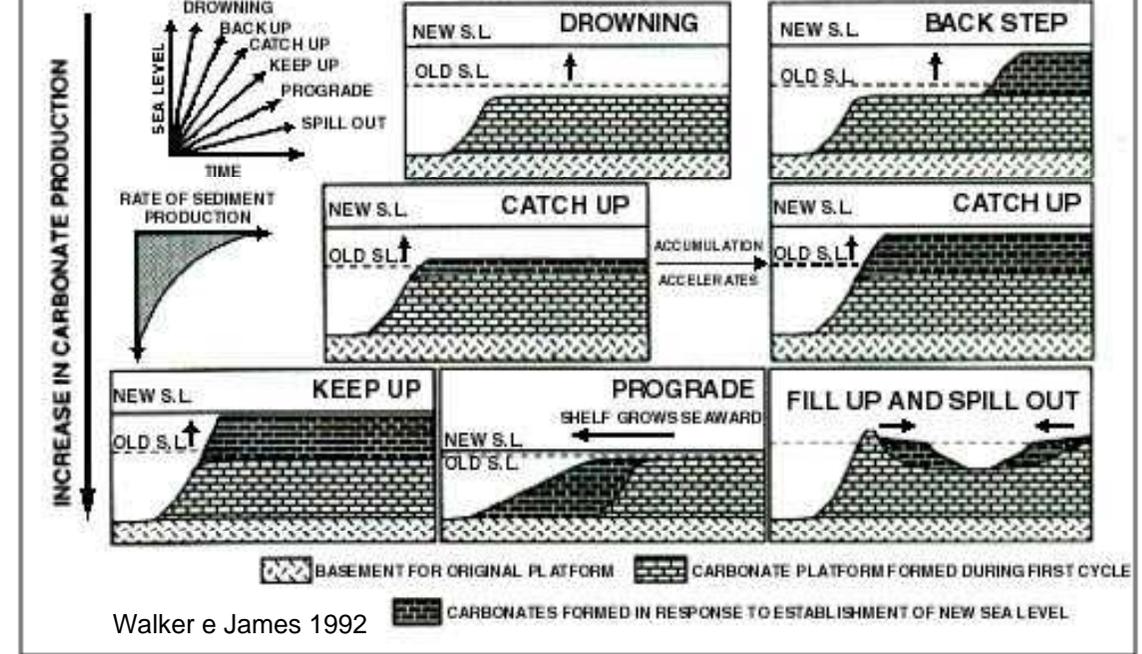
-Anche questo è connesso a risalita del livello marino ma non così rapida come nel caso precedente. In questo caso la piattaforma sopravvive creando i suoi ambienti più verso costa. Questi casi si osservano nei Transgressive System Tracts.

Catch Up:

-Questo evento inizia con un breve rapido innalzamento del livello marino seguito poi da un rallentamento. Durante la prima fase la piattaforma va in crisi e diminuisce molto la sua produttività e la profondità aumenta. Nella seconda fase la piattaforma riprende a crescere verticalmente (aggradazione) con tassi di sedimentazione superiori a quelli dell'innalzamento del livello marino fino a trovare un suo equilibrio. Raggiunto questo stadio se l'aggradazione non è più sufficiente può iniziare anche una progradazione laterale. Questo stadio è anch'esso connesso con un TS in shallowing upward sequenze subtidali. Alla fine può culminare con depositi tidali.

Keep Up:

-Questo evento è caratterizzato da un innalzamento relativo marino non eccessivo ed in equilibrio con quello della produttività carbonatica. Ciò crea una accrezione verticale monotona della piattaforma subtidale in una situazione di costante accomodation.



Progradazione:

-In questo caso la produttività carbonatica eccede i tassi di innalzamento del livello marino e di conseguenza gli spazi di accomodamento verticale si riducono. Così si creano i presupposti per una progradazione laterale del sistema di piattaforma verso il mare aperto. Dal punto di vista deposizionale questo periodo è associato con lo HST

• Fillup and Spillout:

-Questo evento è simile alla progradazione ma in questo caso la progradazione avviene verso la costa. Questo shift verso costa incrementa la progradazione di pianure tidali su l'intera piattaforma e da ultimo determina la riduzione della fattoria carbonatica subtidale e da ultimo una riduzione delle dimensioni areali della stessa. Dal lato deposizionale questo periodo è associato con lo HST (Kendall and Schlager, 1981).

Gerarchia dello shelf carbonatico

I moderni elementi architeturali inquadrati nella Stratigrafia Sequenziale delle successioni carbonatiche

Esempio margine progradante:
Captain Reef,
Permiano
(Guadalupe Mountains)

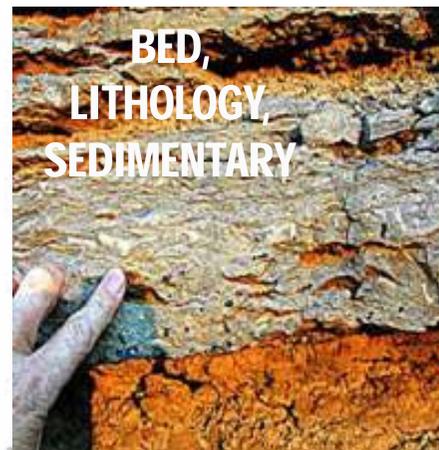


**SHELF
COMPLEX**

K. Kendall 2004



**MARGIN
COMPLEX**

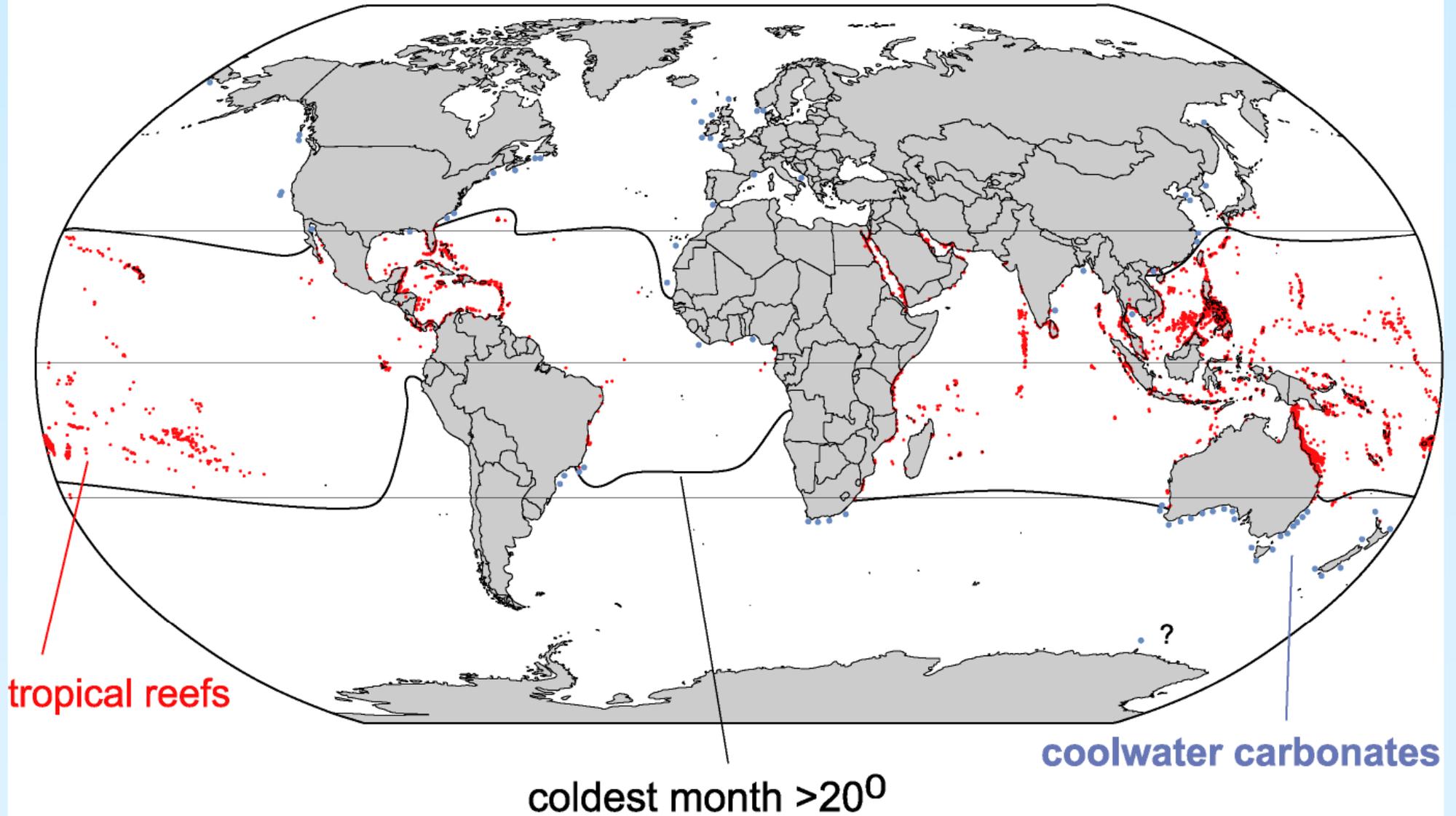


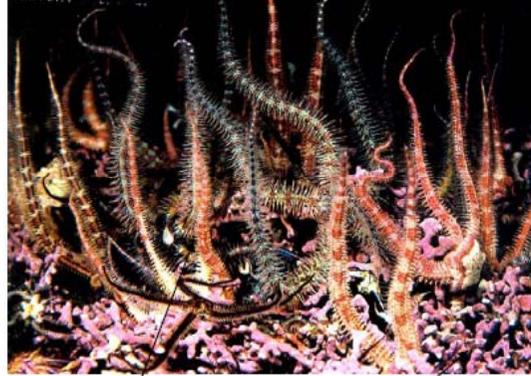
**ALLOCHEMS
CEMENTATION
& DIAGENESIS**

it

3) Gli ambienti attuali di piattaforma carbonatica

T FACTORY REEFS, C FACTORY SHELVES
AND WATER TEMPERATURE





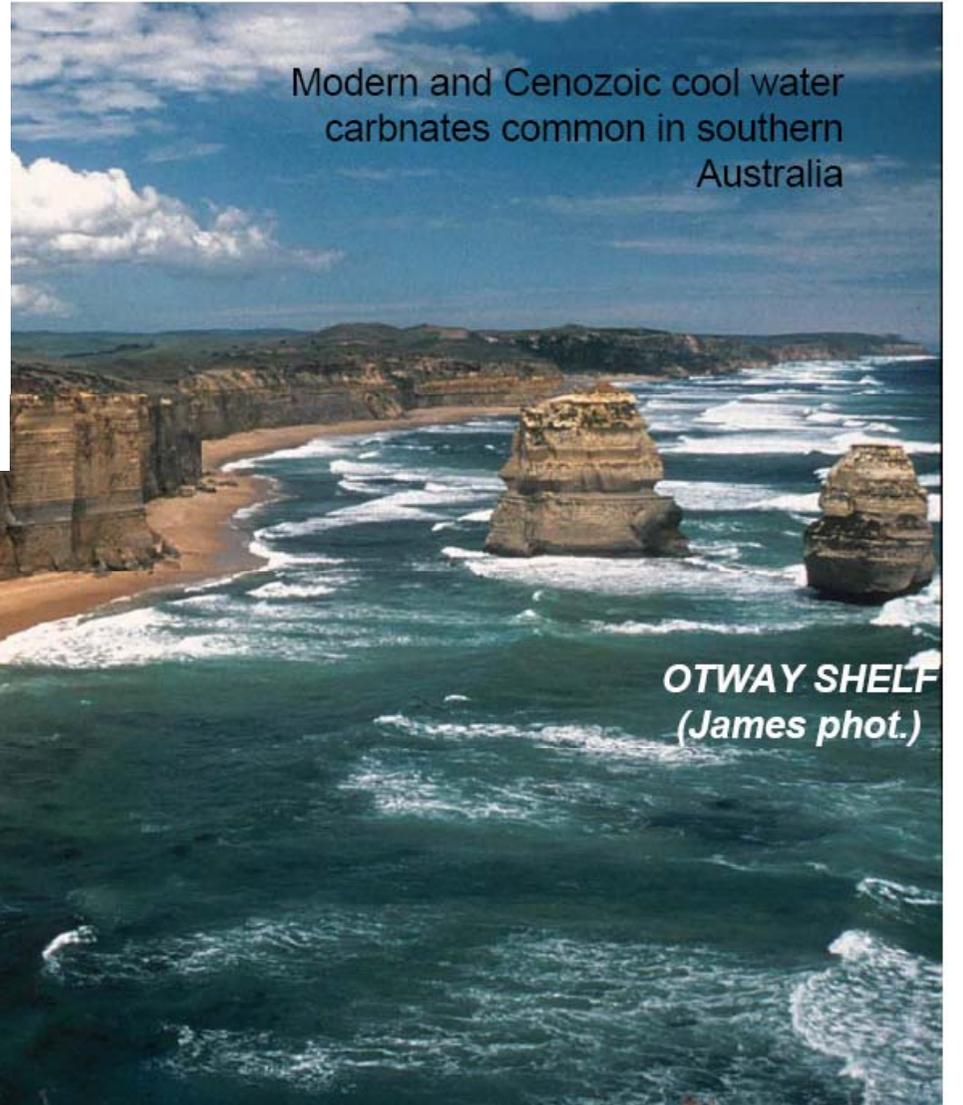
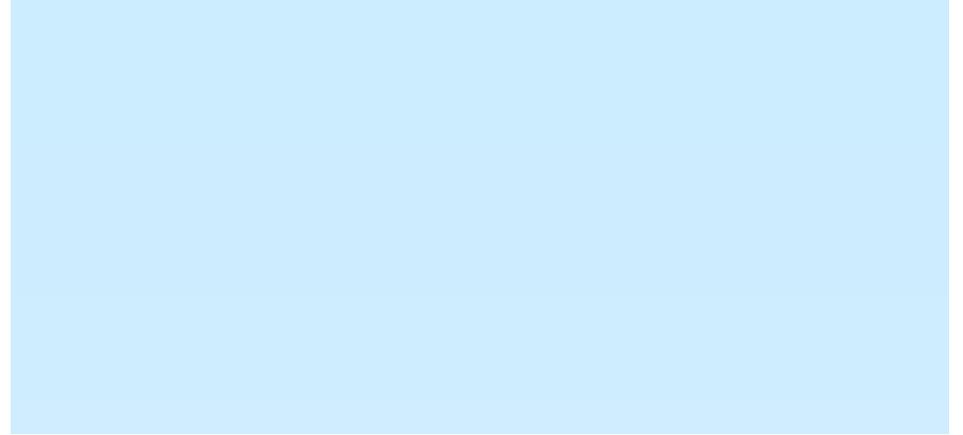
Echinodermata

Red algae

Bivalves (Molluscs)

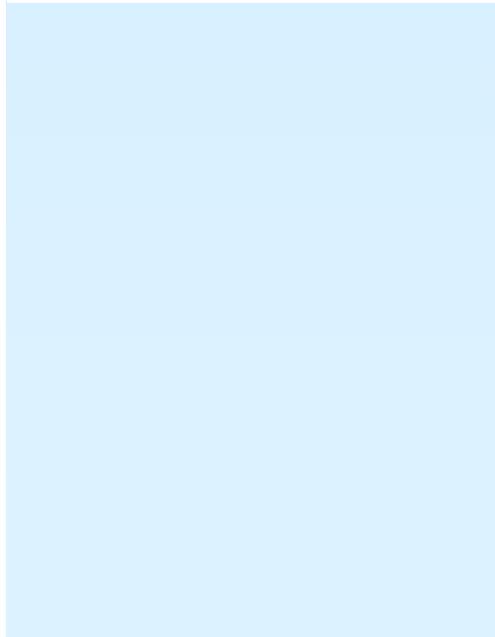


Important carbonate producers in cool-cold and/or deeper water are the echinoderms, bryozoans, red algae and molluscs



Modern and Cenozoic cool water carbonates common in southern Australia

OTWAY SHELF
(James phot.)



MODERN CARBONATE PLATFORMS

NAME	LINKAGE	SETTING	MORPHOLOGY
Florida Keys	Attached	Open Seaway	Rimmed Shelf
Belize	Attached	Open Seaway	Rimmed Shelf
Great Barrier Reef, Australia	Attached	Open Ocean	Rimmed Shelf
Red Sea and Gulf of Suez	Attached	Closed Seaway	Rimmed Shelf
Great Bahama Bank	Attached	Open Ocean-Open Seaway	Rimmed Shelf
Yucatan-Campeche Bank	Attached	Open Seaway	Ramp
Persian Gulf	Attached	Closed Seaway	Ramp

Florida: piattaforma costiera con scarso apporto terrigeno continentale.

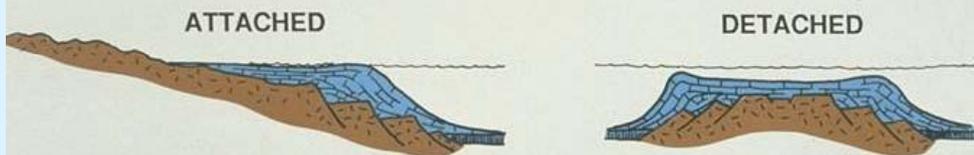
Brasile, Belize, Grande Barriera Australiana: piattaforme costiere con input silicoclastico di clima tropicale umido.

Bahamas: piattaforma isolata, clima monsonico umido.

Golfo Persico: rampa carbonatica costiera in genere con scarso apporto terrigeno, di clima caldo arido.

VARIABLES CONTROLLING CARBONATE SYSTEMS TRACTS

CONTINENTAL LINKAGE



C.R. HANDFORD

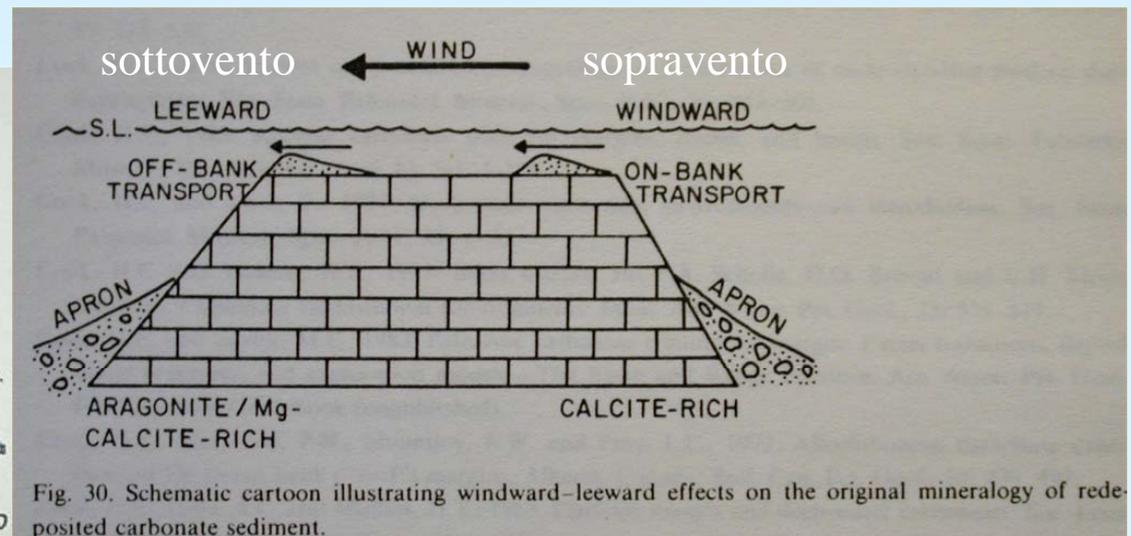


Fig. 30. Schematic cartoon illustrating windward-leeward effects on the original mineralogy of redeposited carbonate sediment.

T & C FACTORIES

Classification of carbonate environments by protection and restriction

RESTRICTION PROTECTION	NO RESTRICTION	BIOTIC RESTRICTION	PRESENCE OF EVAPORITES
AGITATED (no mud)	skeletal sands in Florida Reef Tract	sand shoals in Hamelin Basin, Shark Bay	sublittoral sand & rubble in Hamelin Basin
CALM OR EPISODICALLY AGITATED (muddy)	deep lagoons of Pacific atolls	muddy sands of Florida Bay	muddy sands of tidal flats in Hamelin Basin

Esempi di ambienti attuali con sedimentazione carbonatica in contesti pericontinentale tropicale temperato (C) caldo (T) :

a) Costa del Brasile,
b) Golfo del Messico

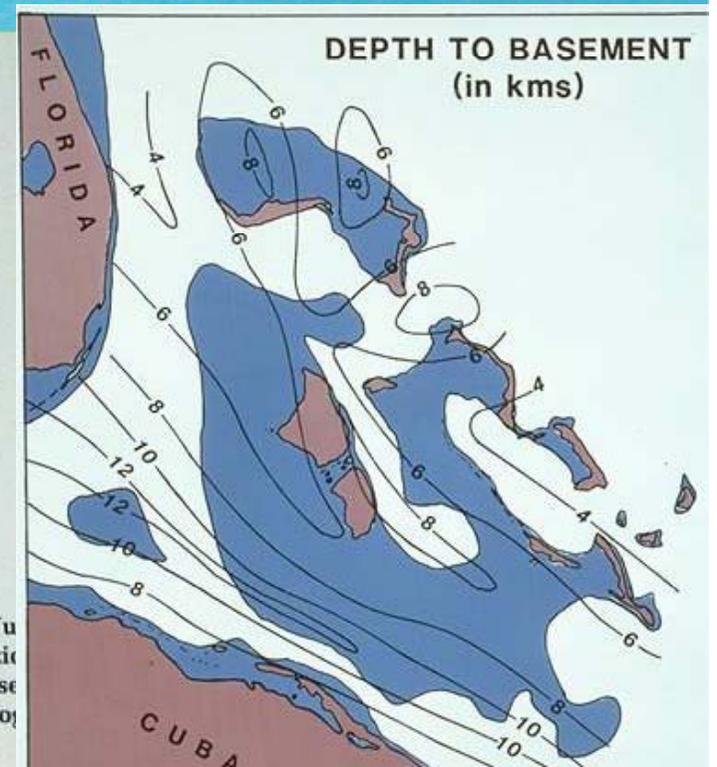
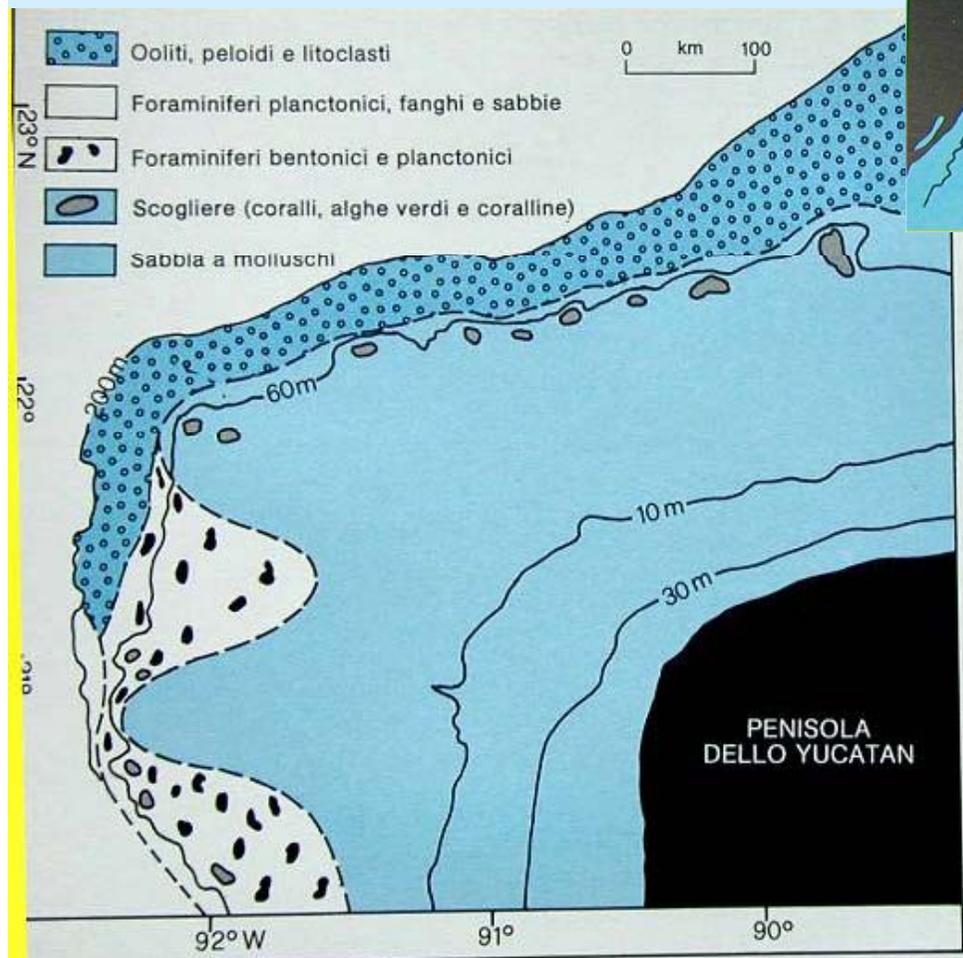
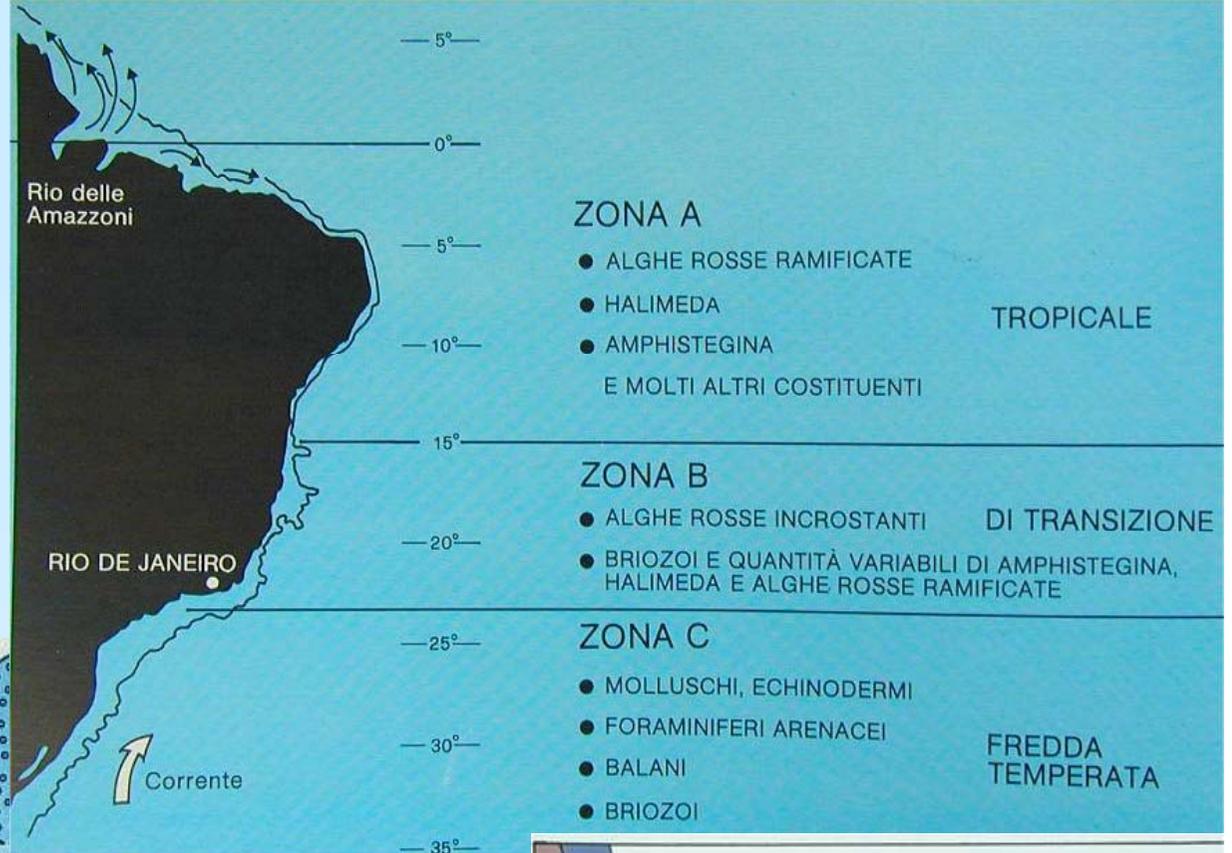


Figura 3.11. La piattaforma dello Yucatan (Messico). Batimetria e distribuzione dei principali grani carbonatici nei sedimenti superficiali (modificato da Loy et al., 1969).

b1) Belize

- La piattaforma del Belize è diventata ormai un riferimento attualistico per le antiche piattaforme attaccate ad un continente e con apporti fluviali silicoclastici nel sistema carbonatico costiero. Esempi nel passato si trovano nel Permiano degli USA e nel Carnico del Sudalpino Lombardo.
- Presso costa la laguna interna presenta prevalenti facies arenitiche o miste con bioclasti carbonatici (gasteropodi e rare Alghe Halimeda).
- Allontanandoci dalla costa prevalgono, nella laguna più esterna, le facies fangose argillose subtidali che contengono anche corpi fangosi (mound) stabilizzati da alghe verdi (Halimeda) verso l'esterno patches reefs a coralli poco diversificati.
- Localmente in queste facies lagunari è stata trovata recentemente un fenomeno di dolomitizzazione precoce dei sedimenti fangosi. Si pensa sia dovuta all'attività di batteri e presenza di metano a seguito del decadimento della sostanza organica.
- Ancora più verso il mare aperto vi sono piccoli reefs discontinui con associazioni in genere di organismi di scogliera in genere non molto differenziati.
- Nel Belize ci sono anche resti della piattaforma del Pleistocene che presenta facies un poco diverse da quelle attuali (sembra non ci fossero i reef ma solo barre oolitiche forse dovute al diverso clima o circolazione delle correnti). Molto evidenti sono i fenomeni del carsismo sviluppatosi durante le ultime glaciazioni.
- Il carsismo pleistocenico ci ha inoltre lasciato le stupende “blue holes” (presenti anche in altre parti delle piattaforme caraibiche. Queste aperture sono dovute al collasso del tetto di grotte che fanno parte di un vasto reticolato carsico ora sottomarino ma un tempo posto al di sopra del livello del mare.
- Il recente annegamento olocenico dei paleokarsts (inizio dell'ultima trasgressione marina post glaciale) ha arretrato la linea di costa e creato l'accomodamento per gli attuali ambienti sedimentari.

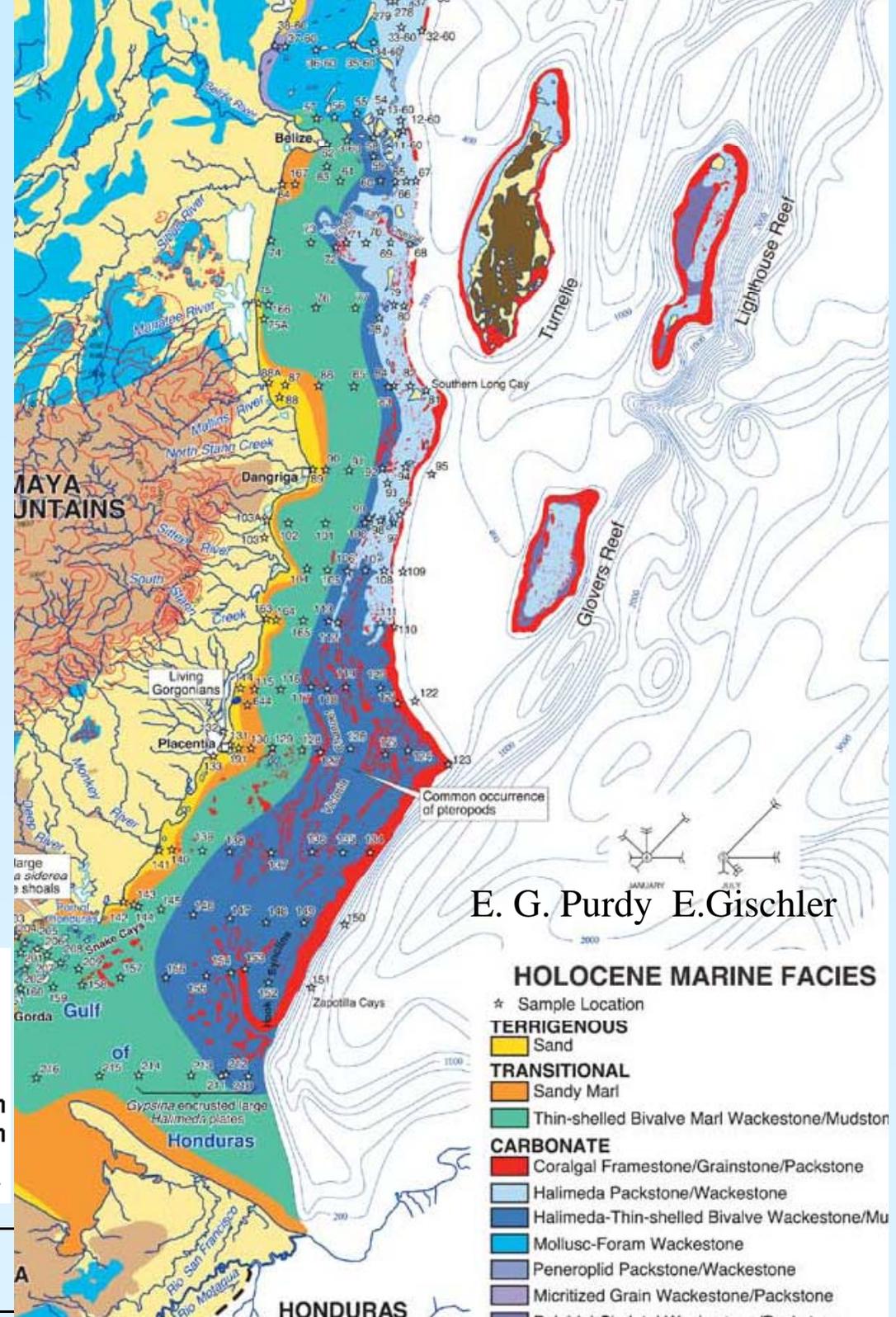
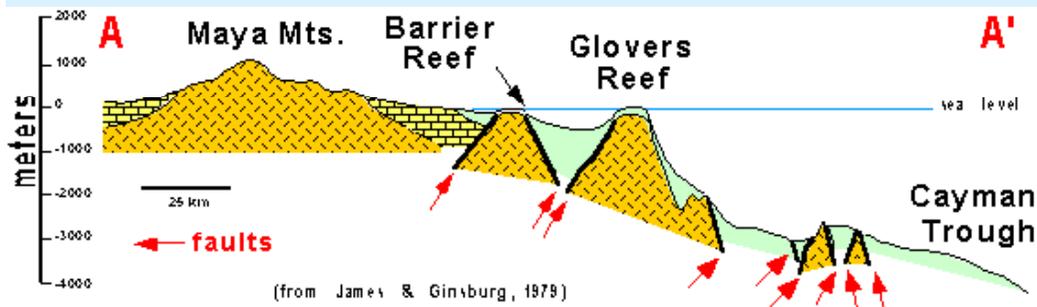
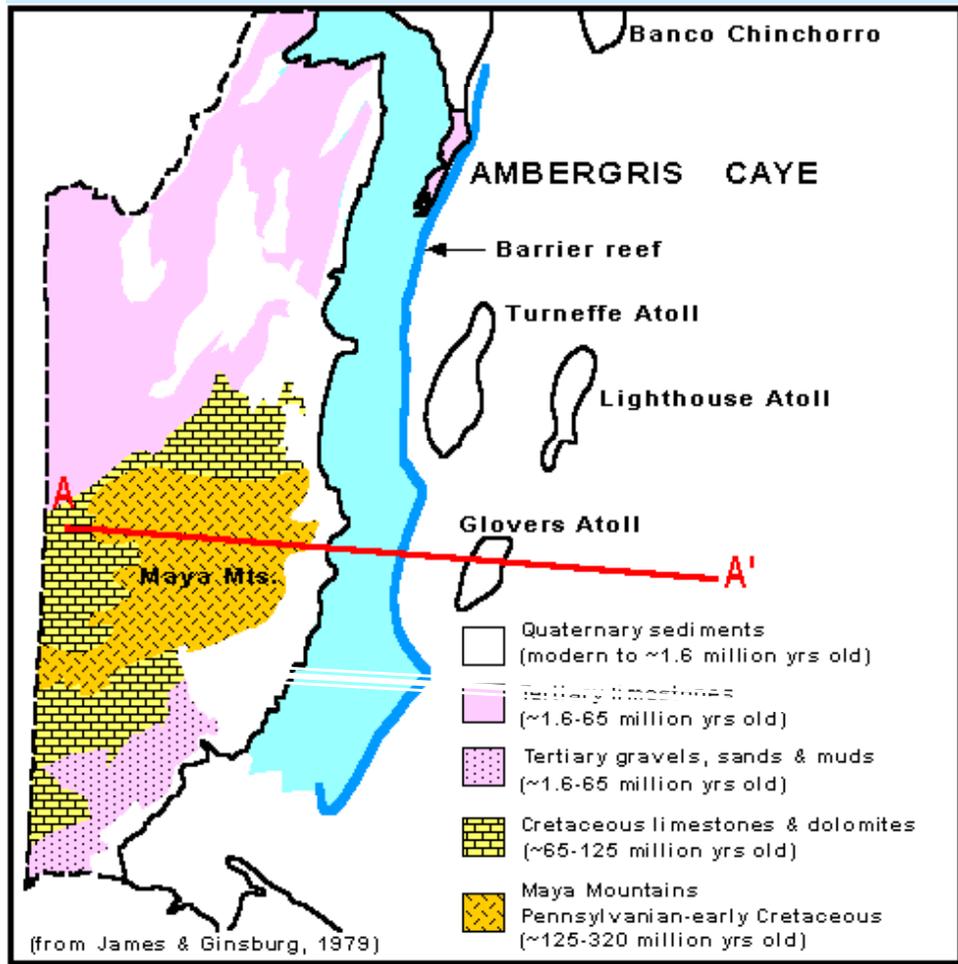
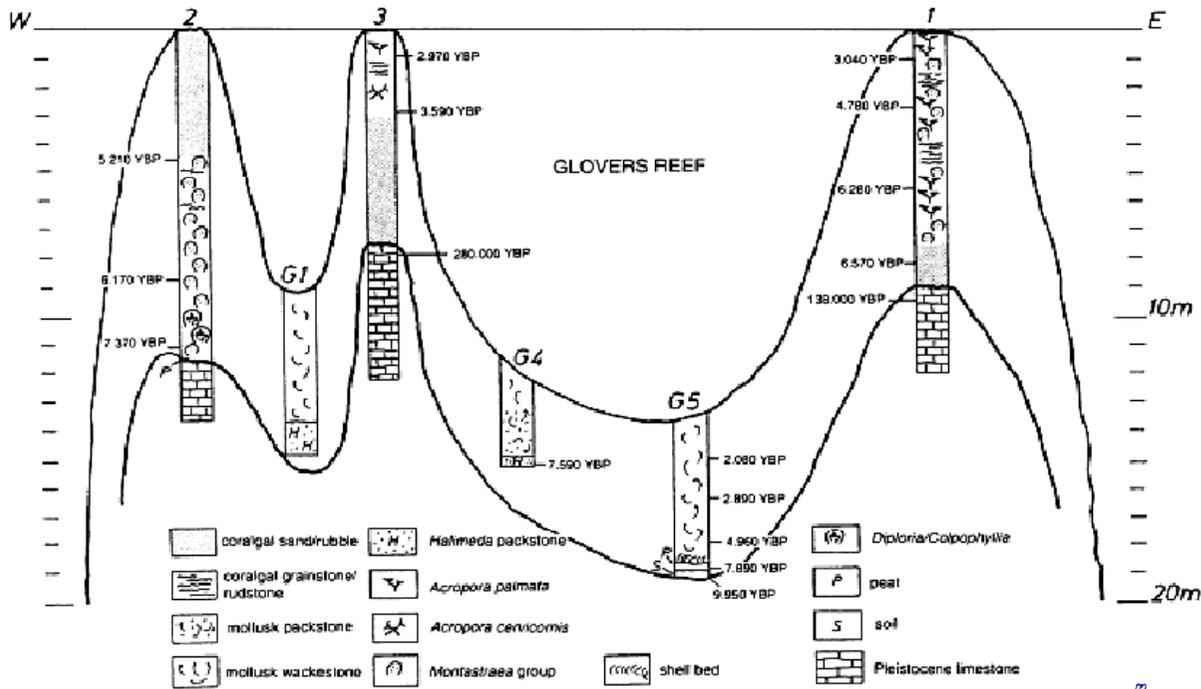
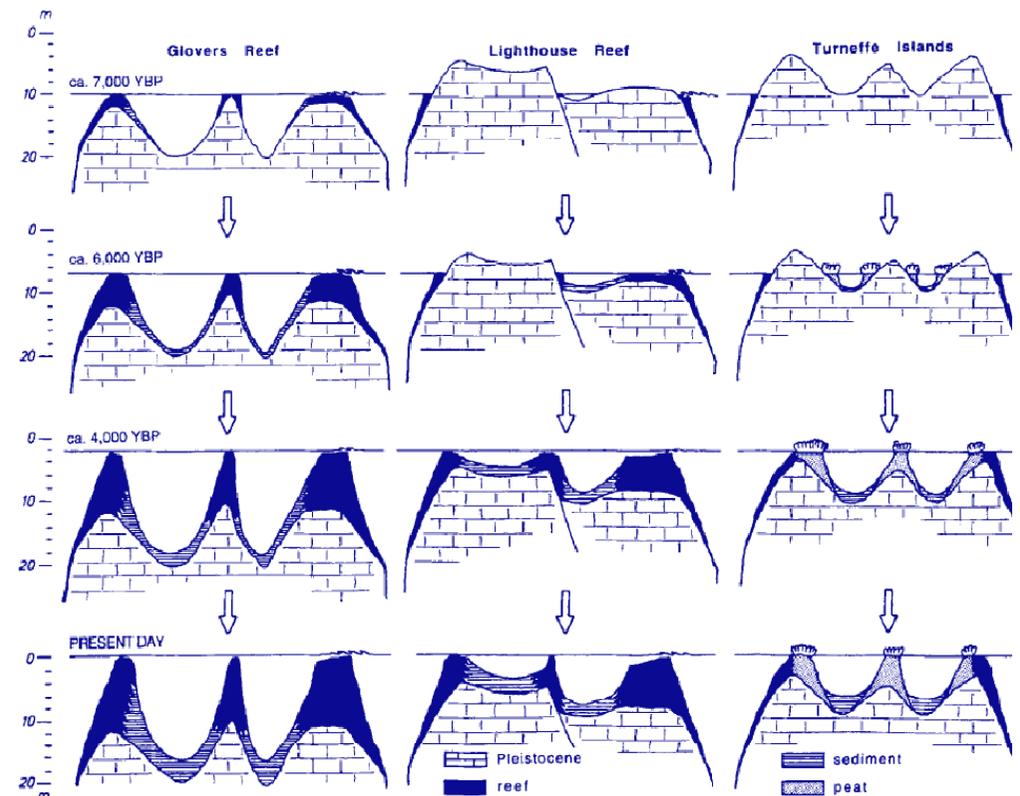
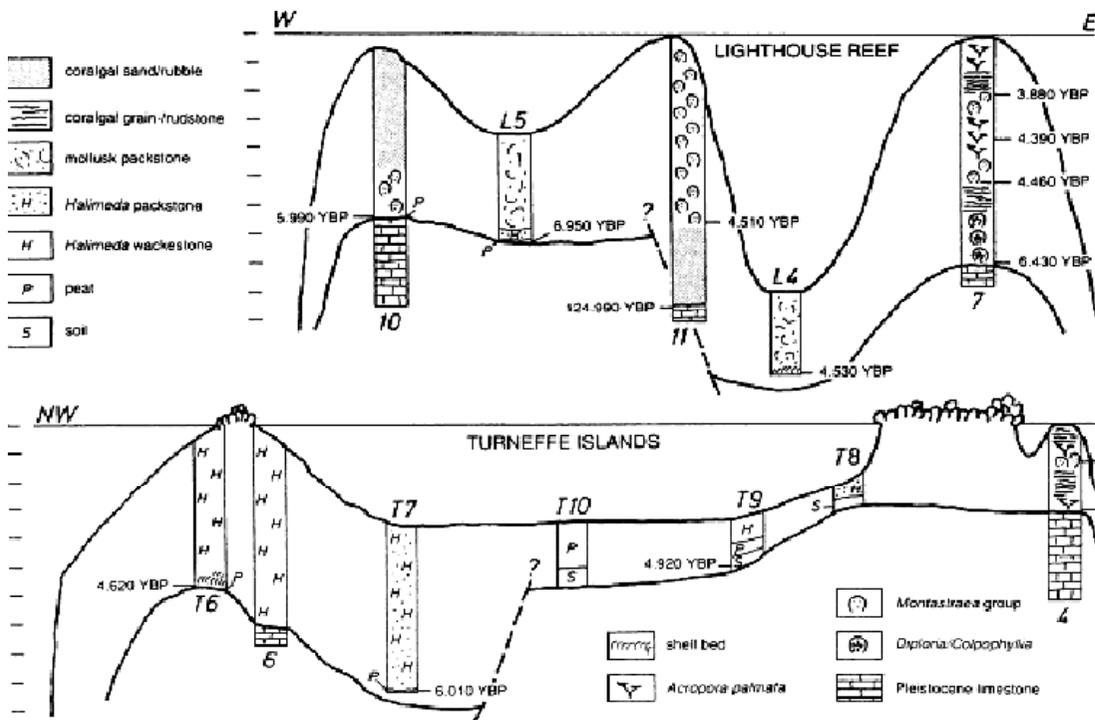


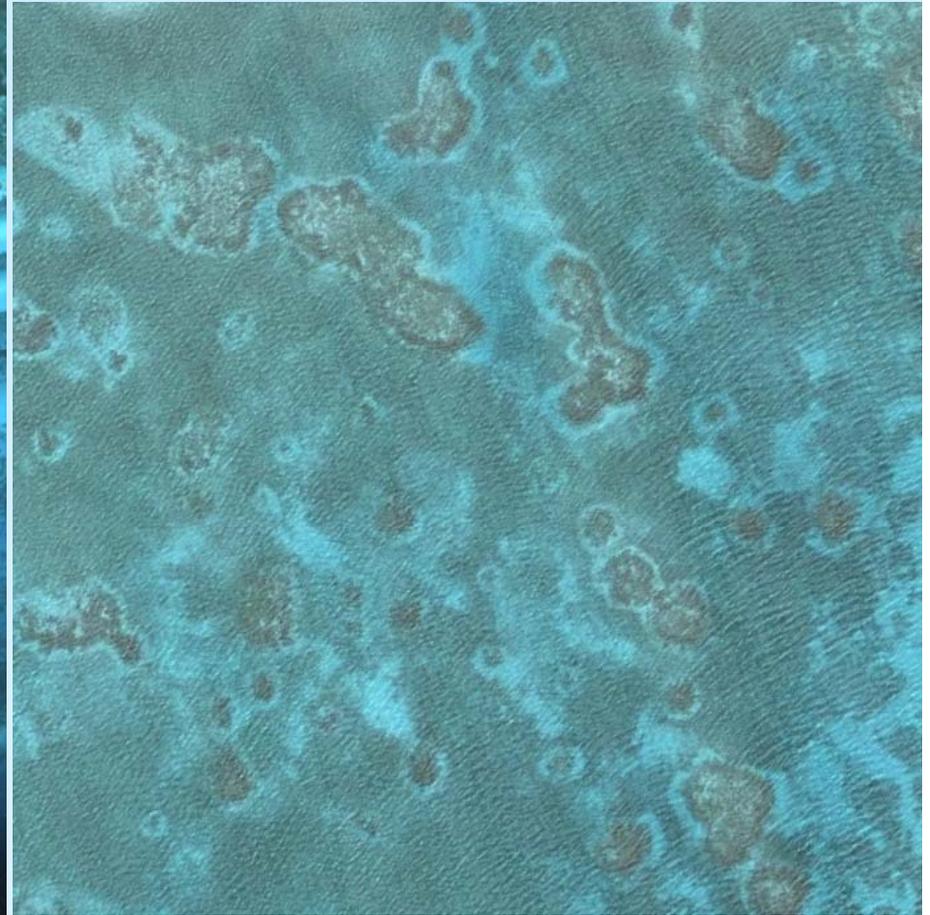
Fig. 1. Map of Belize, showing the barrier reef and the three atolls: Glover's Reef, Lighthouse Reef, and the Turneffe Islands Atoll.



Modello dell'evoluzione olocenica delle tre piattaforme isolate, da *Gischler & Hudson, 1998*.



Sezioni attraverso le piattaforme offshore, con riportate le stratigrafie di alcune carote, da *Gischler, 2003*



An alternate hypothesis for the distribution of modern reefs in the shelf lagoon and on the outer or barrier platform is that the modern reefs are growing on fault-controlled blocks of karst- weathered older reef limestone (Purdy, 1974).

The intricate distribution of small shelf atolls inside the southern barrier reef suggests that their foundations were older limestone that, when exposed to humid tropical weathering during times of low sea level, was weathered into a maze of karst pinnacles and blind valleys. Seismic profiling and a few boreholes have confirmed that the modern reef is quite thin and closely reflects the relief of the substrate.

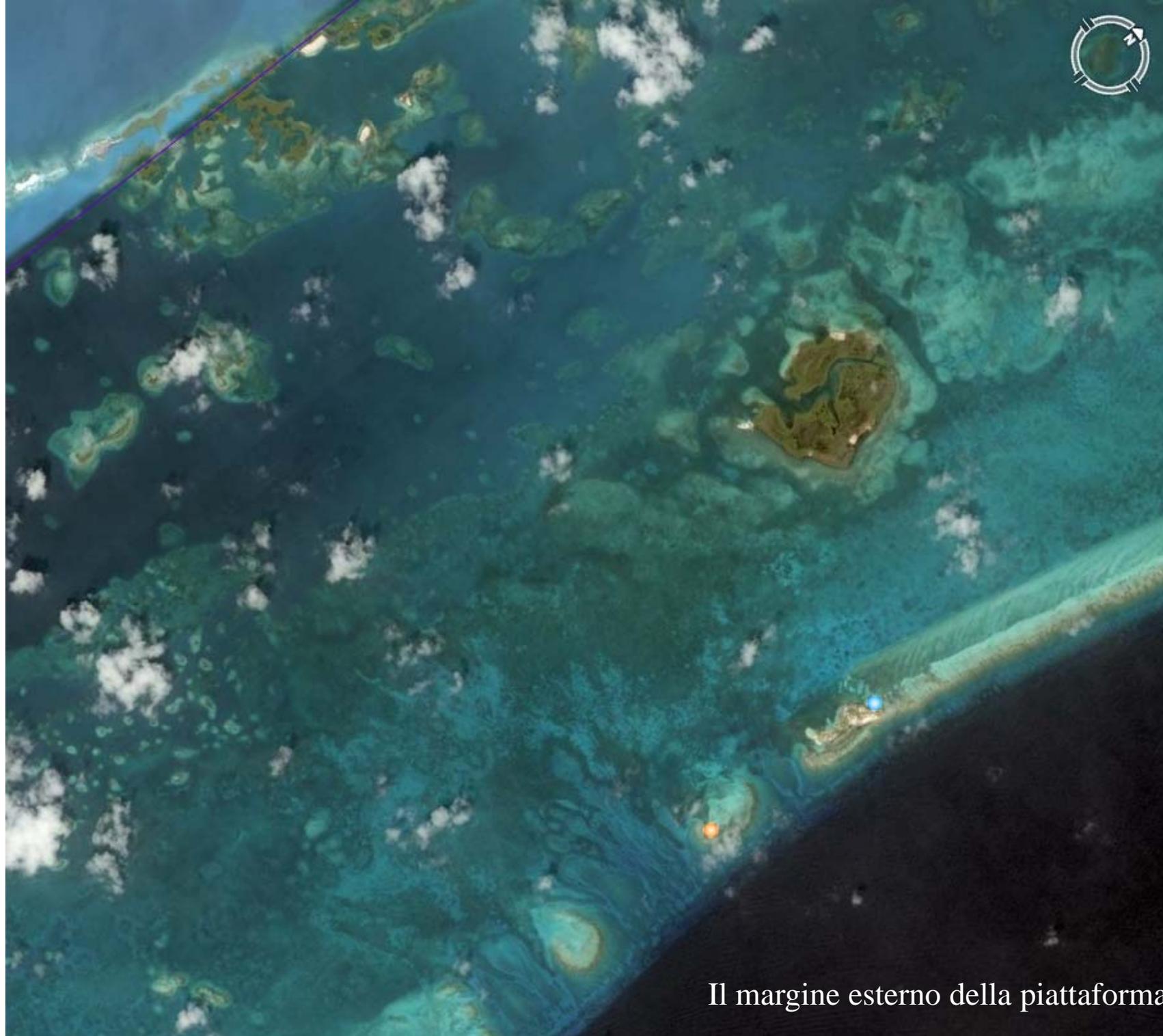
Both alternate hypotheses probably have some truth. The older siliciclastic foundation deepens to the south, and Holocene reefs are thicker to the south, supporting the idea that a former coastal plain has differentially subsided. However, if a former reef had been built during the last interglacial time, about 125 000 years ago, that reef would have subsequently died and been subaerially exposed by low sea level until only a few thousand years ago when the postglacial sea level again rose. If the weathered karst landscape on the old reef had subsided tectonically at the rate of only a few meters in 100 000 years, it would be covered by the modern sea, and corals would have found abundant surfaces on which to reestablish. Although corals are flourishing on the Belize reef today, it is probably not a very old landform. **Landsat Mosaic.**



La “Great Blue Hole” è un’evidenza del reticolato carsico formatosi durante il LSTW delle glaciazioni pleistoceniche.) Si è formata per crollo del tetto di una grande caverna ora sottomarina.

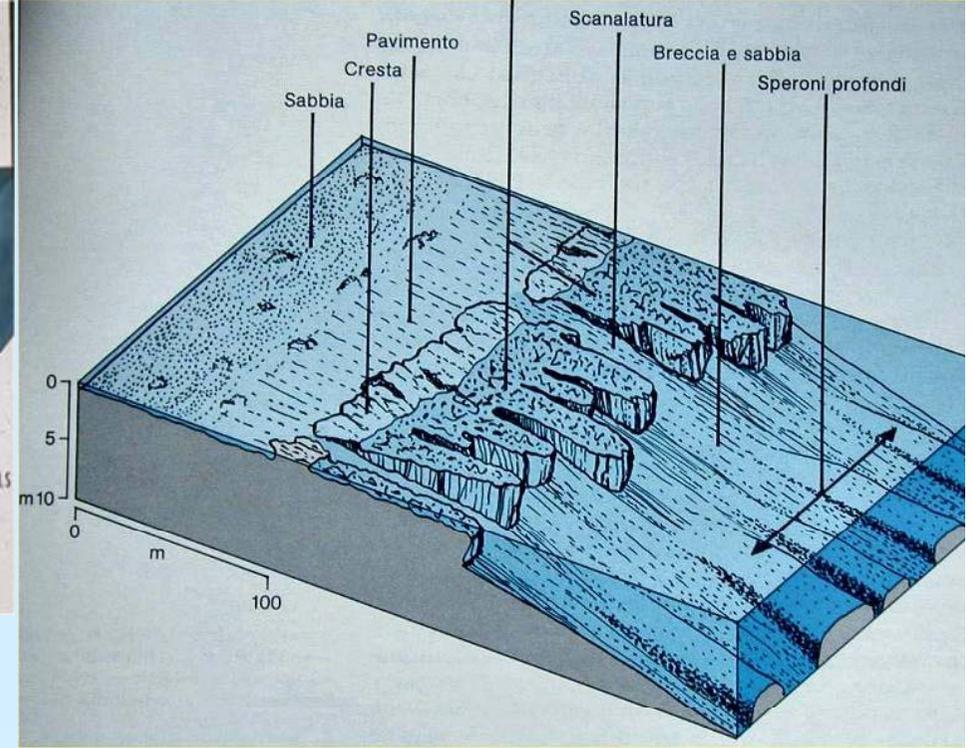
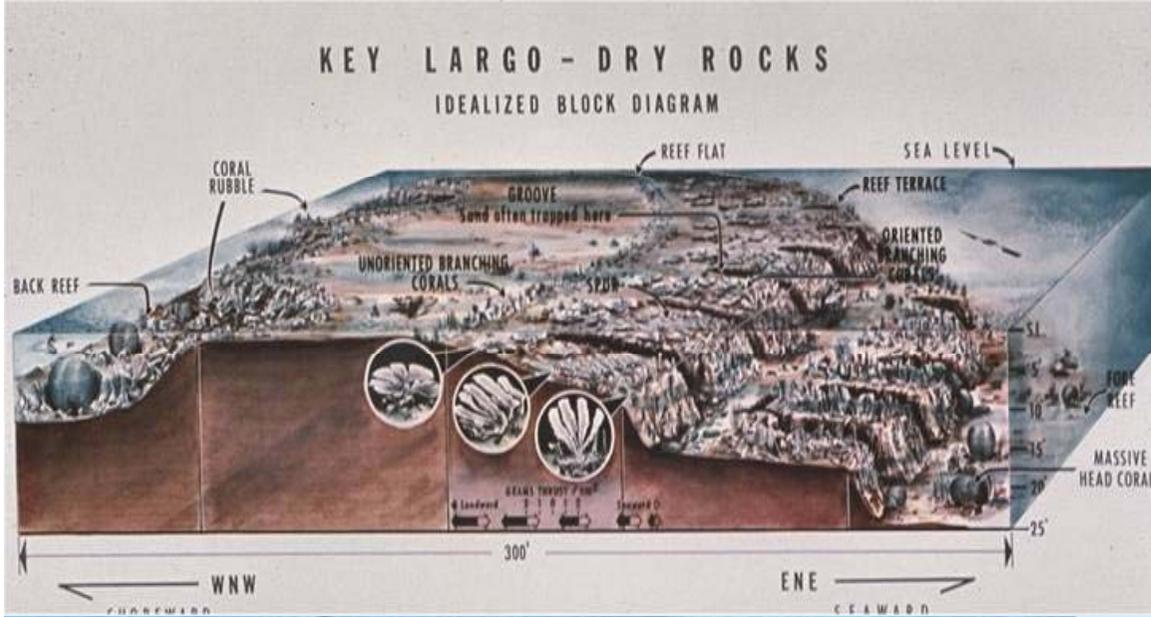
The Great Blue Hole on Light House Reef. 55 miles east of Belize City. Belize. Breathing a mixture of nitrogen, oxygen and helium, expedition members were able to obtain rock and sediment samples and video records of deep marine cave environments. previously only accessible through the use of submersible equipment.

Expedition goals set forth primarily by Drs. Robert Dill and Anthony Jones~ were designed to develop knowledge of when and how blue holes form. to develop a more accurate curve of sea level rise that followed the last ice age and to determine if any correlation exists between the effects of Saharan dust storms and algae blooms.

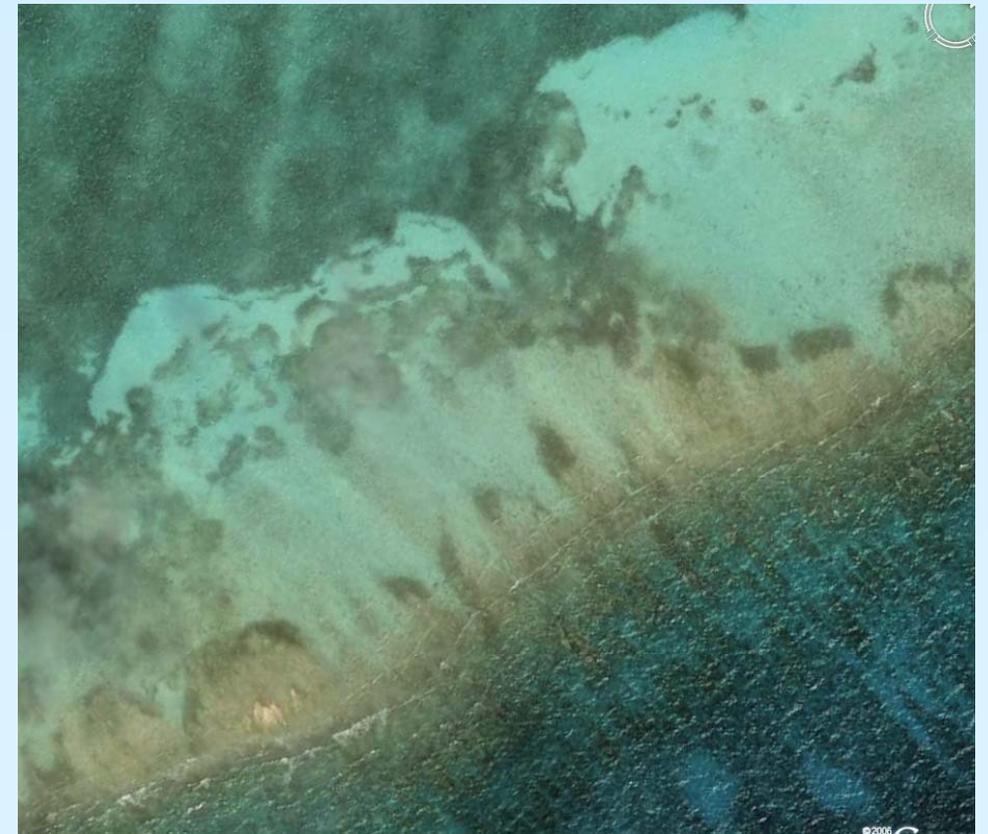
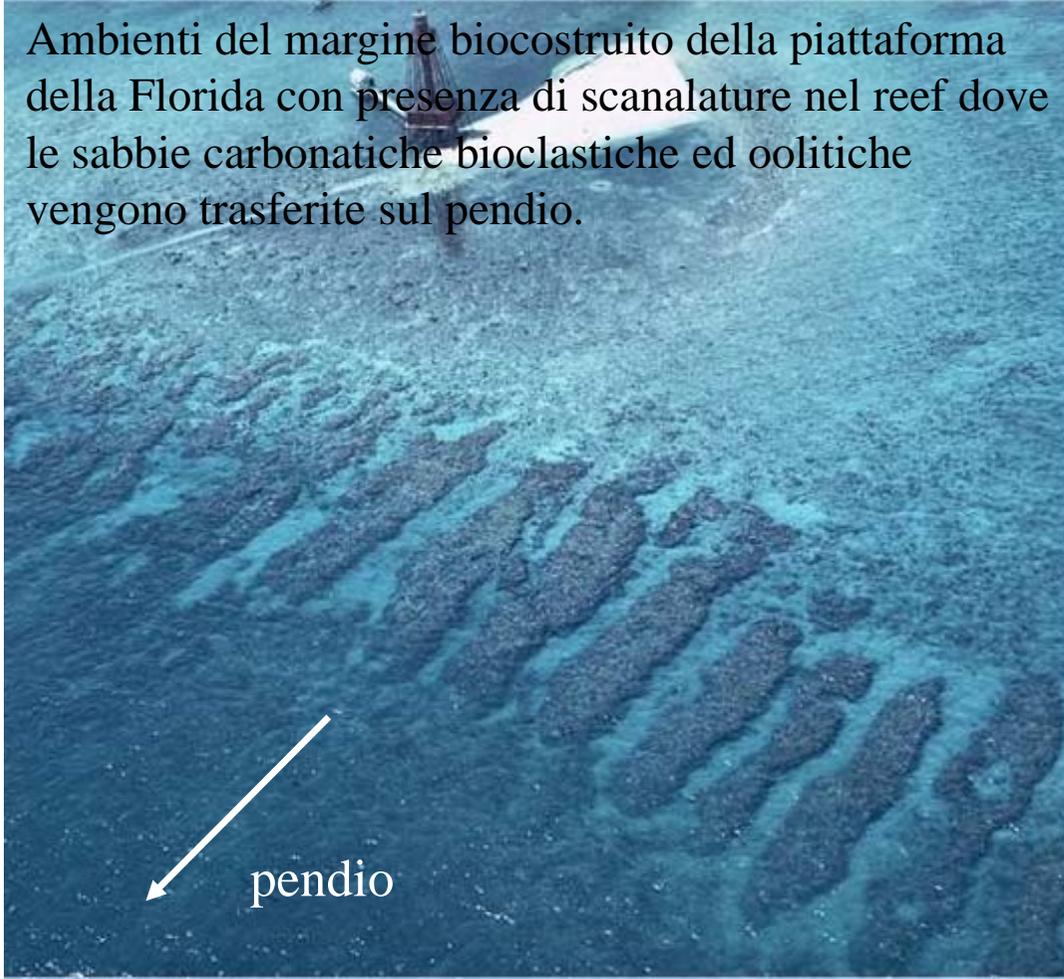


Il margine esterno della piattaforma
del Belize



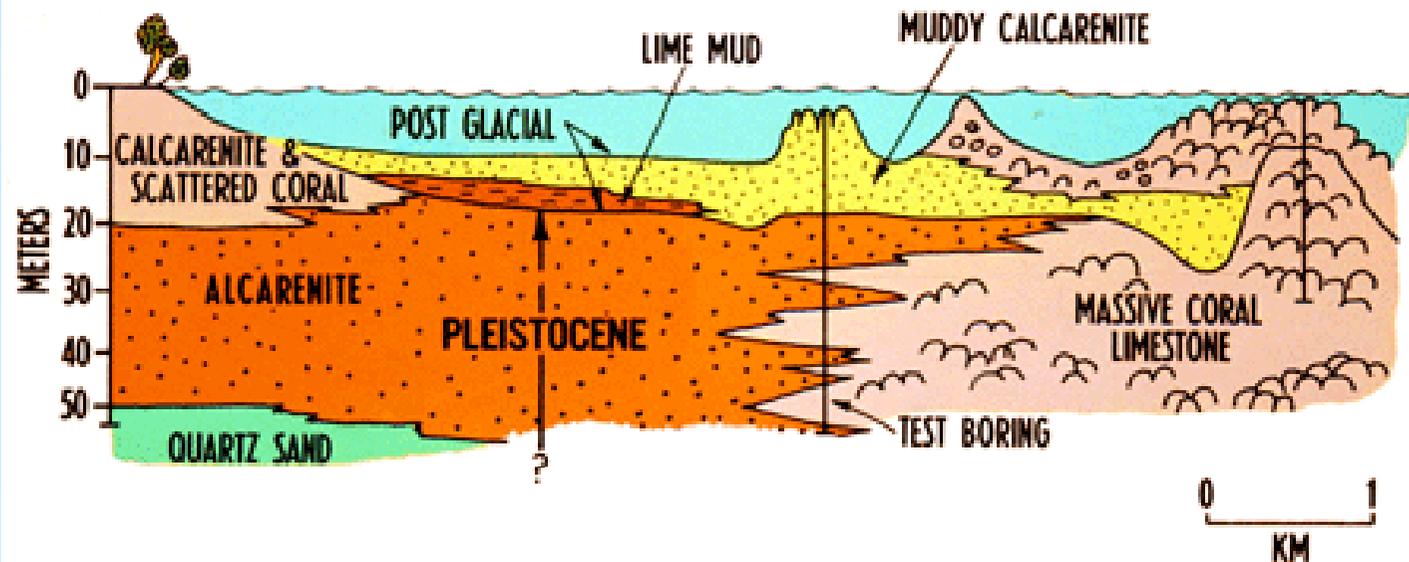


Ambienti del margine biocostruito della piattaforma della Florida con presenza di scanalature nel reef dove le sabbie carbonatiche bioclastiche ed oolitiche vengono trasferite sul pendio.



Florida Platform

PLATFORM INTERIOR AND RIM

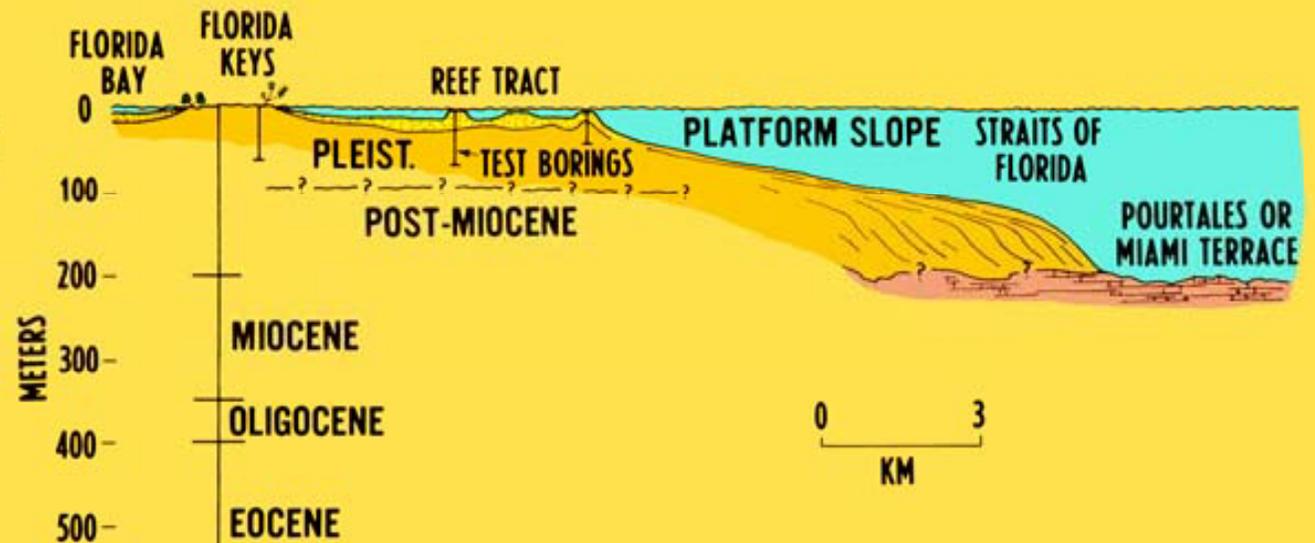


PLEISTOCENE & POST GLACIAL

FROM HOFFMEISTER & MULLER, 1968
ENOS, 1972

Florida Platform

PLATFORM INTERIOR AND RIM

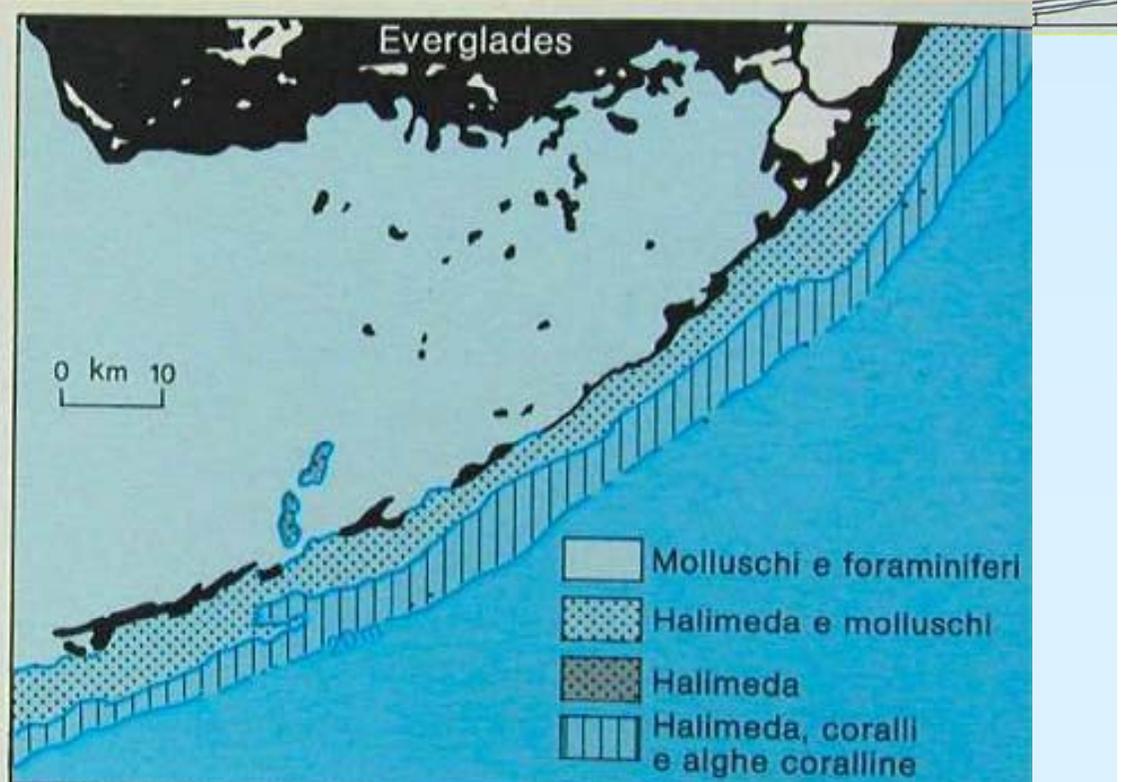
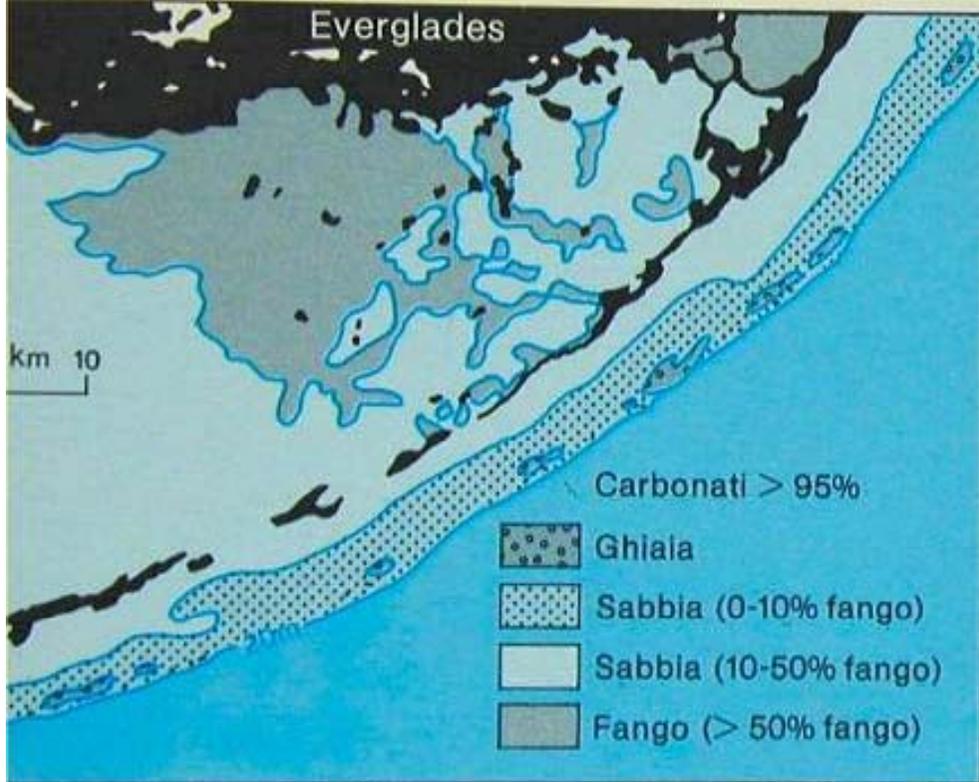
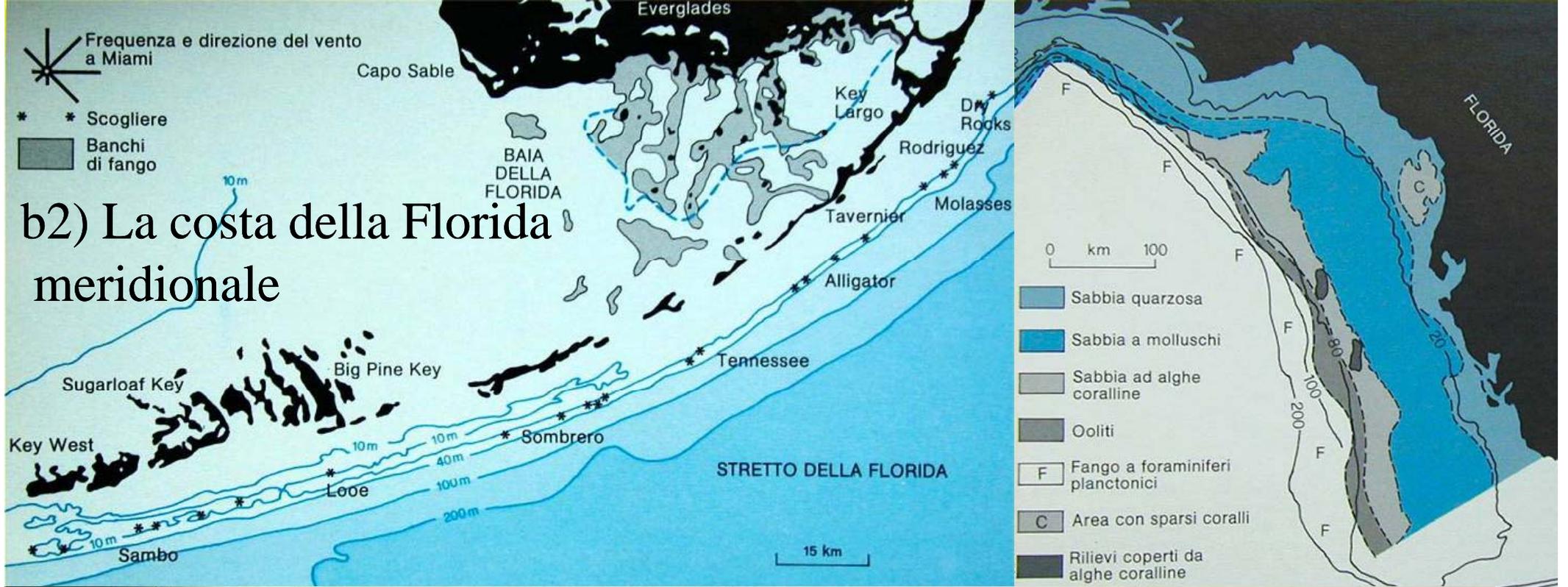


Frequenza e direzione del vento a Miami

* * Scogliere

Banchi di fango

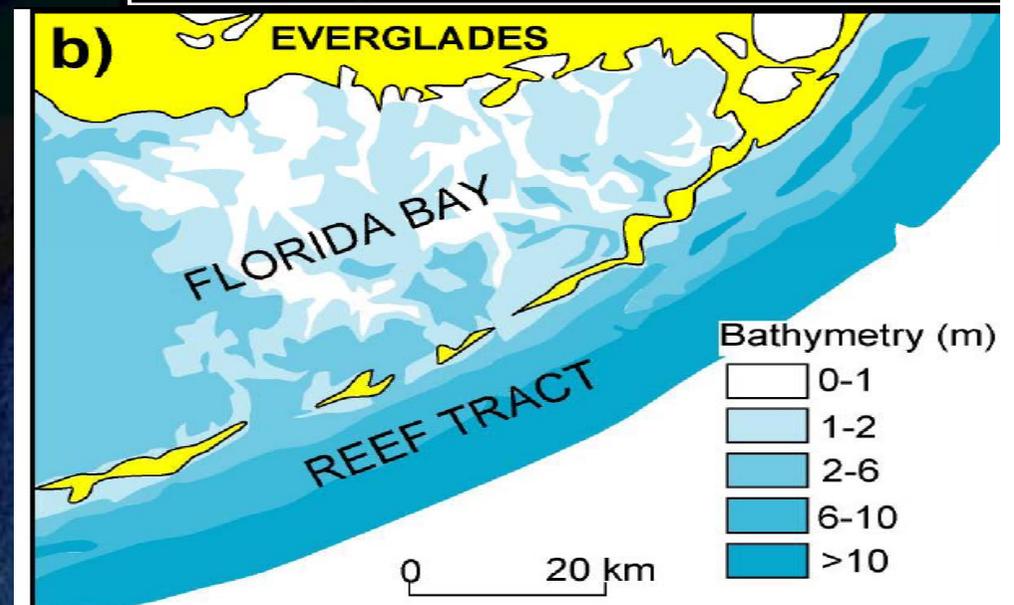
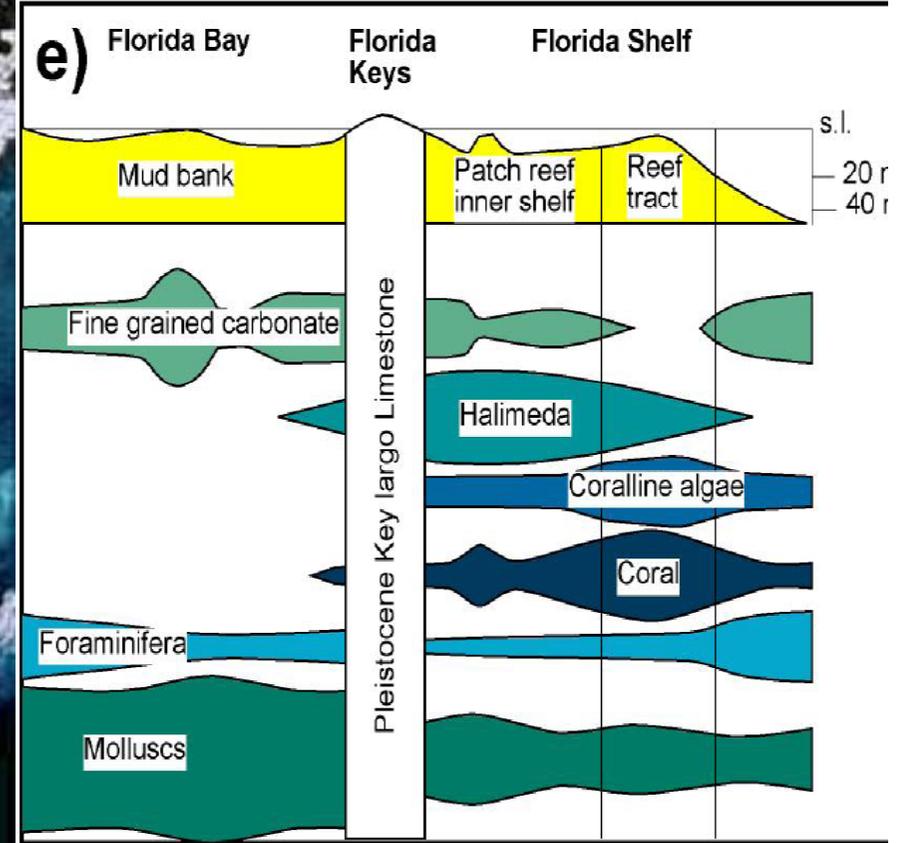
b2) La costa della Florida meridionale



La costa della Florida meridionale

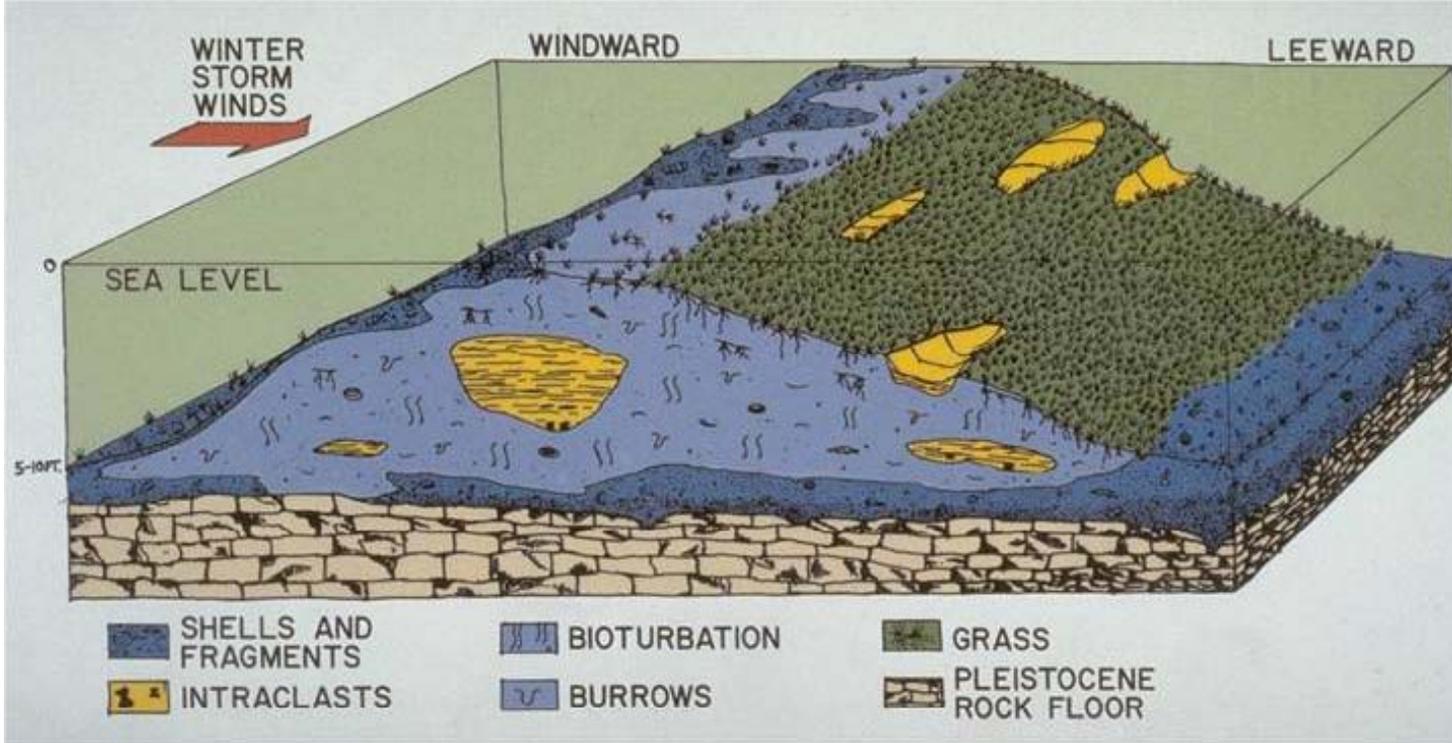


Vista aerea di vari ambienti marini costellati di isole allungate (keys) e barre sabbiose sul margine di piattaforma della Florida meridionale.





Gli ambienti subitali con mangrovie, isole con lagune (pond) e fanghi intertidali con mad cracks della piattaforma della Florida.



Esempio della composizione biologica di un banco carbonatico subtidale

Facies di spiaggia carbonatica con sedimenti litificati precocemente (beachrock)



From left to right: Halimeda, Penicillus, Udotea, Rhipocephalus.



I principali organismi che producono fango carbonatico.



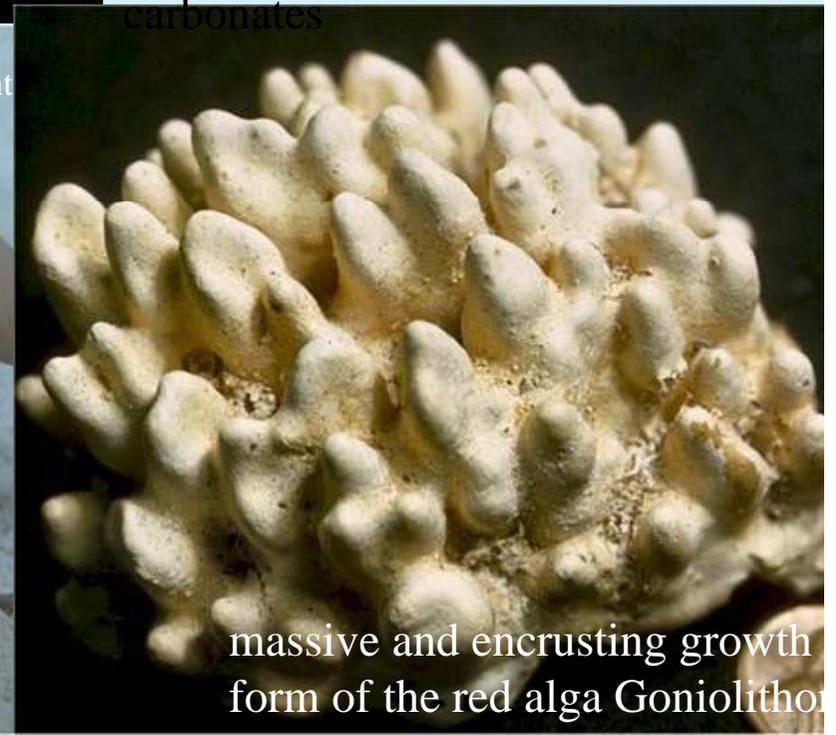
calcified gametangia (calcispheres) of green algae similar to Acetabularia. Such calcispheres are very common in the geologic record in shelfal and lagoonal carbonates



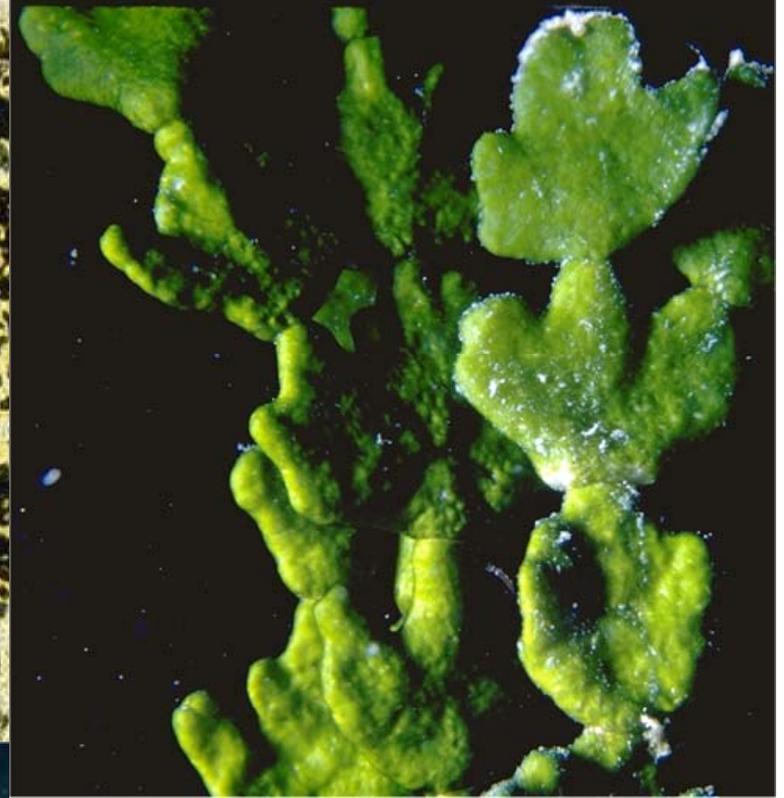
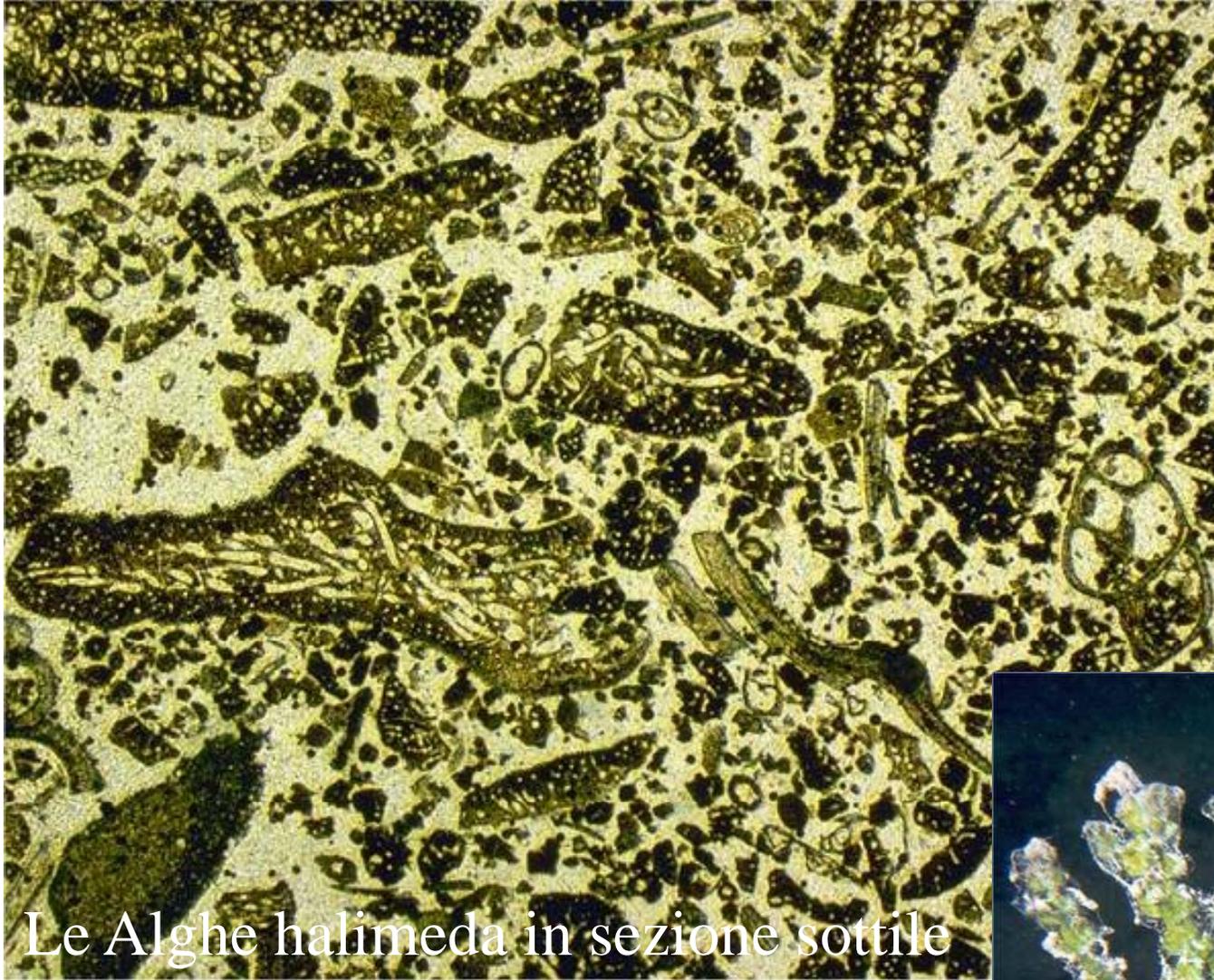
calcareous green alga, Udotea.



the calcareous green alga, Rhipocephalus, a significant carbonate producing organism.



massive and encrusting growth form of the red alga Goniolithon



Le Alghe halimeda in sezione sottile

In alto sinistra. Irregular segment of the Halimeda plant becomes liberated upon death. Because Halimeda plants grow quickly (over just a few months), large quantities of skeletal sand can be produced

In basso:calcareous green alga, Halimeda. Note the abundant attached epibionts that largely cover the algal plates.



calcareous green alga,
Rhipocephalus. This view clearly
shows the holdfast, the stem, and
the nested leaves of the plant.

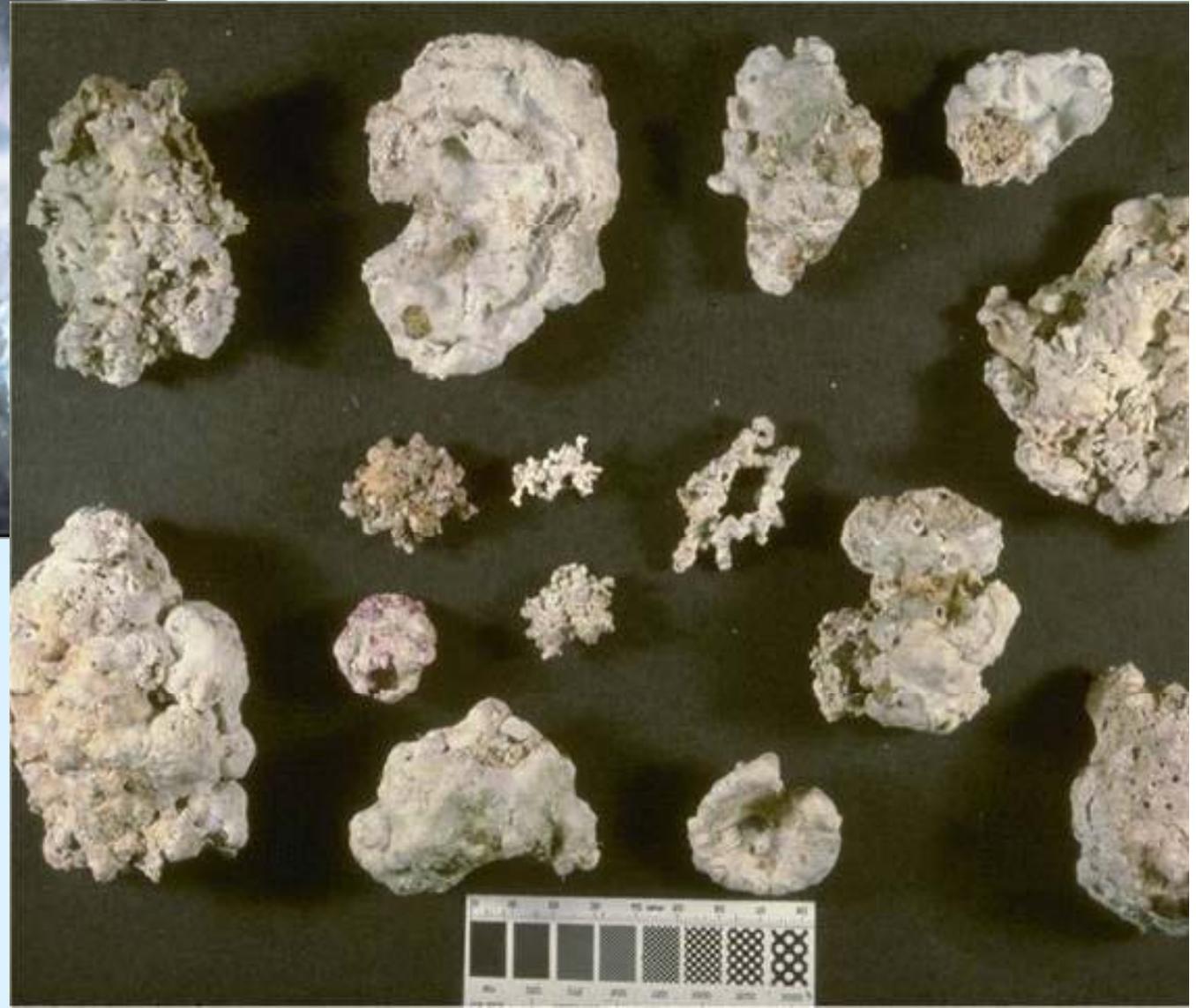


green alga, *Acetabularia*
showing epiphytes growing
on the surface.



Alghe rosse (rhodoliti) incrostanti (oncoliti).

heavily calcified (with magnesium calcite), brittle, stick-like branches of the red alga *Goniolithon* with abundant encrusting epifaunal material



Gli organismi costruttori del reef



assemblage of corals, mainly *Diploria* sp. and *Acropora palmata*



mixed assemblage of corals, here mainly *Diploria* and soft corals

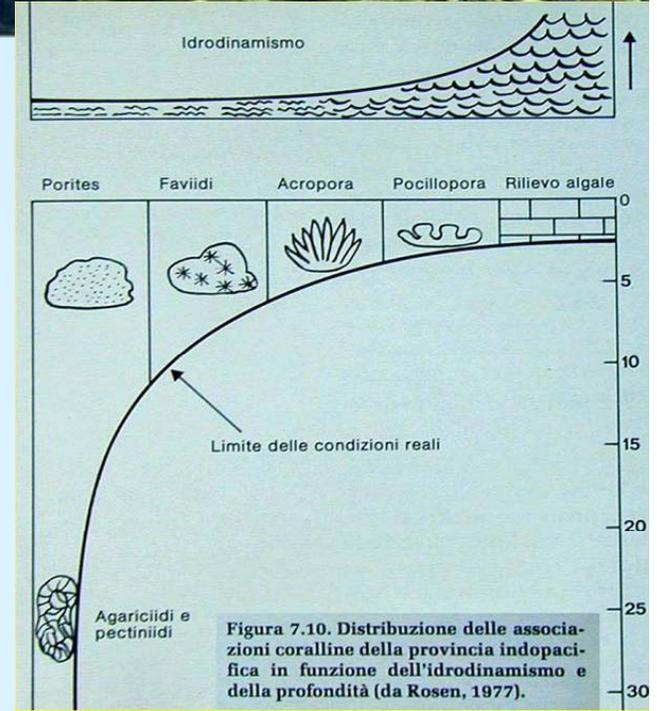


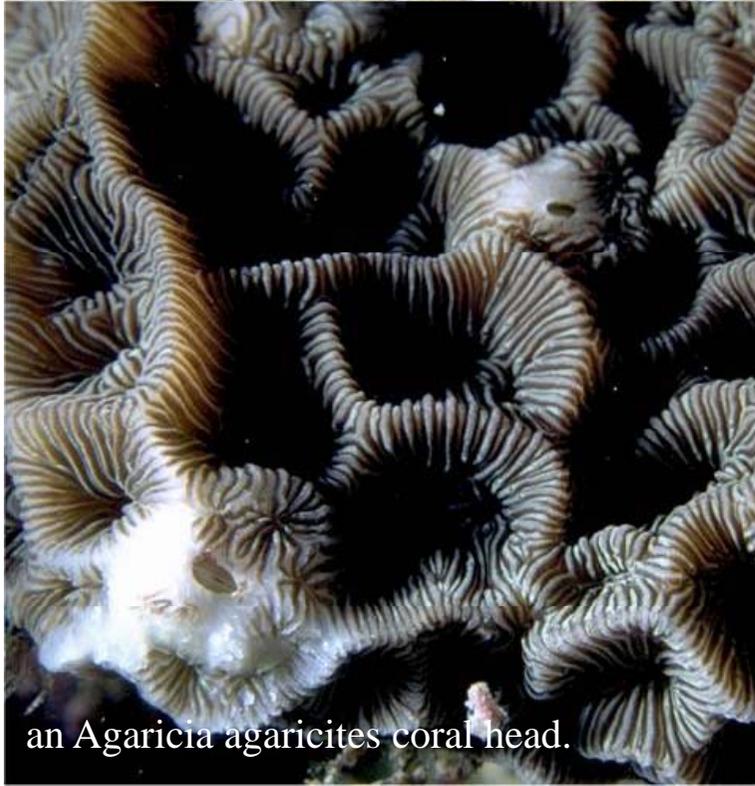
Figura 7.10. Distribuzione delle associazioni coralline della provincia indopacifica in funzione dell'idrodinamismo e della profondità (da Rosen, 1977).



Eusmilia fastigiata coral head.



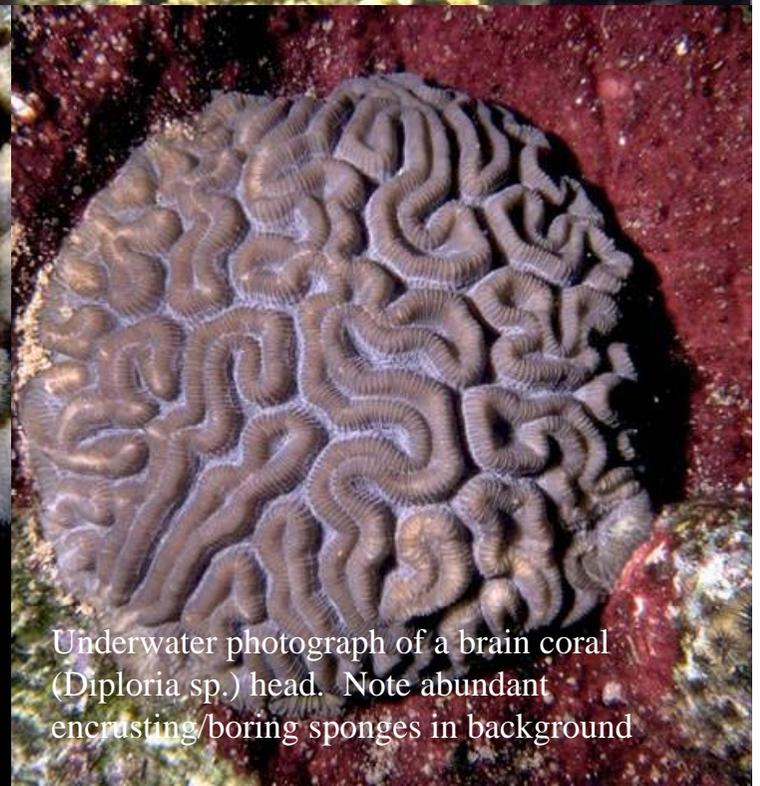
corals (*Acropora palmata*) in a shelf-margin reef



an *Agaricia agaricites* coral head.



knobby *Porites* sp. coral head.



Underwater photograph of a brain coral (*Diploria* sp.) head. Note abundant encrusting/boring sponges in background



small patch reef with large head corals, tube sponges, and gorgonians surrounded by sandy, partially grass-stabilized sediment.



large coral heads of *Montastrea annularis* that form part of a large patch reef on the south Florida shelf

Great Bahama Bank

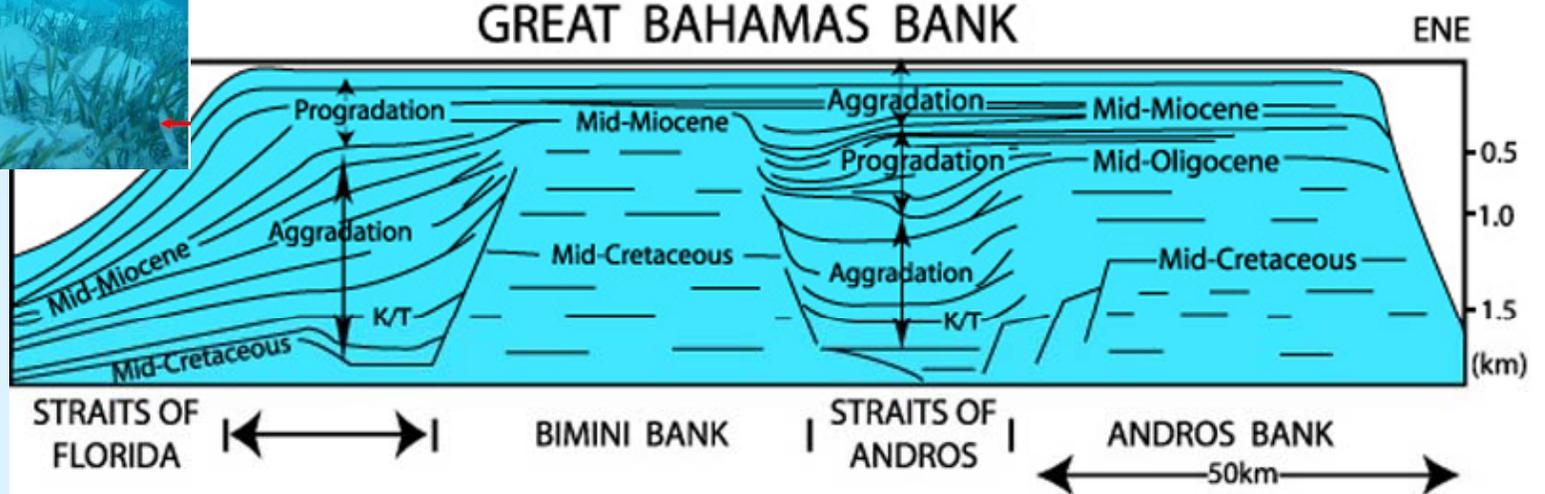
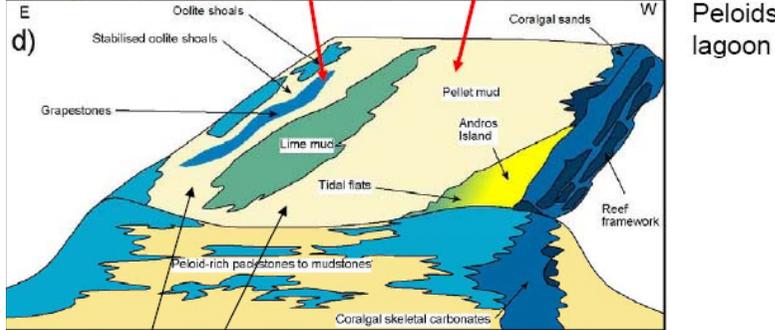
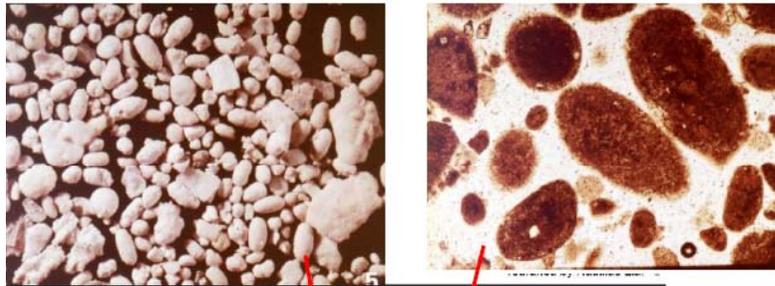
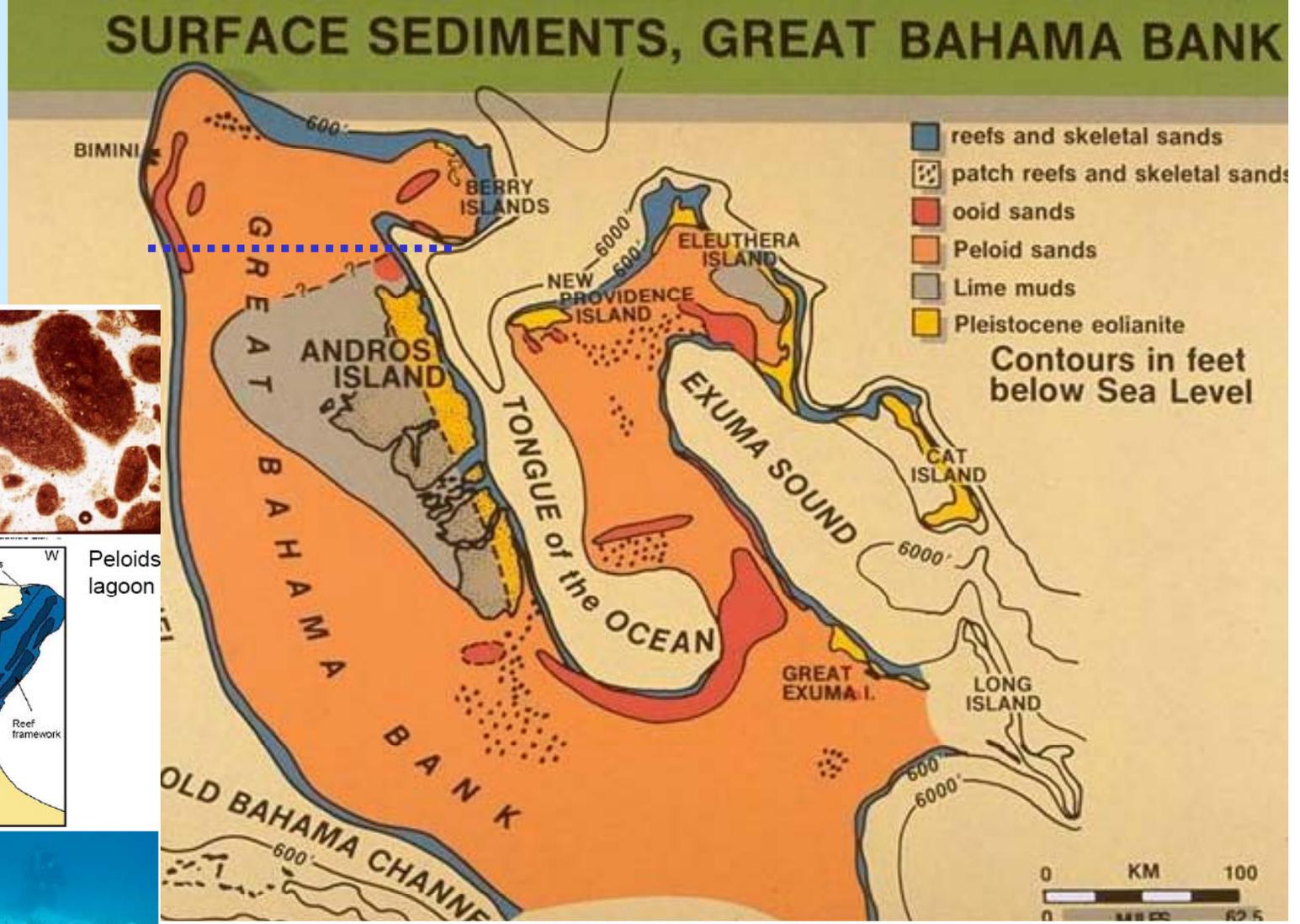
THE BAHAMAS

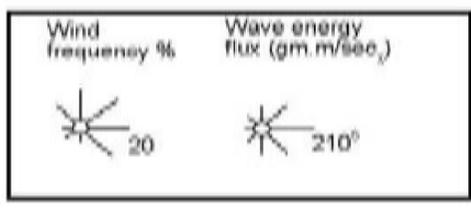
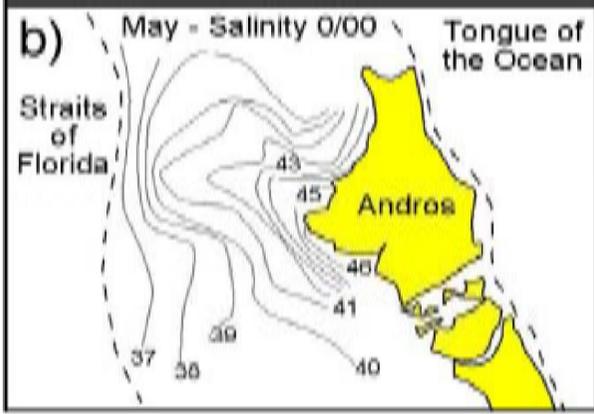
1. Low tidal range (<1 m)
2. Quiescent tectonics and subsidence
3. High submarine relief; low platform relief
4. Seasonal, high rainfall (ca. 130 cm/yr)
5. Moderate temperatures (gen. 20-30 C)
6. Normal water salinities (35-41 ppt)
7. Few evaporites; some dolomite
8. Common tropical storms
9. Essentially no terrigenous input

ca. 100 km

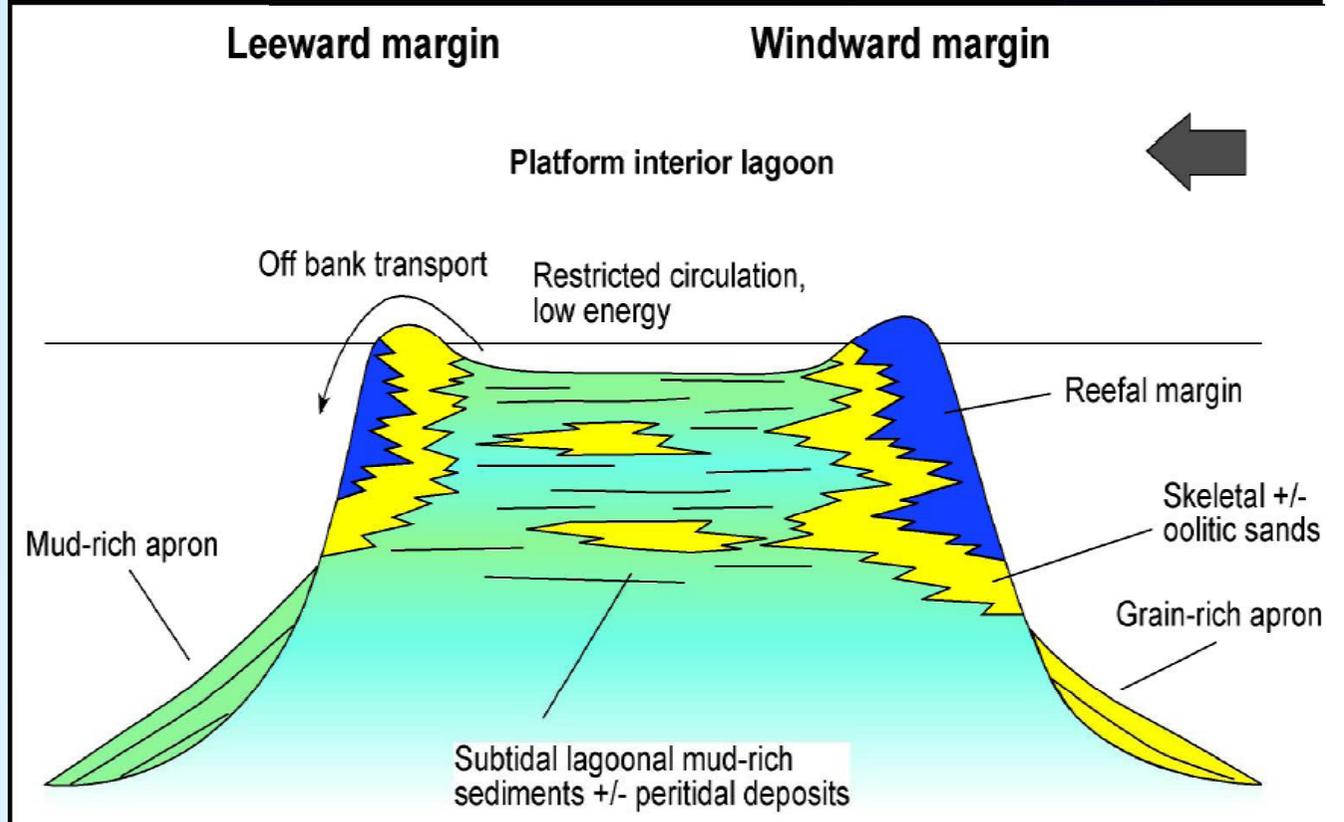
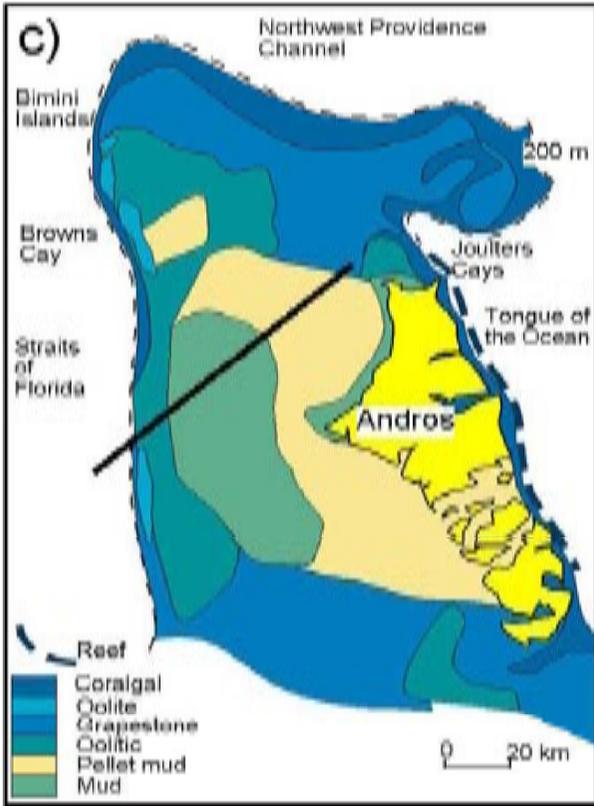
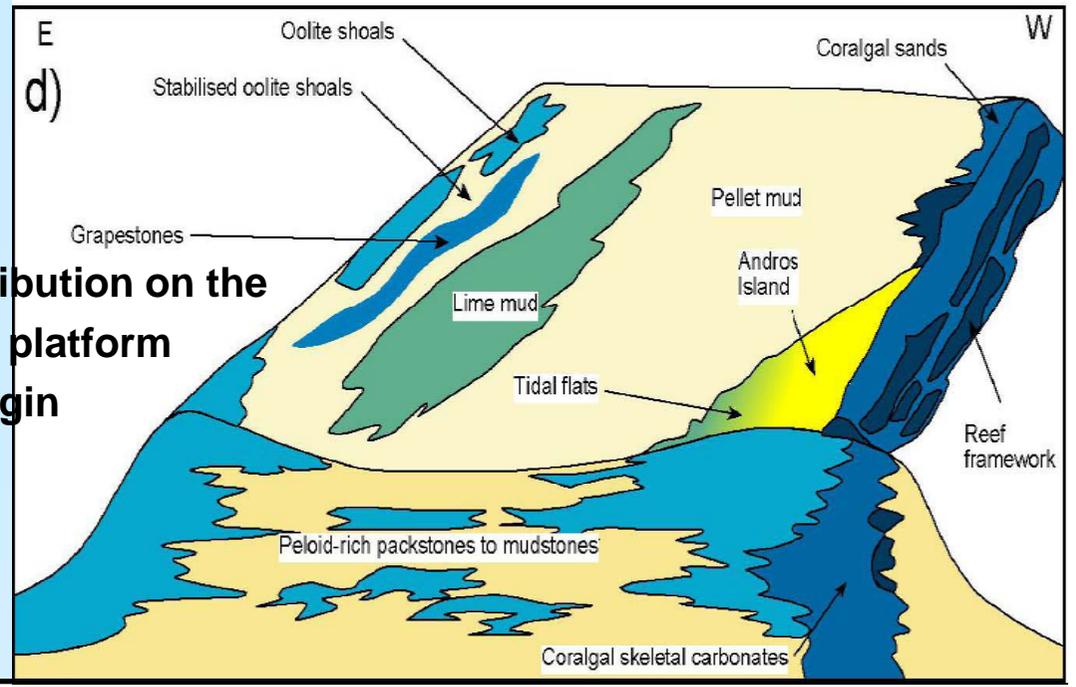


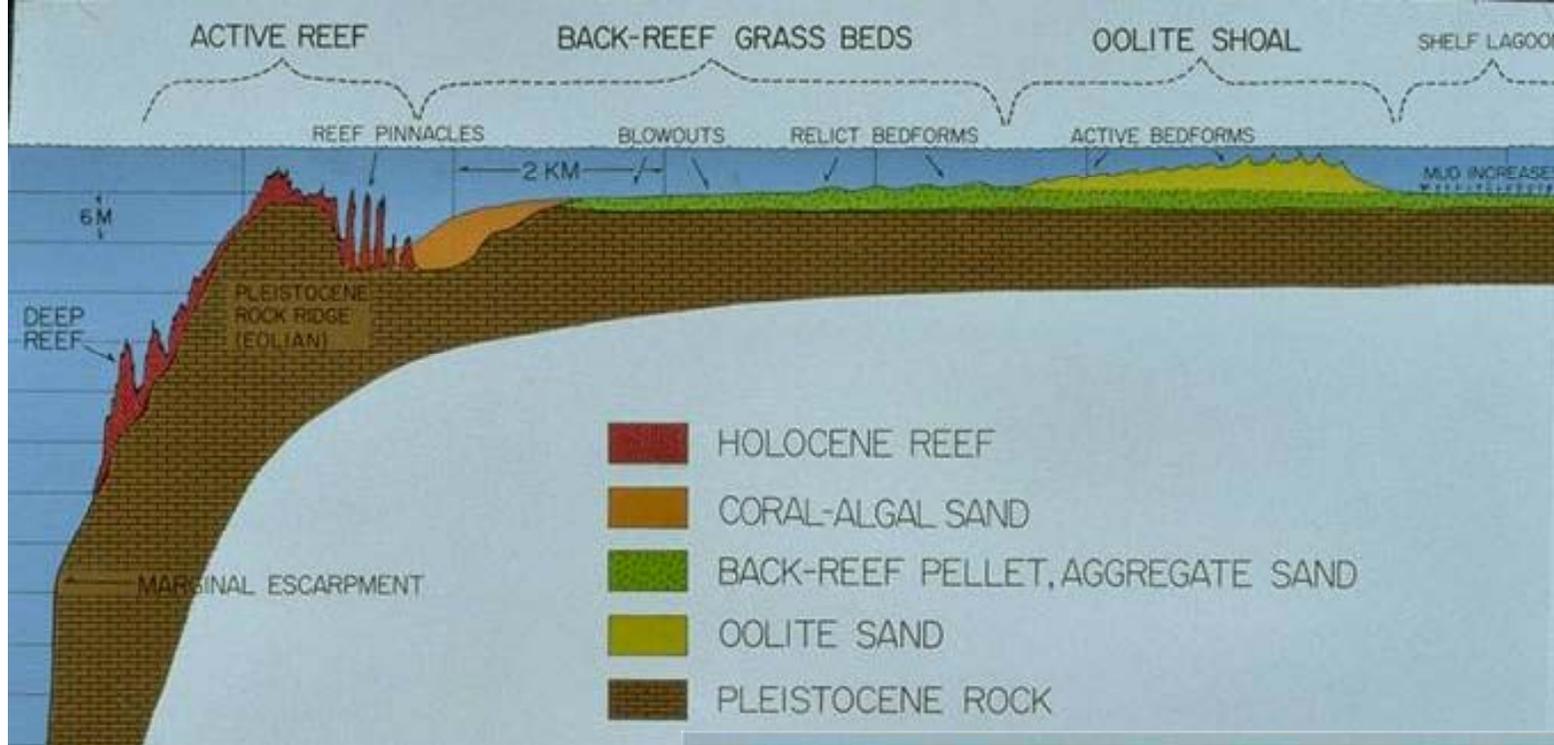
I principali sedimenti della piattaforma delle Bahamas



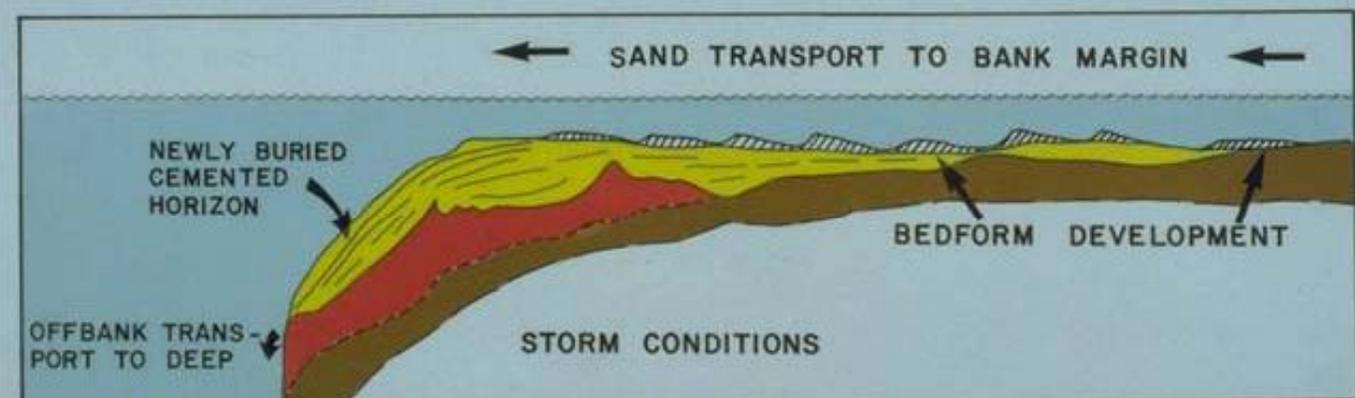
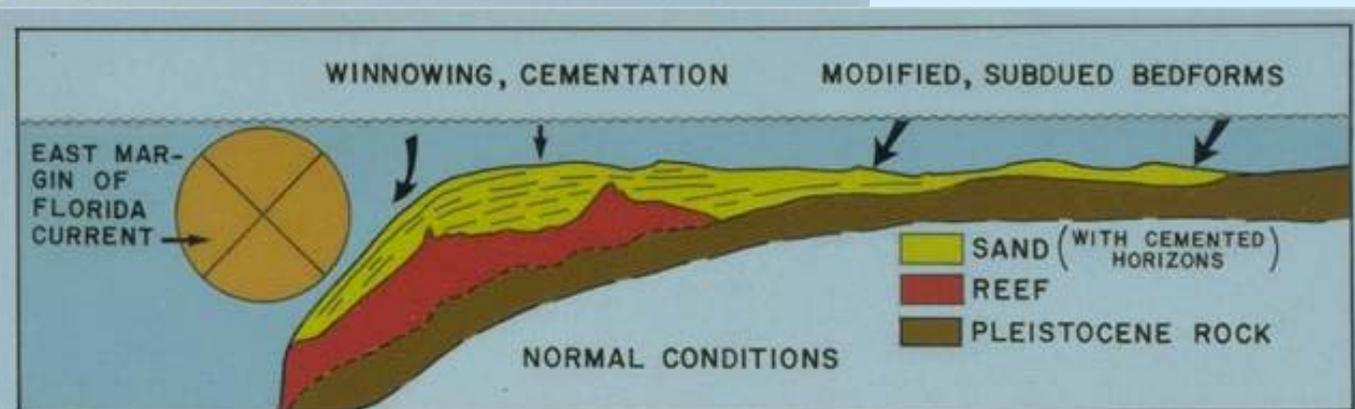


Carbonate grain distribution on the flat-top of an isolated platform With asymmetric margin





Profili (occidentale sopravento e orientale sottovento) della piattaforma delle Bahamas con la distribuzione degli ambienti, dei sedimenti attuali e del substrato pleistocenico.



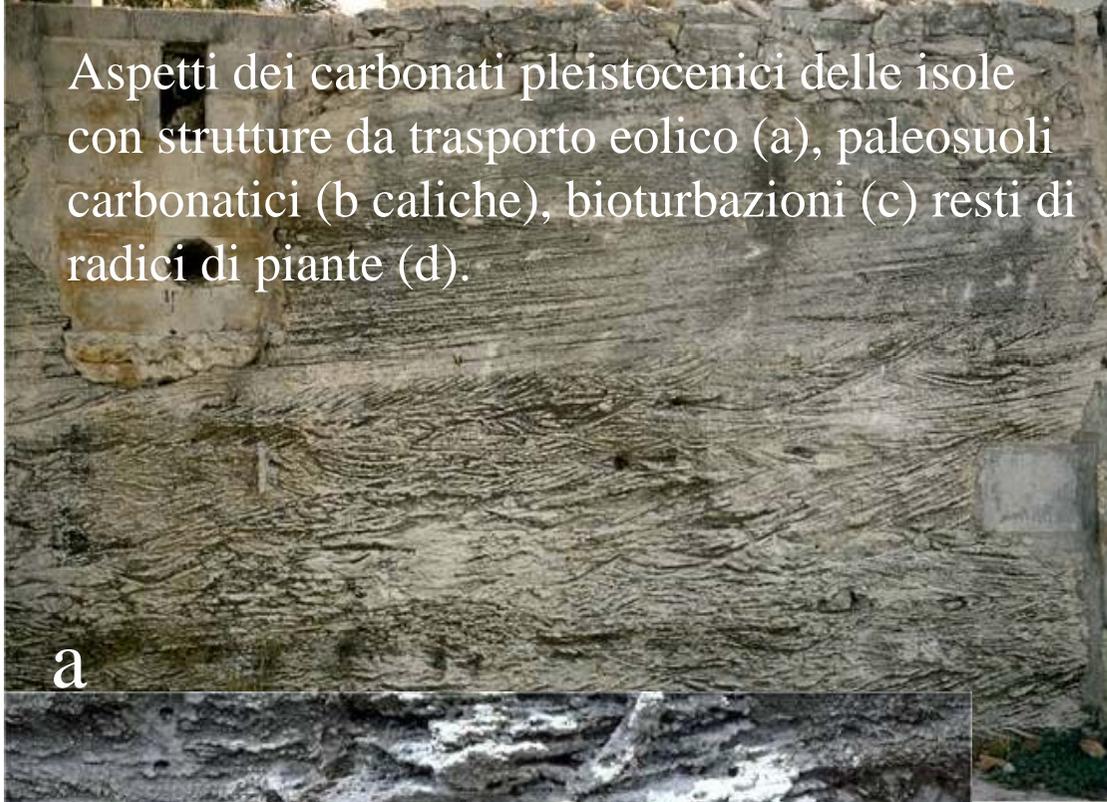
Island Facies



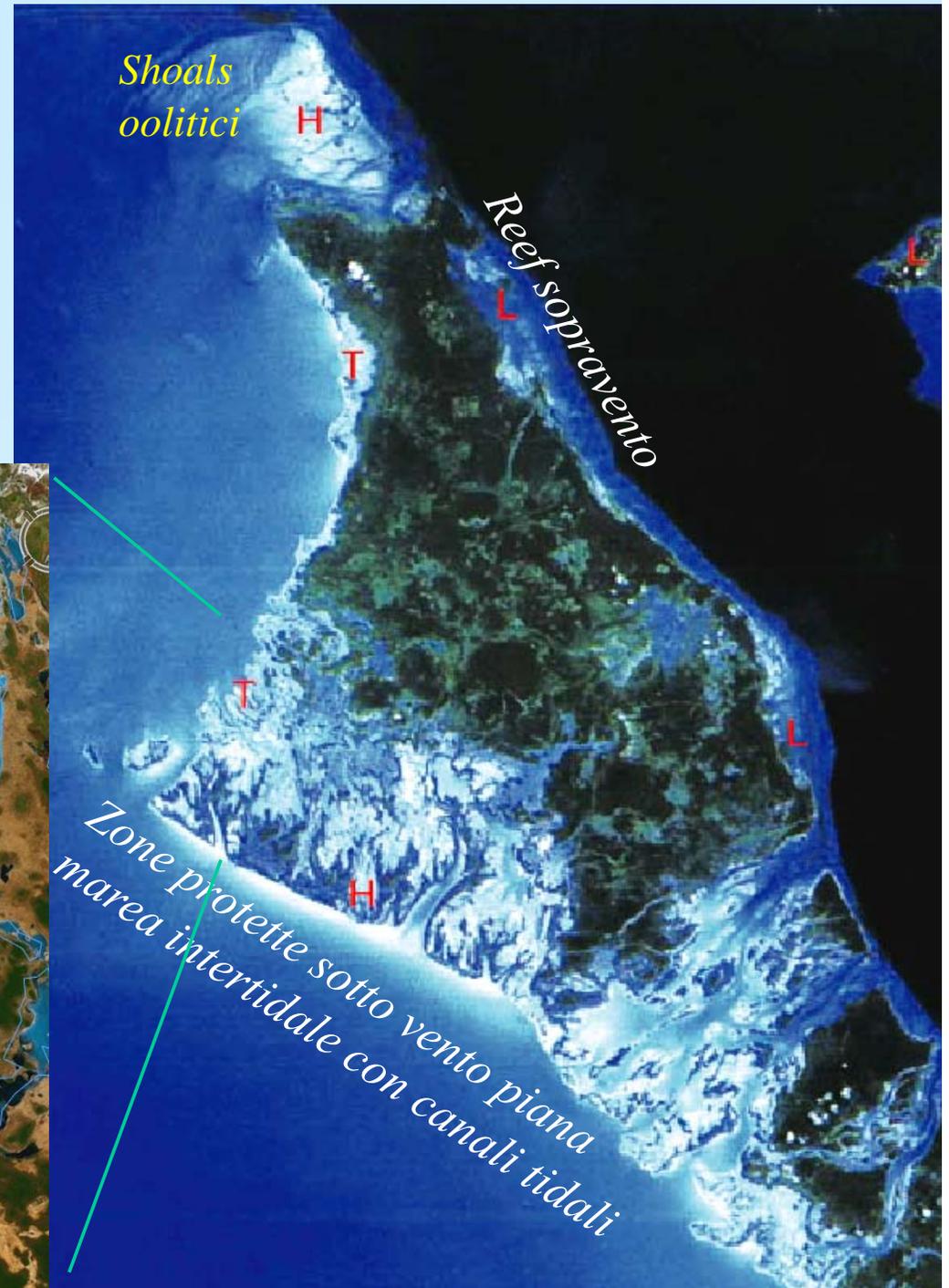
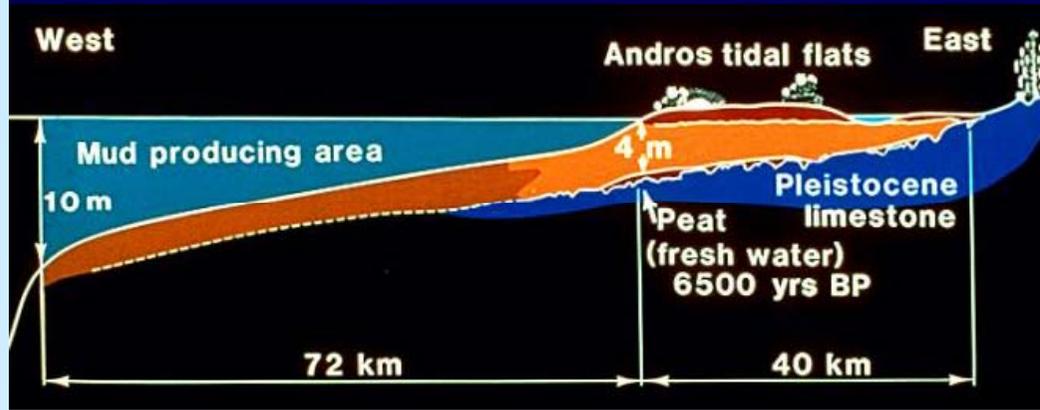
Le isole con depositi
eolici (dune) di
carbonati pleistocenici
con paleosuoli.

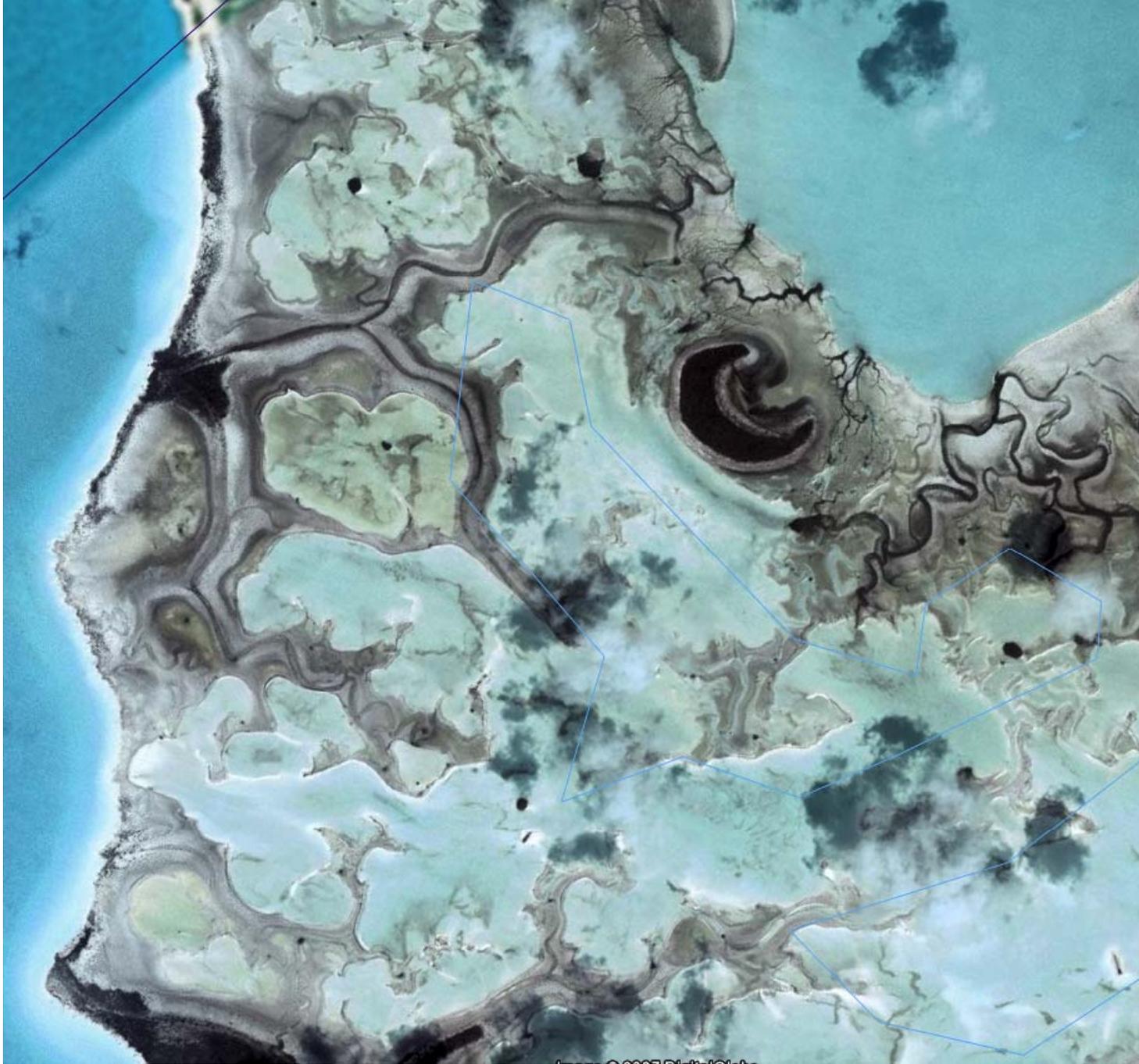


Aspetti dei carbonati pleistocenici delle isole
con strutture da trasporto eolico (a), paleosuoli
carbonatici (b caliche), bioturbazioni (c) resti di
radici di piante (d).



Cross section of the Great Bahama Bank





Nella porzione più elevata (intertidale superiore e sopratidale) delle berme di spiaggia e degli argini naturali possono precipitare aragonite e dolomite che cementano il sedimento superficiale, formando delle croste che saltuariamente vengono rotte e rimaneggiate, dando origine a ruditi a clasti piatti.

I canali di marea serpeggiano attraverso le piane tidali e rimaneggiano i sedimenti. In corrispondenza della sponda esterna dei meandri avvengono processi erosivi, mentre sul lato interno (“point bar”) e sugli argini naturali si ha sedimentazione. Sul fondo dei canali maggiori si osservano intraclasti e bioclasti, nei canali minori prevale il fango carbonatico pellettifero.

Nelle zone intertidali e negli stagni domina il fango carbonatico pellettifero, con un gran numero di organismi.

Nei sedimenti delle zone più interne (zona intertidale superiore e sopratidale) sono abbondanti le fenestrae, i “mud cracks”, i film microbici. Questi ultimi danno origine a laminazioni stromatolitiche, intrappolando il sedimento.





Canale tidale e algal mat



Andros Island

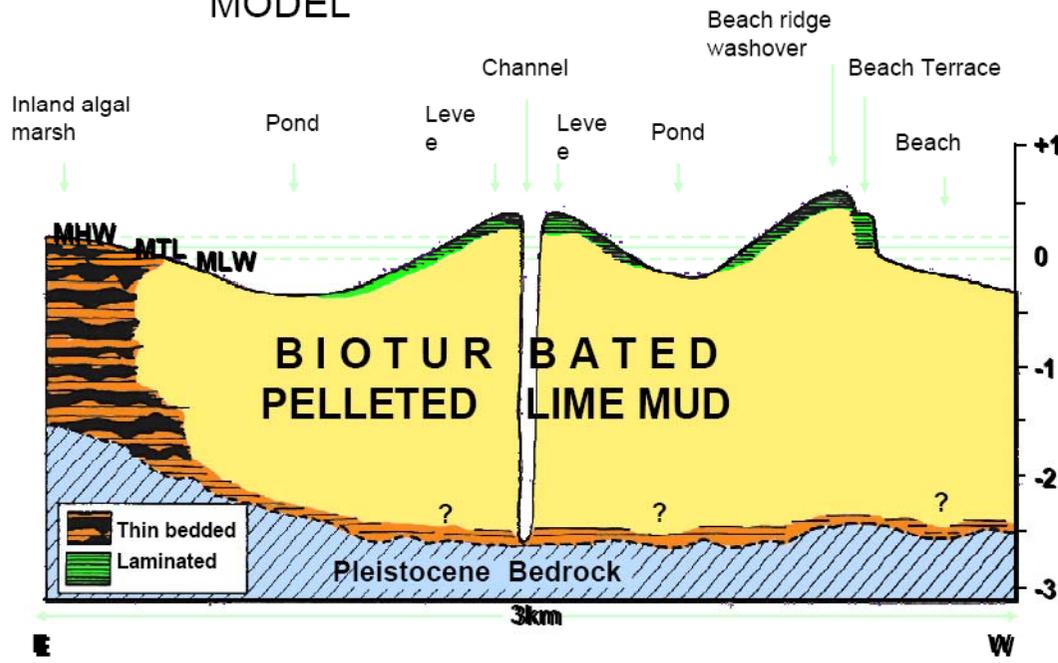
Zona sopratidale (algal mat)



Gli ambienti e le facies delle piane tidali carbonatiche delle Bahamas (Andros, Great Bahamas Bank).

Vista aerea di una piana tidale, durante la bassa marea, con canali tidali la zona intertidale e sopratidale (scura in quanto parzialmente colonizzata da vegetazione).

ANDROS TIDAL FLAT DEPOSITIONAL MODEL



(Hardie & Ginsburg, 1977)

Piana tidale - canali tidali



Three Creeks - Andros Island



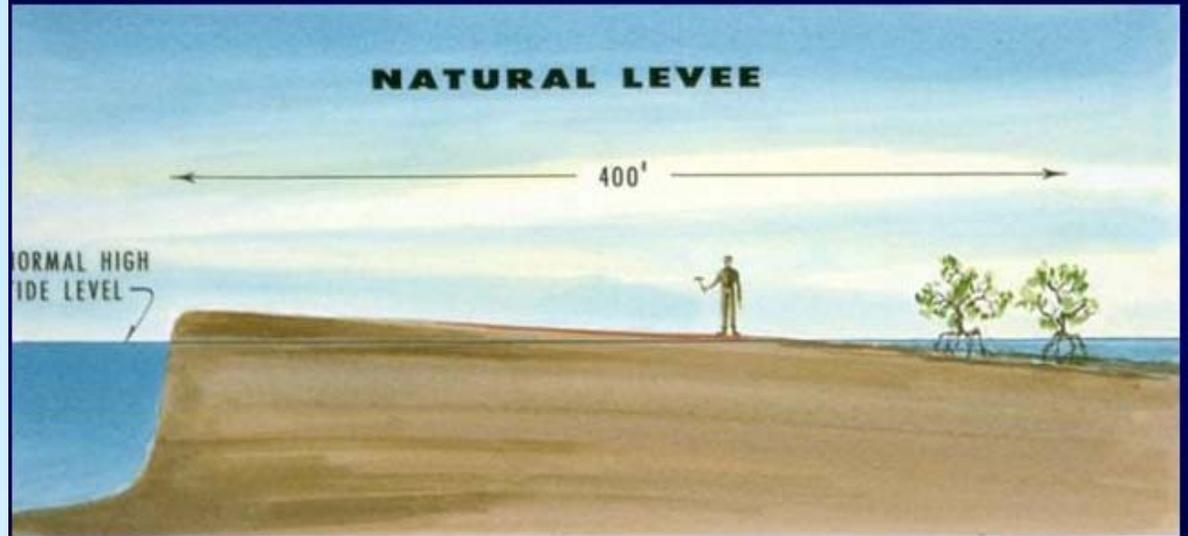
I canali tidali di marea e le lagune a mangrovie



La laguna, con prevalenti fanghi e pellets, colonizzata dalle mangrovie (durante l'alta marea).



Morfologia di un argine di canale tidale



Shinn, 1983

Gli argini dei canali di marea e gli accumuli bioclastici.



Bordi di un canale tidale



Erosione per migrazione laterale del meandro

Andros Island



Mangrove Flats

Accreting Beaches

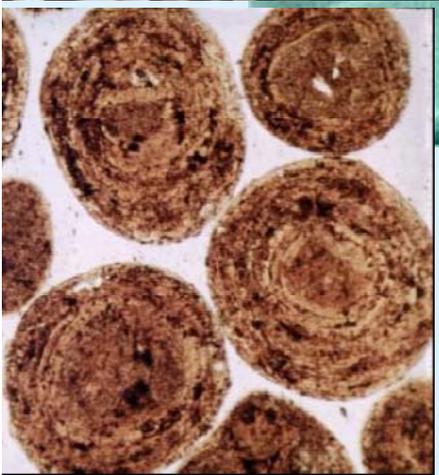
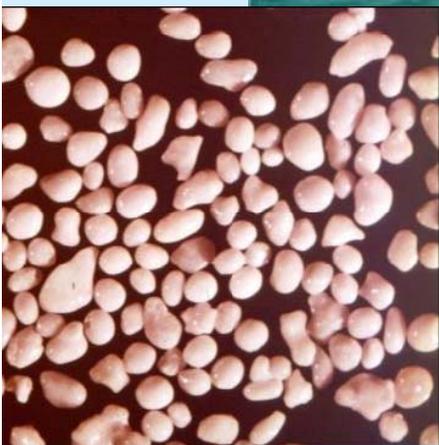
Ooid Ebb Tidal Delta

Coral Reefs

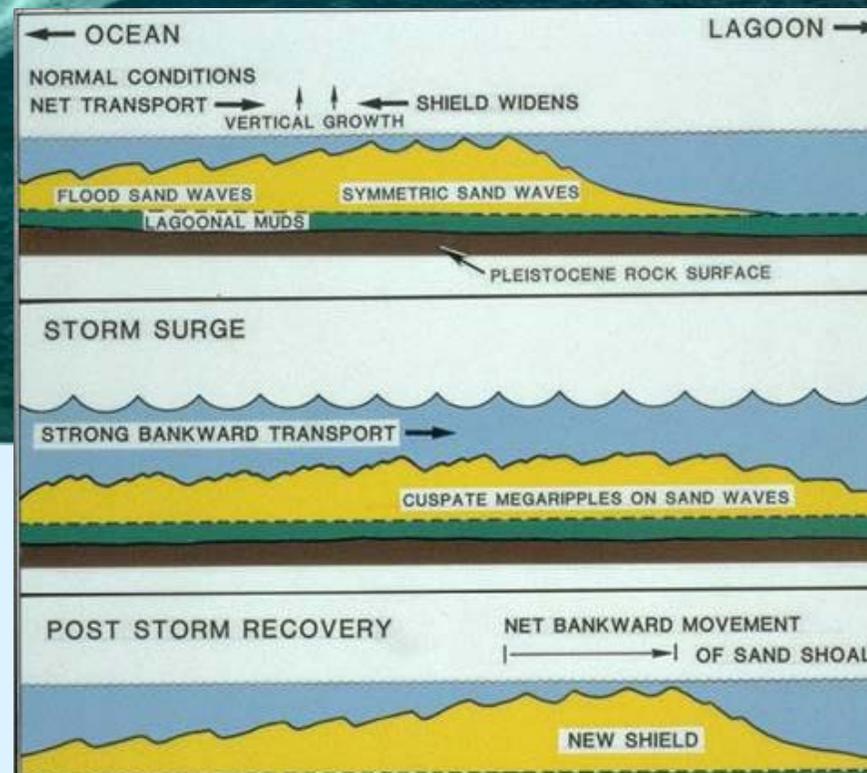
**CARBONATE SAND BODIES
OF THE BAHAMA BANKS**



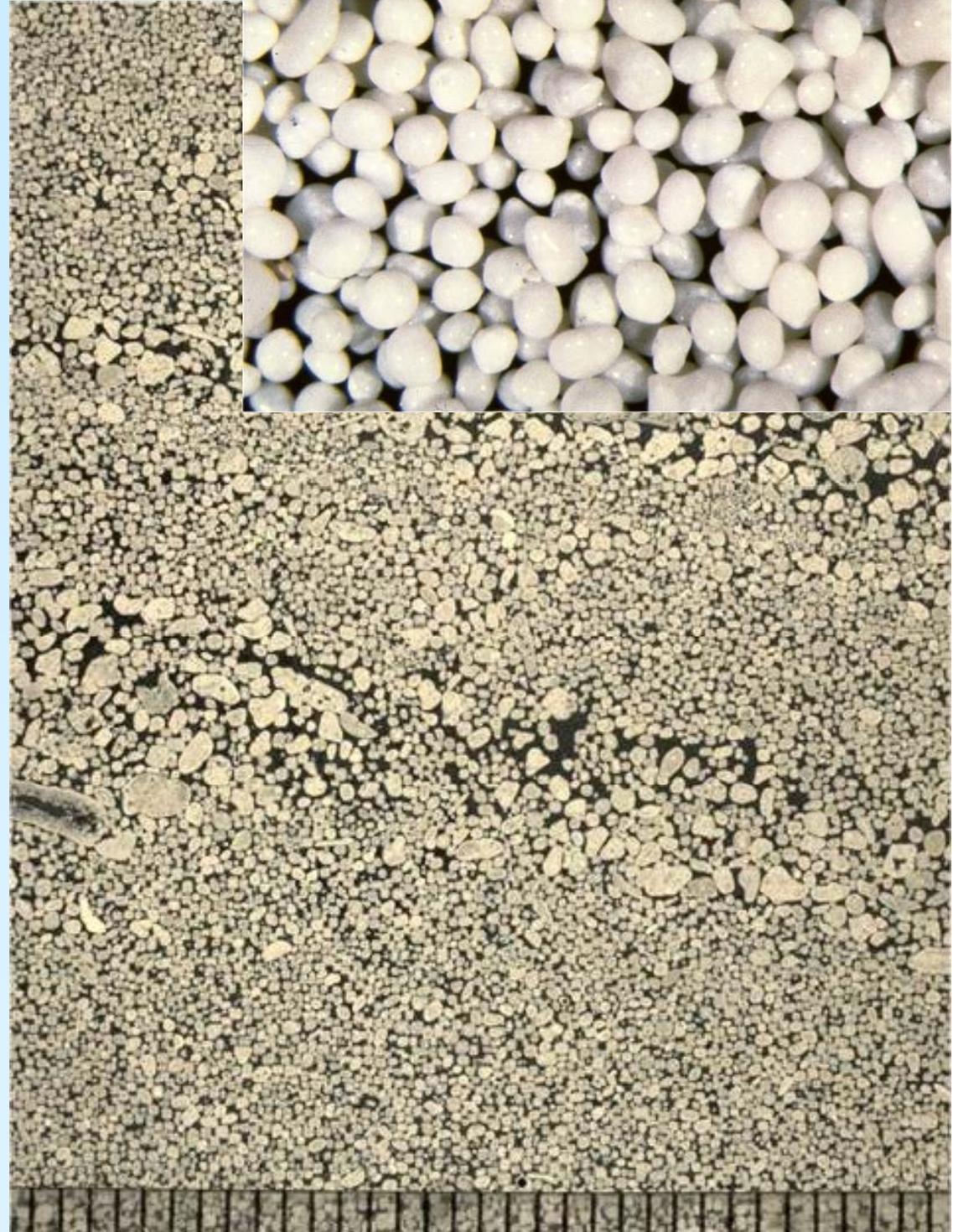
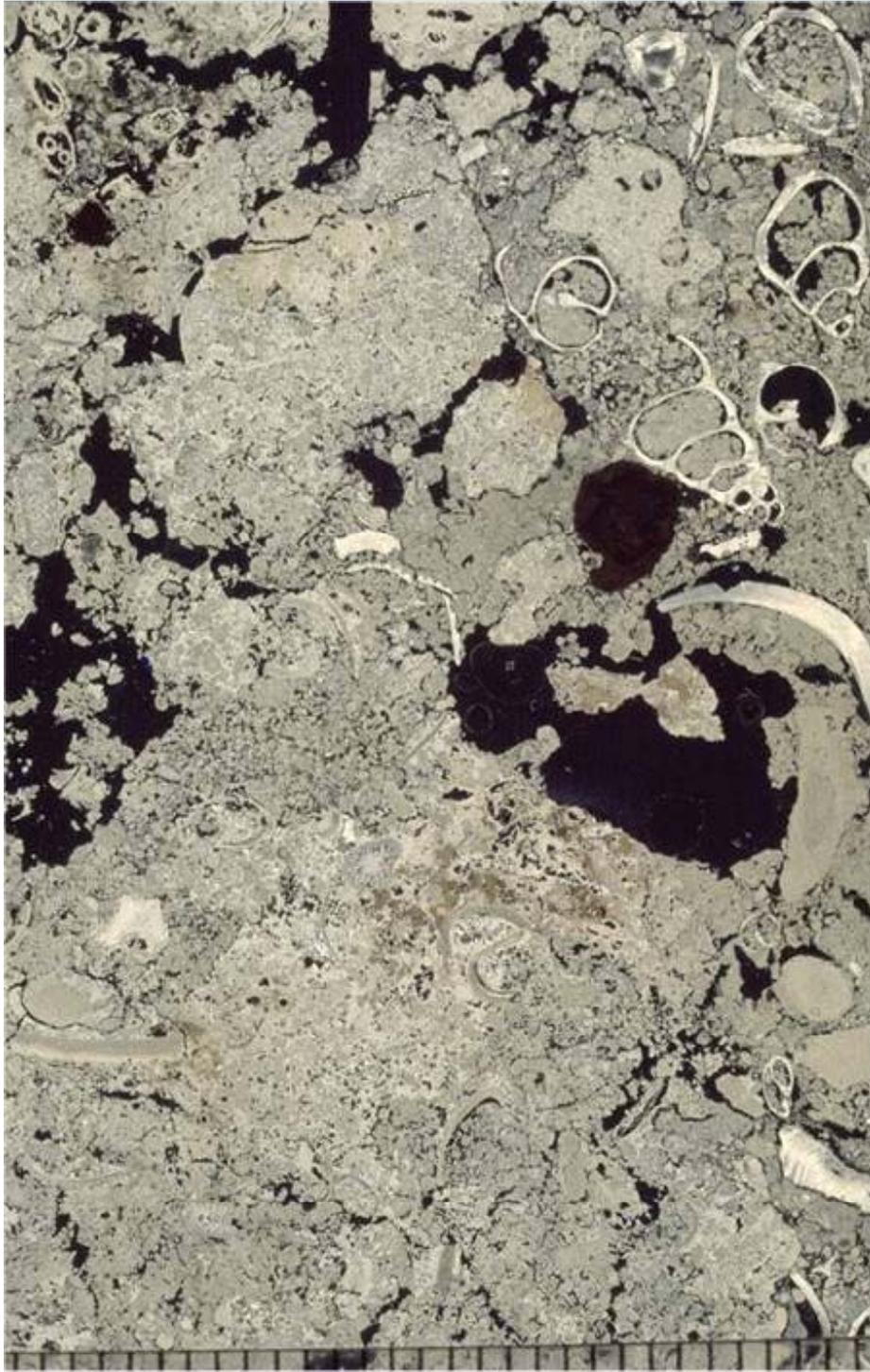
Vista dall'aereo degli ambienti subtidali colonizzati da alghe con presenza di **barre oolitiche sottomarine-dune progradanti**. Queste dune hanno ampiezza anche di centinaia di m.



Sezioni longitudinali di barre sabbiose oolitiche in prevalenza (shoals subtidali) che migrano e si modificano soprattutto per le correnti dalle onde di tempesta.



Tipiche sabbie oolitiche ben sortite e oo-bioclastiche miste associate alle barre subtidali



Modern Bahamian Stromatolites

- Subtidal stromatolites grow in a high-energy environment at the eastern margin of the Great Bahama Bank.
- Discovered in 1984 near the Caribbean Marine Research Center, they have become a natural laboratory for comparing modern with ancient forms.
- Modern stromatolites require a source of migrating ooid/skeletal sand dunes for preservation and growth.
- Physical oceanographic processes play a major role in developing the morphology of the modern forms.



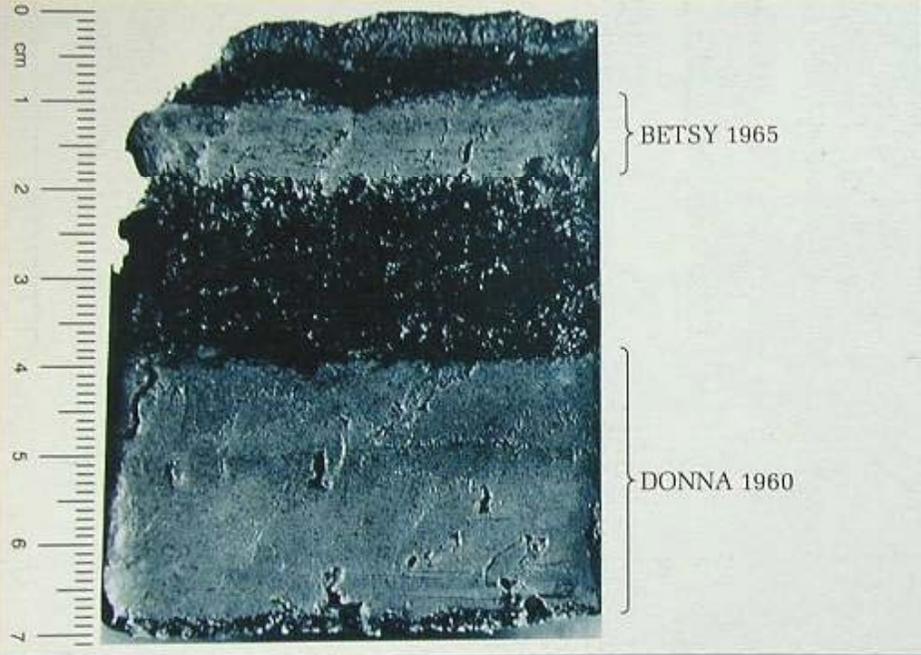


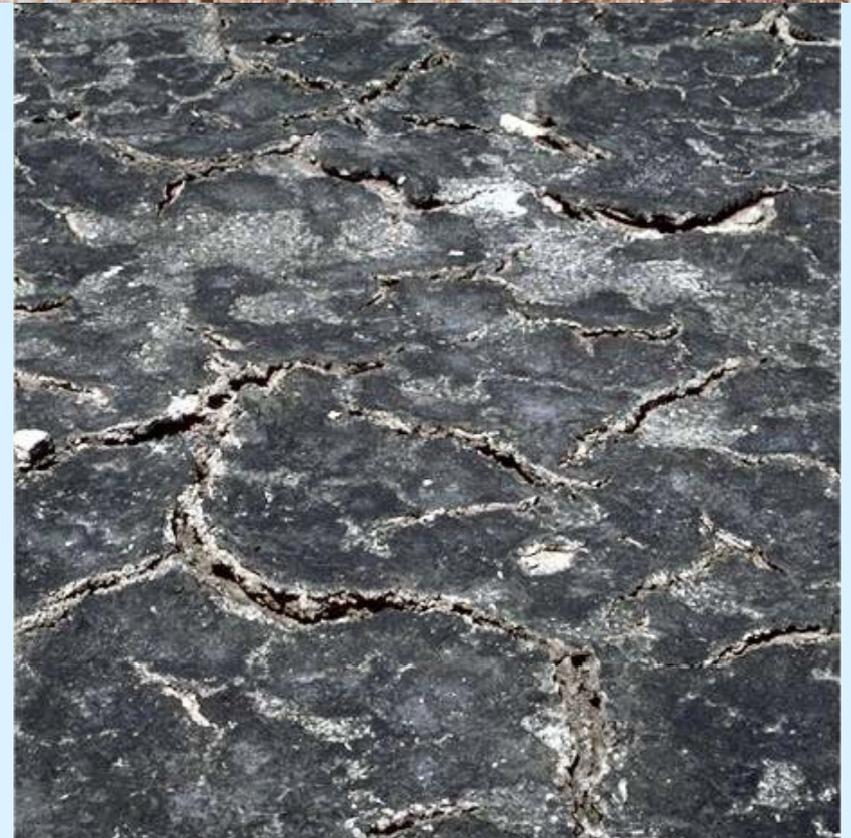
Figura 4.13. Alternanza di straterelli centimetrici di sedimento, accumulatosi durante uragani, e livelli algali. Lo strato inferiore è stato depositato, nel 1960, dall'Uragano Donna, quello superiore nel 1965 dell'Uragano Betsy (Crane Key, Florida Bay).

Esempi di 3 litofacies presenti in lagune e piane tidali: fanghi micritici da tempestiti, calcari laminati stromatolitici e calcareniti bioclastiche e prevalenti piccoli gasteropodi (*Cerithium*) e bivalvi.



In basso: clasti piatti anche dolomitizzati precocemente e croste di disseccamento (microbialiti) presenti sulla piana inter-sopratidale ed in lagune protette con periodiche condizioni di scarsa circolazione, anossia e sovente prosciugate (ponds).

A destra sezione di sedimenti inconsolidati alla base con bioclasti ed in alto più ricchi di sostanza organica.



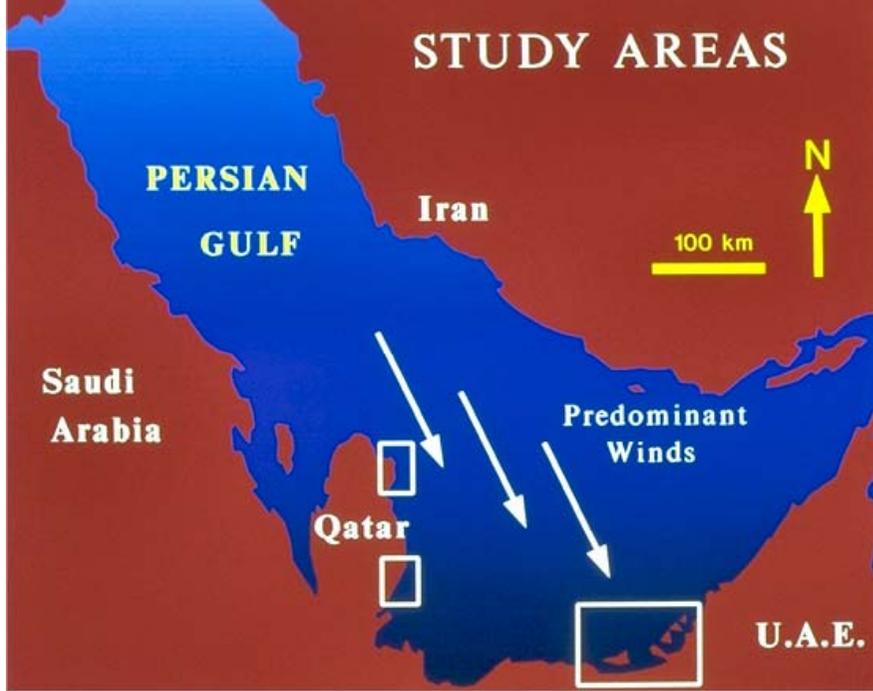
E) Le piane tidali del Golfo Arabico (Abu Dhabi)

Le piane tidali in esame presentano un'ampiezza massima di 5 km e sono per la maggior parte costituite da **fanghi e fanghi pellettiferi**; alcune berme (parte di spiaggia) e alcuni dei canali di marea sono tuttavia caratterizzati dalla presenza di sabbie bioclastiche.

- In alcune porzioni delle piane tidali la precipitazione di aragonite porta alla formazione di croste cementate, localmente interessate da fessurazioni poligonali e da strutture a “tepee”.
- Il rimaneggiamento di tali croste può portare alla formazione di intraclasti e di depositi ruditici. Nelle porzioni intertidali inferiori e nelle aree lagunari lo sviluppo di film microbici è in genere impedito dall'attività di gasteropodi, anche se localmente possono formarsi piccole stromatoliti a emisferoidi.
- Nelle porzioni più elevate delle piane è invece osservabile una fascia, ampia fino a 2 km, caratterizzata da film microbici. Le lamine più spesse e significative intrappolate in queste zone sono collegate alle maggiori tempeste.
- L'elevato tasso di evaporazione provoca localmente la precipitazione di cristalli di gesso e la formazione di dolomite entro le laminazioni microbiche.

Più verso terra la piana tidale è bordata da una zona sopratidale ampia fino a 10 km e con una debolissima inclinazione verso mare, detta “**sabkha**”.

- Questa superficie si è formata negli ultimi 5000 anni ed è il risultato della graduale migrazione verso mare della linea di riva. Le acque marine possono raggiungere la “sabkha” durante le alte maree eccezionali e le tempeste, trasportandovi fango e sabbia carbonatica. Le lamine deposte vengono presto disturbate e distrutte a causa di processi di disseccamento e per la crescita di minerali evaporitici, ciò che porta alla formazione, sulla superficie della “sabkha”, di una rete di fessurazioni a grandi maglie poligonali. La frequenza con la quale le acque marine sommergono questa zona diminuisce man mano che ci si sposta verso le porzioni più interne, che vengono raggiunte solo raramente.
- All'interno dei depositi della “sabkha” (fango carbonatico e sabbia fangosa carbonatica) precipitano gesso, anidrite ed altre evaporiti, formando cristalli o noduli di varie dimensioni.



Golfo Persico - Trucial Coast



*Fascia di circa
400 Km*

*Regime mesotidale
(ca. 2m)*

*Elevata salinità
(40-45‰)*

Clima arido

Rampa carbonatica

I sistemi deposizionali carbonatici del Golfo Persico occidentale.

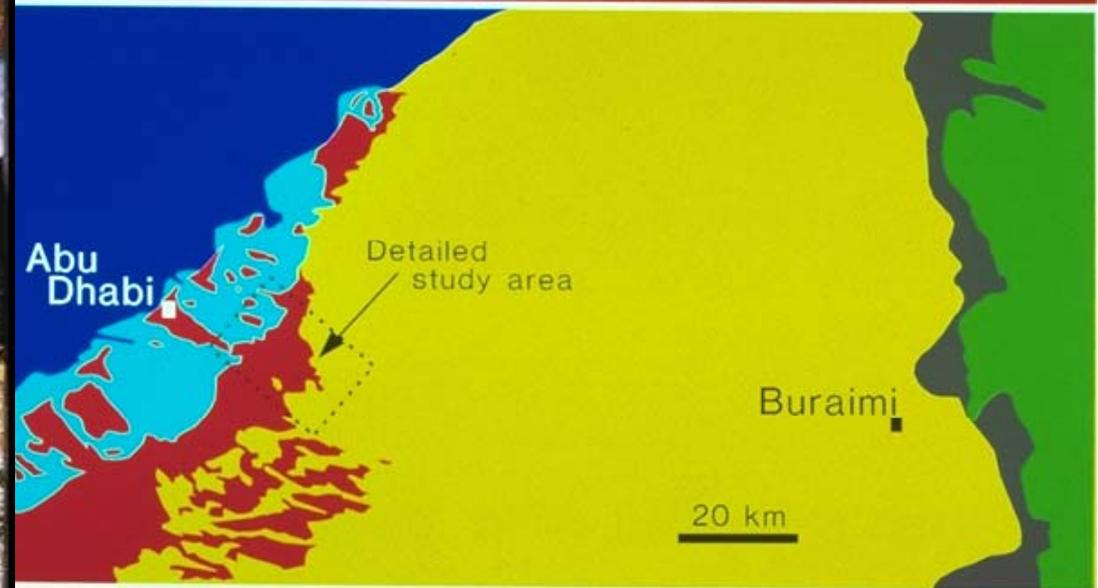
Si distinguono vari settori con caratteristiche ambientali non sempre identiche (es cambiano gli apporti terrigeni, l'esposizione ai venti ecc.).



ABU DHABI

- Moderate to high tidal range (2 m)
- Quiescent tectonics and subsidence
- Very low onshore and offshore relief
- Very low rainfall (3-4 cm/yr)
- High temperature (16-44 C; avg. >20 C)
- Moderate evaporation rate (ca. 125 cm/yr)
- High salinity (lagoon >60 ppt; sabkha >8xSW)
- Abundant evaporites and dolomite
- Dominantly onshore winds (esp. storms)
- Moderate to low terrigenous input

ABU DHABI FACIES BELTS



- | | | |
|-------------|--------|----------------|
| Open marine | Sabkha | Gravels |
| Coastal | Dunes | Oman Mountains |

KEY

- | | | | |
|---|---------------------------------------|--|--------------------------------|
|  | TERTIARY & OLDER |  | OOLITES |
|  | SABKHA |  | ORGANIC REEFS & CORALGAL SANDS |
|  | CYANOBACTERIA MATS & MANGROVES |  | SKELETAL SANDS |
|  | PELLETS & MUDS | | BATHYMETRY IN FATHOMS |
|  | PELLETS, GRAPESTONES & SKELETAL SANDS | | |

ARABIAN GULF

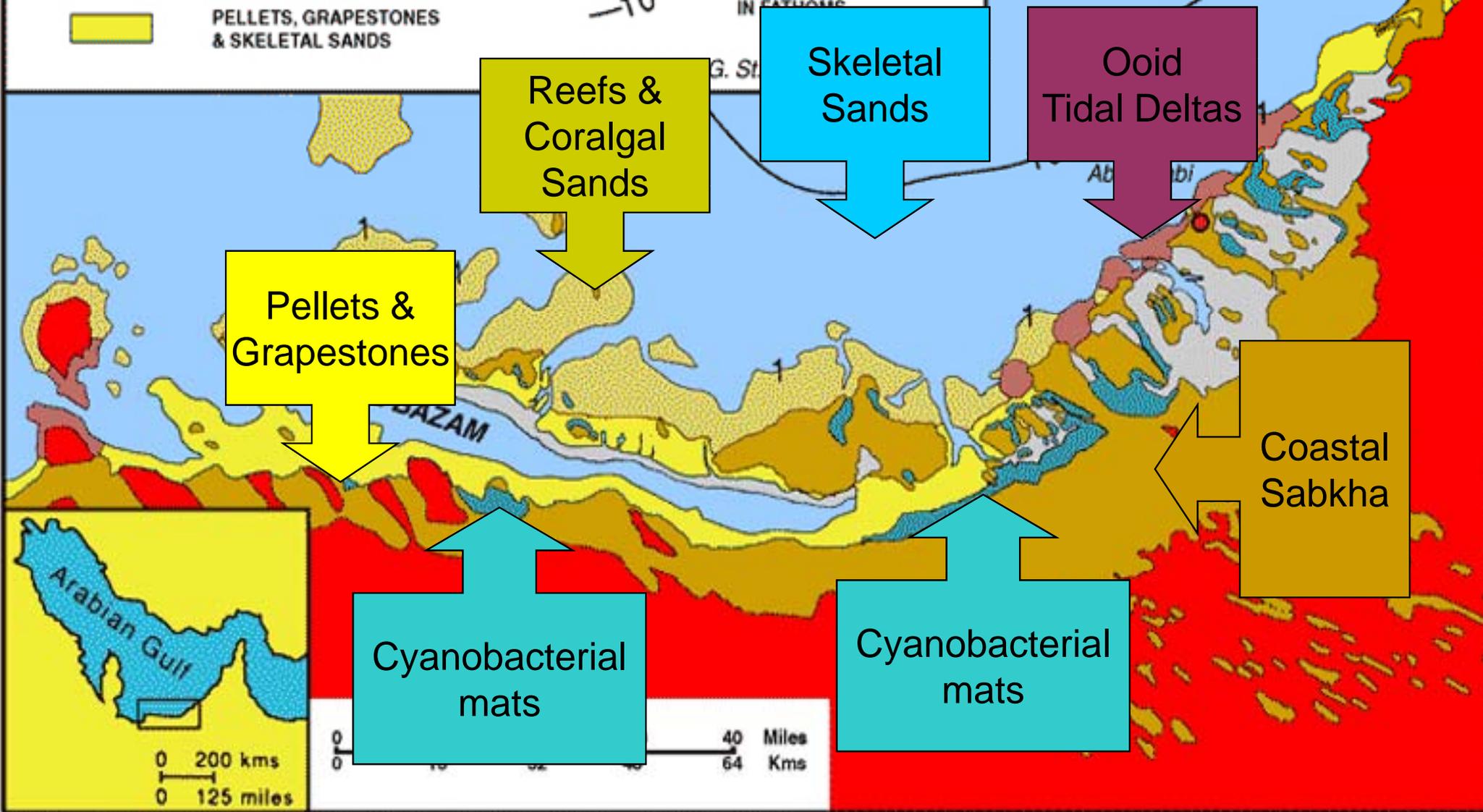




Image © 2007 DigitalGlobe

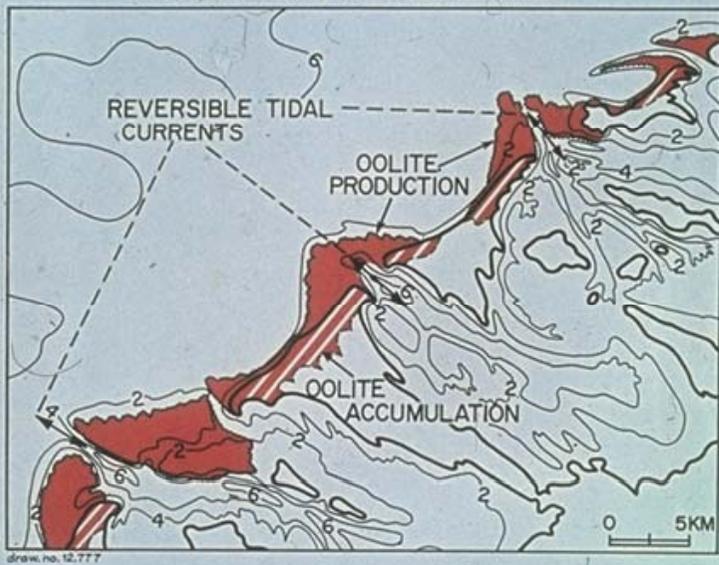
©2006 Google™

Puntatore 27°17'33.41" N 49°33'28.92" E

Streaming ||||| 100%

Alt 3.39 km

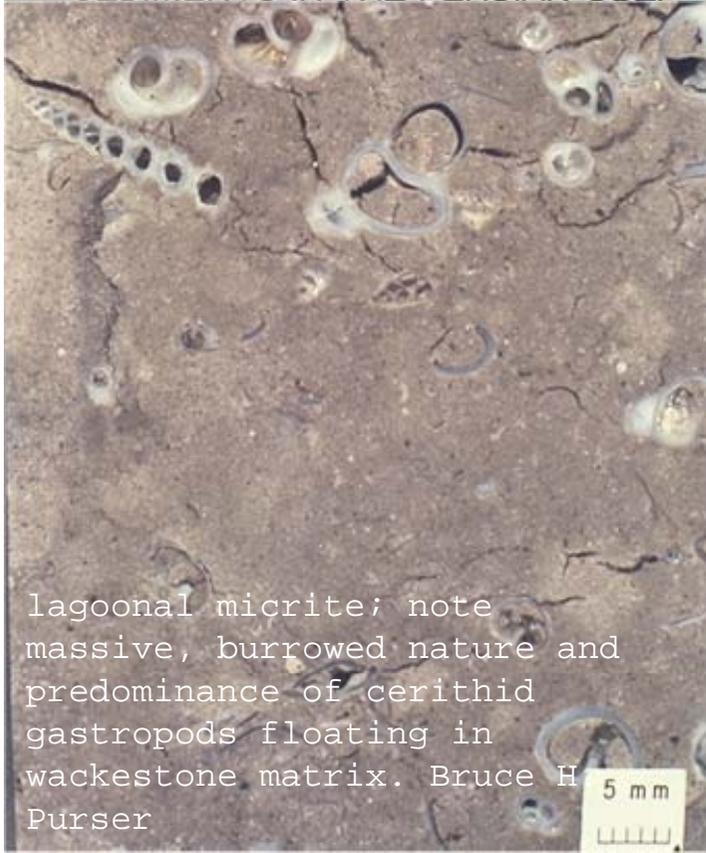
TIDAL DELTA, NE ABU DHABI



Lagoonal area just north of Abu Dhabi Island, United Arab Emirates Recent Cross-sectional view of large marine ooloids. These particular blue-green algal nodules are largely unlithified. Peter A. Scholle



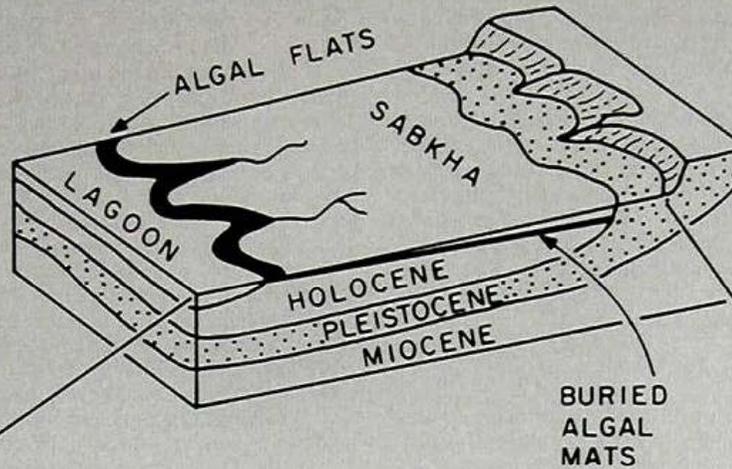
LOCAL PATTERNS AND SETTINGS OF OOLITE SEDIMENTS IN THE PERSIAN GULF



lagoon micrite; note massive, burrowed nature and predominance of cerithid gastropods floating in wackestone matrix. Bruce H Purser



L'ambiente della sabkha di Abu Dhabi.



Coastal plain, Sabkha Matti, western Abu Dhabi, United Arab Emirates Recent Intertidal diagenesis: beach-rock deformed into tepee structures due to diagenetic expansion of crust.

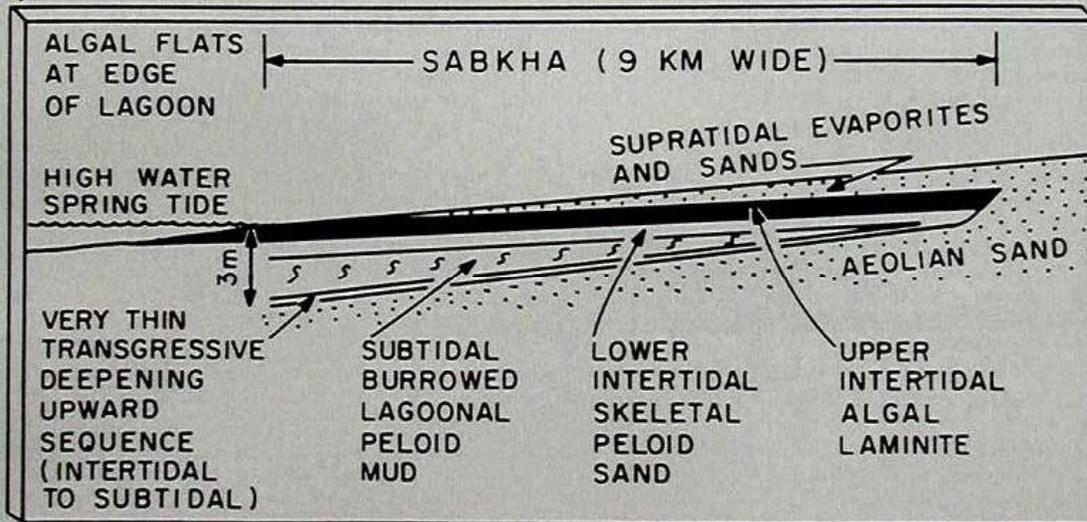
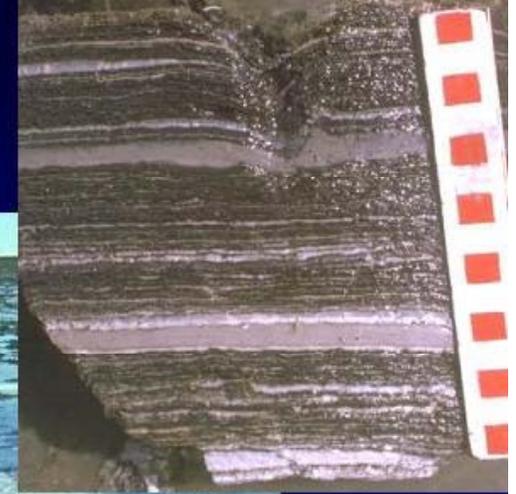


Fig. 166.-The Holocene deposits of the Abu Dhabi (Persian Gulf) arid tidal flats as an example of active accumulation of a shallowing-upward tidal flat cycle by progradation (Hardie and Shinn, 1986, Fig. 74, after Patterson and Kinsman, 1977).



*Piana tidale
laminazione algale*

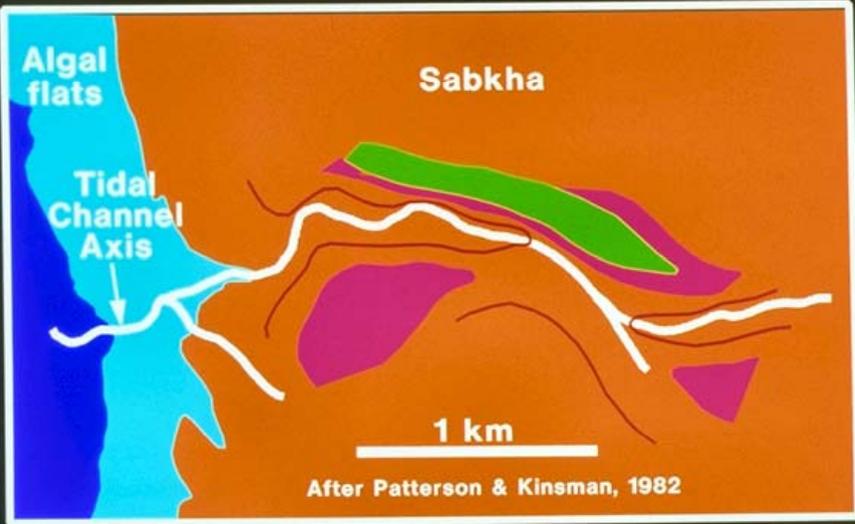


Abu Dhabi

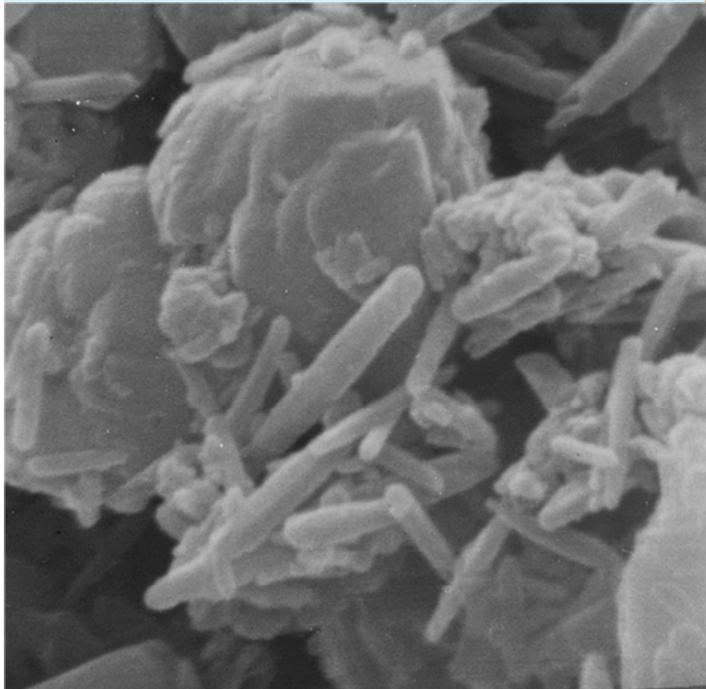
- L'argine di un ampio canale tidale con beach rocks (croste scure ben litificate),
- sezione di fanghi scuri con laminazioni stromatolitiche sulla piana tidale,
- un canale tidale durante la bassa marea con prism cracks differenziati.



ABU DHABI DOLOMITE

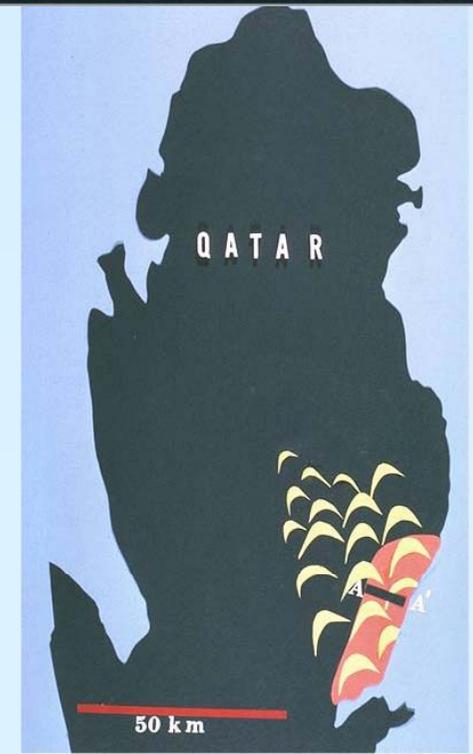


La zona sopratidale interna della sabka dove precipitano cristalli di dolomite



SOUTHERN QATAR

1. Moderate-low tidal range
2. Quiescent tectonics and subsidence
3. Low submarine relief
4. Very low rainfall
5. High temperature; elevated salinity
6. Abundant evaporites and dolomite
7. Moderate to high terrigenous input
8. Dominantly offshore winds





© 2005 Google

Image © 2007 DigitalGlobe

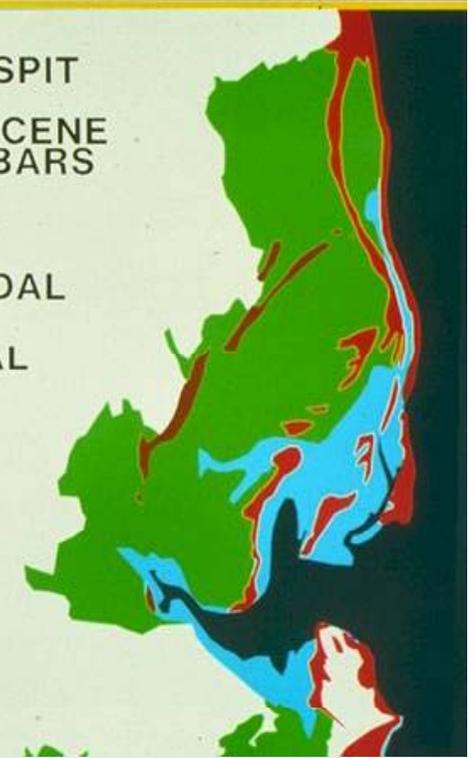
Point: 3100000, 201 N, 5100000, 201 E

Alt: 0.07 km

NORTHERN QATAR

1. Moderate-low tidal range
2. Quiescent tectonics and subsidence
3. Low submarine relief
4. Very low rainfall
5. High temperature; elevated salinity
6. Abundant evaporites and dolomite
7. Moderate to high terrigenous input
8. Dominantly longshore winds

NORTHERN QATAR FACIES



Dakhirah sabkha area, northeastern Qatar. Recent Low altitude, aerial view looking eastward and showing multiple generations of accretionary spits. Older spits (lower left) have been virtually completely encased by later intertidal to supratidal sediments. Note modern tidal channels and their modification of spits. L.A. = ca. 1-2 km Peter A. Scholle Shinn (1973c)



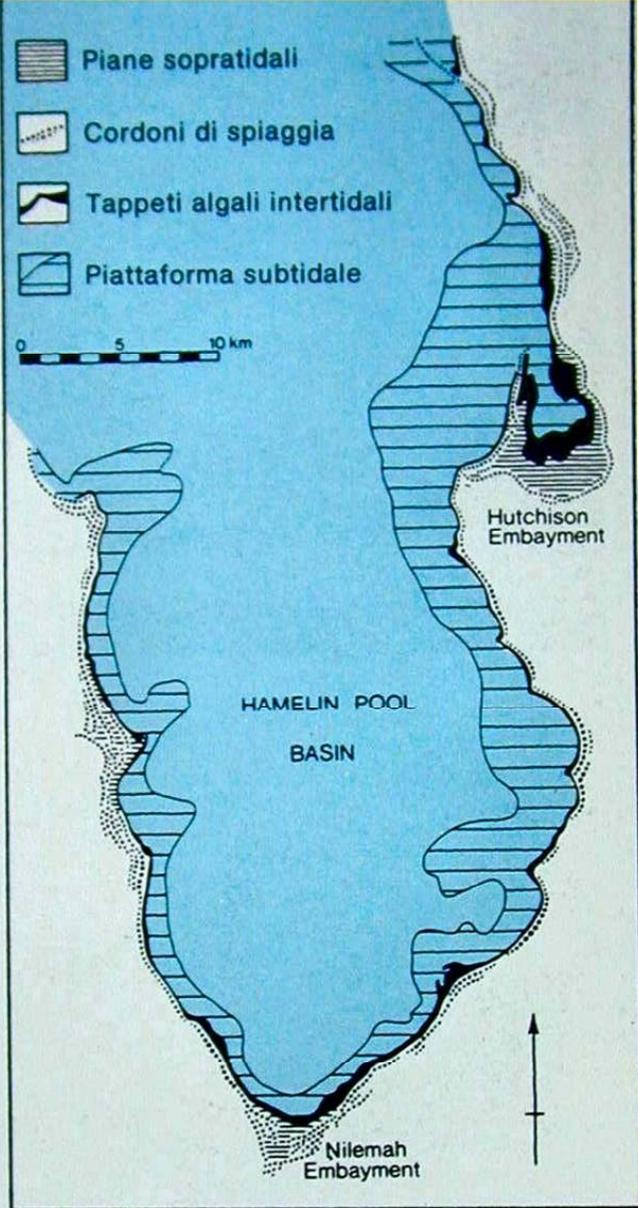
© 2006 Google

Image © 2007 DigitalGlobe

Streaming 100%

Puntatore 26°06'04.46" N 51°08'01.75" E

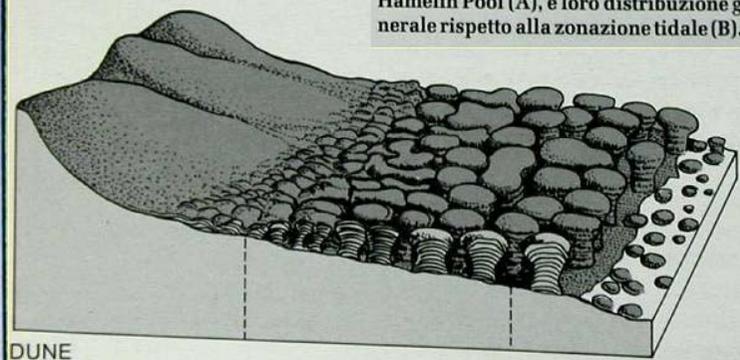
Alt 4.54 km



B

Figura 4.19. Localizzazione di Shark Bay sulla costa occidentale dell'Australia (A). Nell'insenatura più interna, la cosiddetta Hamelin Pool (B), esiste una serie di piane tidali colonizzate dalle più spettacolari costruzioni colonnari stromatolitiche oggi conosciute.

Figura 4.20. Le stromatoliti colonnari di Hamelin Pool (A), e loro distribuzione generale rispetto alla zonazione tidale (B).

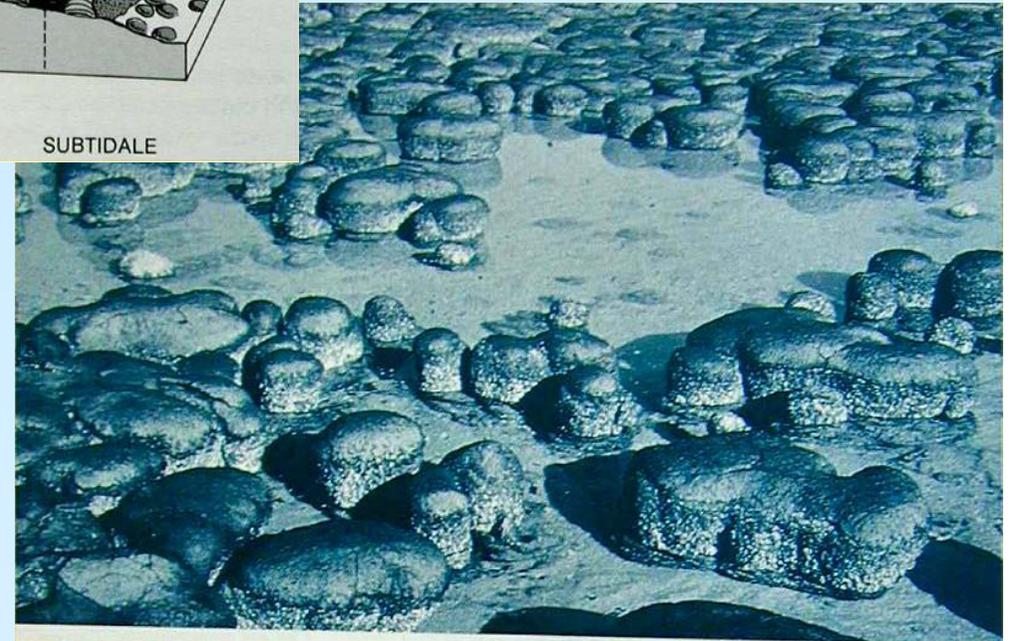


DUNE
DI SABBIA
BIOCLASTICA
SOPRATIDALE

INTERTIDALE

SUBTIDALE

D) Le attuali stromatoliti colonnari dell'Australia occ.





Laguna subtidale

Laguna
subtidale

Intertidale a stromatoliti
colonnari

Sopratidale

Baia di Hutchison)