

# **Stratigrafia sequenziale**

# Introduzione

La stratigrafia sequenziale è una materia di sintesi della geologia del sedimentario, perché spiega l'evoluzione e l'architettura dei bacini sedimentari basandosi sulle variazioni del livello marino e sulla tettonica/subsidenza che questi hanno subito nel corso del tempo geologico.

Quindi considera i bacini come fossero sistemi dinamici.

La stratigrafia sequenziale divide le successioni bacinali in **sequenze**, utilizzando principalmente le superfici di discontinuità degli strati.

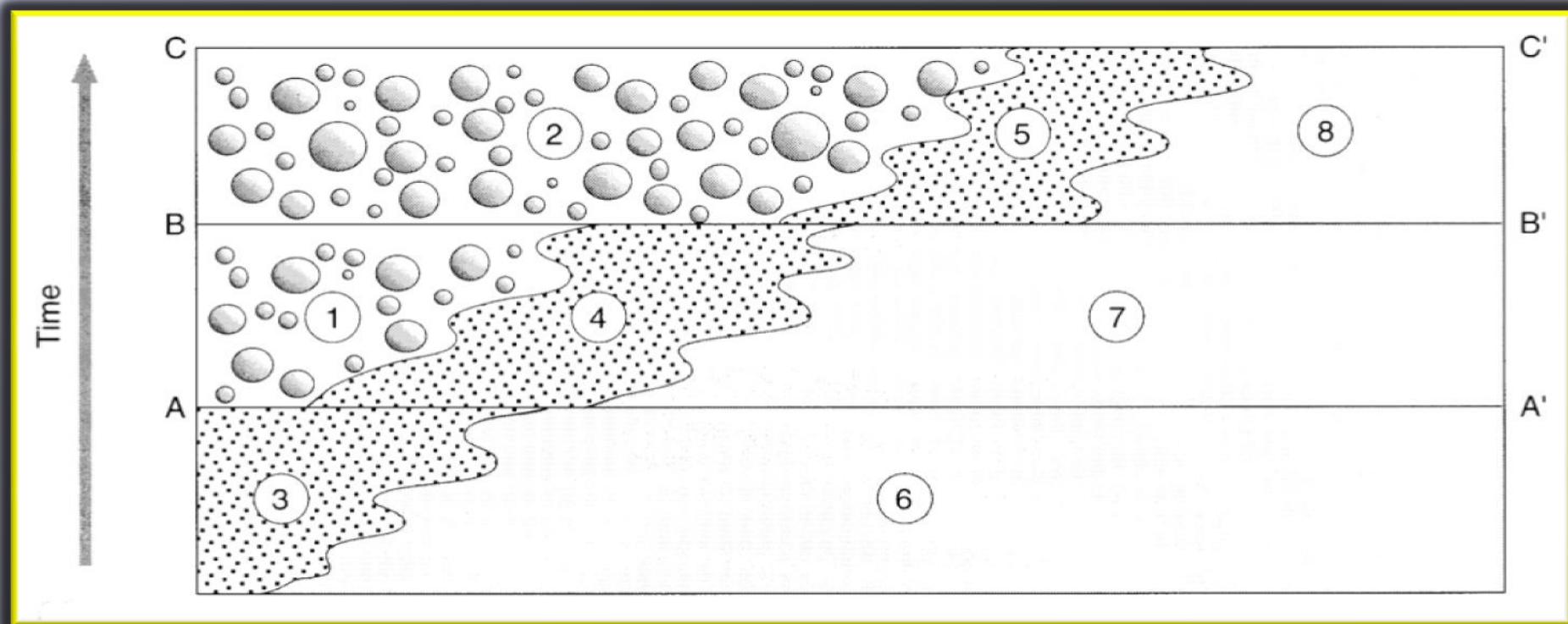
Inizialmente studia solamente gli ambienti bacinali silicoclastici.

Successivamente il metodo è applicato anche a quelli di tipo carbonatico e quelli di ambiente continentale.

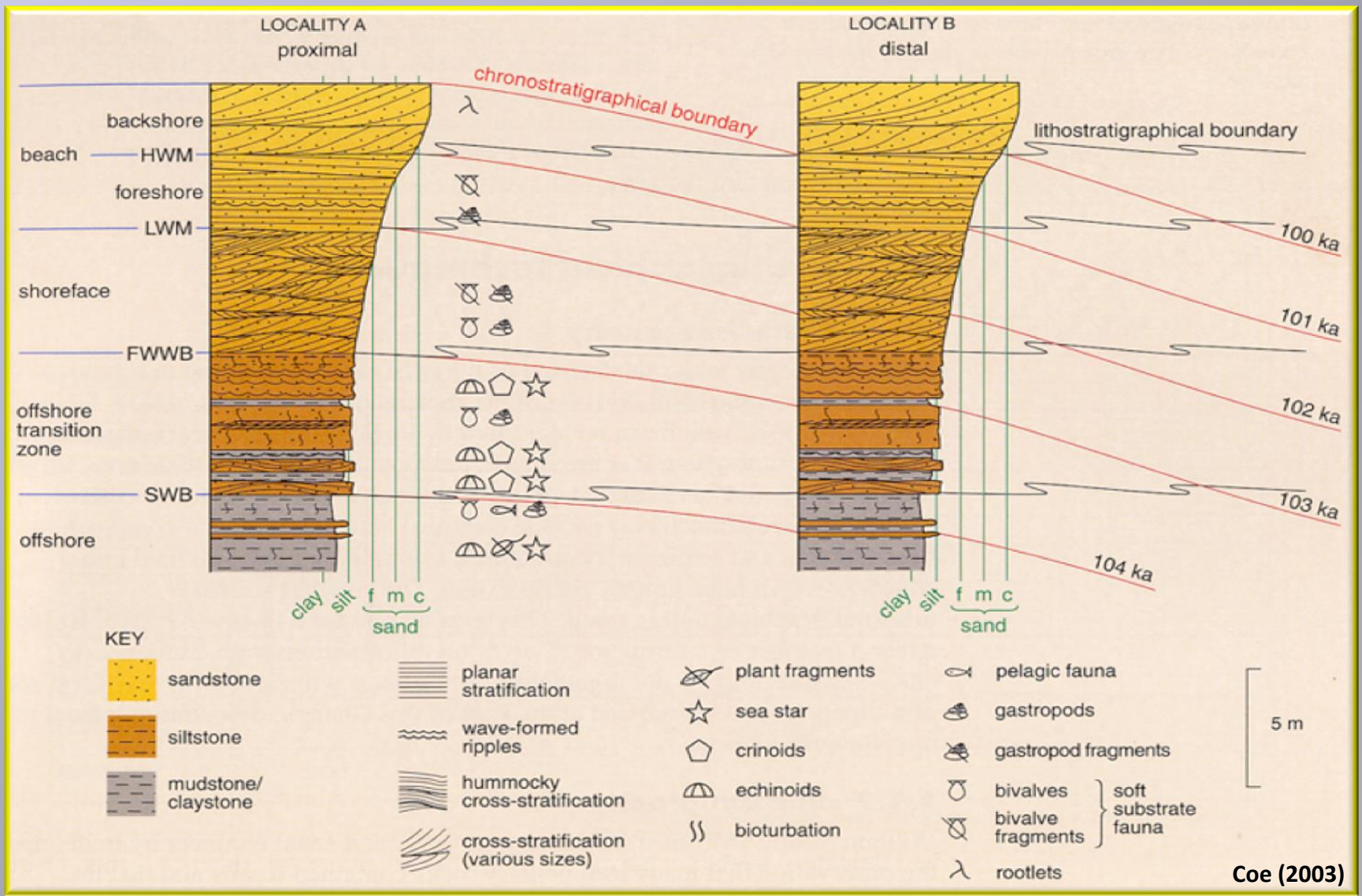
# Introduzione

## Legge di Walther

La successione verticale di facies sedimentarie riflette i cambiamenti laterali nell'ambiente deposizionale.



# Introduzione



# Introduzione

## Sedimentologia

Studia i processi di formazione delle rocce sedimentarie

*(all'interno di un sistema deposizionale)*

## **Stratigrafia sequenziale**

**Correla i processi sedimentari in un contesto di evoluzione del bacino**

*(di norma in associazioni di sistemi deposizionali)*

## Stratigrafia

Definisce le rocce su caratteristiche fisiche e le correla tra loro

# Introduzione

La Stratigrafia Sequenziale si basa sul seguente concetto:

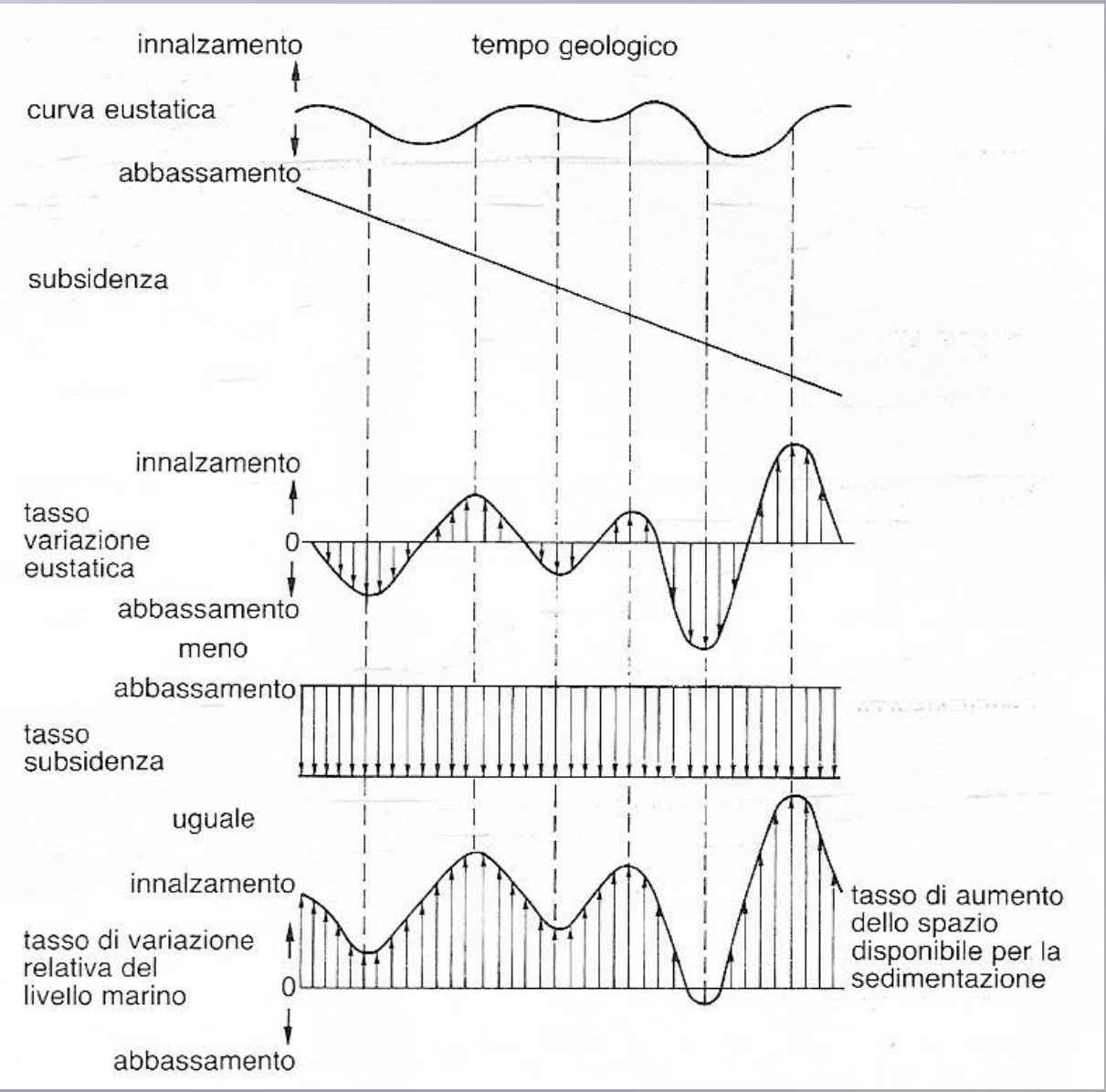
Nelle aree marine, la sedimentazione dei grossi sistemi deposizionali avviene secondo una natura ciclica, poiché essa è legata alle oscillazioni cicliche del **livello del mare relativo**.

Che cosa si intende per livello del mare relativo?

Per **RELATIVO LIVELLO DEL MARE** si intende la combinazione dei movimenti prodotti dallo spostamento verticale del continente (subsidenza e sollevamento) con le oscillazioni del livello del mare (eustatismo).

Questa azione combinata produce una curva che viene chiamata **CURVA DI OSCILLAZIONE RELATIVA DEL LIVELLO DEL MARE**

# Livello del mare relativo



# Terminologia e concetti

## Spazio di ACCOMODAMENTO (Accomodation)

Spazio reso disponibile per il potenziale accumulo dei sedimenti. L'accomodamento viene creato o distrutto dalle modifiche del livello relativo del mare (quindi è controllato da eustatismo, tettonica e accumulo di sedimenti).

## PROFONDITA' DELL'ACQUA

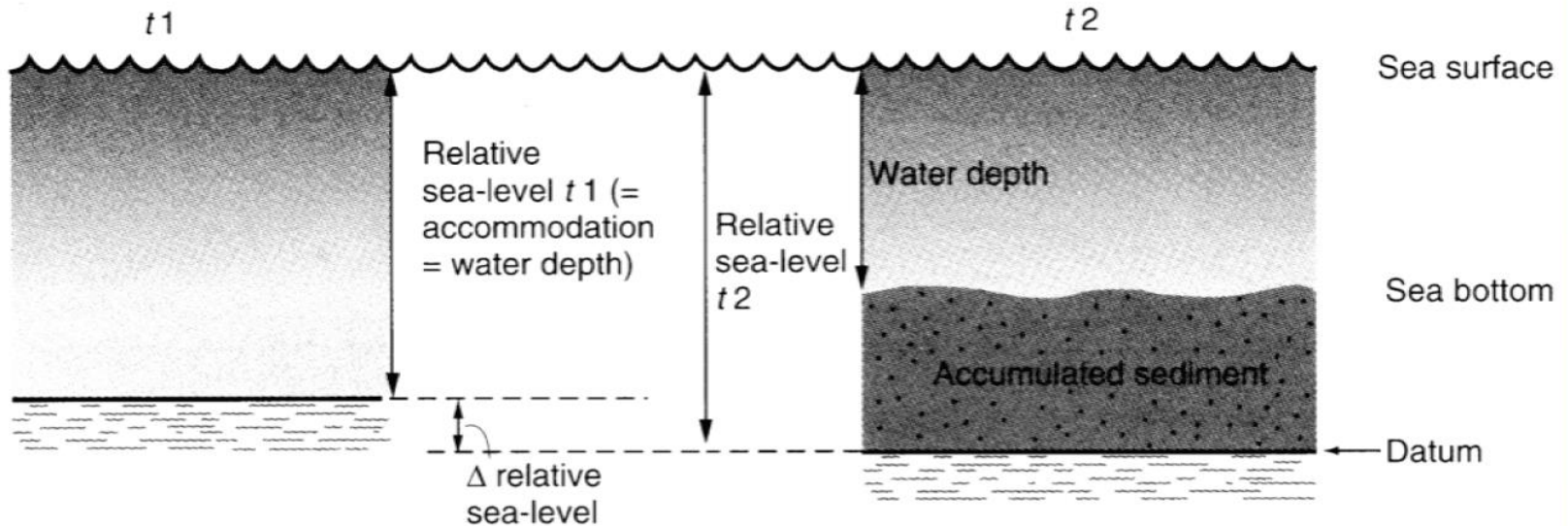
La profondità dell'acqua è controllata dai cambiamenti nell'accomodamento e dalla sedimentazione.

## LIVELLO DI BASE

Il livello di base è la superficie orizzontale a cui procede l'erosione subaerale; quindi corrisponde al livello del mare

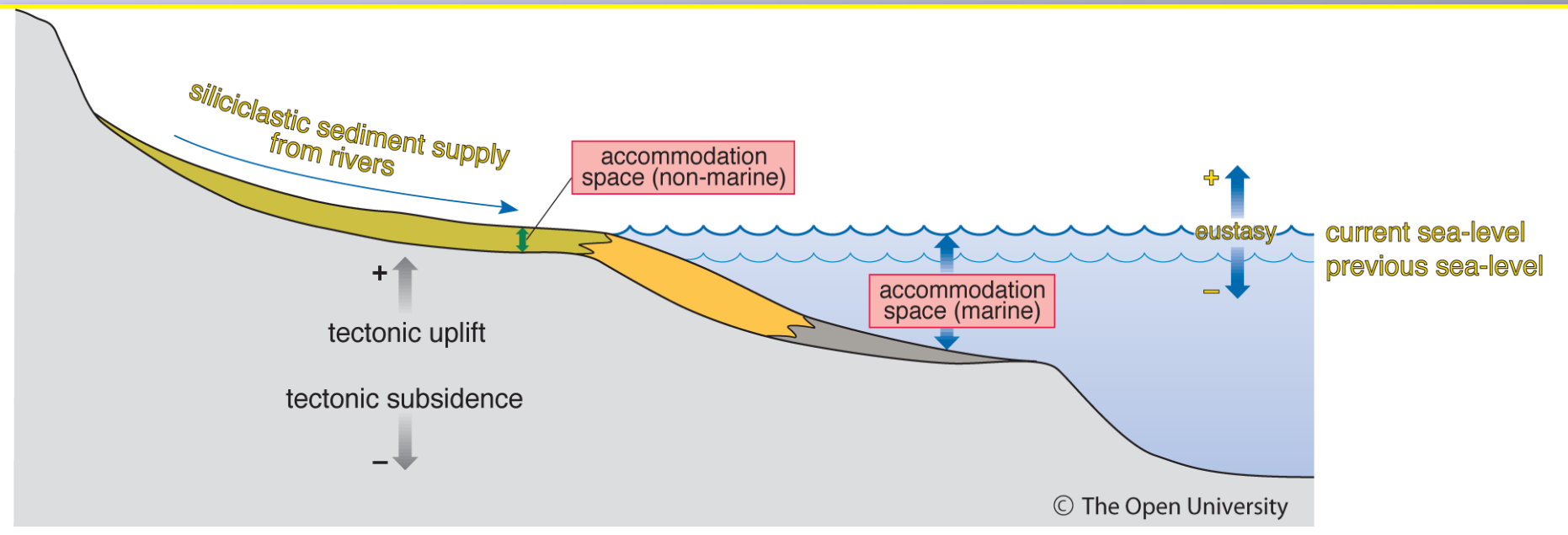


# Terminologia e concetti



- Relative sea-level rises from  $t_1$  to  $t_2$  as a result of subsidence
- Sediment supply > rate of relative sea-level rise (accommodation increase)
- Sediment accommodation increases from  $t_1$  to  $t_2$  but water depth decreases resulting in facies belt regression

# Terminologia e concetti



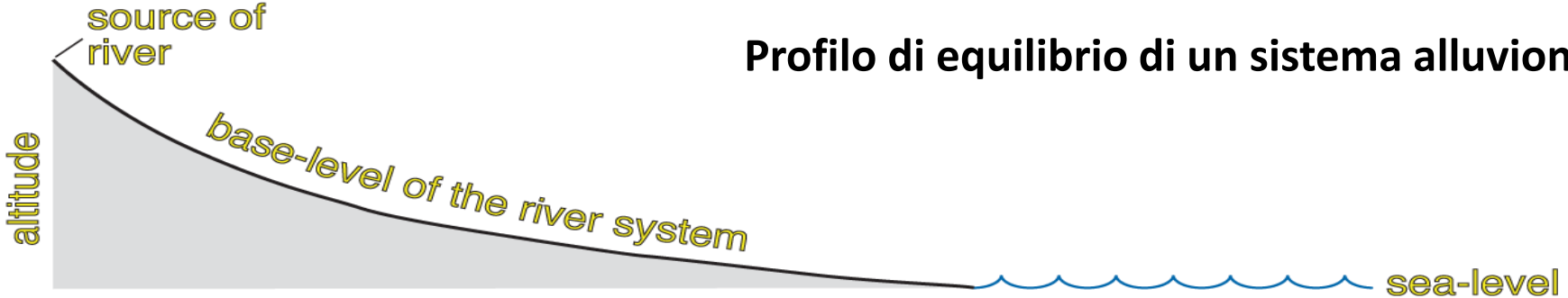
**Accommodation Space = 0 --> sedimenti trasportati in aree con AS positivo (sediment bypass)**

**Accommodation Space = negativo --> sedimenti precedentemente depositati verranno erosi e trasportati in aree con AS positivo**

**Questo perchè tutti i sistemi sedimentari cercano di raggiungere e mantenere un profilo di equilibrio dove AS è bilanciato dall'apporto di sedimenti**

# Terminologia e concetti

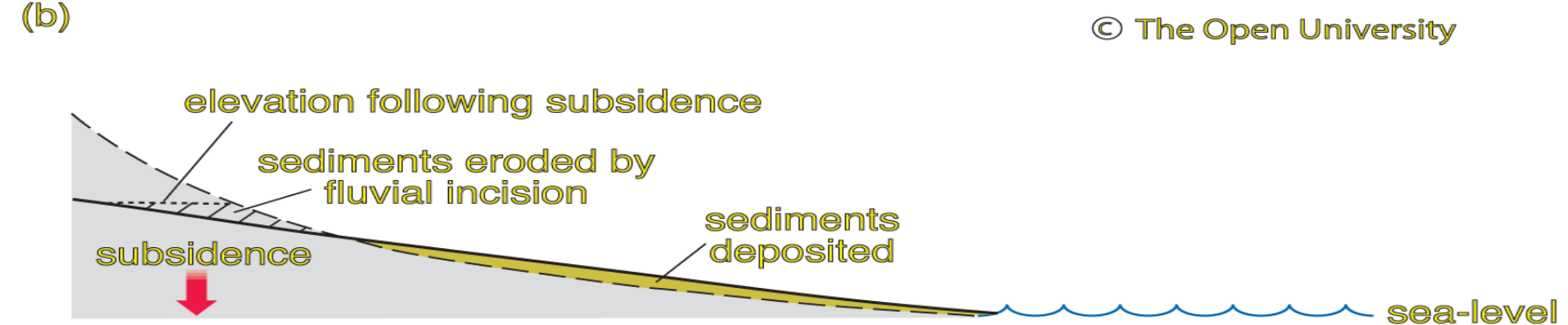
## Profilo di equilibrio di un sistema alluvionale



© The Open University

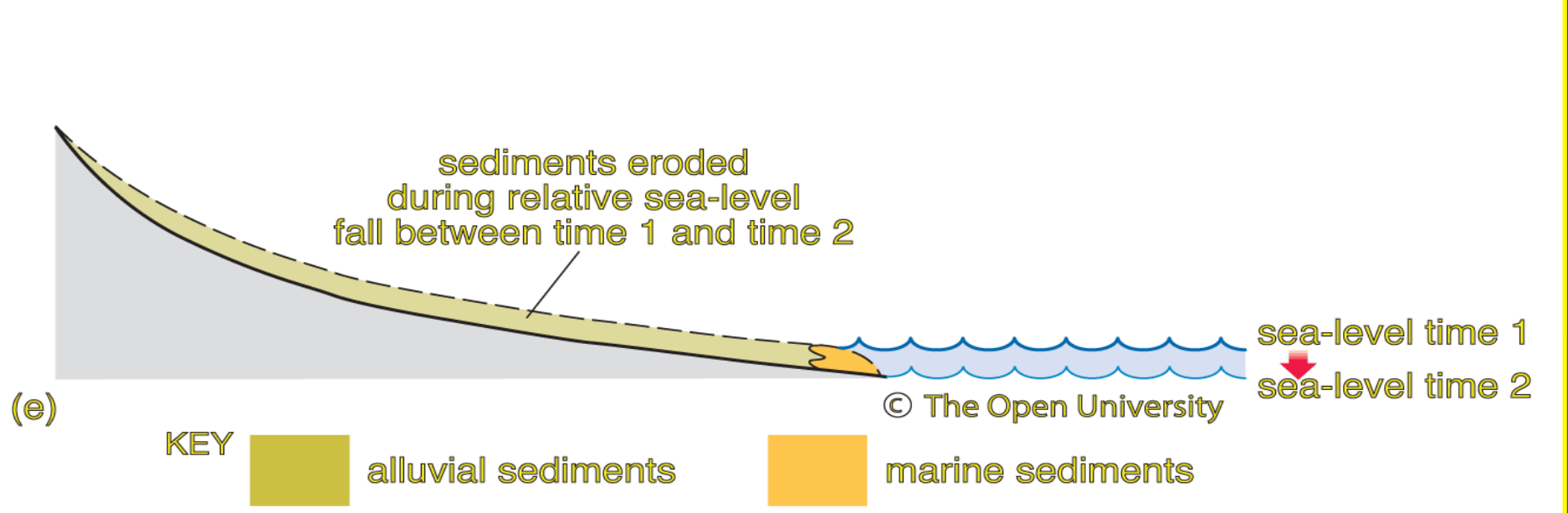
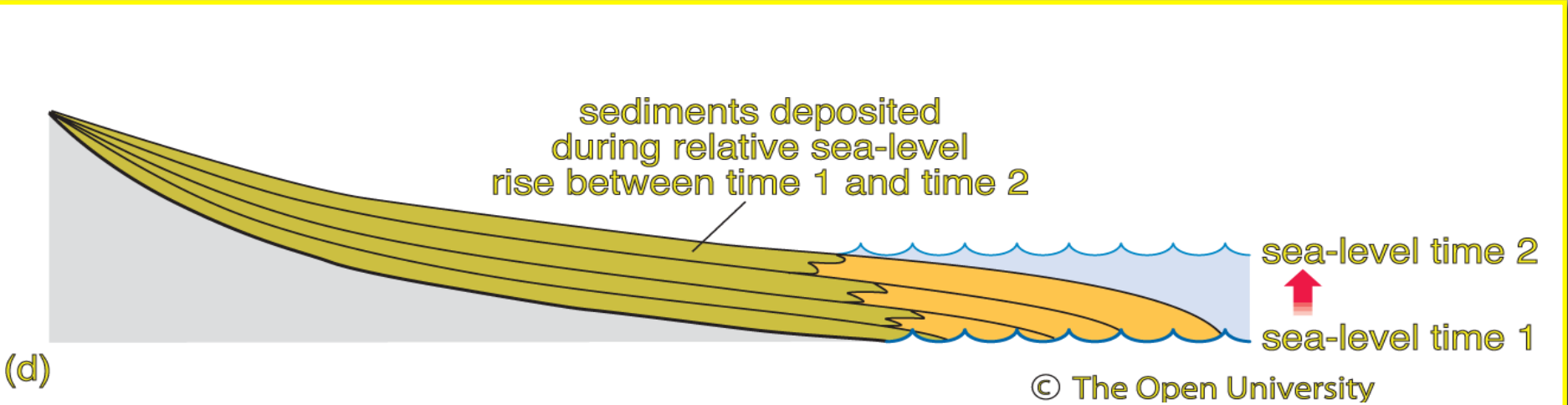


© The Open University

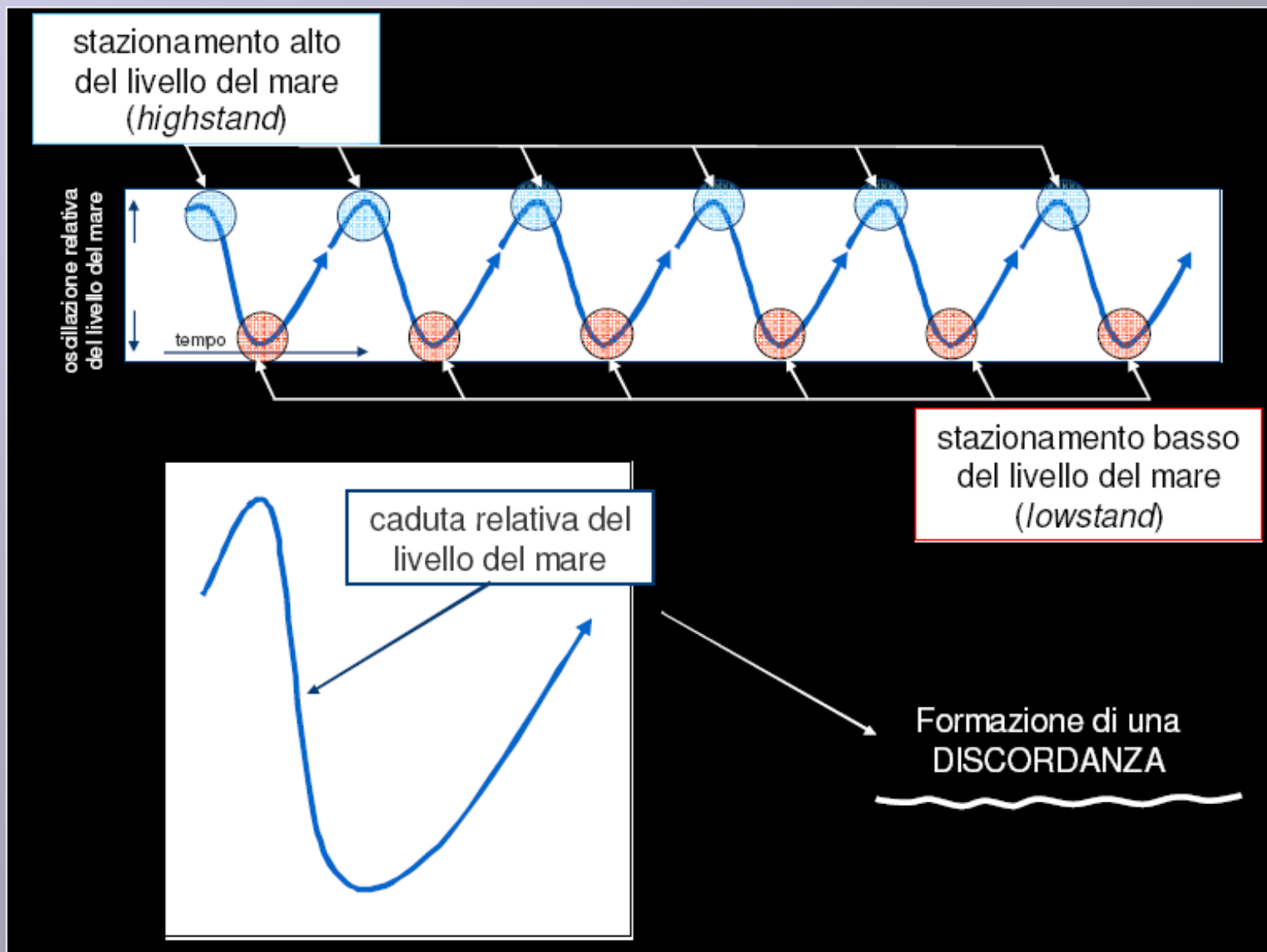


© The Open University

# Terminologia e concetti



# Terminologia e concetti



# Cicli deposizionali

Definizioni e gerarchie nella Stratigrafia Sequenziale

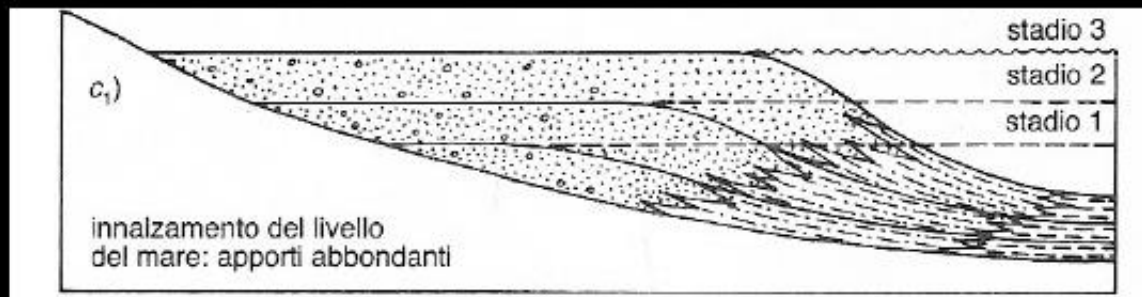
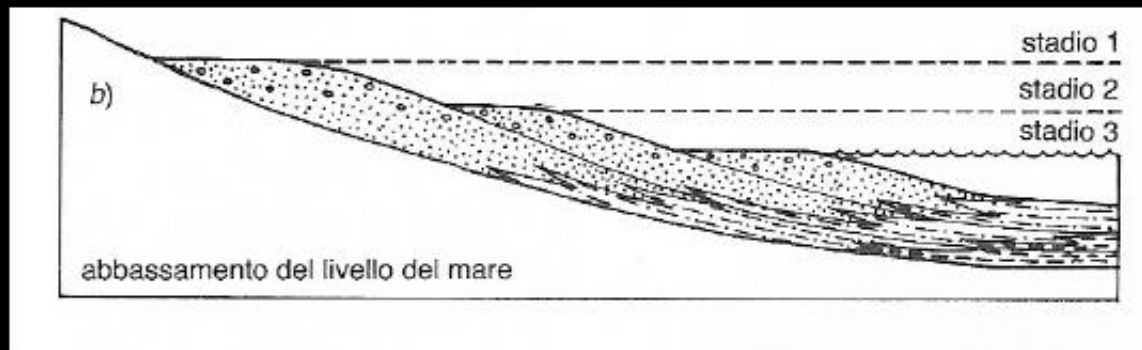
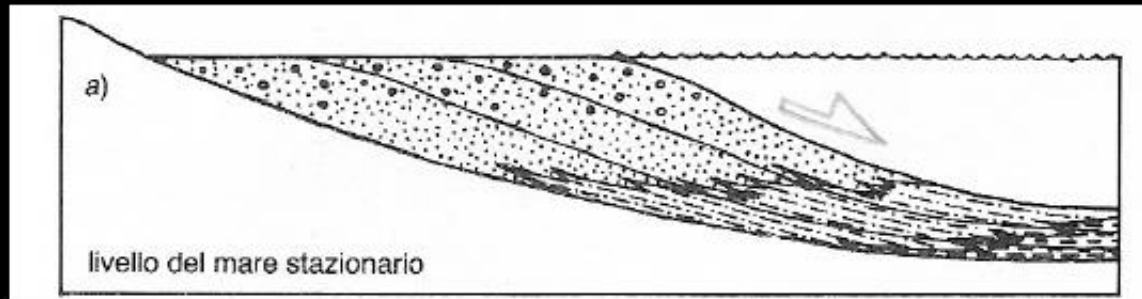
## Cicli Gerarchici nella Stratigrafia Sequenziale

<i>Ordini di cicli Tettono-Eustatici ed Eustatici</i>	<i>Unità Stratigrafiche Sequenziali</i>	<i>Durata (milioni di anni)</i>	<i>Escursioni Relative del l.d.m. (metri)</i>	<i>Tassi Relativi di Risalita/Caduta del l.d.m. (cm/1.000 anni)</i>
<i>Primo Ordine</i>		>100		<1
<i>Secondo Ordine</i>	<i>Supersequenze</i>	10-100	50-100	1-3
<i>Terzo Ordine</i>	<i>Sequenze Deposizionali e Sequenze Composite</i>	1-10	50-100	1-10
<i>Quarto Ordine</i>	<i>Sequenze ad 'alta energia' (High Energy Sequence) Parasequenze e Set di Cicli</i>	0.1-1	1-150	40-500
<i>Quinto Ordine</i>	<i>Parasequenze e Cicli ad alta frequenza</i>	0.01-0.1	1-150	60-700

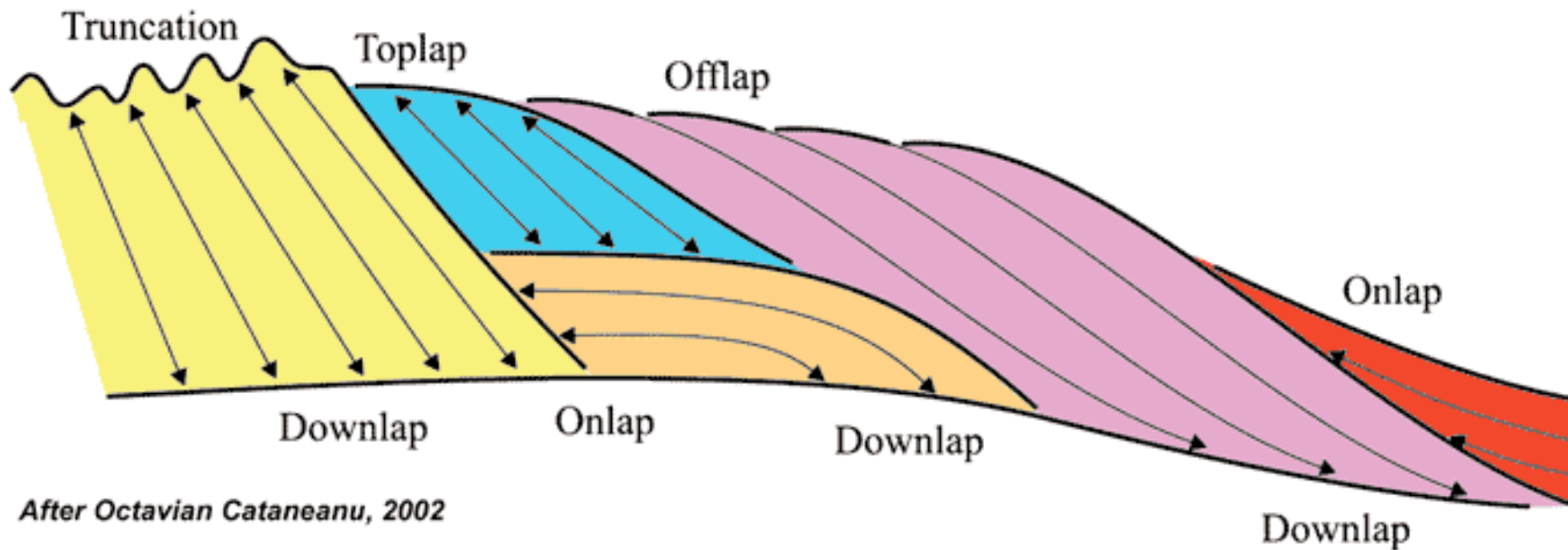
(da SEPM # 40)

# Geometrie deposizionali

Si possono avere differenti architetture deposizionali a seconda del comportamento che il livello del mare assume durante un ciclo di oscillazione eustatica

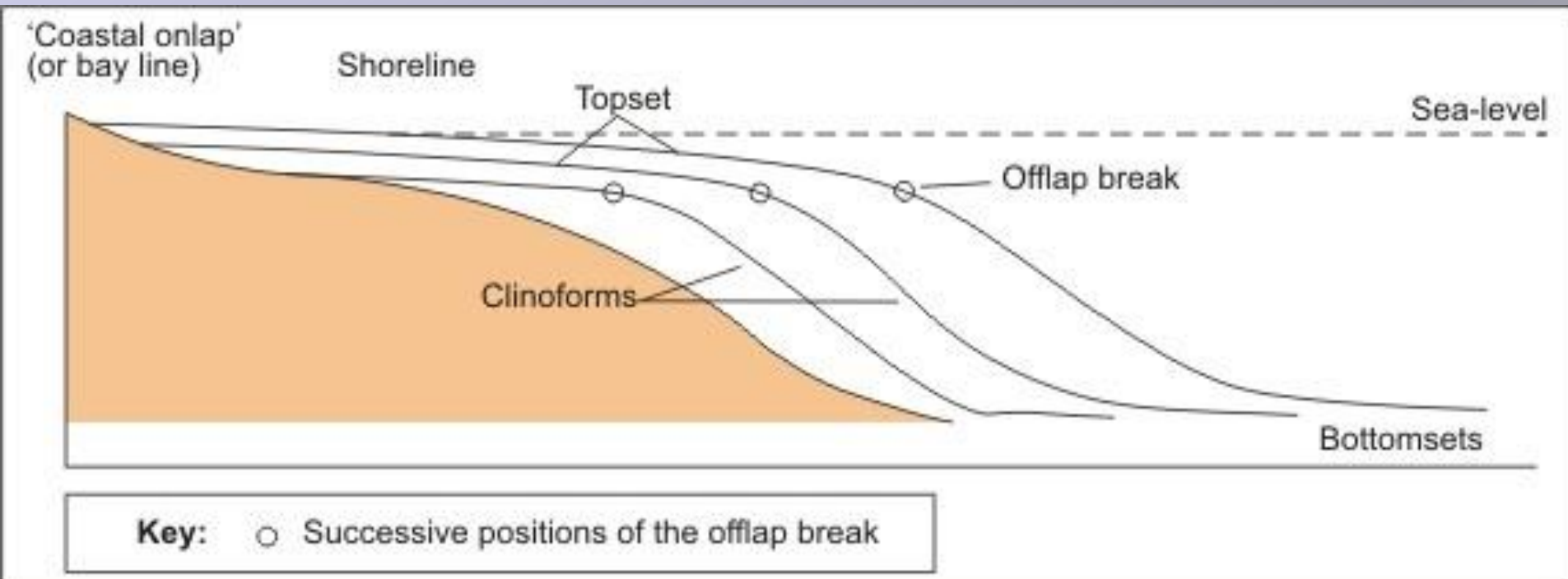


# Geometrie deposizionali





# Geometrie deposizionali



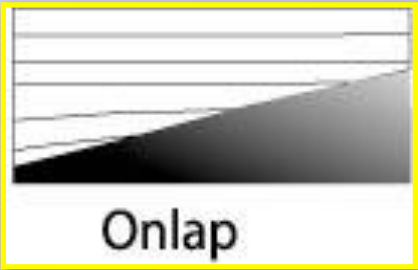
# Geometrie deposizionali

Troncatura erosiva



# Geometrie deposizionali

Onlap



# Geometrie deposizionali

Clinoformi e toplap

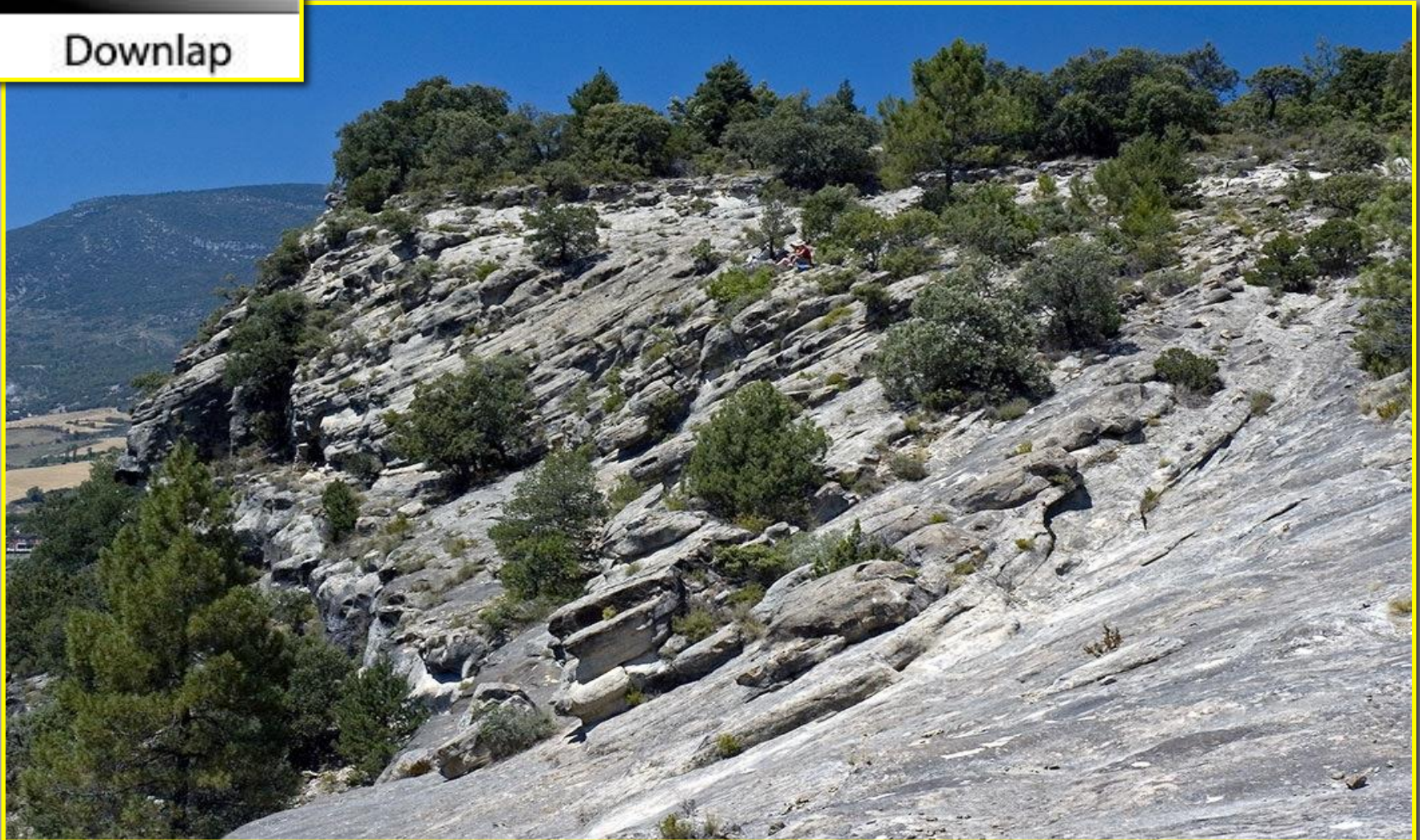


# Geometrie deposizionali

Clinoformi e downlap



Downlap

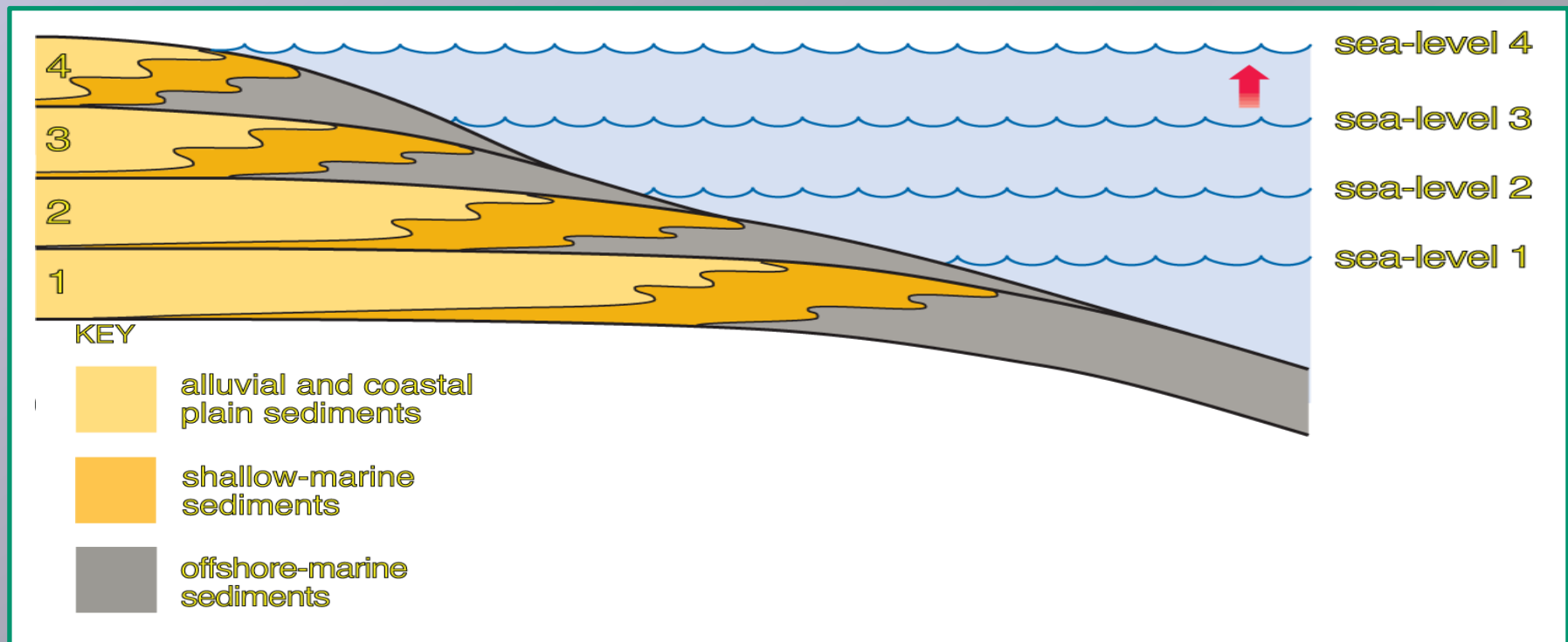


# Geometrie deposizionali

## Geometria Retrogradazionale (backstepping stacking pattern)

Si verifica quando il tasso di apporto sedimentario è minore del tasso di creazione di accomodamento.

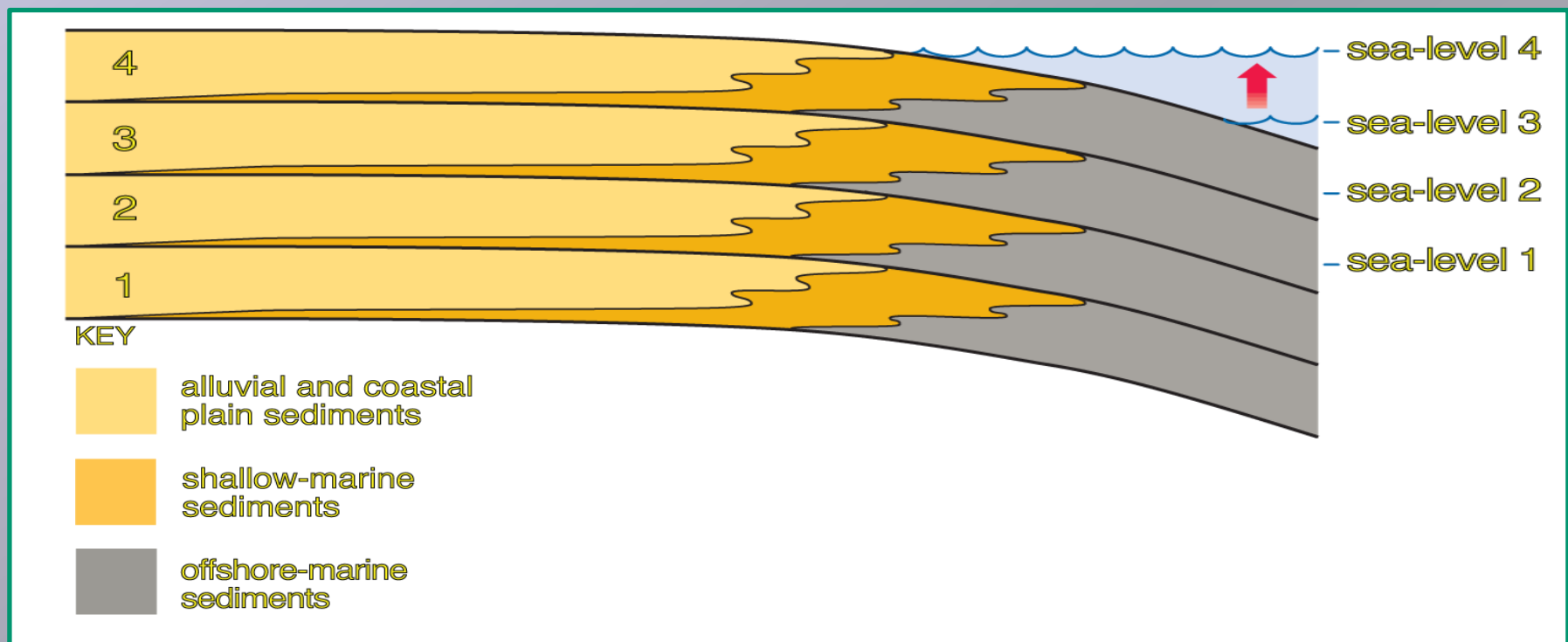
Ne consegue che le facies migrano verso la terra emersa.



# Geometrie deposizionali

## Geometria aggradazionale

Si verifica quando i due tassi di equivalgono e le facies si sovrappongono verticalmente senza migrazione della linea di costa.

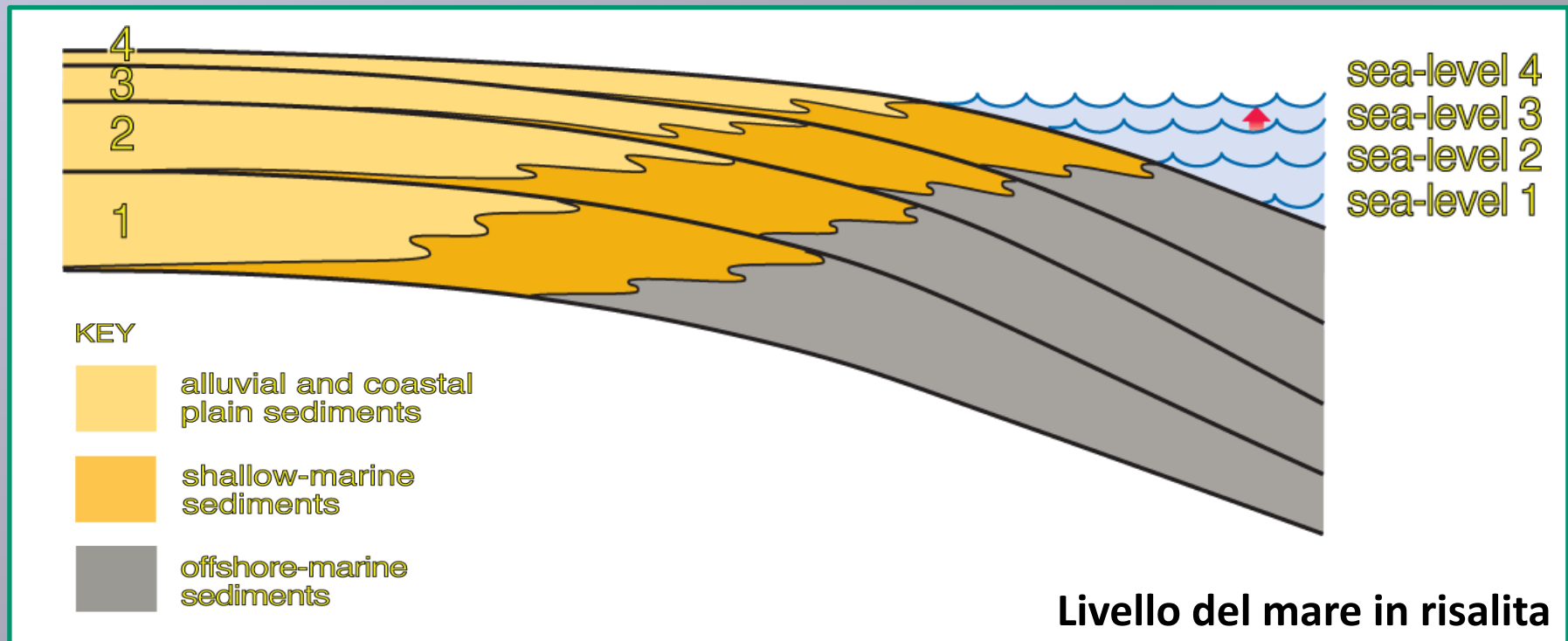


# Geometrie deposizionali

## Geometria progradazionale (dawnstepping stecking pattern)

Si verifica quando il tasso di apporto sedimentario è maggiore del tasso di creazione di accomodamento in acqua bassa (*Topset*).

Ne consegue che le facies migrano verso il bacino.



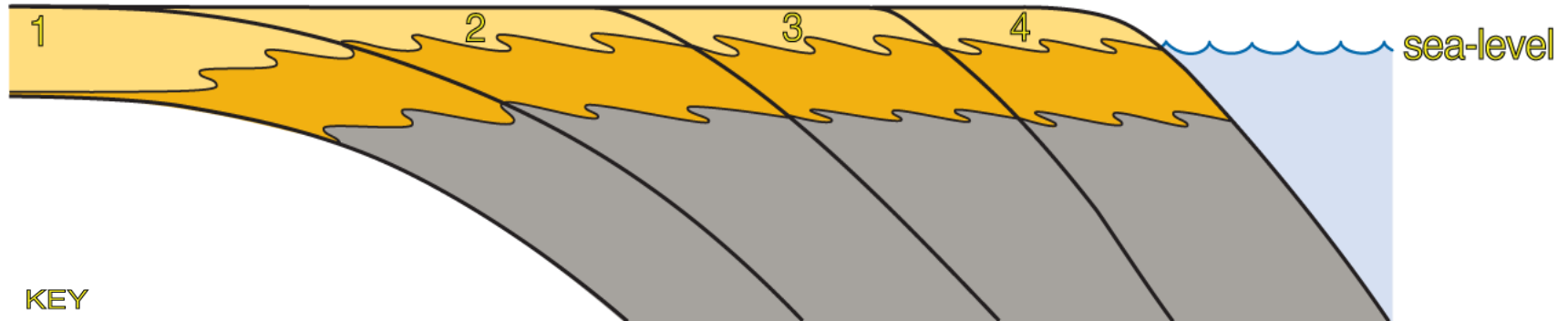


# Geometrie deposizionali

## Geometria progradazionale (dawnstepping stecking pattern)

Si verifica quando il tasso di apporto sedimentario è maggiore del tasso di creazione di accomodamento in acqua bassa (*Topset*).

Ne consegue che le facies migrano verso il bacino.



### KEY

-  alluvial and coastal plain sediments
-  shallow-marine sediments
-  offshore-marine sediments

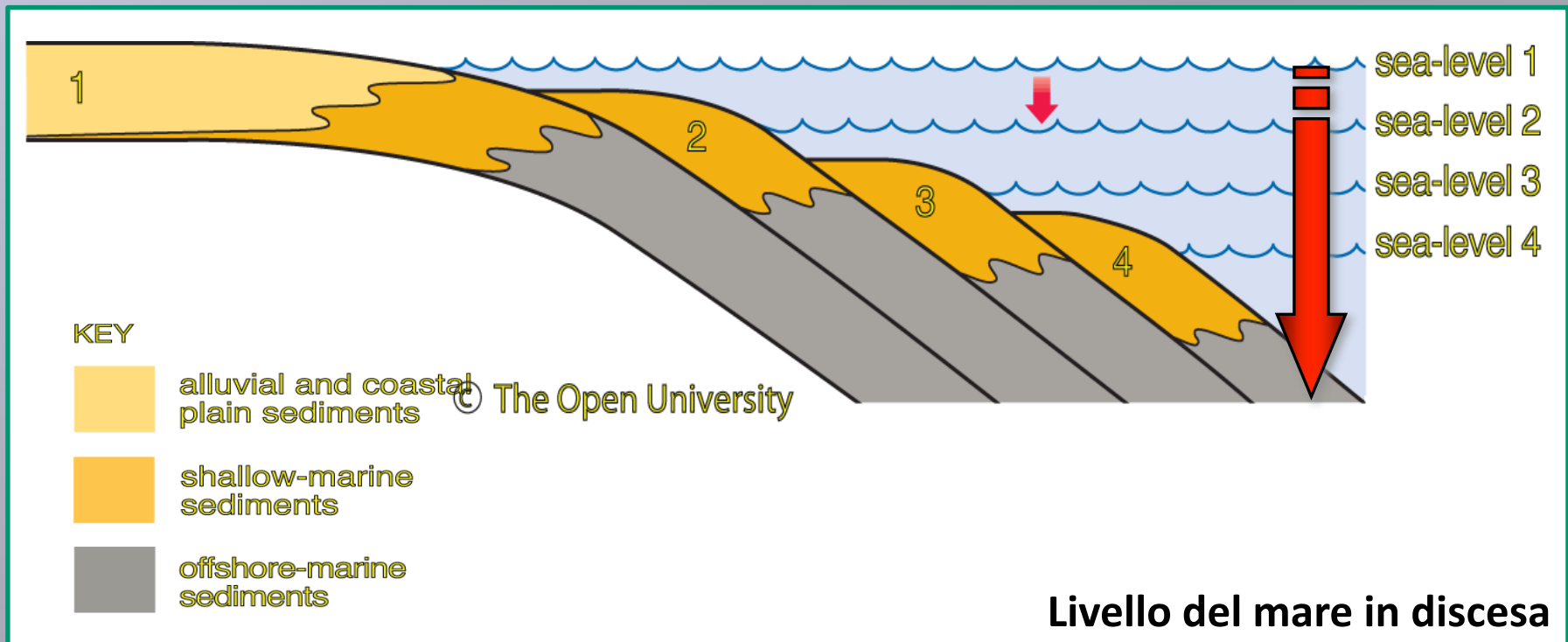
Livello del mare costante

# Geometrie deposizionali

## Geometria progradazionale (dawnstepping stacking pattern)

Si verifica quando il tasso di apporto sedimentario è maggiore del tasso di creazione di accomodamento in acqua bassa (*Topset*).

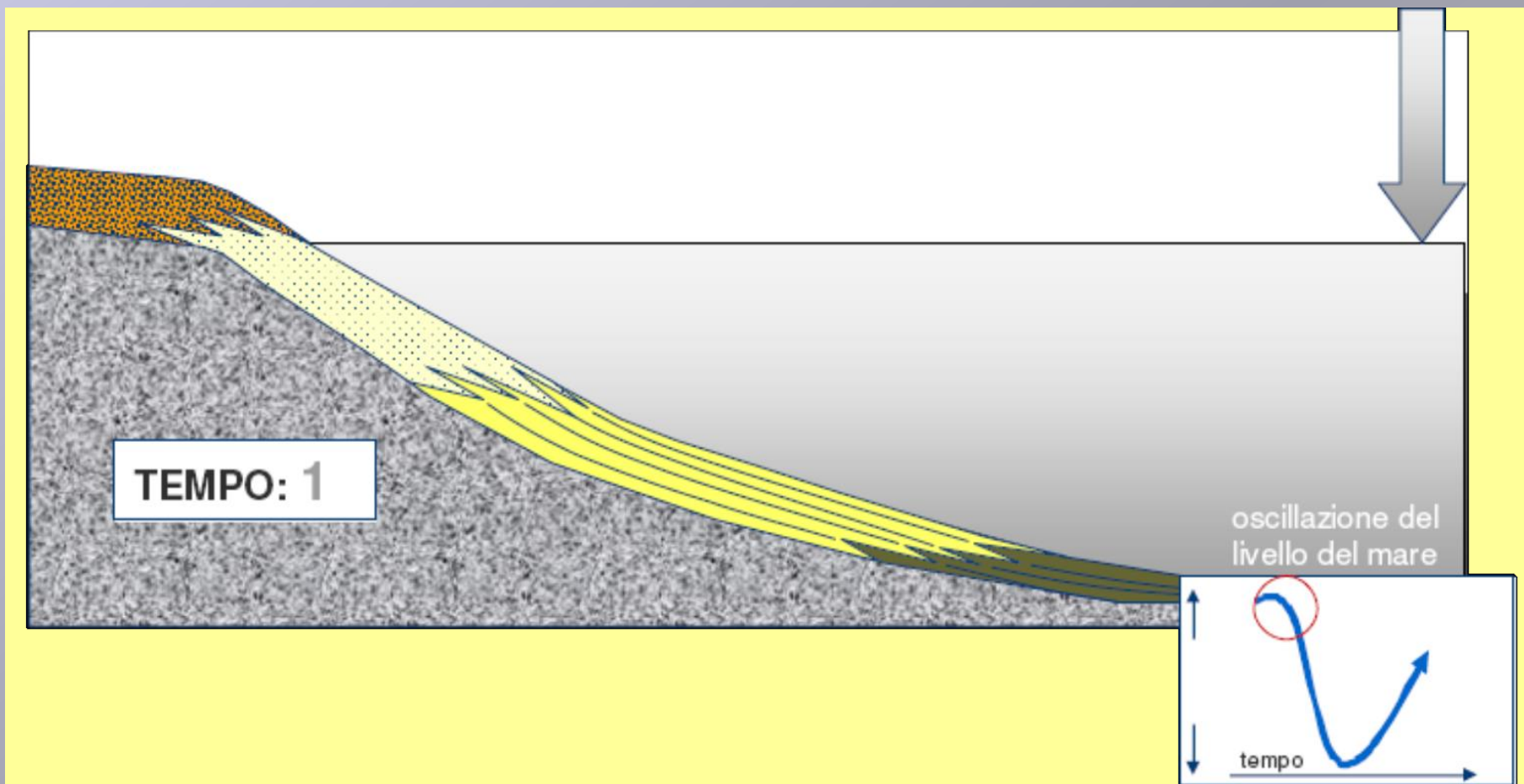
Ne consegue che le facies migrano verso il bacino.



# Migrazione delle Facies

Una facies può migrare nello spazio e nel tempo.

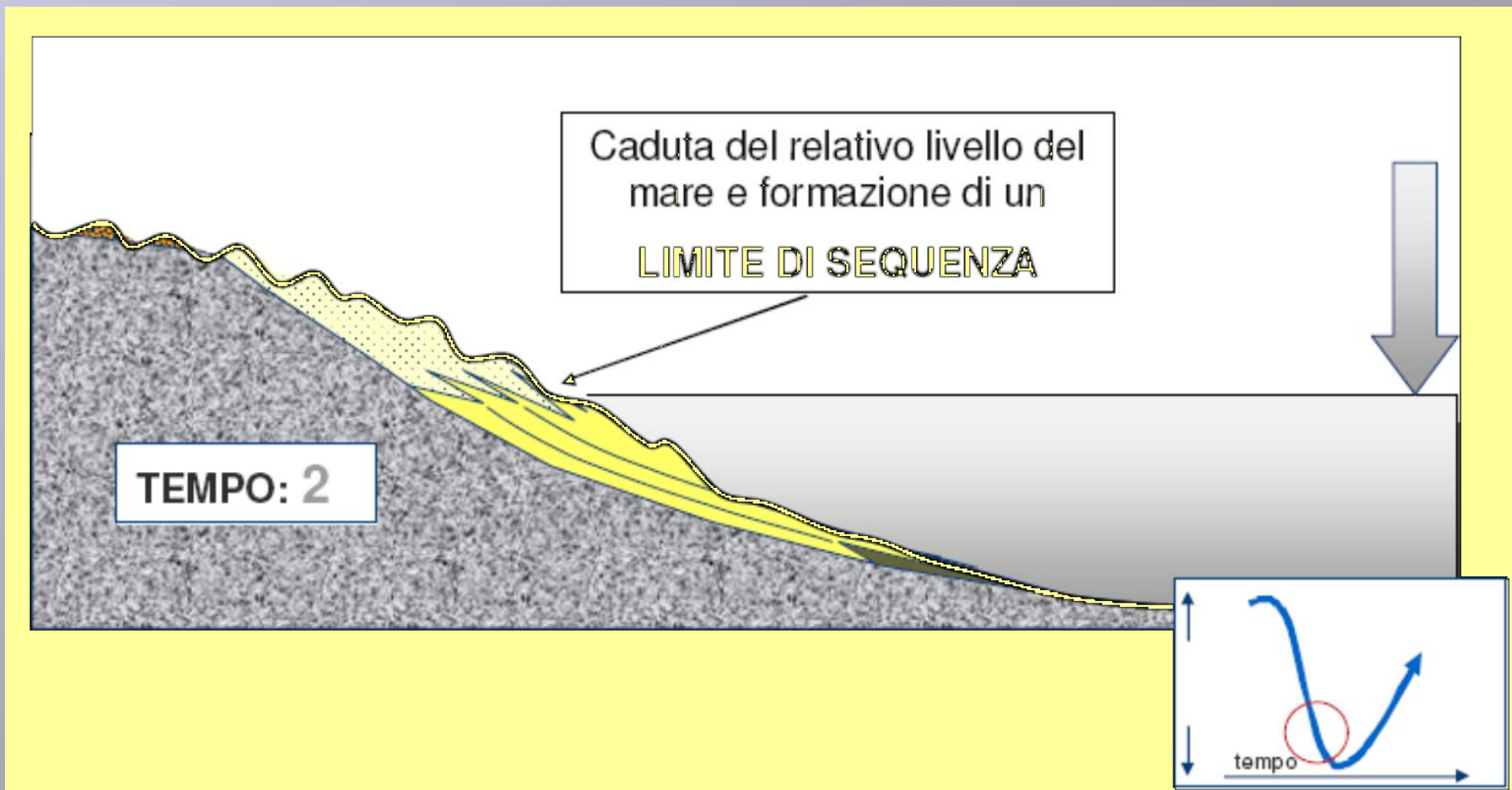
Il suo spostamento è determinato dalla variazione spazio-temporale di tutti quei fattori fisici che ne determinano l'esistenza.



# Migrazione delle Facies

Una facies può migrare nello spazio e nel tempo.

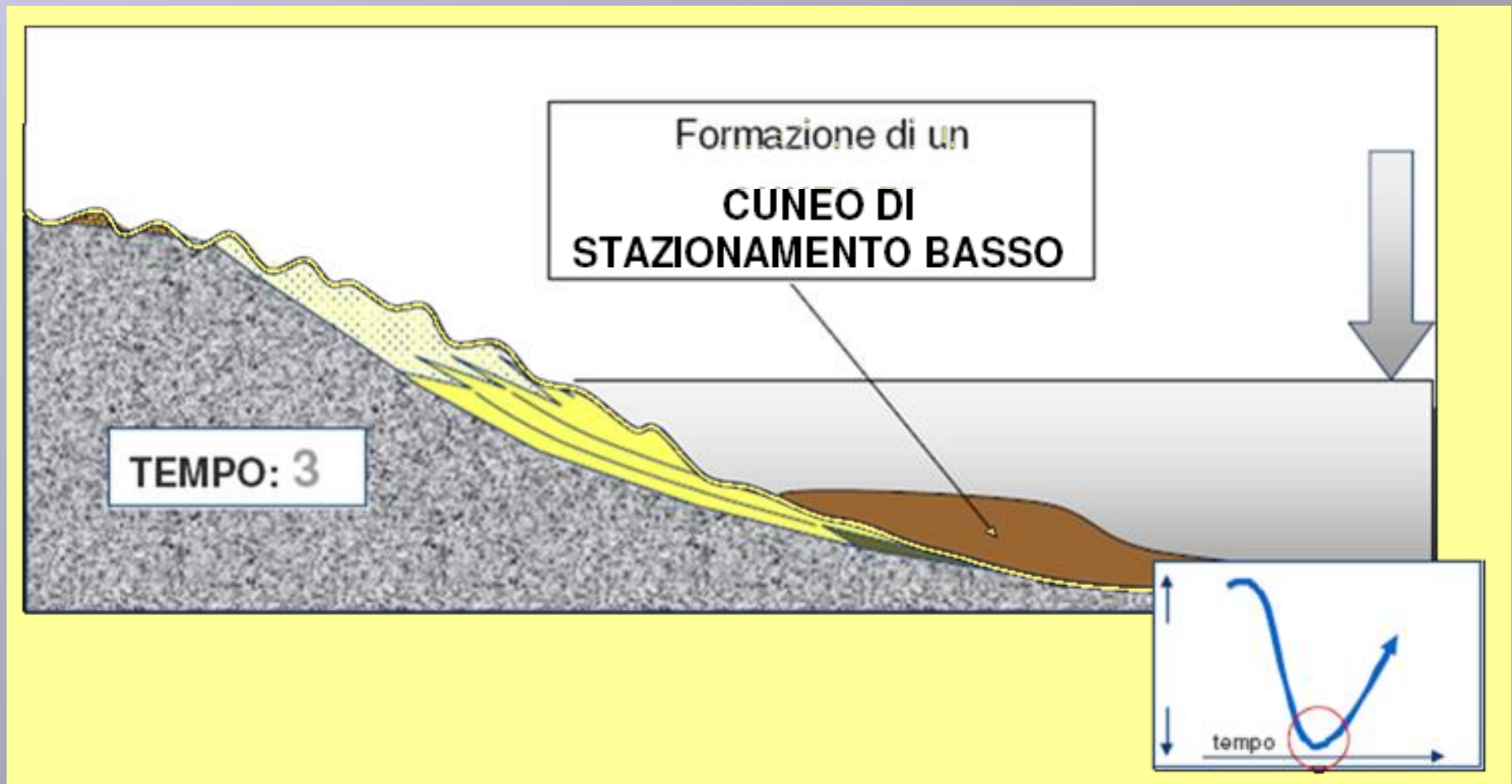
Il suo spostamento è determinato dalla variazione spazio-temporale di tutti quei fattori fisici che ne determinano l'esistenza.



# Migrazione delle Facies

Una facies può migrare nello spazio e nel tempo.

Il suo spostamento è determinato dalla variazione spazio-temporale di tutti quei fattori fisici che ne determinano l'esistenza.



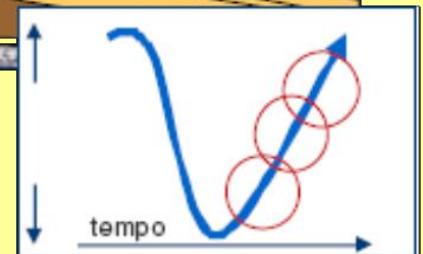
# Migrazione delle Facies

Una facies può migrare nello spazio e nel tempo.

Il suo spostamento è determinato dalla variazione spazio-temporale di tutti quei fattori fisici che ne determinano l'esistenza.

Formazione di DEPOSITI trasgressivi e  
MIGRAZIONE DEGLI ONLAP COSTIERI

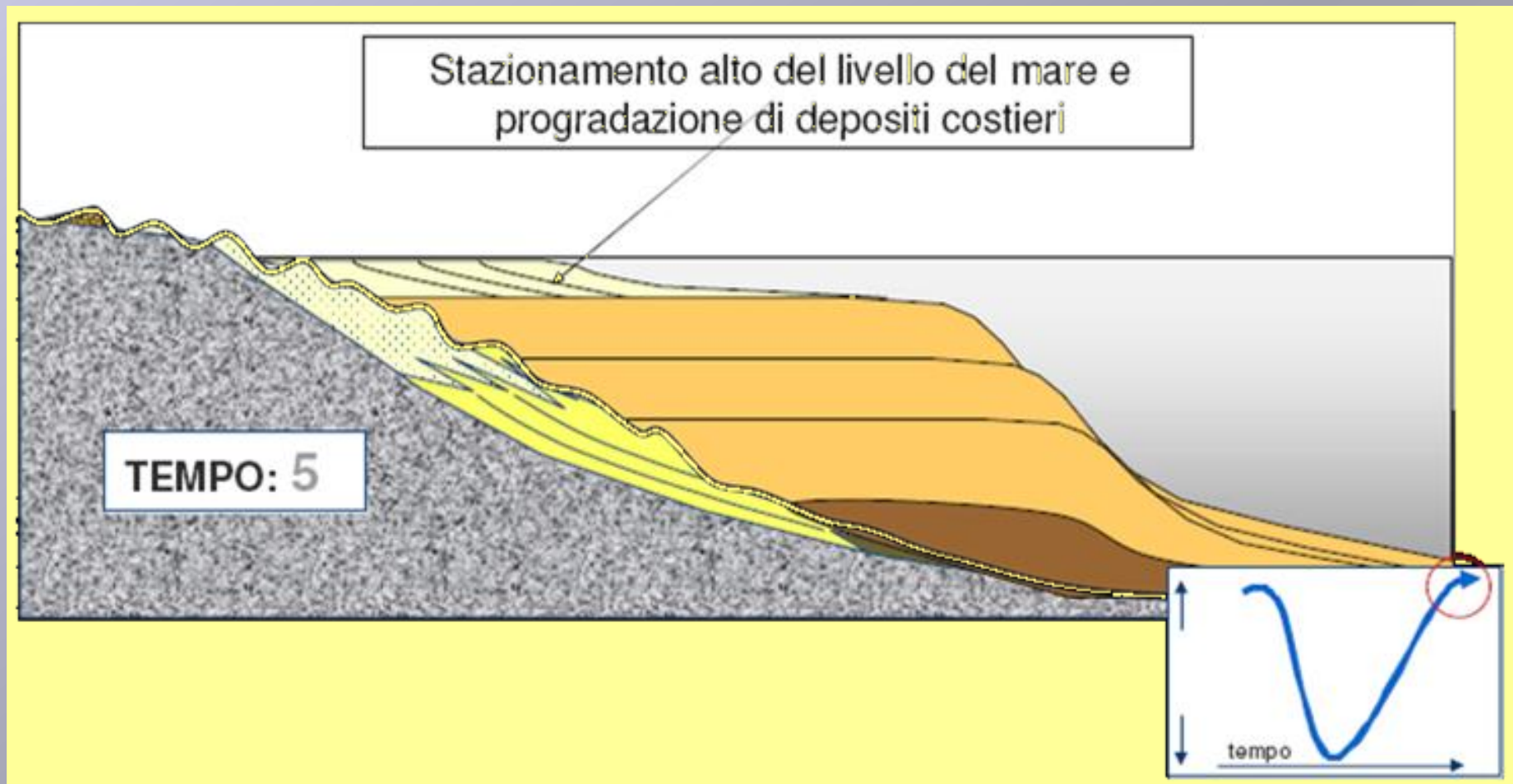
TEMPO: 4



# Migrazione delle Facies

Una facies può migrare nello spazio e nel tempo.

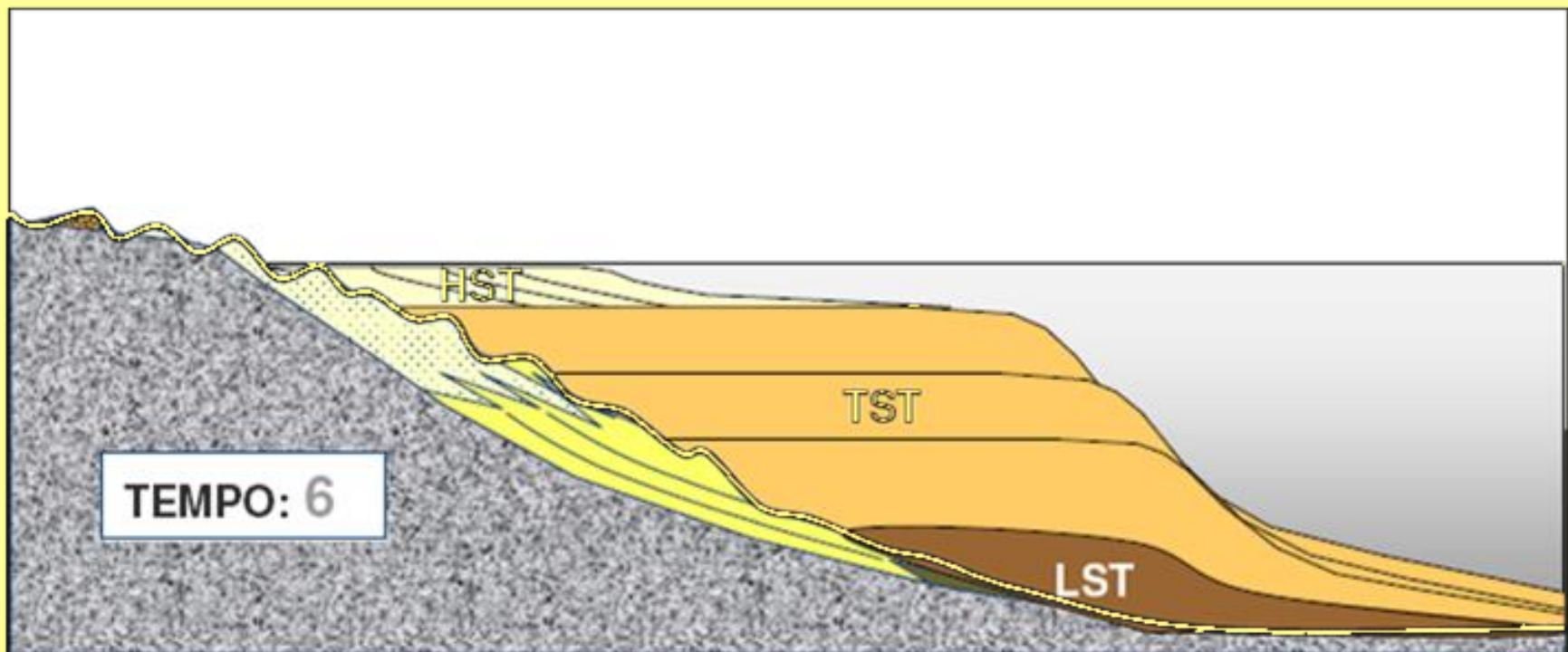
Il suo spostamento è determinato dalla variazione spazio-temporale di tutti quei fattori fisici che ne determinano l'esistenza.



# Migrazione delle Facies

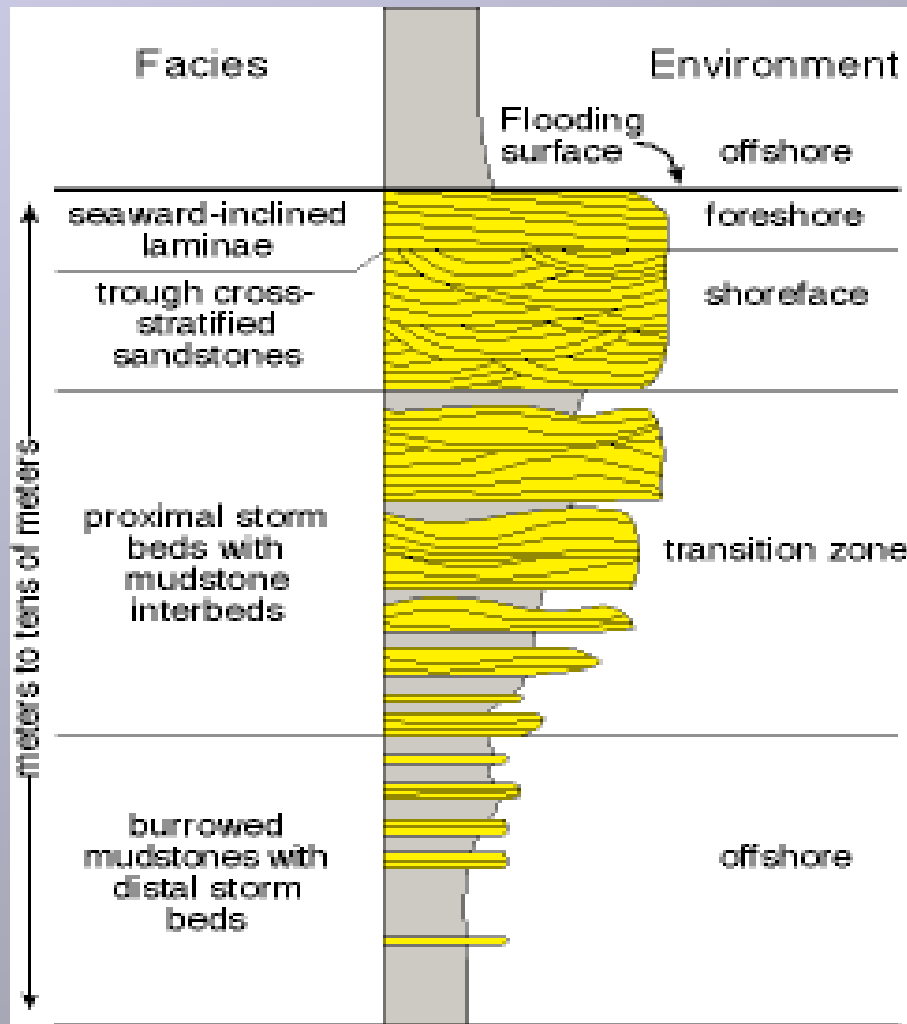
Una facies può migrare nello spazio e nel tempo.

Il suo spostamento è determinato dalla variazione spazio-temporale di tutti quei fattori fisici che ne determinano l'esistenza.



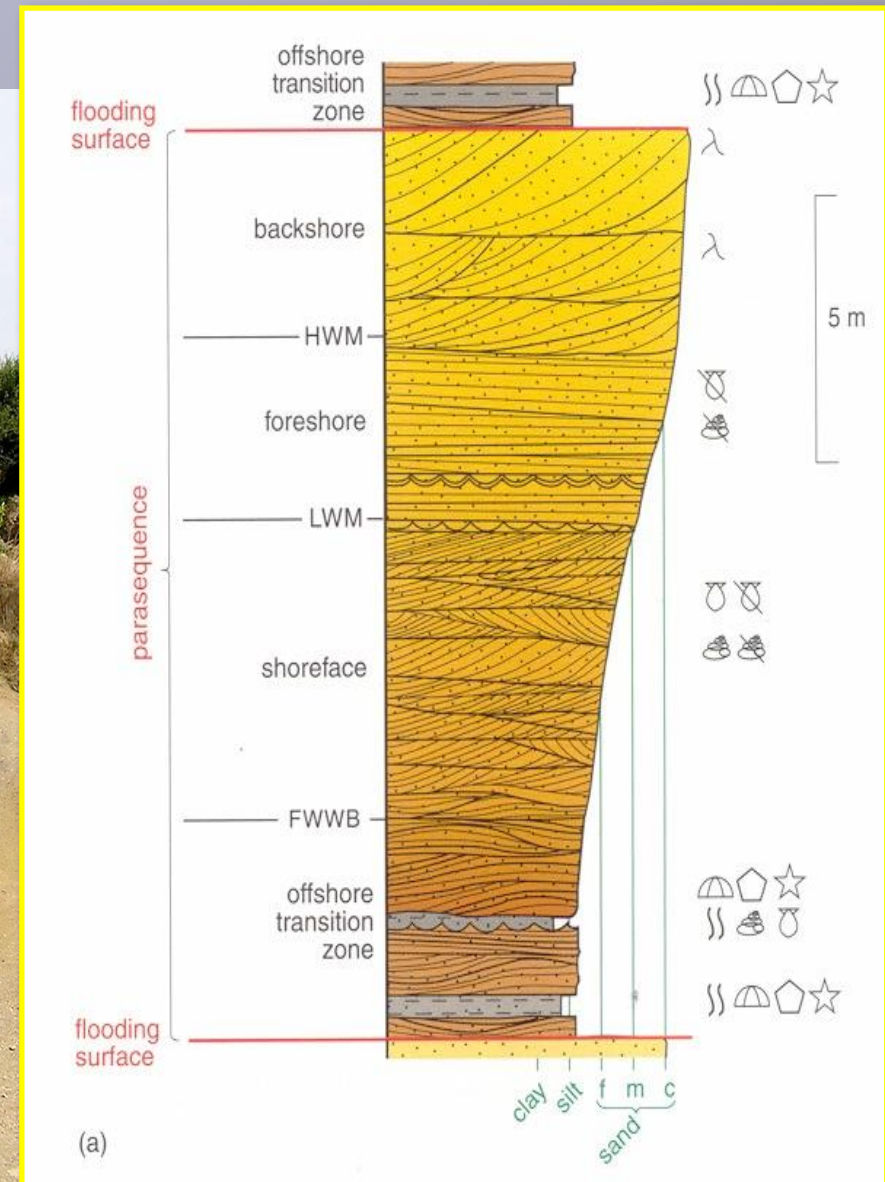


# Parasequenza



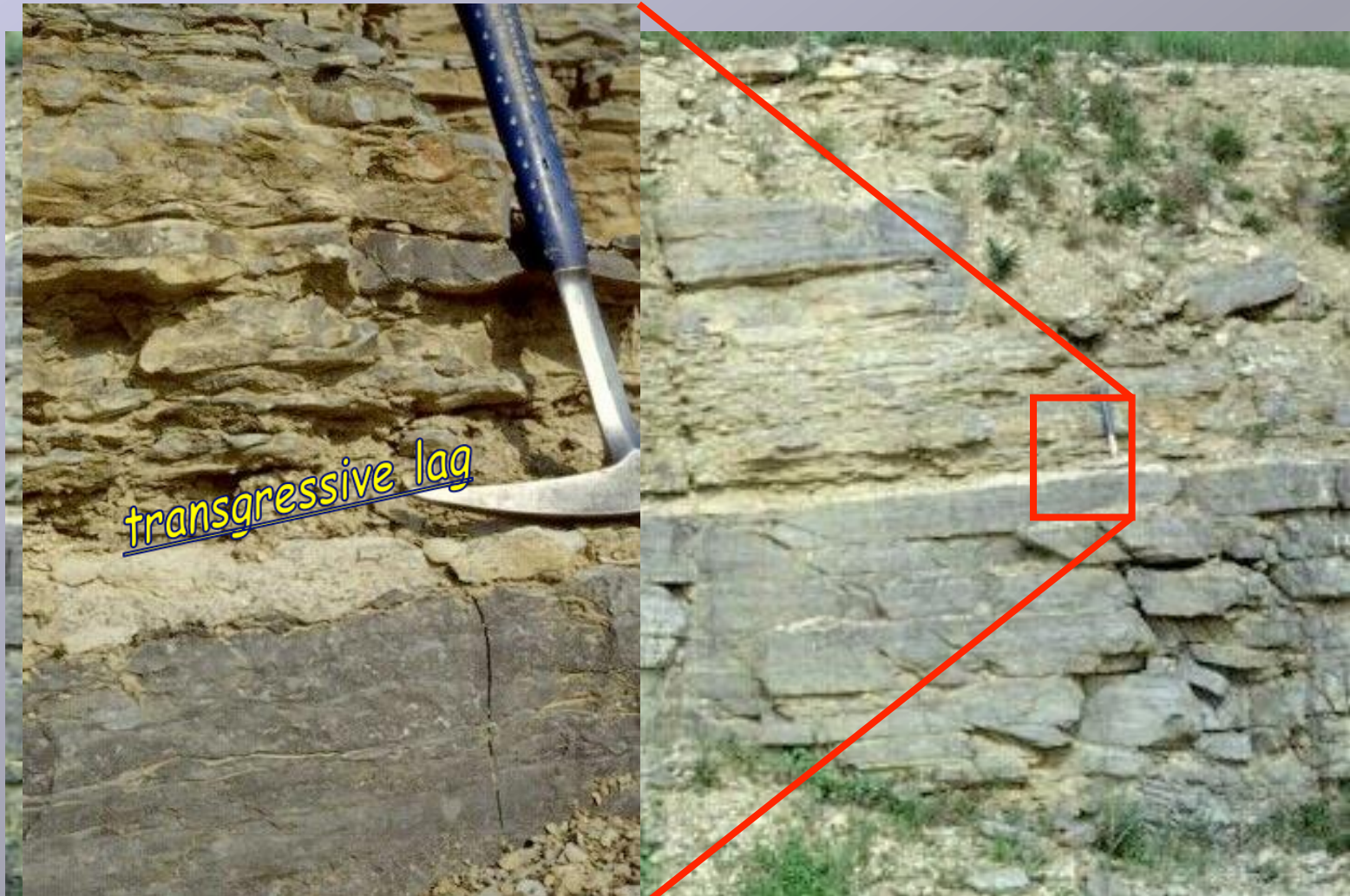
Successione relativamente concordante di strati geneticamente interrelati, limitati alla base e al tetto da flooding surface marine e dalle superfici correlate. Generalmente sono cicli sedimentari asimmetrici con sedimenti di ambiente meno profondo verso l'alto.

# Parasequenza

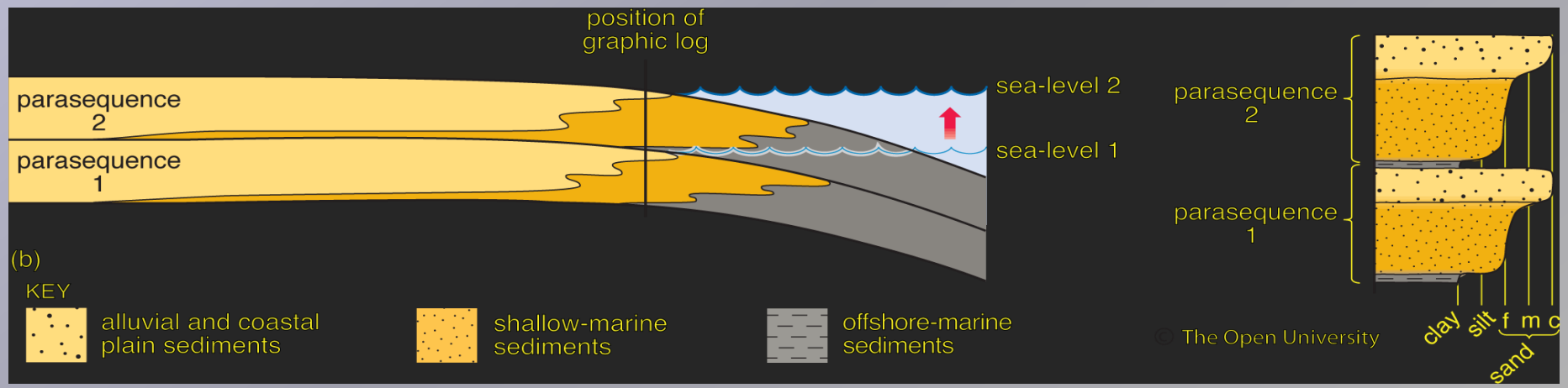
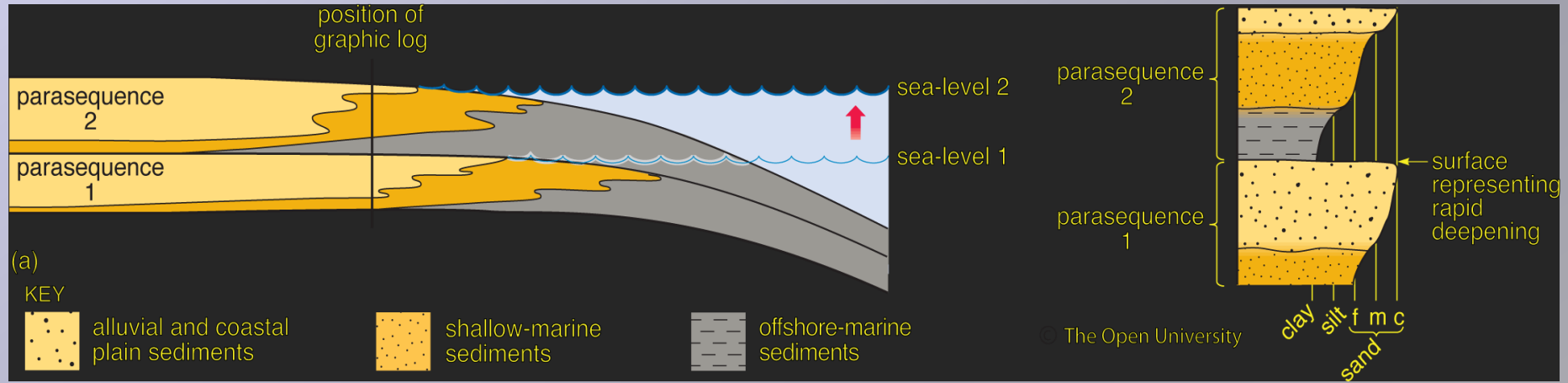


# Parasequenza

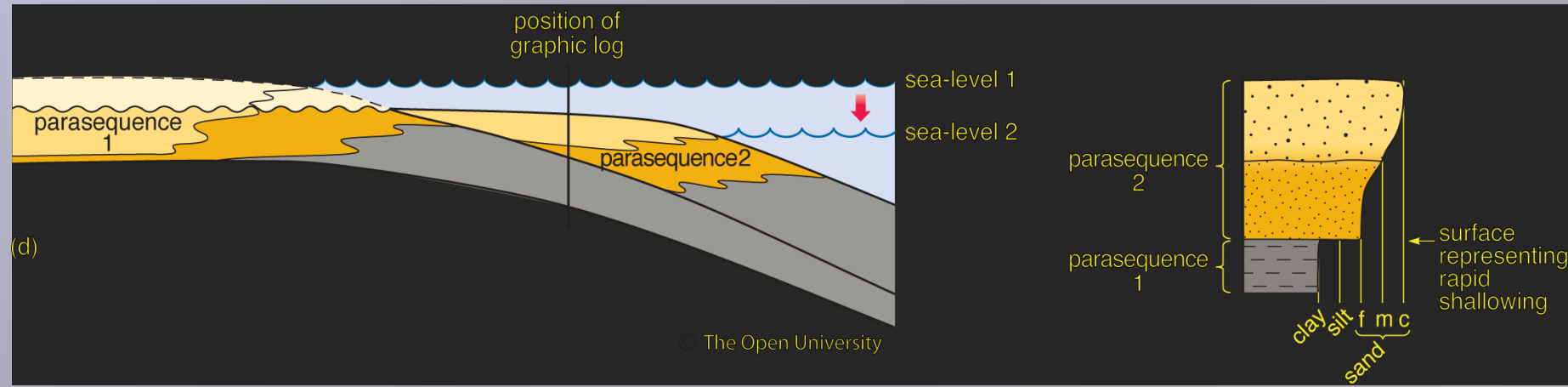
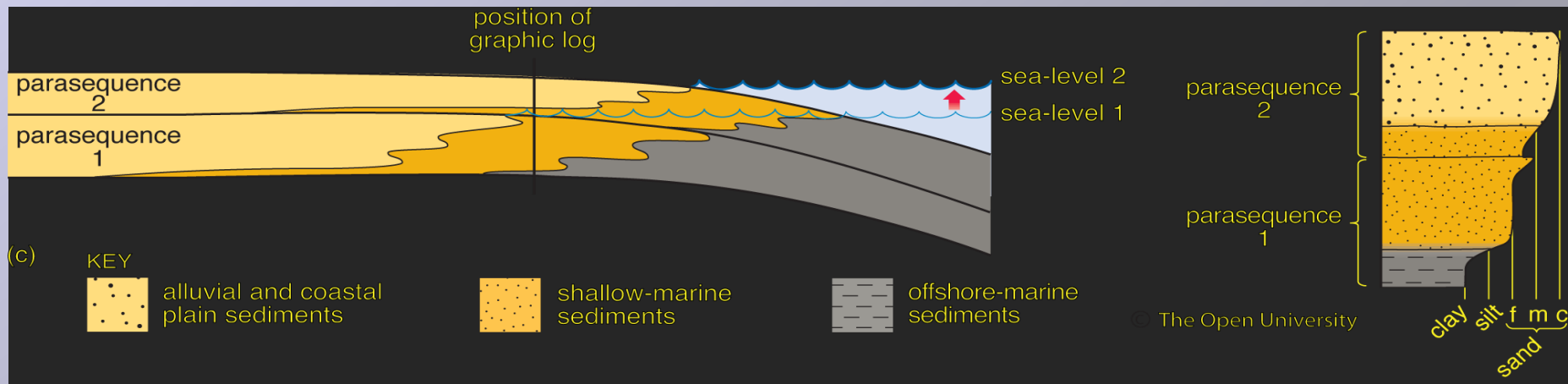
Le parasequenza sono separate da superfici trasgressive.



# Parasequenza



# Parasequenza

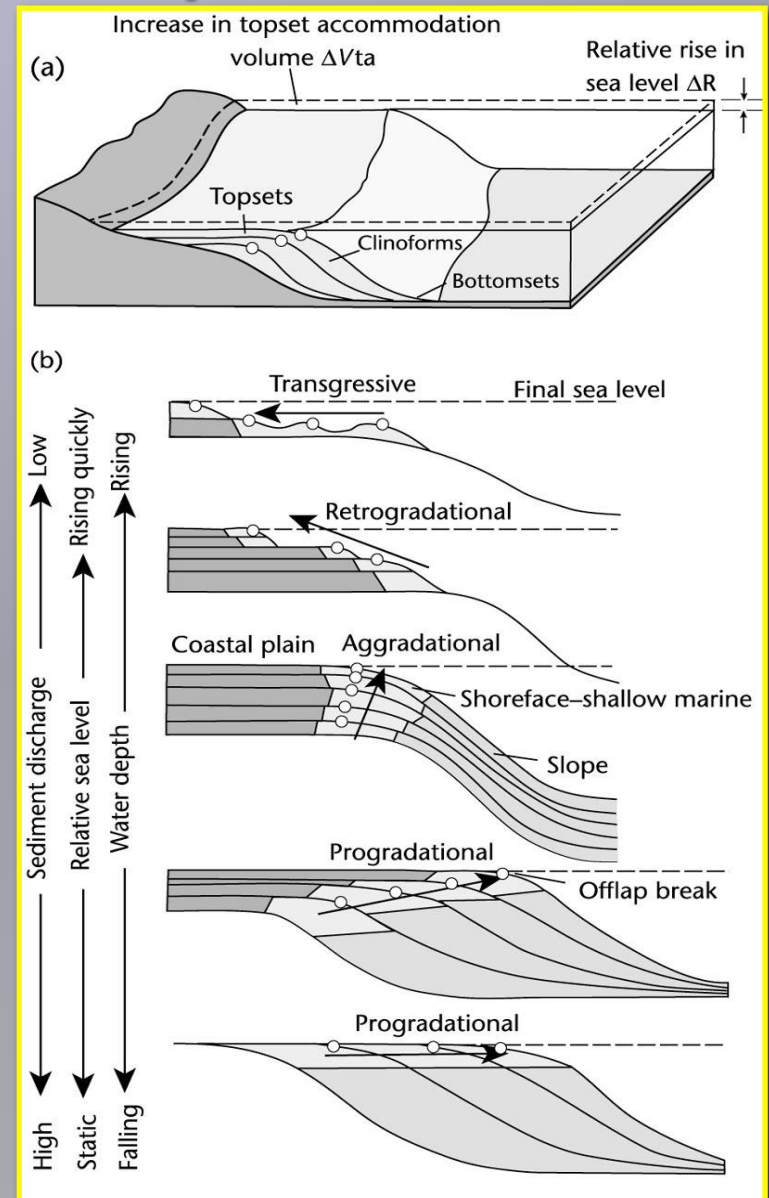


# Architettura delle unità deposizionali

Il rapporto tra creazione di spazio (per subsidenza tettonica oppure per innalzamento del livello del mare) e fornitura di sedimento determina la geometria a grande scala degli accumuli sedimentari.

l'innalzamento del livello del mare aumenta lo spazio disponibile (accommodation space) per l'aggradazione dei topsets;

il rapporto tra fornitura di sedimento e spazio disponibile determina il tipo di pattern stratigrafico: trasgressivo, retrogradazionale, aggradazionale, progradazionale.



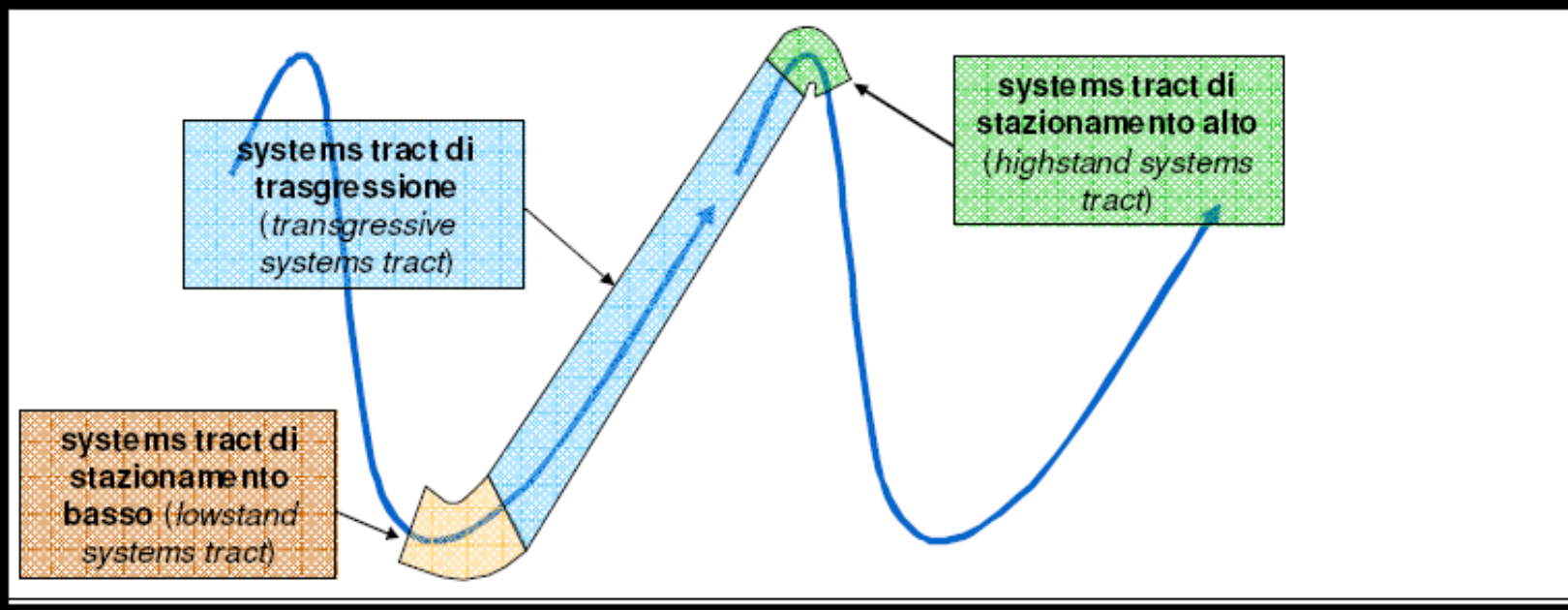
# Sequenza deposizionale

L'unità fondamentale della Stratigrafia Sequenziale è la SEQUENZA DEPOSIZIONALE

Una SEQUENZA DEPOSIZIONALE è data da una successione di sedimenti, geneticamente legati tra di essi, che sono compresi alla base ed al tetto da superfici di discordanza e che rappresentano un ciclo completo di oscillazione del relativo livello del mare.

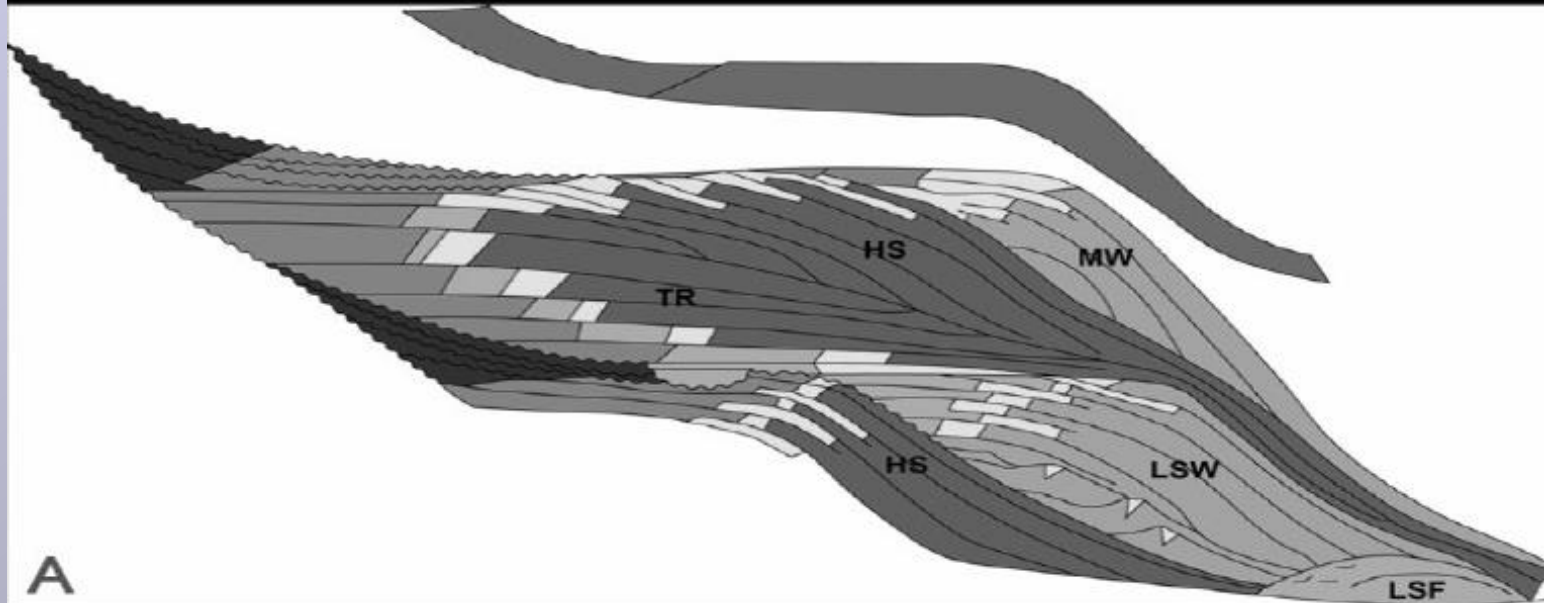
Una SEQUENZA DEPOSIZIONALE può essere suddivisa in **systems tract**.

Ogni **systems tract** (composto a sua volta da sistemi deposizionali) si forma durante un preciso momento della curva di oscillazione relativa del livello del mare.

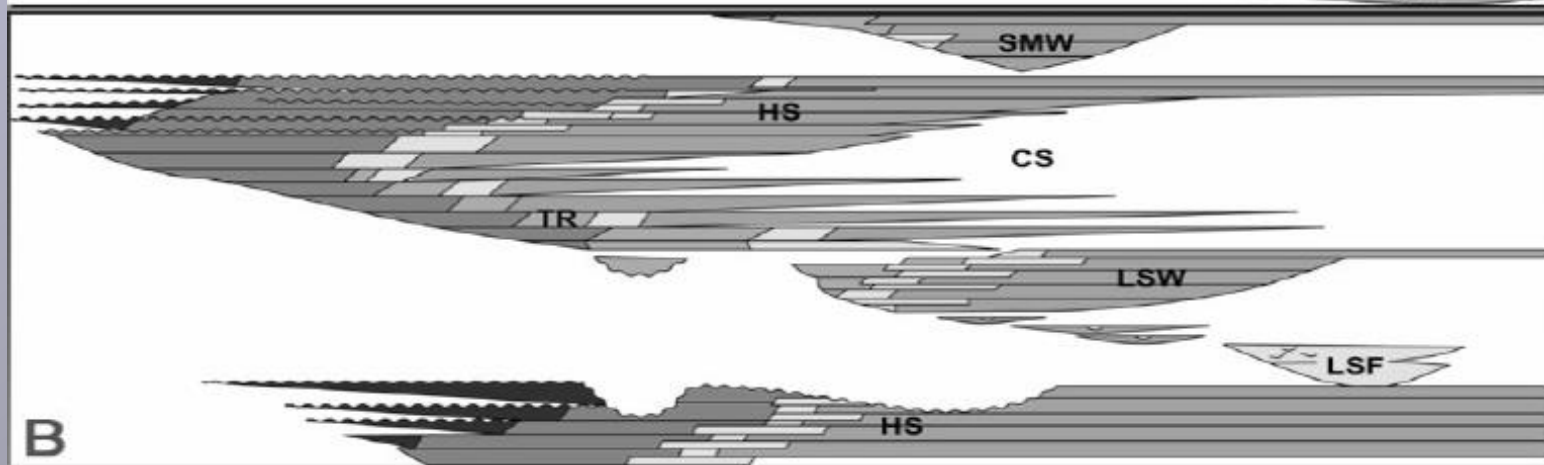


# Sequenze deposizionali

Sovrapposizione di più sequenze e diagrammazione spazio-tempo



A



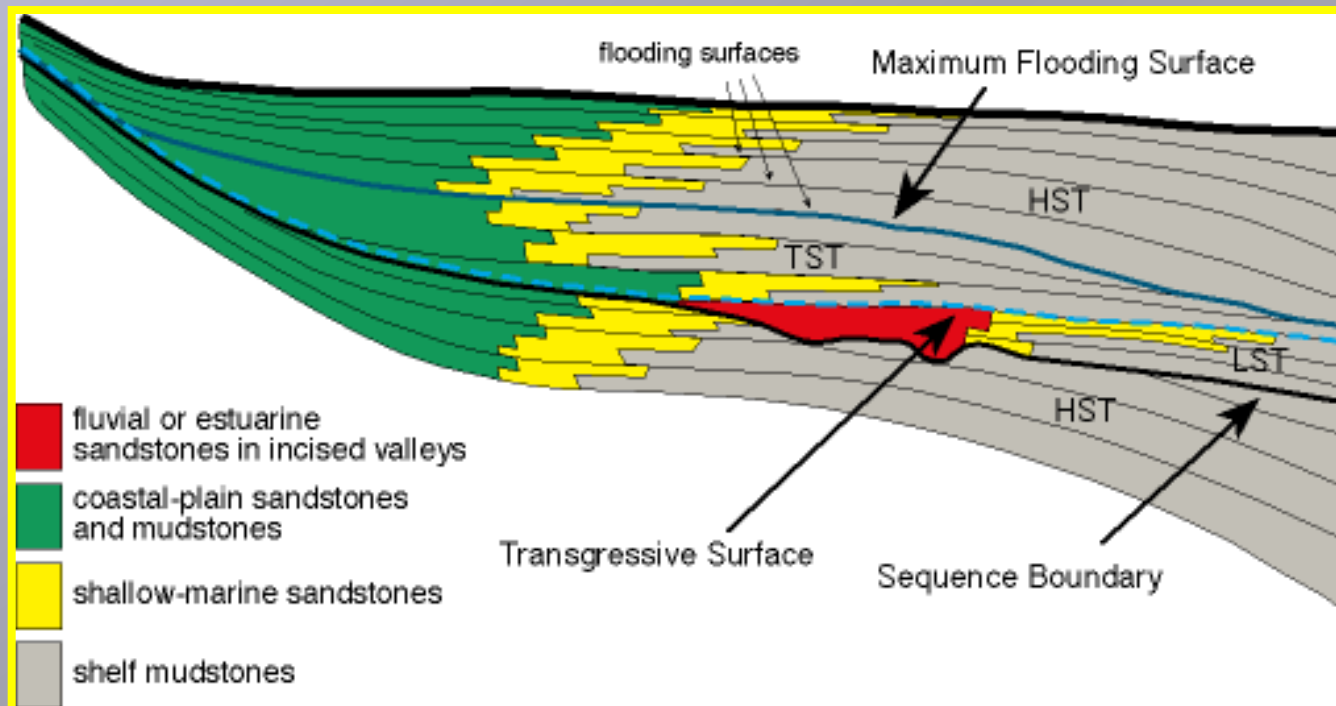
B



# Sequenze deposizionali

## Sequence

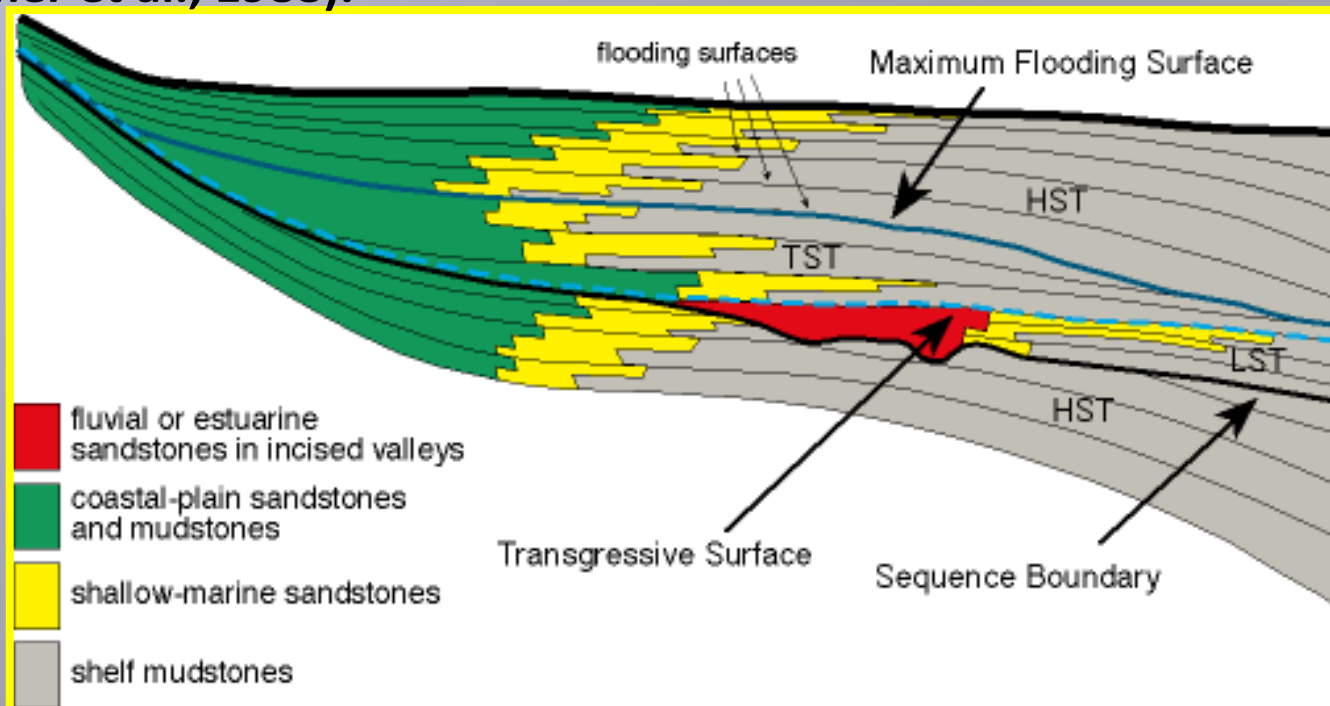
A relatively conformable succession of genetically related strata bounded at its top and base by unconformities and their correlative conformities (Vail, et al., 1977). It is composed of a succession of genetically linked deposition systems (systems tracts) and is interpreted to be deposited between eustatic-fall inflection points (Posamentier, et al., 1988).



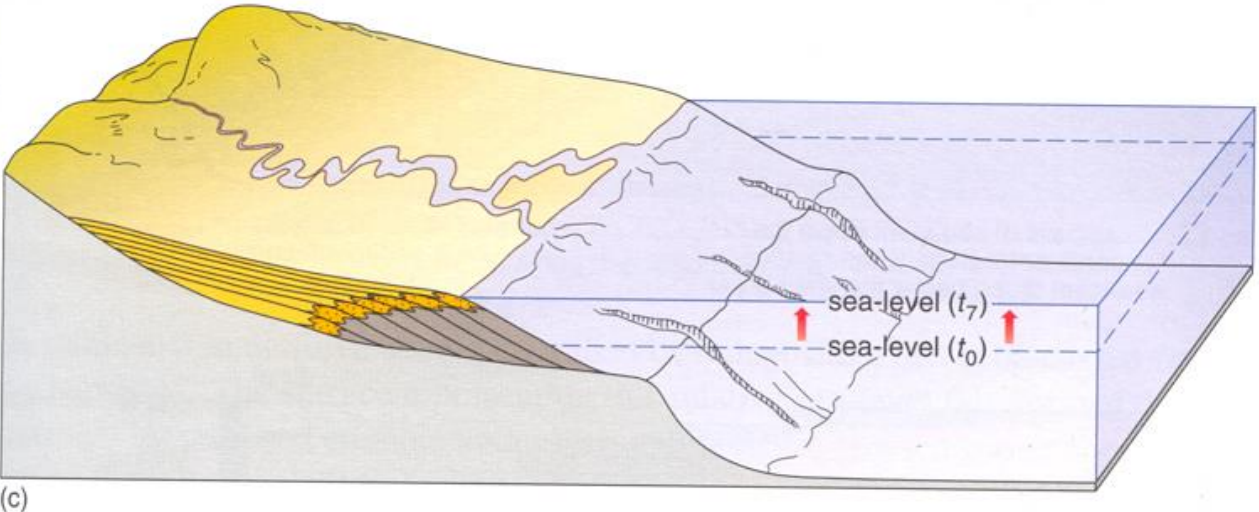
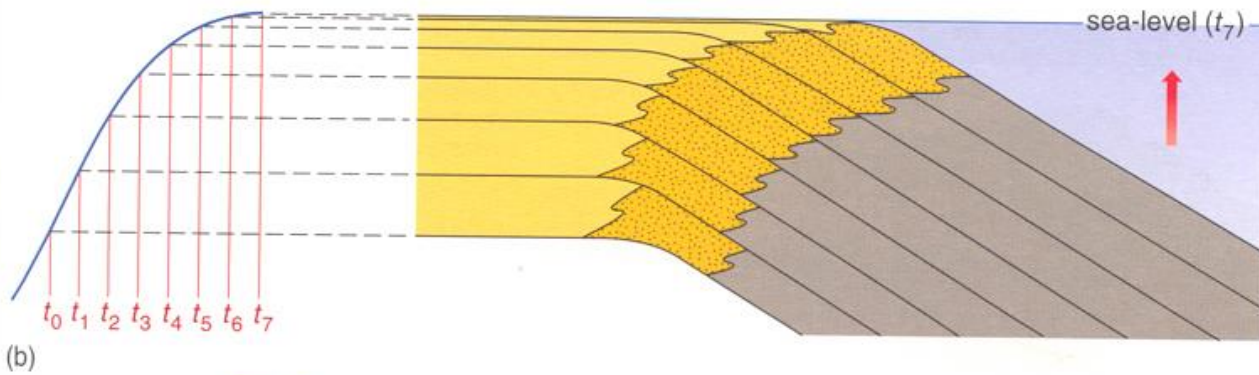
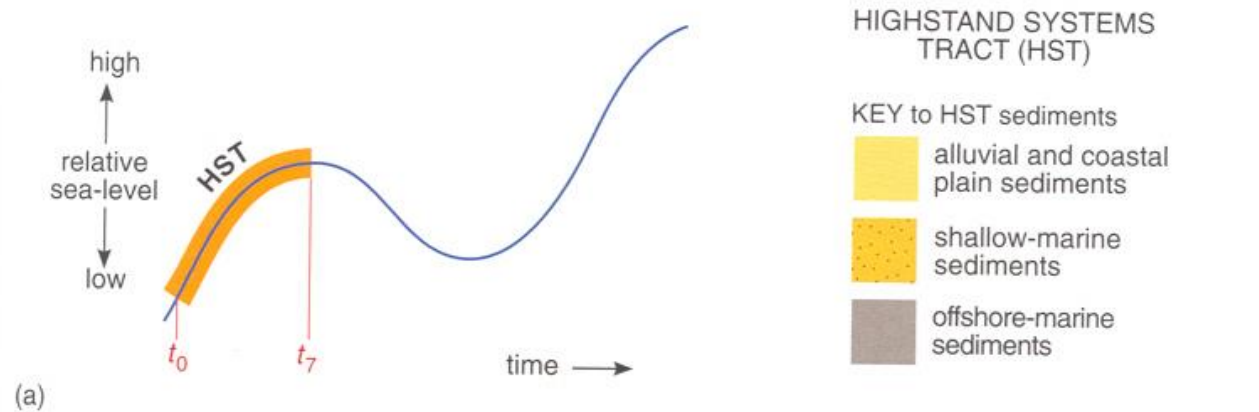
# Sequenze deposizionali

## System Tracts

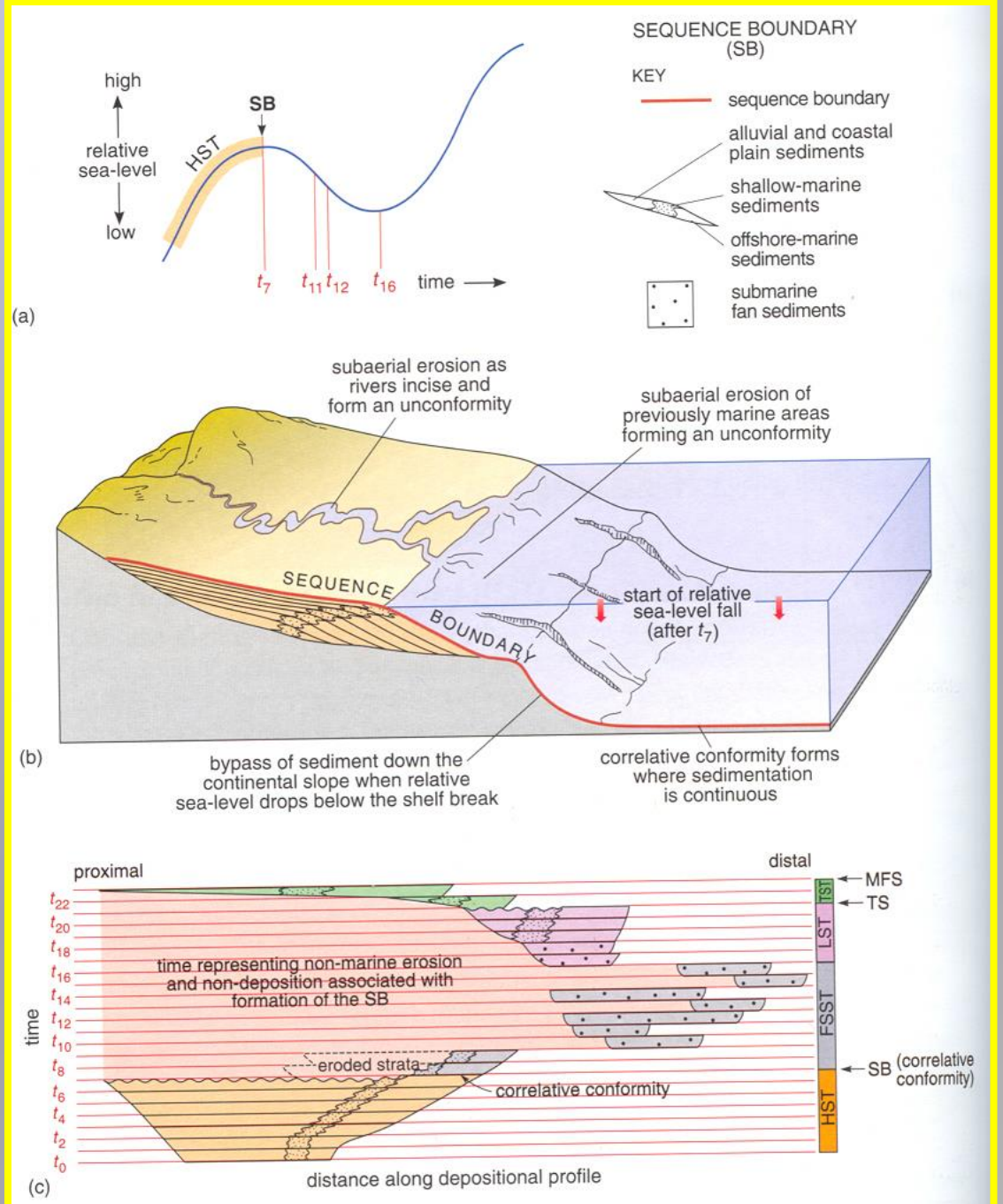
Genetically associated stratigraphic units that were deposited during specific phases of the relative sea-level cycle (Posamentier, et al, 1999). These units are represented in the rock record as three-dimensional facies assemblages. They are defined on the basis of bounding surfaces, position within a sequence, and parasequence stacking pattern (Van Wagoner et al., 1988).



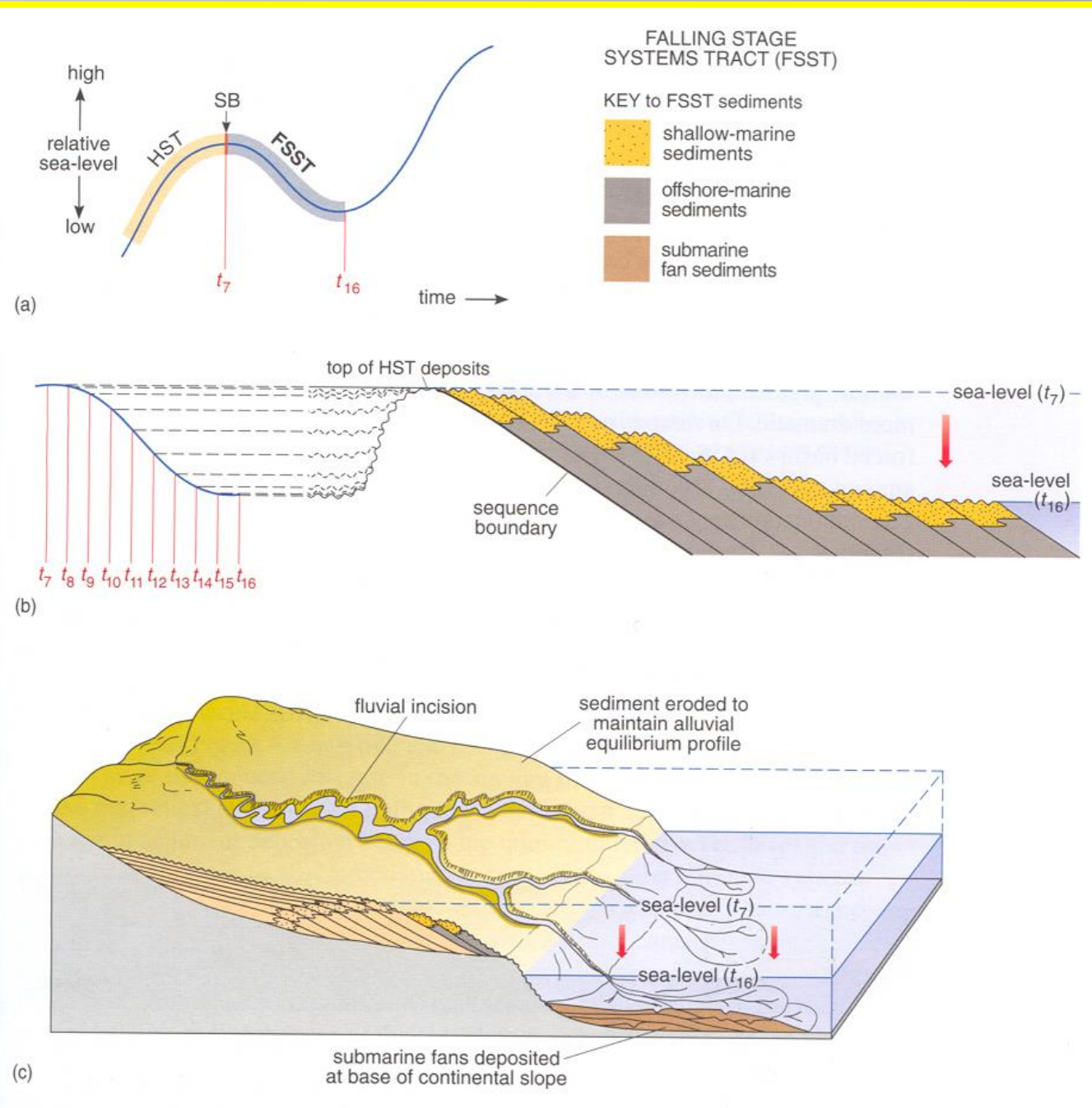
# Highstand System Tract (HST)



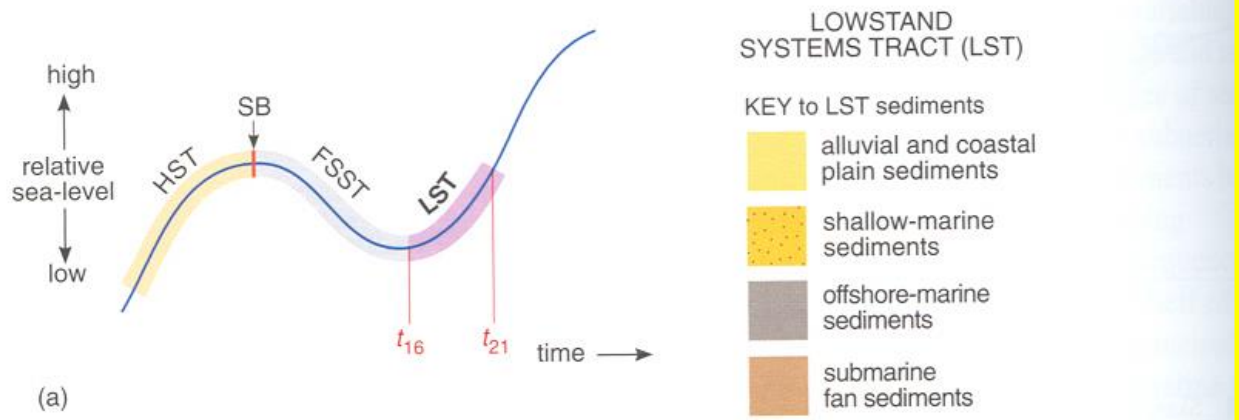
# Sequence Boundary (SB)



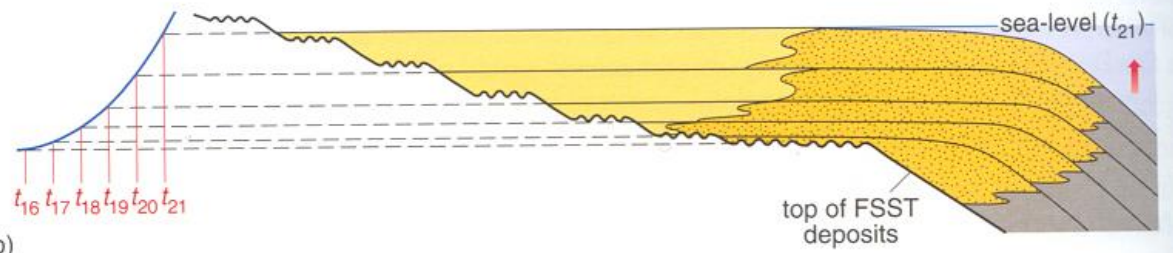
# Falling Stage System Tract (FSST)



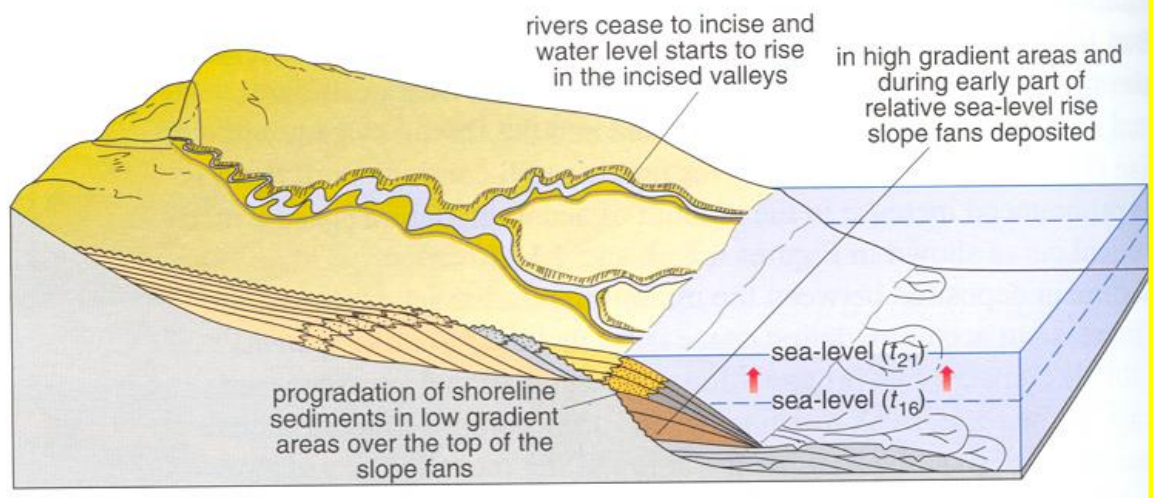
# Lowstand System Tract (LST)



(a)

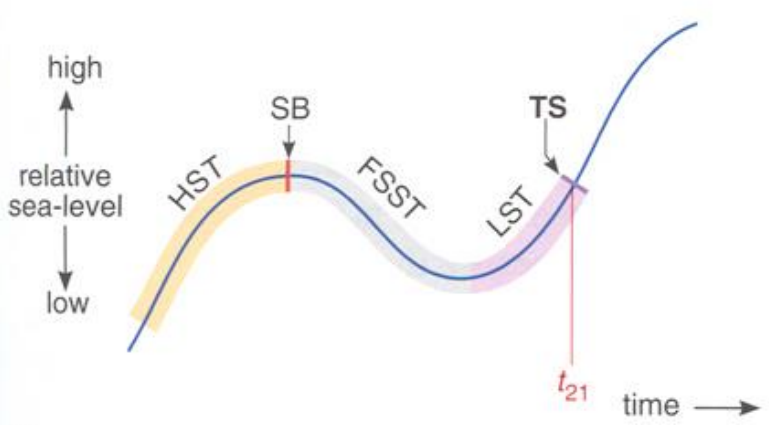


(b)

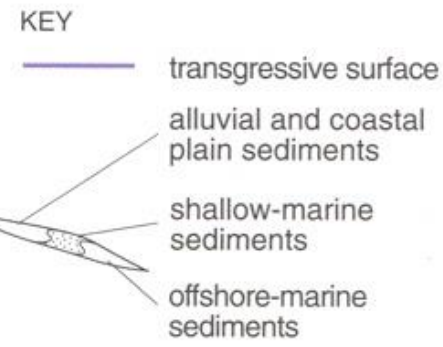


(c)

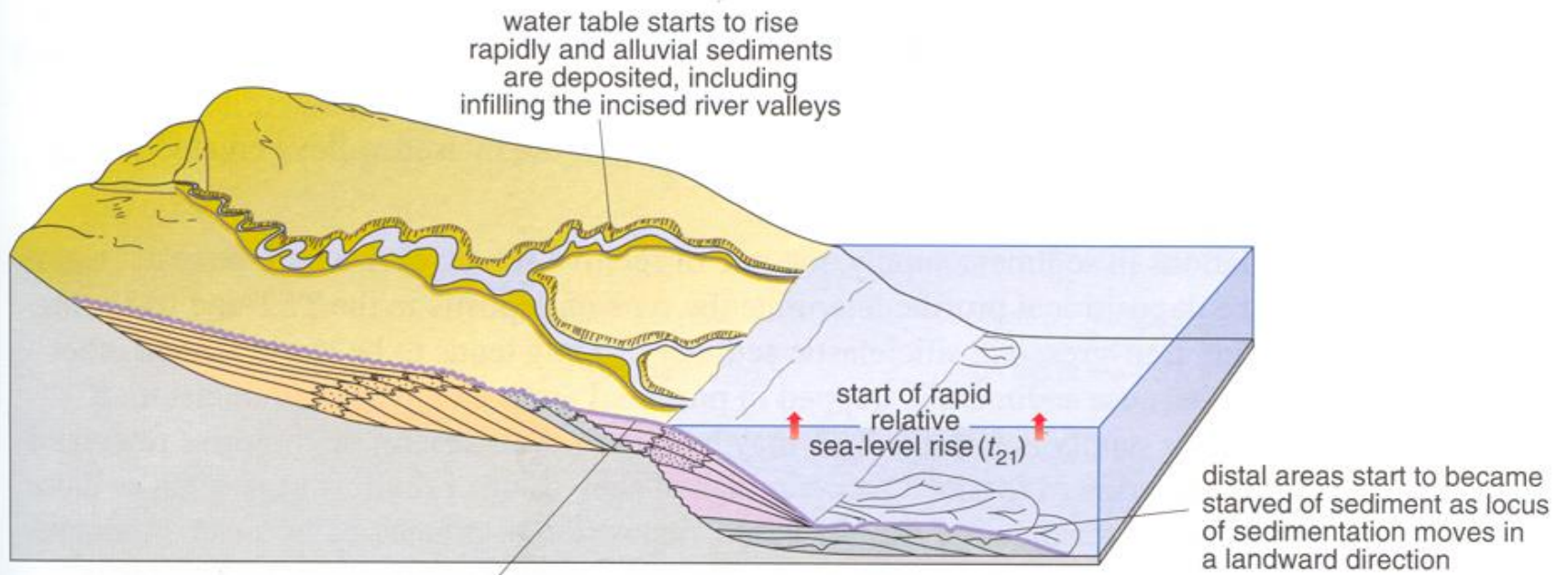
# Trangressive Surface (TS)



## TRANSGRESSIVE SURFACE (TS)



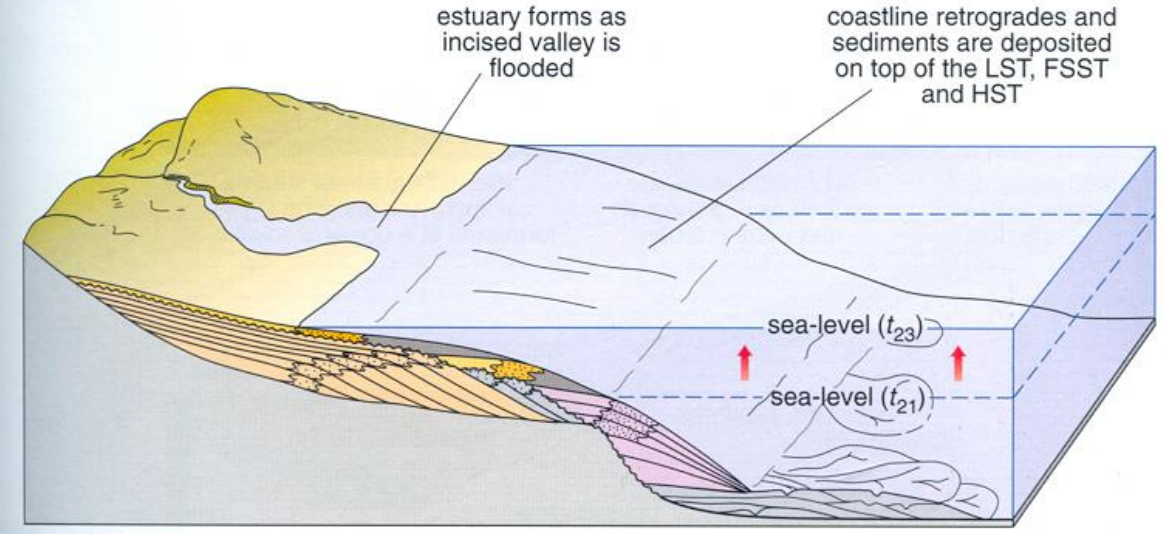
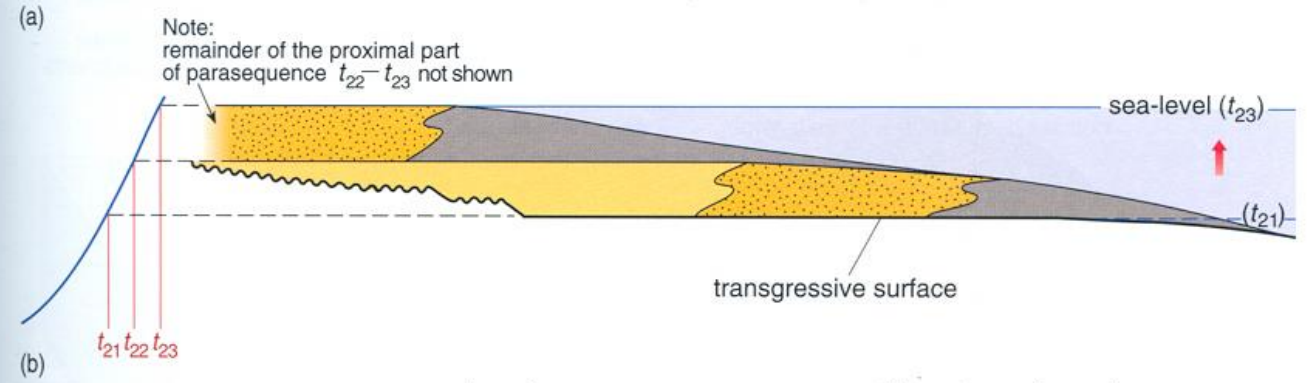
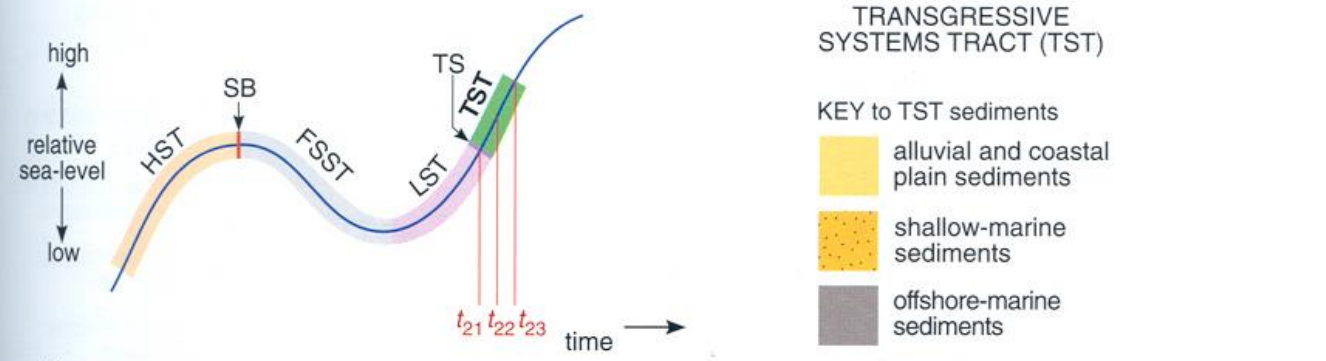
(a)



(b)

first significant marine flooding surface

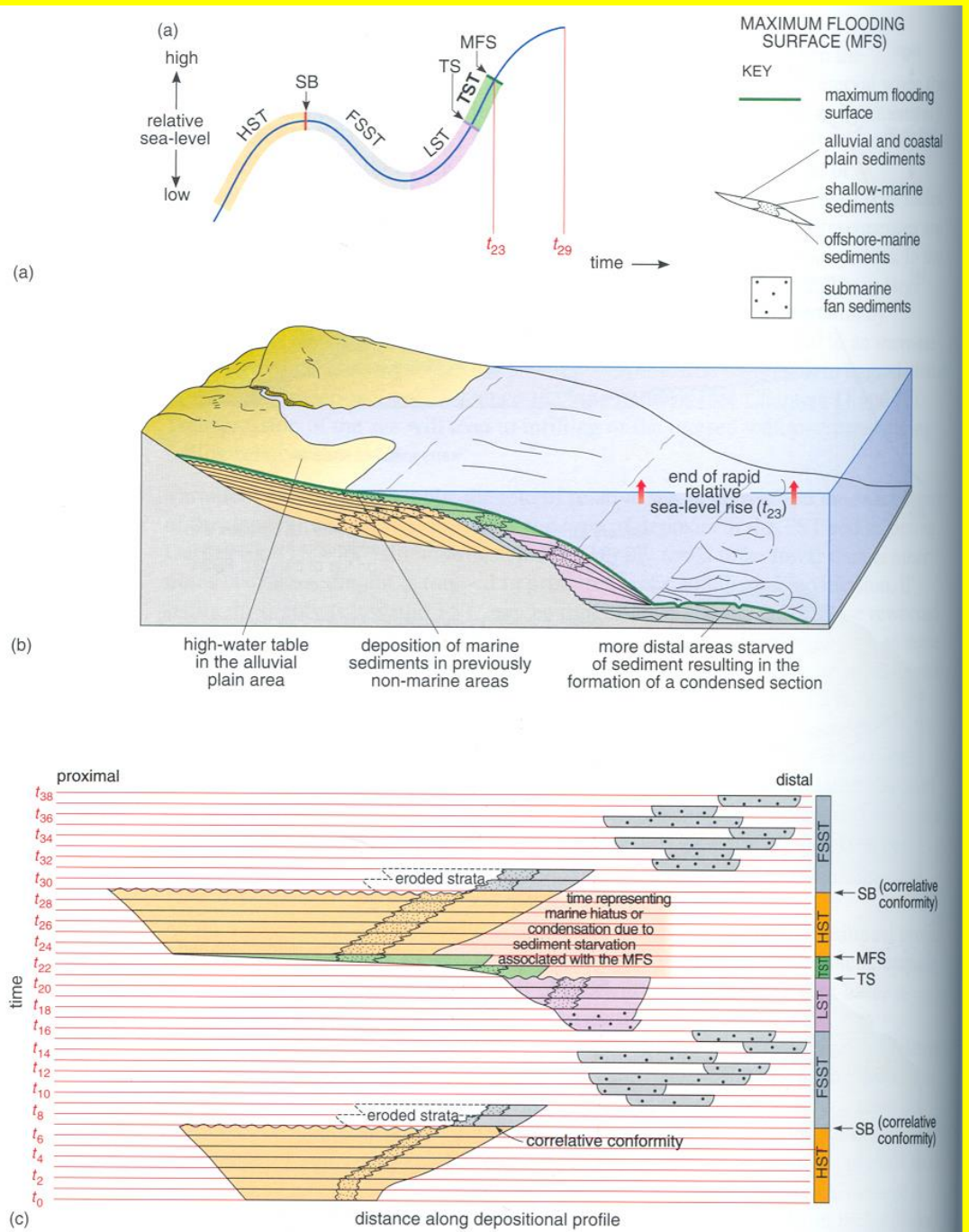
# Transgressive System Tract (TST)



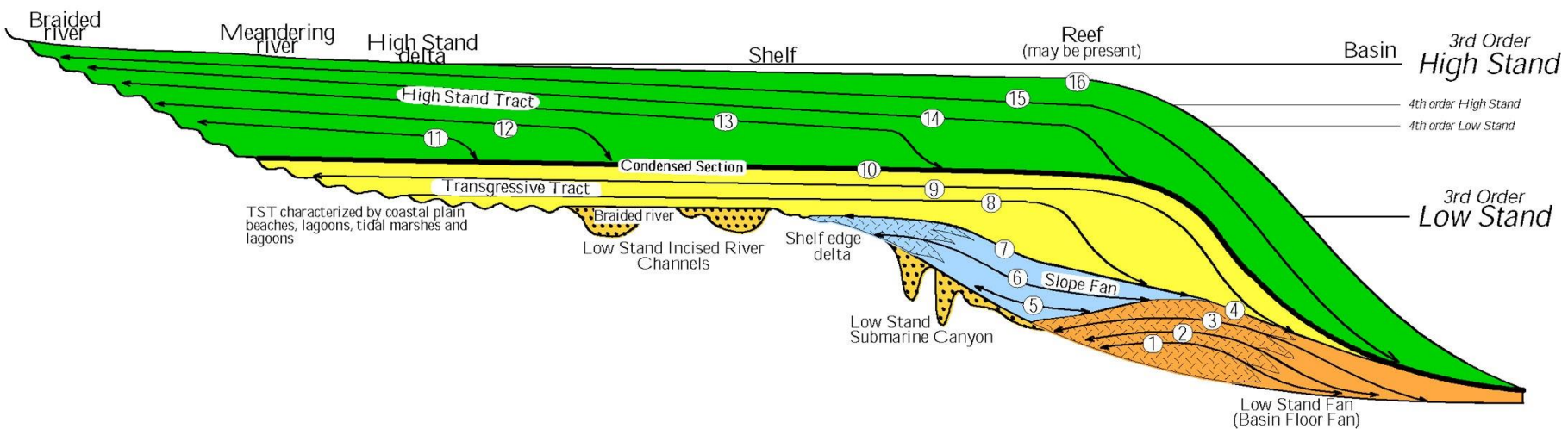
(c)



# Maximum Flooding Surface (MFS)



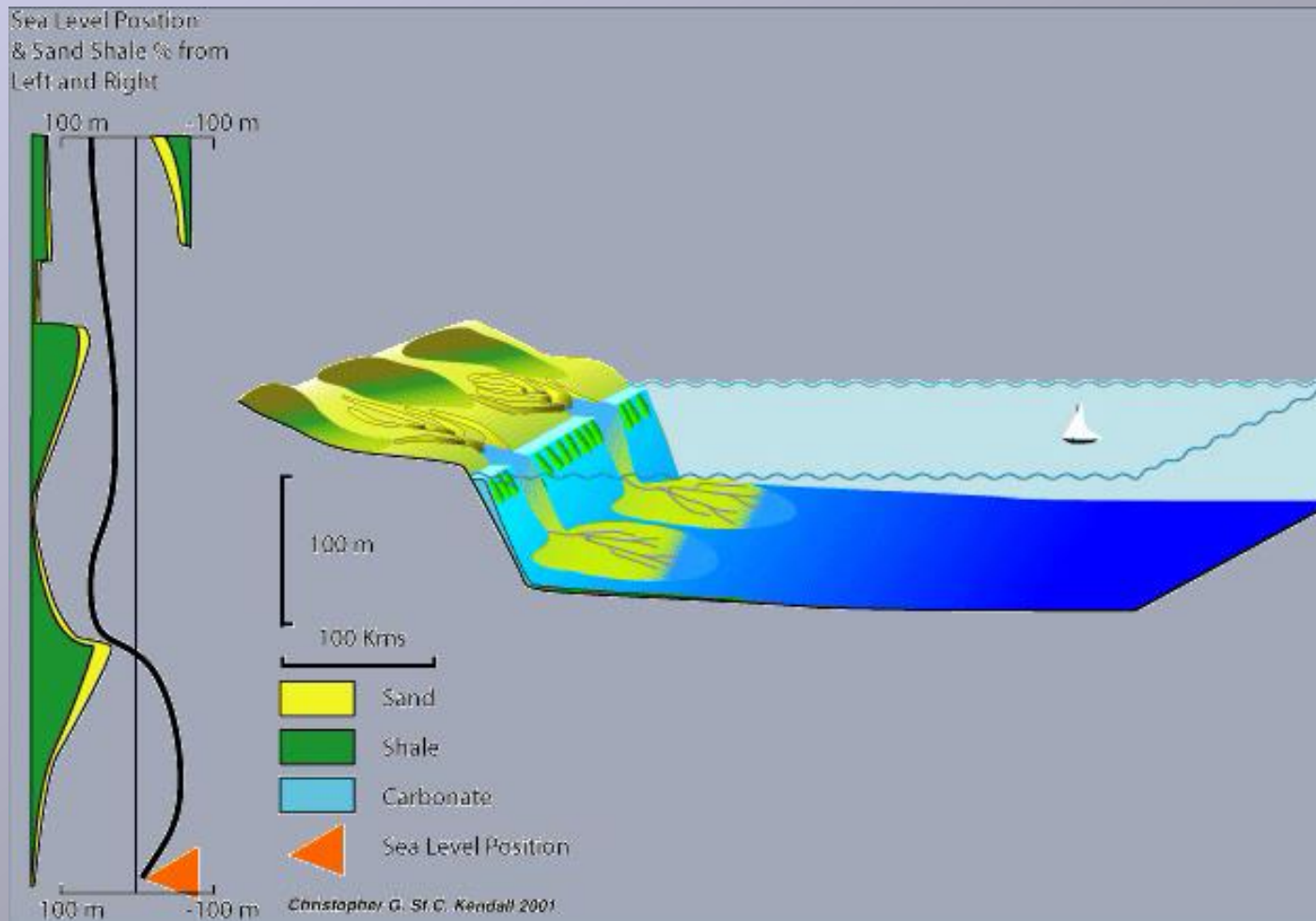
# SEQUENCE DEPOSITS IN A EUSTATIC SEA LEVEL CYCLE



- CONDENSED SECTION
- HIGH STAND TRACT
- TRANSGRESSIVE SYSTEMS TRACT
- LOW STAND TRACT - SLOPE SYSTEM
- LOW STAND TRACT - BASIN FLOOR FAN

*Numbered lines are seismic reflection that end in terminations (arrow points). The reflection lines are numbered in order of their deposition.*

# Esempi (“cartoni animati”)



# **Riconoscere le parti della sequenza**

## **Sequence boundaries (SB)**

**Sono dovute a forti abbassamenti del livello marino e possono essere associate a erosione.**

**Si possono riconoscere grazie a gap stratigrafici e a differenze paleoambientali a cavallo delle SB.**

**Periodi di massima regressione possono essere marcati da assenza di fossili.**

**Faune rimaneggiate a causa dell'erosione sono comuni sopra alle SB.**

# Riconoscere le parti della sequenza

## Lowstand System Tract (LST)

Sono caratterizzati da sedimenti generati da scivolamenti gravitativi e da erosione fluviale nel margine continentale.

In una sezione completa in ambienti di progradazioni le facies e i microfossili tendono a passare da associazioni profonde ad associazioni di mare sempre più basso.

Sono comuni (micro)fossili rimaneggiati, sia di origine terrestre, sia marina.

# Riconoscere le parti della sequenza

## Superfici trasgressive (TS)

Separano Lowstand System Tract e Transgressive System Tract e sono caratterizzate da moderati rimaneggiamenti locali, a volte con formazione di hard-grounds.

Ne consegue una scarsa conservazione di microfossili e un possibile rimaneggiamento.

In ambiente costiero la presenza di tali superfici può essere evidenziata da un evidente passaggio da una (bio)facies terrestre a una marina.

# Riconoscere le parti della sequenza

## Trangressive system tracts (TST)

Sono sequenze retrogradanti che mostrano un progressivo approfondimento delle (bio)facies.

Le trasgressioni creano nuovi habitat costieri che vengono rapidamente colonizzati dalle specie opportunistiche; inoltre generano lagune e ambienti salmastri, che possono portare ad accumuli di torba e successivamente carbone.

La sedimentazione cala progressivamente durante le trasgressioni, e quindi diminuisce la torbidità: aumentano le faune che necessitano di acque limpide (organismi bentonici). Il calo della sedimentazione genera sequenze condensate con fossili ben conservati.

In ambienti bacinali si depositano sequenze condensate caratterizzate da abbondanti e differenziate microfaune planctoniche.

# Riconoscere le parti della sequenza

## Maximum flooding surface (mfs)

Separa un Transgressive system tract (TST) da una Highstand system tract (HST) e riflette la massima estensione delle condizioni marine.

Sezioni condensate sono presenti in vaste regioni.

Una mfs può corrispondere a un evento biostratigrafico ben caratterizzato, che può essere usato per correlazioni ad ampia scala.

Ai margini del bacino si osservano improvvisi influssi di faune planctoniche a bassa diversità con microfaune marine poco profonde o terrestri.

Nei bacini si depositano depositi molto ricchi di organismi planctonici in condizioni di quasi totale assenza di apporti clastici.



# Riconoscere le parti della sequenza

## Highstand system tracts (HST)

Un sistema progradante è caratterizzato da sequenze di biofacies via via meno profonde.

Associazioni costiere sono influenzate da formazioni di delta, con rapida sedimentazione. In acque ricche di nutrienti, sono abbondanti organismi bentonici, sia epifaunali che infaunali; dinoflagellati e acritarchi sono abbondanti.

Se la progradazione continua fino al margine della piattaforma si verifica un trasporto di organismi terrestri e di acque basse nei bacini.

In sezione può essere possibile definire depositi di scarpata in periodi di highstand grazie alla progressiva aumento di organismi bentonici di acqua bassa e al graduale declino di specie planctoniche.

Nei bacini la scarsa sedimentazione genera depositi condensati, simili a quelli dei TST.

# Sistemi silicoclastici e carbonatici

La sedimentazione avviene con modalità molto differenti nei sistemi silicoclastici e in quelli carbonatici.

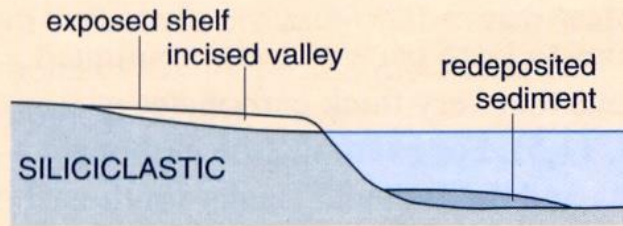
Nei sistemi carbonatici si ha un accumulo progressivo di resti di scheletri organici (gusci, organismi costruttori, microrganismi, ...) e di loro frammenti in ambiente poco profondo.



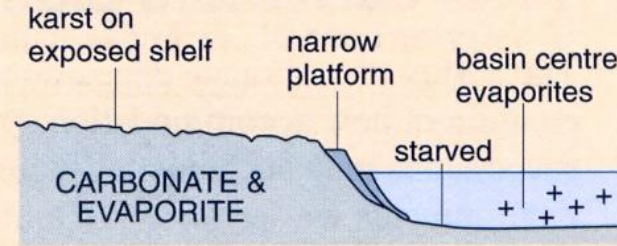
Grande Barriera Corallina (Australia)

# Sistemi silicoclastici e carbonatici

## Falling Stage Systems Tract (FSST)

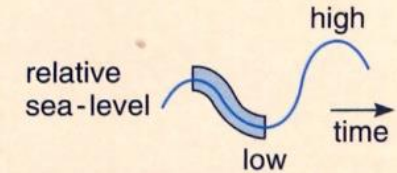


- Sea-level falls below shelf break and shelf is exposed.
- Incised valleys form.
- Sediment by-passes shelf via incised valleys; submarine fans deposited.



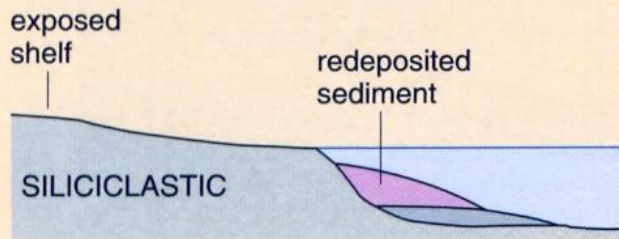
- Sea-level falls below shelf break and shelf is exposed.
- Solution processes erode exposed limestones of previous highstand to produce karst topography; little sediment supplied to basin.
- Small fringing platforms may develop.
- Evaporites may form in the deep-water basin if area is partially cut off from open ocean.

### FALLING STAGE SYSTEMS TRACT

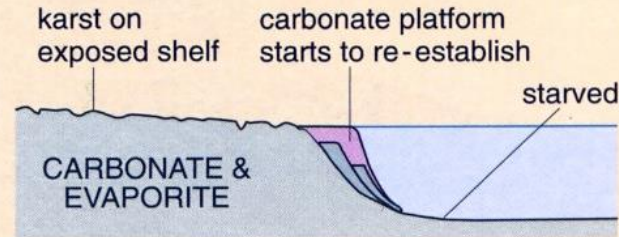


# Sistemi silicoclastici e carbonatici

## Lowstand Systems Tract (LST)

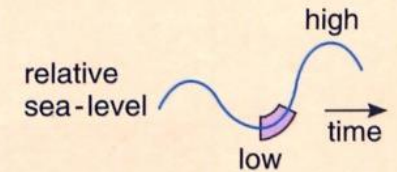


- Shelf exposed
- Incised valleys stop forming
- Sediment by-passes shelf via incised valleys; slope fans deposited.



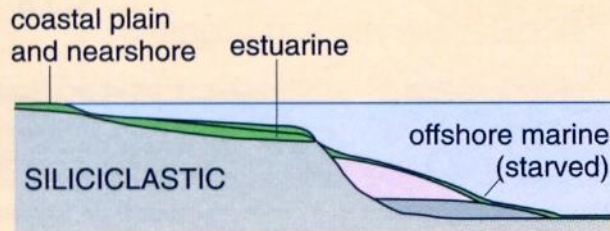
- Shelf exposed.
- Solution processes continue to erode exposed limestones of previous highstand to produce karst topography; little sediment supplied to basin.
- Carbonate deposits build up to sea-level.

### LOWSTAND SYSTEMS TRACT

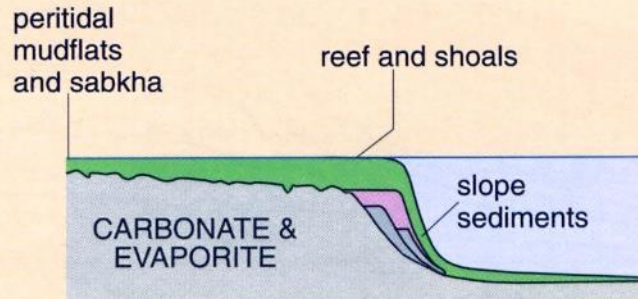


# Sistemi silicoclastici e carbonatici

## Trangressive Systems Tract (TST)

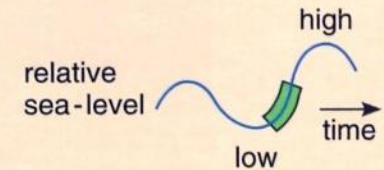


- Incised valleys become estuaries and are filled with sediment.
- Rapid landward retreat of shorelines results in sediment starvation over most of the shelf, and the basin.



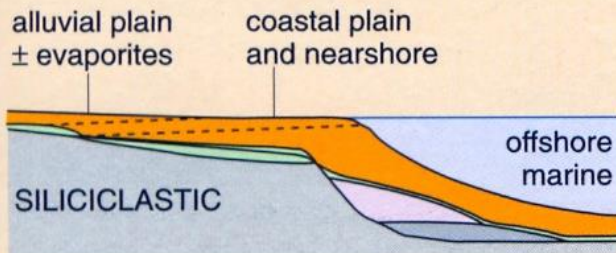
- Shelf is flooded, carbonate deposition may keep pace with rise.
- Carbonate factories achieve their maximum production.
- Slope sediments accumulate, either as reef debris, or sediments swept off the shelf during storms.
- Evaporites may form in sabkha environments associated with peritidal mudflats.

### TRANSGRESSIVE SYSTEMS TRACT

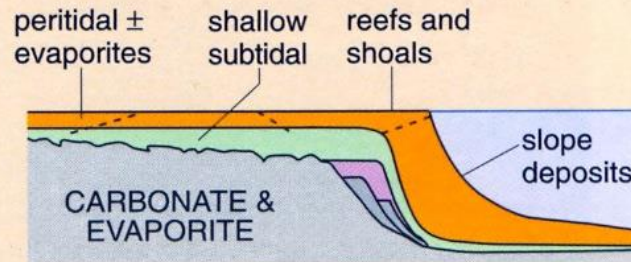


# Sistemi silicoclastici e carbonatici

## Highstand Systems Tract (HST)

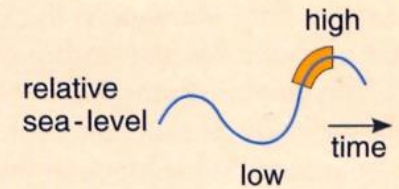


- Shoreline-related sediments aggrade, then prograde as the rate of sea-level rise decreases.



- Accommodation space is filled with shallow-water carbonates. High productivity on the shelf results in reefs or sand shoals prograding over resedimented slope deposits.

### HIGHSTAND SYSTEMS TRACT

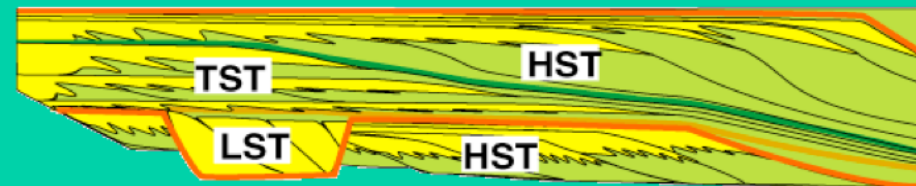


# Litostratigrafia e stratigrafia sequenziale




*Correlations based on Lithology  
- Lithostratigraphic*



*Correlations based on Bounding Surfaces  
- Allostratigraphic*



Key

-  mfs (Maximum Flooding surface)
-  TS (Transgressive Surface)
-  SB (Sequence Boundary)
- LST Lowstand System Tract
- TST Transgressive System Tract
- HST Highstand System Tract