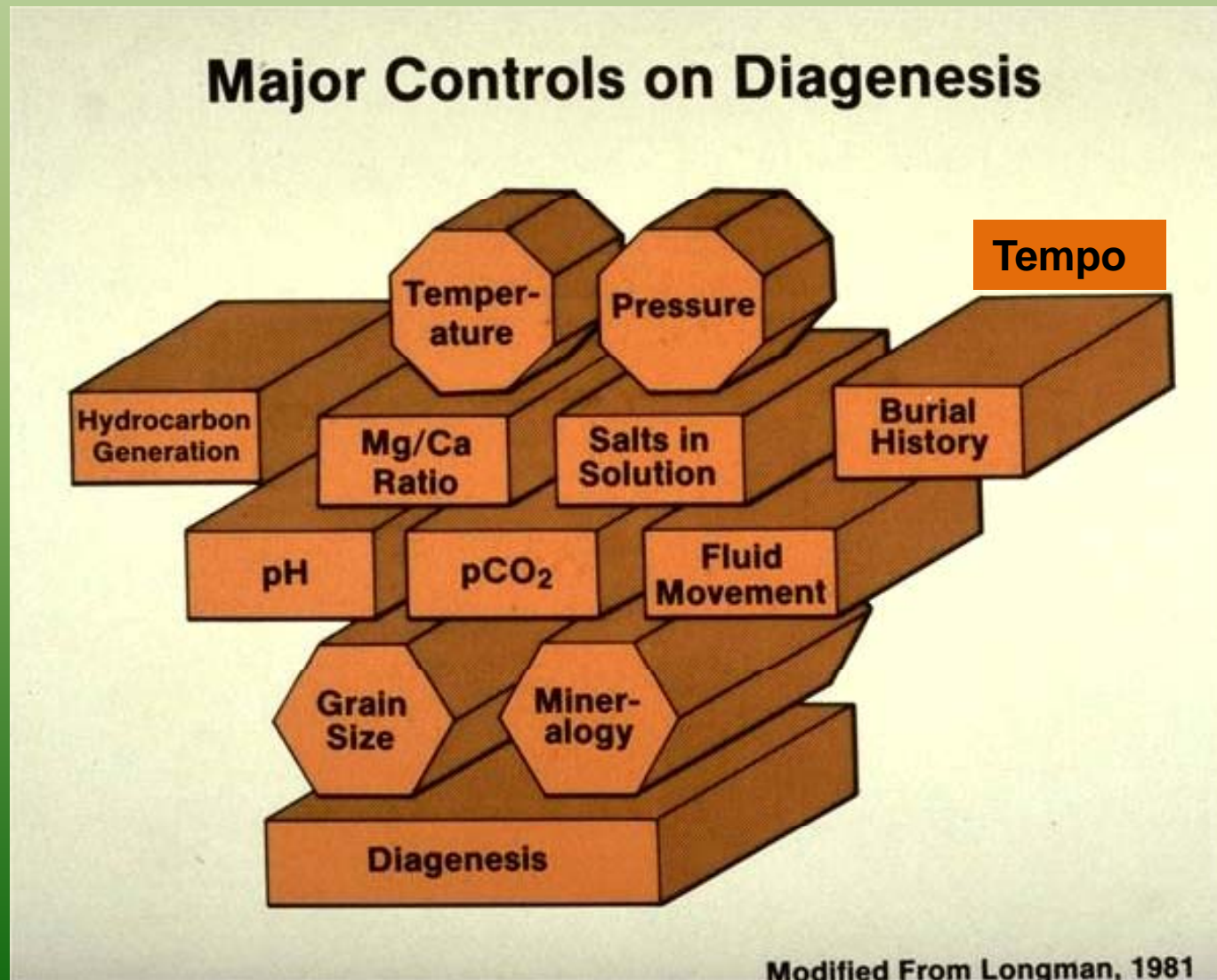


CONCETTI DI BASE PER COMPRENDERE L'EVOLUZIONE DIAGENETICA DELLE ROCCE SEDIMENTARIE

Quali sono i fattori che controllano i processi, reazioni chimiche che modificano un sedimento-roccia carbonatica durante la sua storia di seppellimento (evoluzione diagenetica)?



Perché le reazioni-processi diagenetici avvengono ?

1. I meccanismi fondamentali che guidano le reazioni diagenetiche sono i **cambiamenti**, in uno o più ambienti, del **chimismo dei fluidi interstiziali, della temperatura e della pressione**.

Infatti è da tempo noto dagli studi pedogenetici che è la quantità della pioggia che controlla i tassi di alterazione delle rocce. Ad esempio in climi secchi la formazione di saprolite (prodotto dell'alterazione prevalentemente chimica di substrati consolidati o meno, è privo di struttura ma può presentare figure pedogenetiche) è di 5 mm per 1000 anni pari a un ordine di grandezza inferiore per un'equivalente formazione in clima umidi (50 mm in 1000 anni).

E' la presenza di minerali instabili o metastabili nelle acque interstiziali, caricate con specie dissolte, che definisce il sistema diagenetico.

In mancanza di fluidi interstiziali gli affetti diagenetici cessano o sono poco significativi. L'insieme dei minerali sedimentari reagisce attraverso le interazioni acqua-sedimento verso un equilibrio nel contesto geochimico dell'ambiente.

La diagenesi è quindi un'insieme di processi, come la storia di seppellimento di un bacino sedimentario si evolve, anche i fluidi dei pori si modificano con il tempo e si formano le strutture e tessiture diagenetiche.

- 2) Il **tempo** è una componente importante nelle reazioni diagenetiche: le reazioni della **diagenesi precoce** sono in genere rapide (es la cementazione marina di carbonati, arenarie avviene in pochi decenni).

Alcune **modificazioni mineralogiche di silicoclastici avviene ancora durante la fase di trasporto e deposizione**. Es l'arrossamento delle sabbie desertiche avviene in 5.000-20000 anni e i suoli lateritici maturi e le calcrete si formano in 10.000 max 1.000.000 di anni.

Per la **diagenesi tardiva o da seppellimento** i tempi sono invece lunghi (anche milioni di anni). I

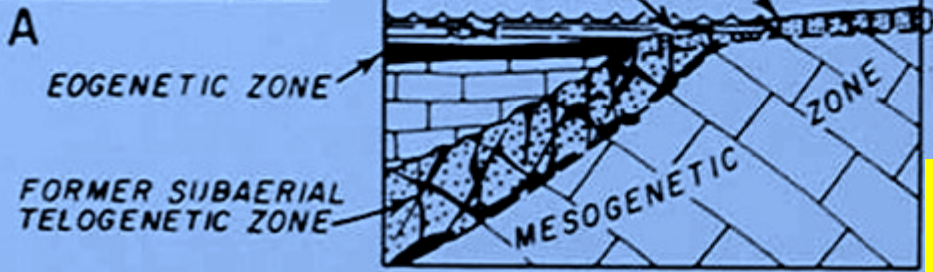
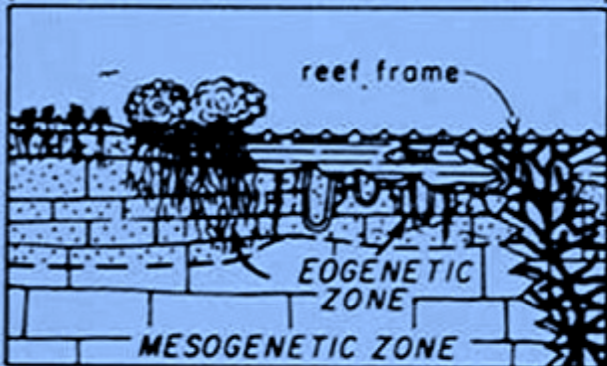
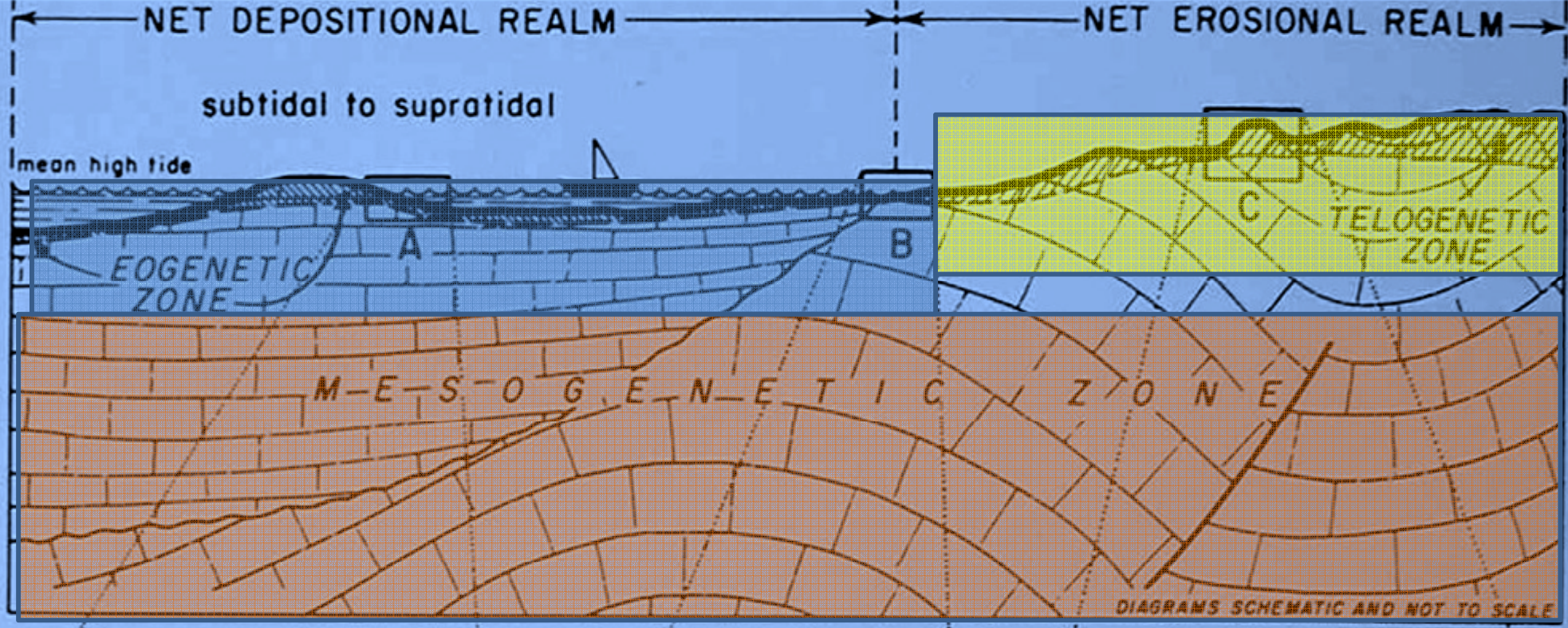
In genere **l'aumento di temperatura e pressione aumenta le velocità delle reazioni chimiche.**

- **I sistemi diagenetici sono una funzione della chimica termodinamica e cinetica.**
- **I diagrammi di fase sono utili per predire le direzioni delle reazioni diagenetiche (vedi nozioni petrografia del metamorfico) ma sono meno efficienti per la previsione dei cambiamenti geologici nel chimismo dei fluidi interstiziali.**
- **I calcoli della energia libera sono utili per stabilire i sistemi stabili e metastabili e la stabilità dei minerali.** Tuttavia nella diagenesi precoce e con basse temperature vi sono differenti fenomeni diagenetici che prevalgono sui controlli termodinamici che risultano più incisivi nella diagenesi da seppellimento.
- **In diagenesi possono essere molto importanti (come fattori condizionanti le reazioni tra minerali) i tassi delle reazioni chimiche e del trasporto.**

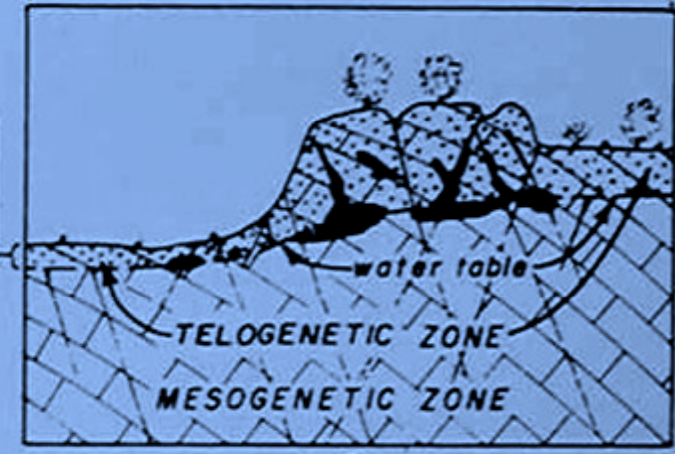
Terminologie degli “Ambienti” o “regimi “diagenetici

Possiamo distinguere quattro principali "ambienti" diagenetici (Harwood, 1988):

1. **Penecontemporaneo (sindeposizionale)** - si riferisce ai processi diagenetici che si realizzano nell'ambiente deposizionale.
2. **Eogenetico (seppellimento iniziale)** - comprende le trasformazioni che avvengono in prossimità della superficie, a seguito della migrazione di fluidi connessi ai processi superficiali. Questo ambiente diagenetico è ulteriormente suddivisibile in base alla situazione nella quale vengono a trovarsi gli spazi porosi, che possono essere saturati dall'acqua (entro la zona freatica) oppure trovarsi al di sopra della zona freatica ed essere solo in parte riempiti d'acqua (zona vadosa).
3. **Mesogenetico (seppellimento)** - relativo ai fenomeni diagenetici che si realizzano durante il seppellimento profondo, lontano dalla zona di influenza dei processi superficiali.
4. **Telogenetico** - trasformazioni diagenetiche che avvengono dopo il sollevamento dei depositi, derivate comunemente da migrazioni di fluidi collegati a processi superficiali.



weathering and solution depth ca. 1 meter to 100's of meters



skin to ca. 1 meter

Ambienti diagenetici in tipici contesti deposizionali dei carbonatici.

Le sorgenti dei principali fluidi diagenetici nei bacini profondi

Major Deep-Basin Fluid Sources

Connate water / "local" circulation

Surface-derived brine reflux

Uplift-related meteoric flow

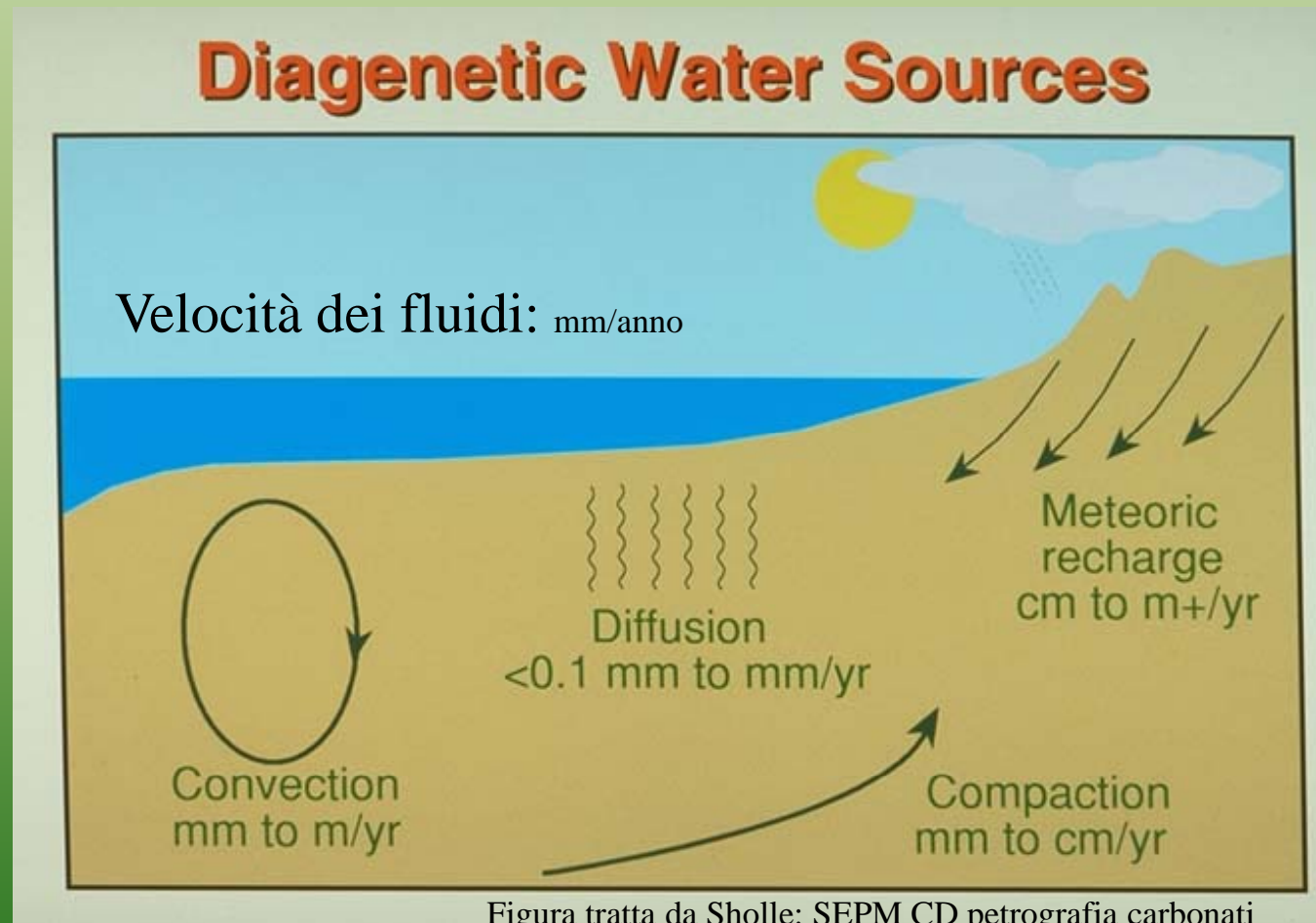
Episodic release of geopressure

I movimenti dei fluidi diagenetici

La maggior parte dei **processi diagenetici** è dovuto a cambiamenti nelle proprietà chimico-fisiche dei **fluidi interstiziali** presenti sin dalla diagenesi precoce (acque connate) oppure che **possono migrare attraverso la permeabilità** (fluidi e brine di varia natura e salinità) **avvezione e diffusione**. E' stato dimostrato (tramite la caratterizzazione geochemica dei fluidi) che la migrazione laterale dei fluidi di origine meteorico e continentale in un sistema di margine passivo può raggiungere anche i sedimenti del bacino oceanico (Pacifico orient. del Perù) distanti centinaia di Km dall'area sorgente.

Le principali **sorgenti dei fluidi diagenetici** sono:

- il ricarico meteorico dal continentale
- la convezione termica, diffusione dei fluidi interstiziali e da compattazione.
- la migrazione a seguito della compattazione.
- fluidi idrotermali di origine magmatica o vulcanica
- fluidi che derivano da mixing di precedenti fluidi diagenetici



Nei flussi **diffusivi**: i movimenti delle singole particelle, ioni avviene in tutte le direzioni e in maniera sparsa e molto lenta). Nei flussi **avvezzivi** i movimenti sono unidirezionali e dovuti a forze imposte (es flussi differenziati dovuti a compattazione)(vedi approfondimenti in lezione concetti teorici diagenesi).

I principali processi diagenetici: chimici, fisici e biologici

Essi possono interagire tra loro in varie fasi diagenetiche, sono fortemente condizionati dalla porosità-permeabilità dei sedimenti inconsolidati o litificati e modificano (aumentando o riducendo), anche notevolmente e in più fasi diagenetiche, i parametri originari.

- **I processi chimici** della diagenesi comprendono:
 - la precipitazione di minerali (porta alla cementazione dei depositi),
 - la soluzione di granuli instabili (crea porosità secondaria),
 - la sostituzione di granuli o minerali da parte di altri minerali,
 - la formazione di nuovi minerali (autigenesi).
- **I processi fisici** più importanti dipendono largamente dalla profondità di seppellimento e quindi sono più sviluppati durante la diagenesi tardiva;
 - la compattazione,
 - la soluzione per pressione,
- Tra **i processi biologici** sono importanti:
 - la bioturbazione (diagenesi precoce)
 - l'attività dei batteri (si associa in genere con i processi chimici e si attiva sia durante la diagenesi precoce sia in quella tardiva).

Porosità

I termini relativi alla porosità derivano principalmente da due pubblicazioni divenute classiche: Choquette e Pray (1970) e Schmidt, McDonald e Pratt (1977).

La porosità entro un sedimento può essere **primaria**, derivando dai vuoti originariamente presenti tra o entro i granuli, o **secondaria**, essendo il risultato di fenomeni di soluzione, contrazione o fratturazione avvenuti nel sottosuolo.

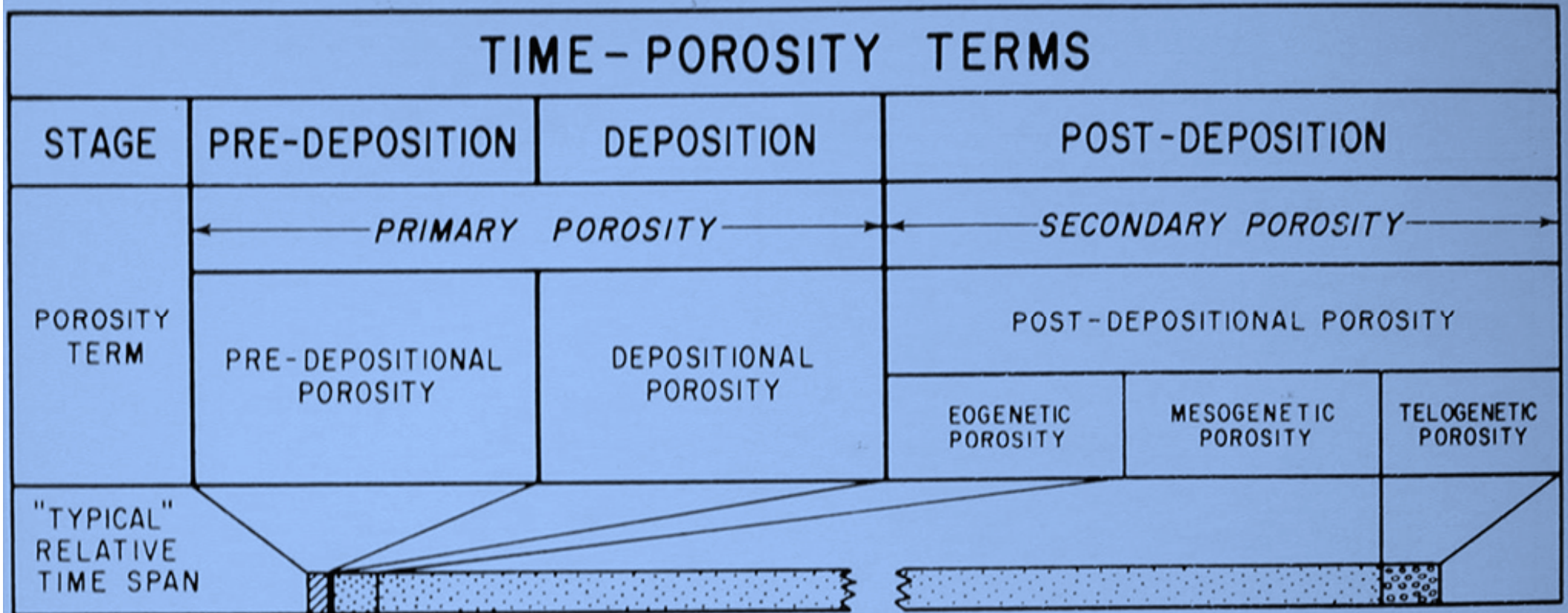
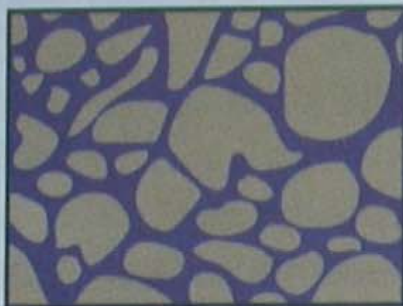


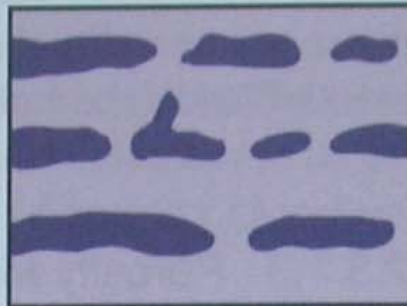
Diagramma delle variazioni della porosità in funzione del tempo:

- porosità primaria o deposizionale,
- porosità secondaria, acquisita durante la diagenesi eo, meso (attiva per tempi lunghi) e telogenica.

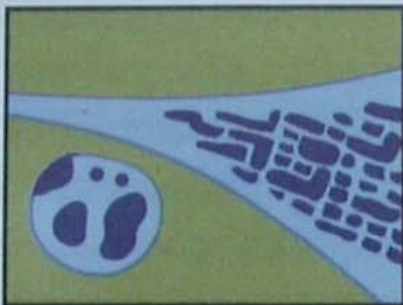
FABRIC - SELECTIVE



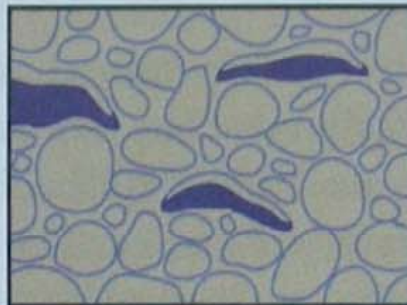
Interparticle BP



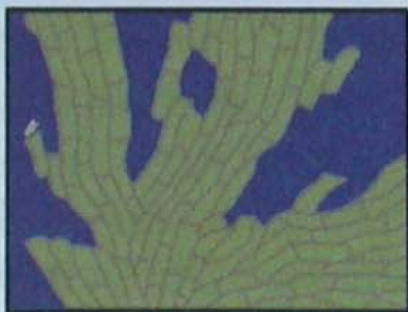
Fenestral FE



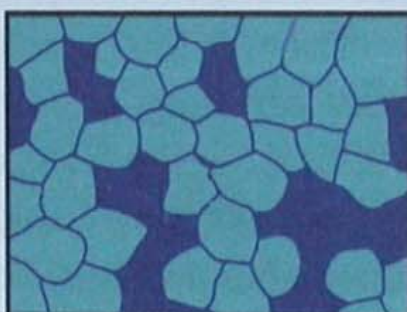
Intraparticle WP



Shelter SH



Growth framework GF

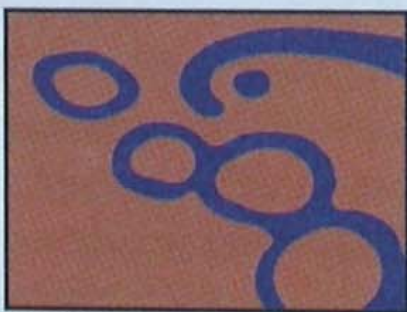


Intercrystal BC



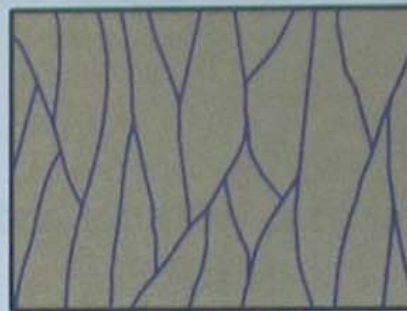
Porosity

Tipi di porosità di base suddivisi in base al controllo o meno da parte delle strutture primarie.



Moldic MO

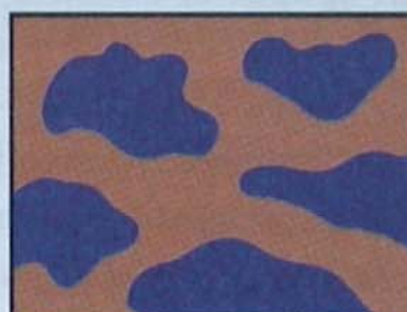
NON-FABRIC-SELECTIVE



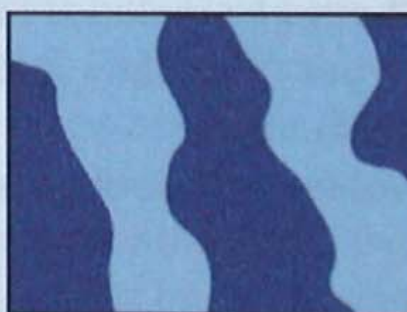
Fracture FR



Channel CH



Vug VUG

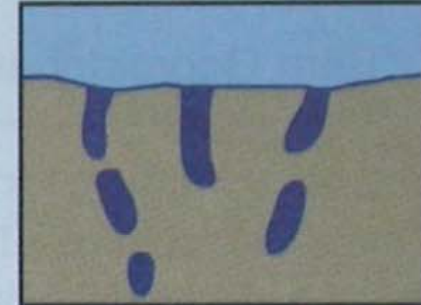


Cavern CV

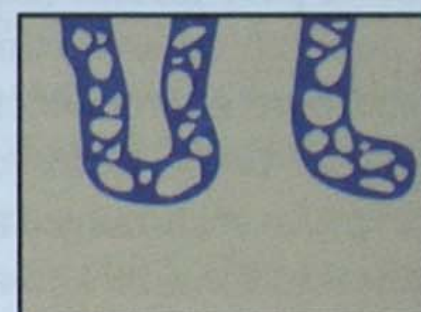
FABRIC-SELECTIVE OR NOT



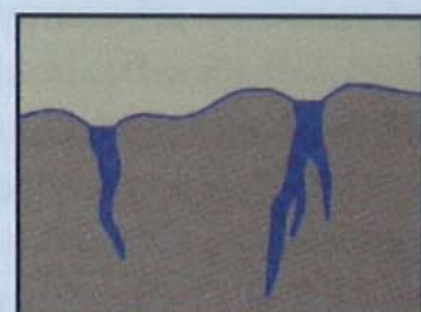
Breccia BR



Boring BO



Burrow BU

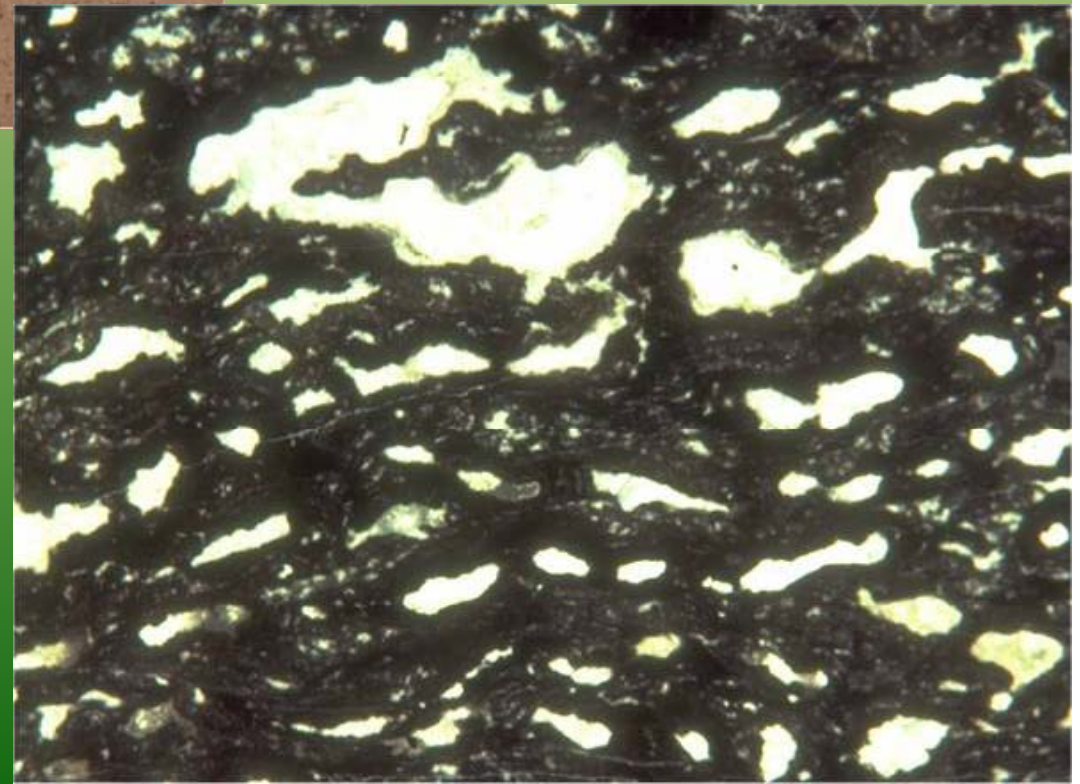


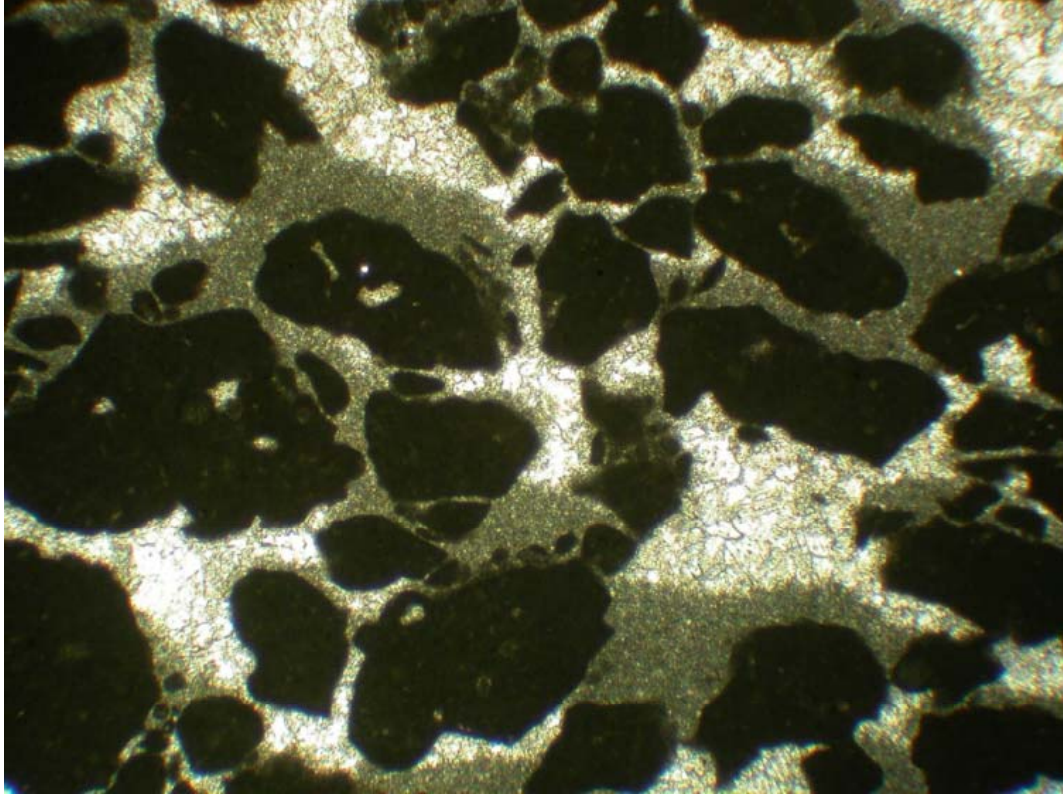
Shrinkage SK



Porosità primaria
intraparticellare di un
foraminifero bentonico
recente

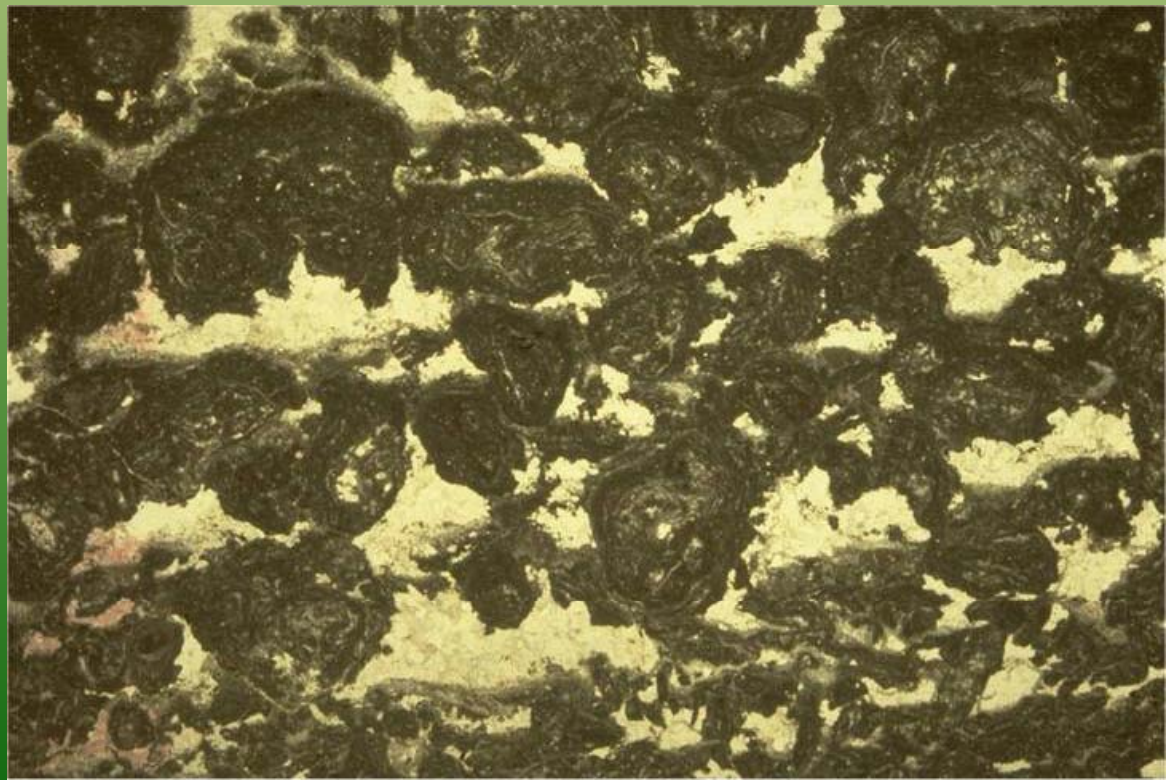
Porosità secondaria connessa a
possibili bolle gassose
intrappolate in un sedimento
microbialitico probabilmente
legate alla decomposizione
della sostanza organica



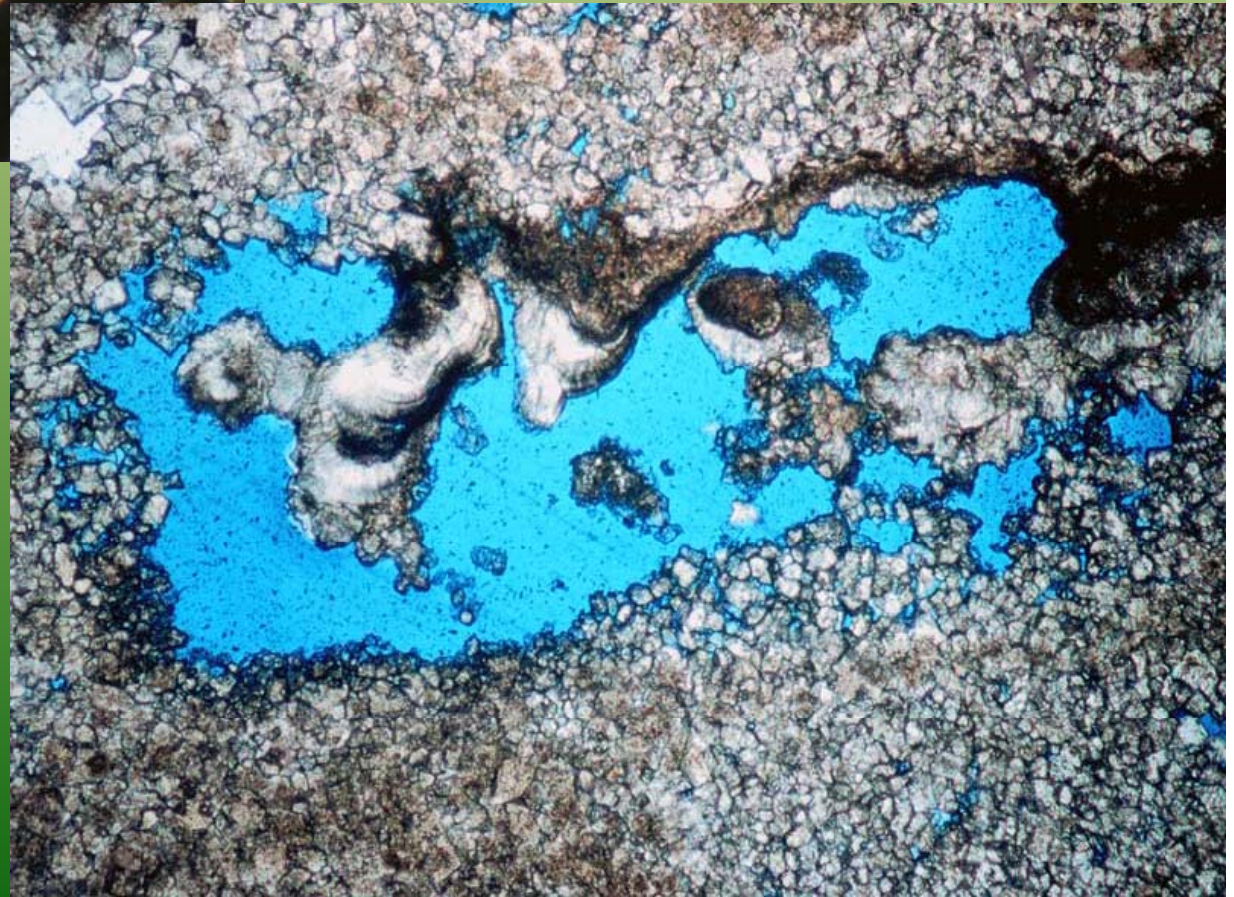
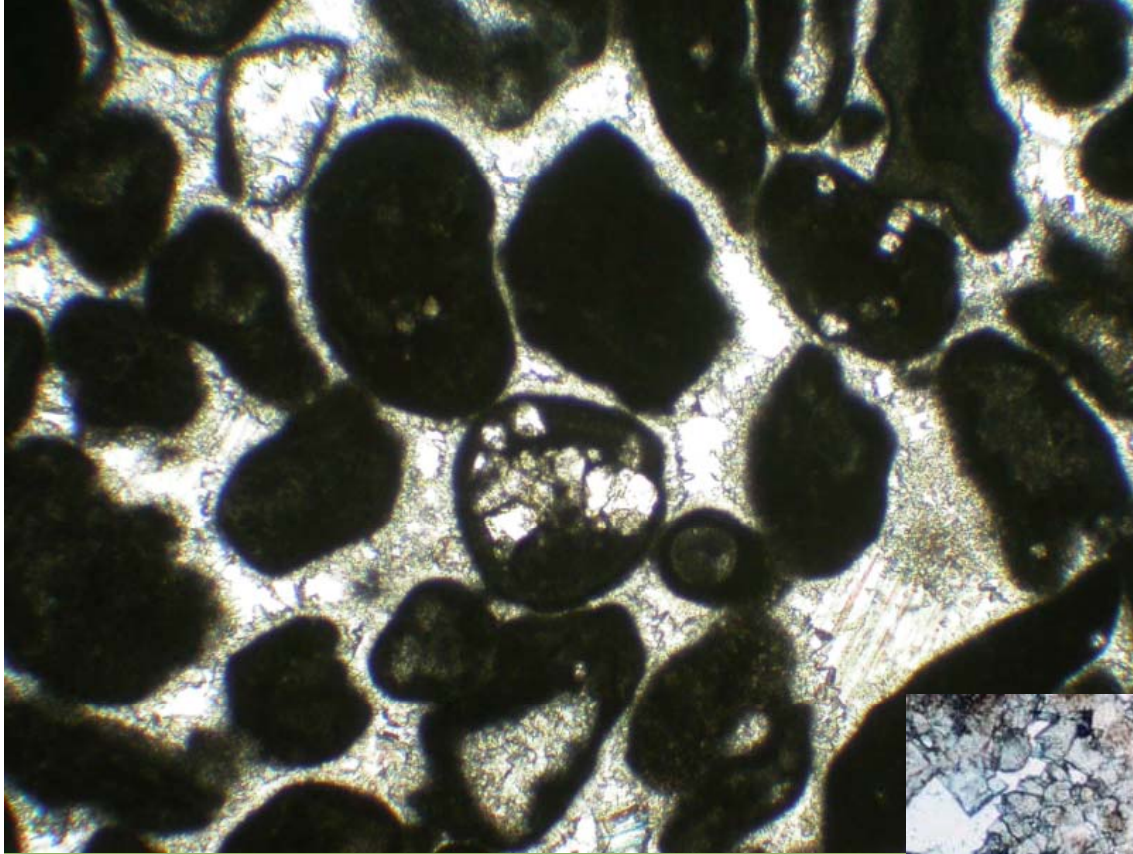


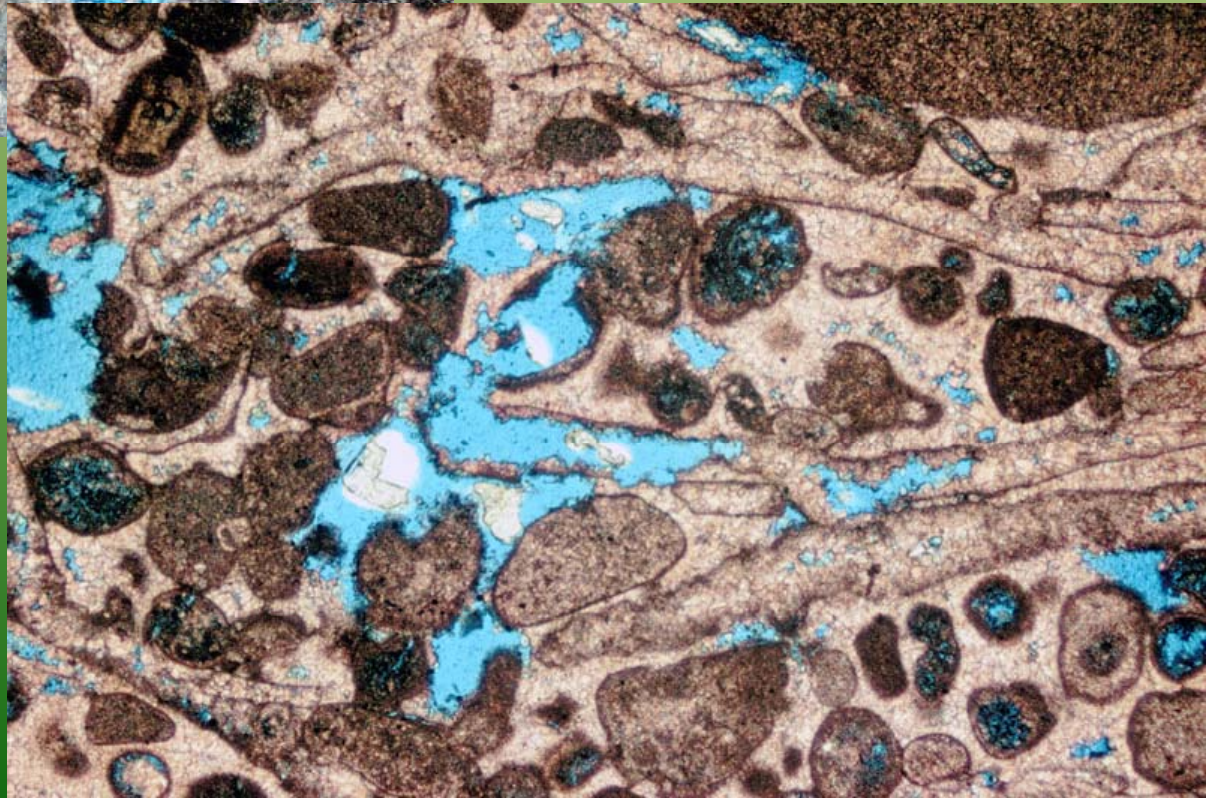
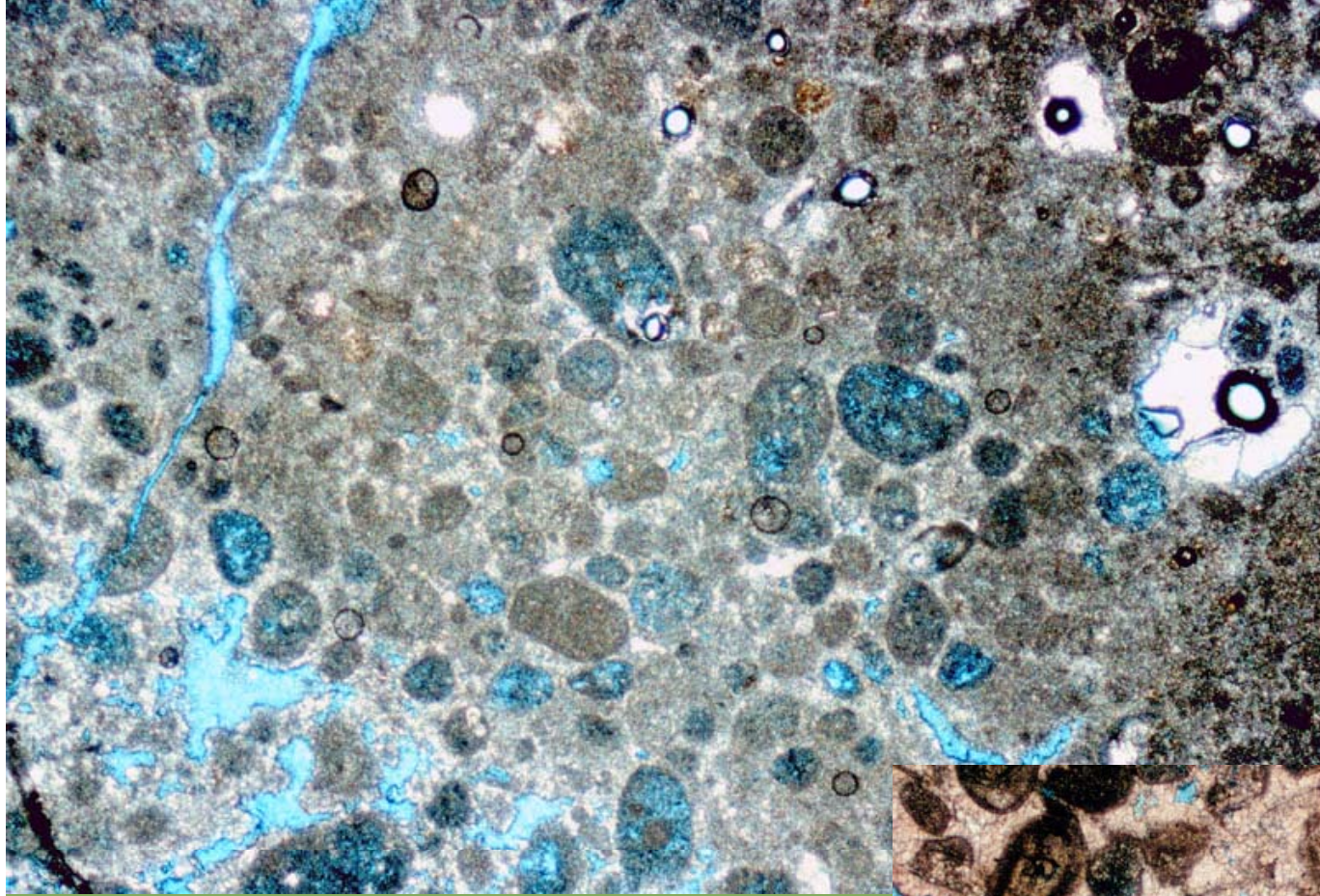
Valutazione della porosità iniziale e diagenetica a partire da una roccia cementata.

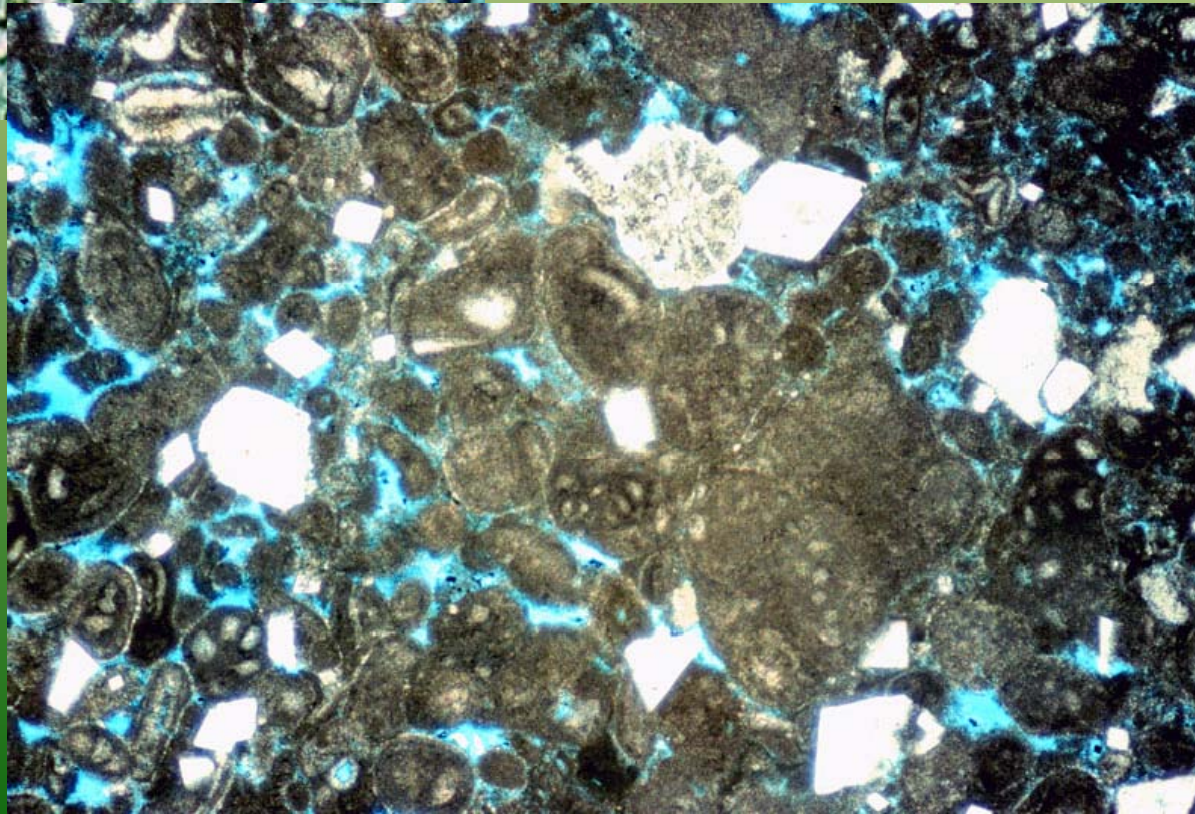
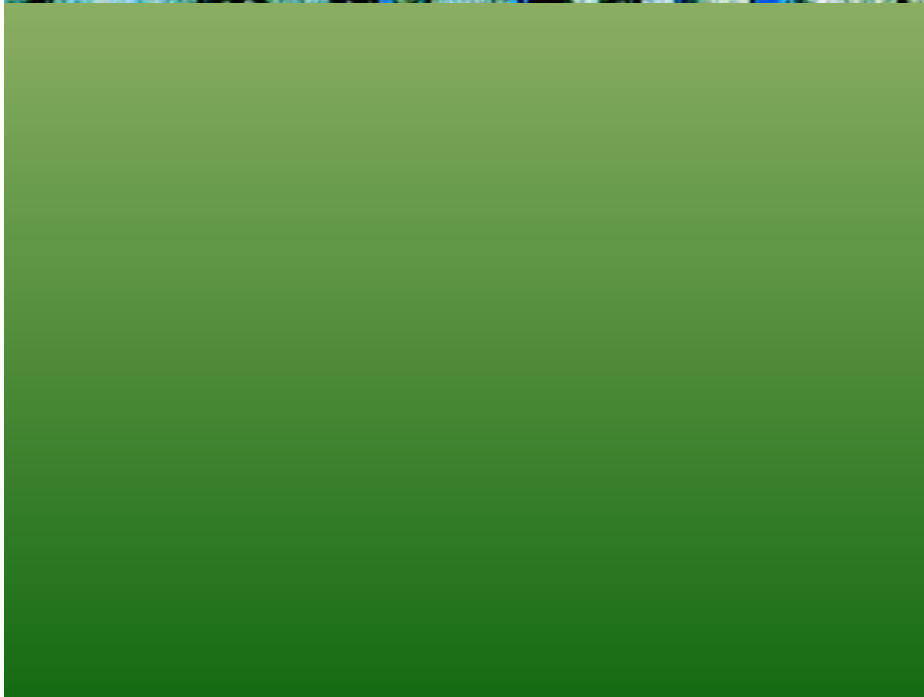
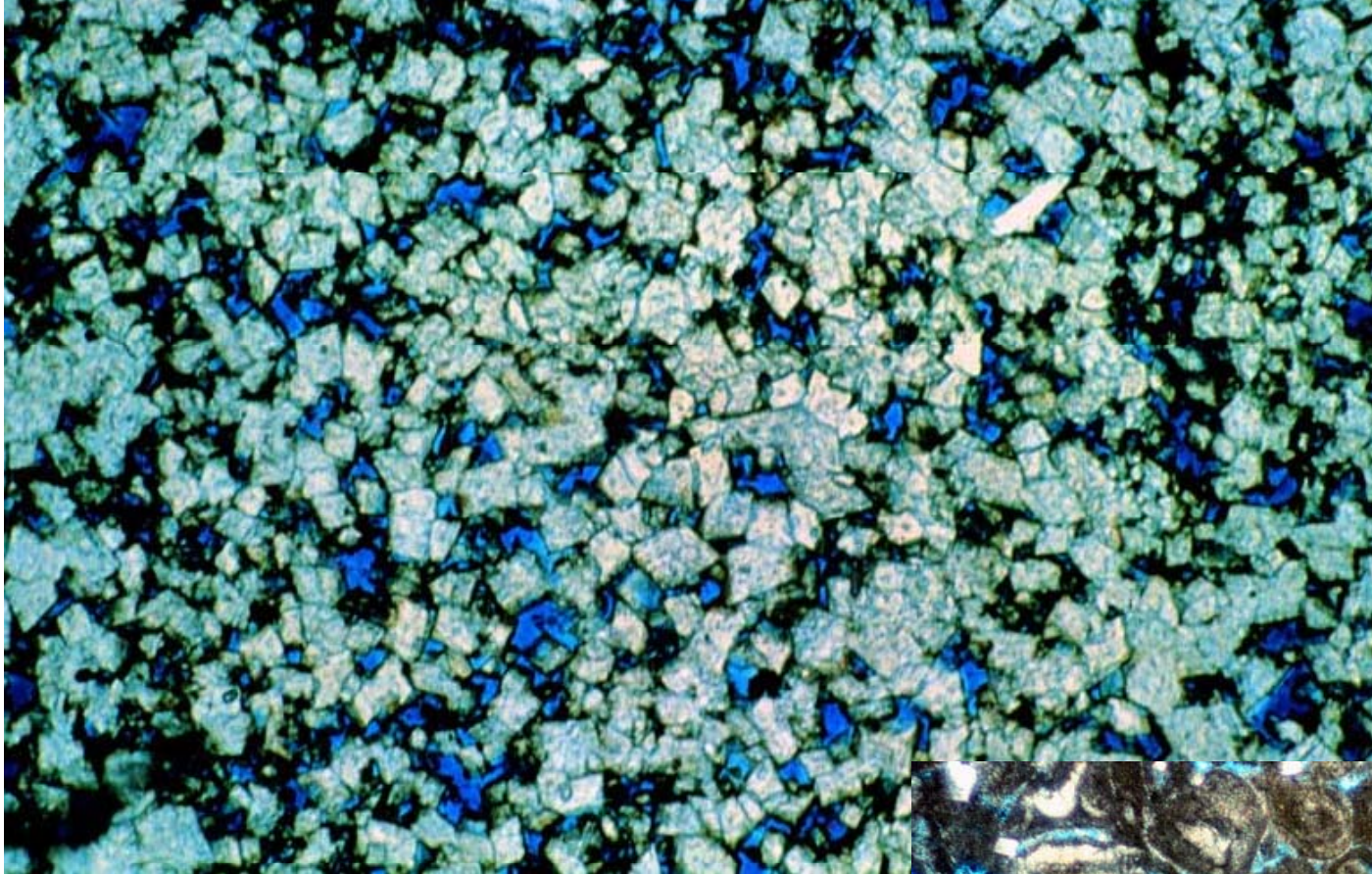
In questo caso la valutazione della porosità verrà effettuata considerando i vari cementi che hanno occluso la porosità (primaria ma anche quella secondaria).



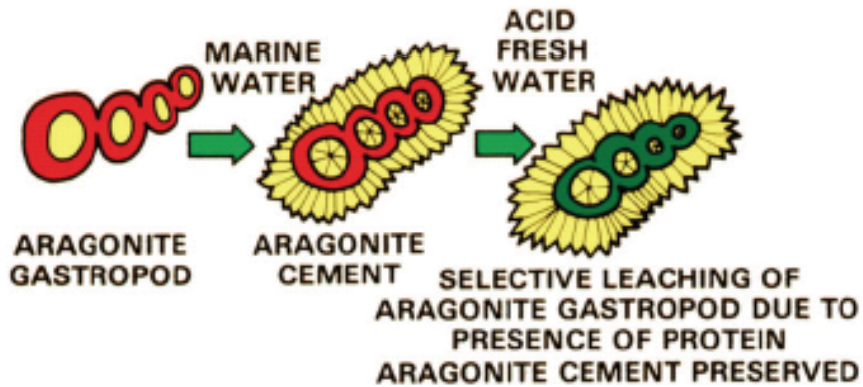
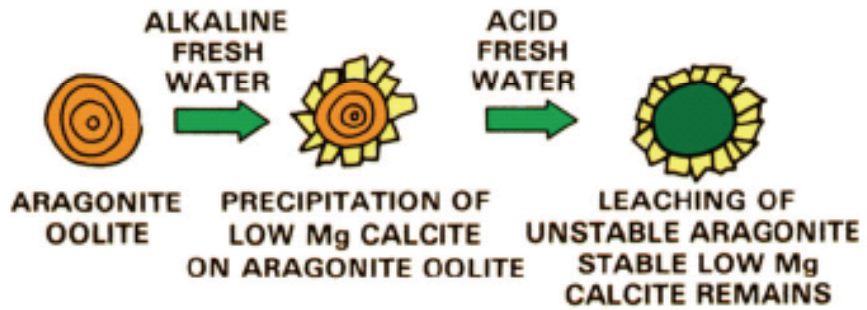
Esercizi di riconoscimento cementi
e classificazione della porosità:
primaria secondaria, tipologia di
porosità





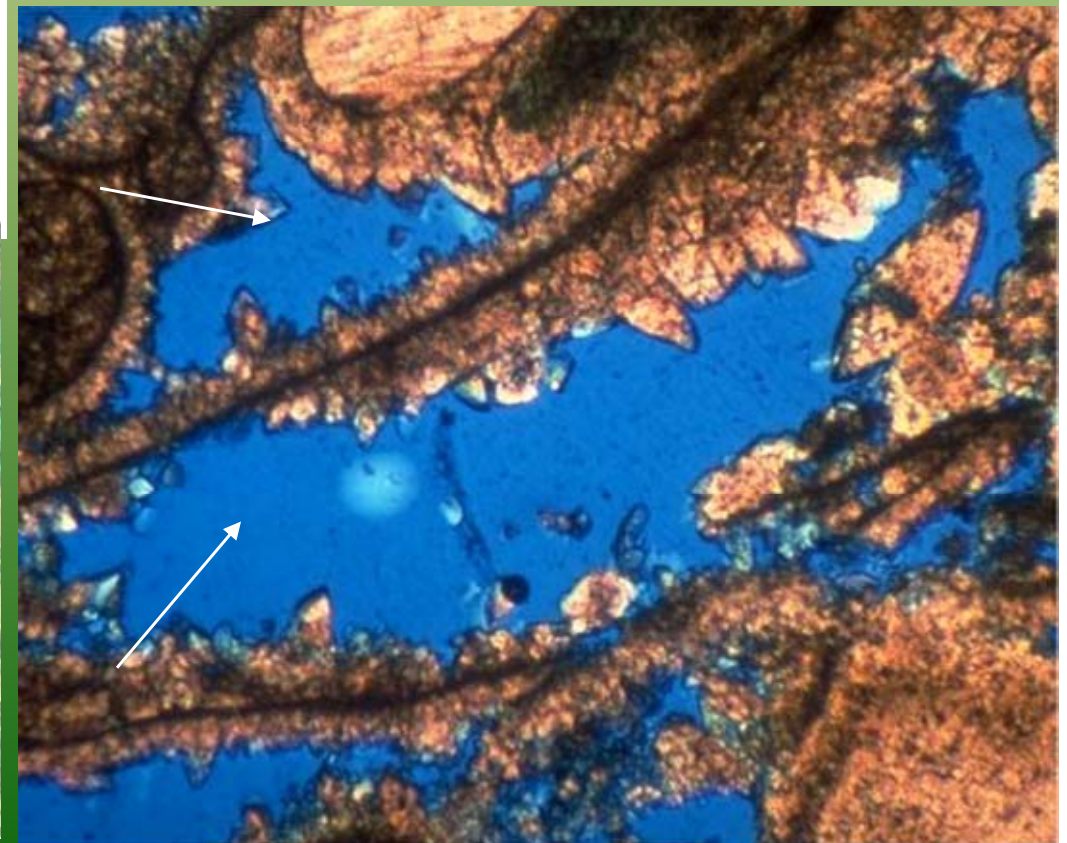
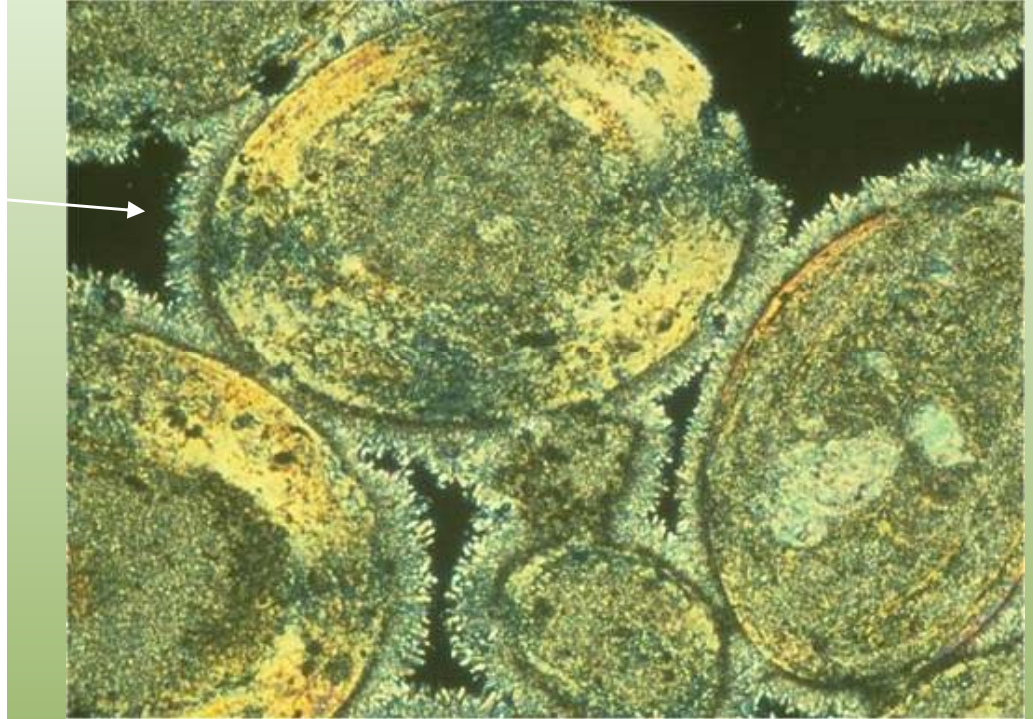
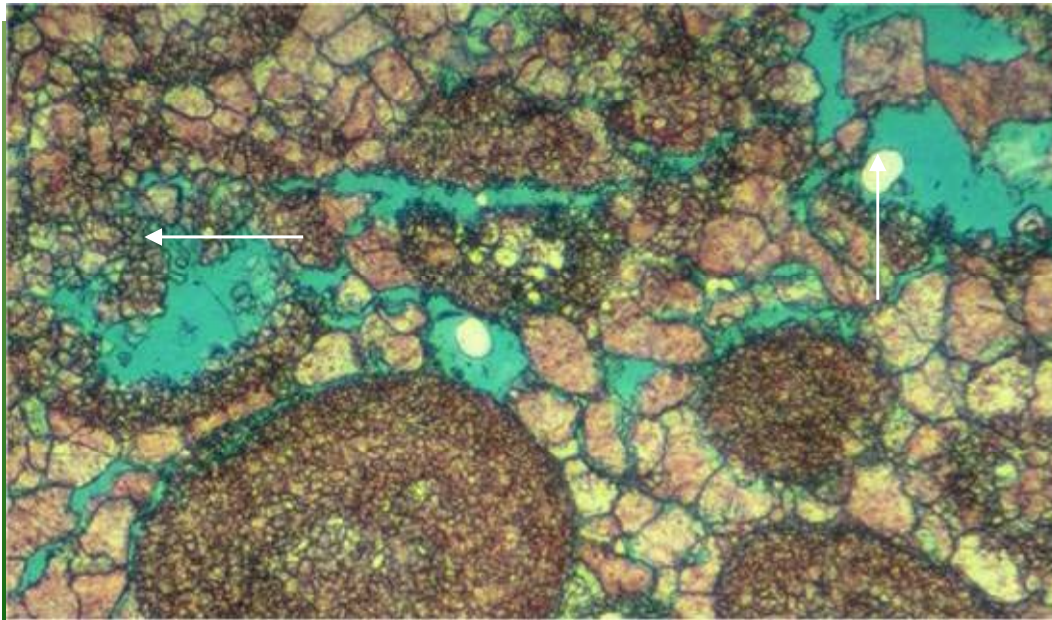


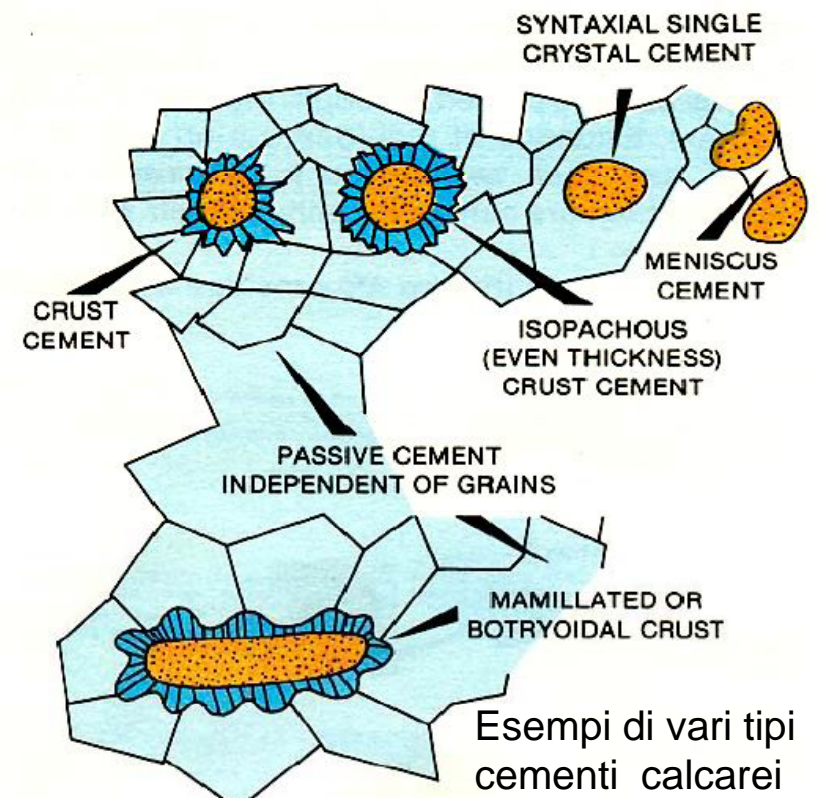
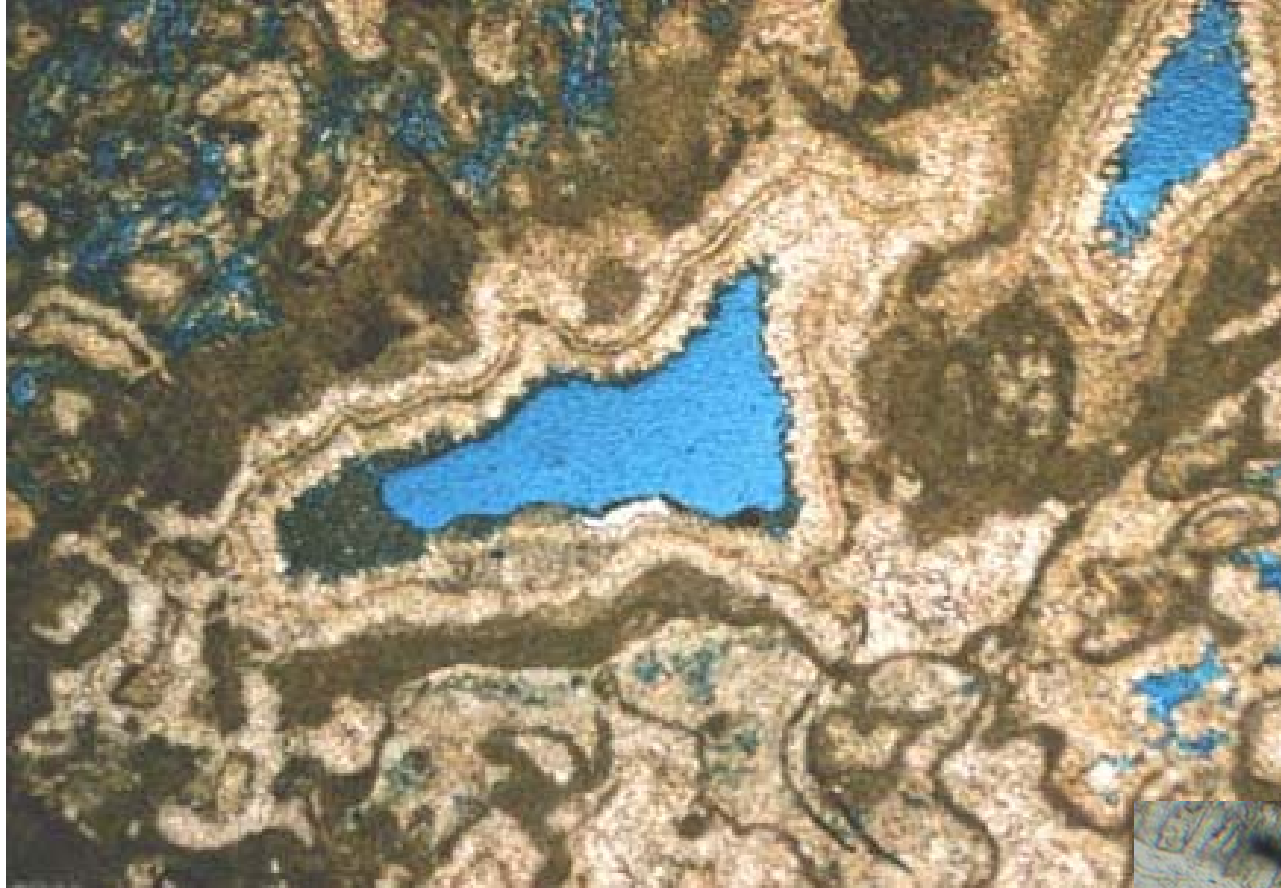
CEMENTATION VERSUS LEACHED MOLDIC POROSITY



ARAGONITE OOLITE DISSOLVED IN VADOSE AND OXIDIZED ZONE
MOLLUSC DISSOLVED BY ACID FROM ORGANIC PROTEIN

G. E. SL G. Kentfall





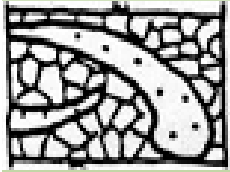
E' importante riconoscere diversi tipologie di cementi e individuare episodi di dissoluzione al fine di ricostruire la storia post deposizionale (paragenesi diagenetica) dei sedimenti carbonatici dopo la loro deposizione e iniziale litificazione



Calcite colonnare (bladed) in croste isopache Tipici cementi freatici,



Esempio di una microfacies con sviluppata dissoluzione e ricementazione (calcite di possibile origine meteorica), solo i bordi micritizzati e/o rivestiti di alcuni bioclasti sono preservati.



Cemento a mosaico
“equant” o
blocky cement)
(calcite)

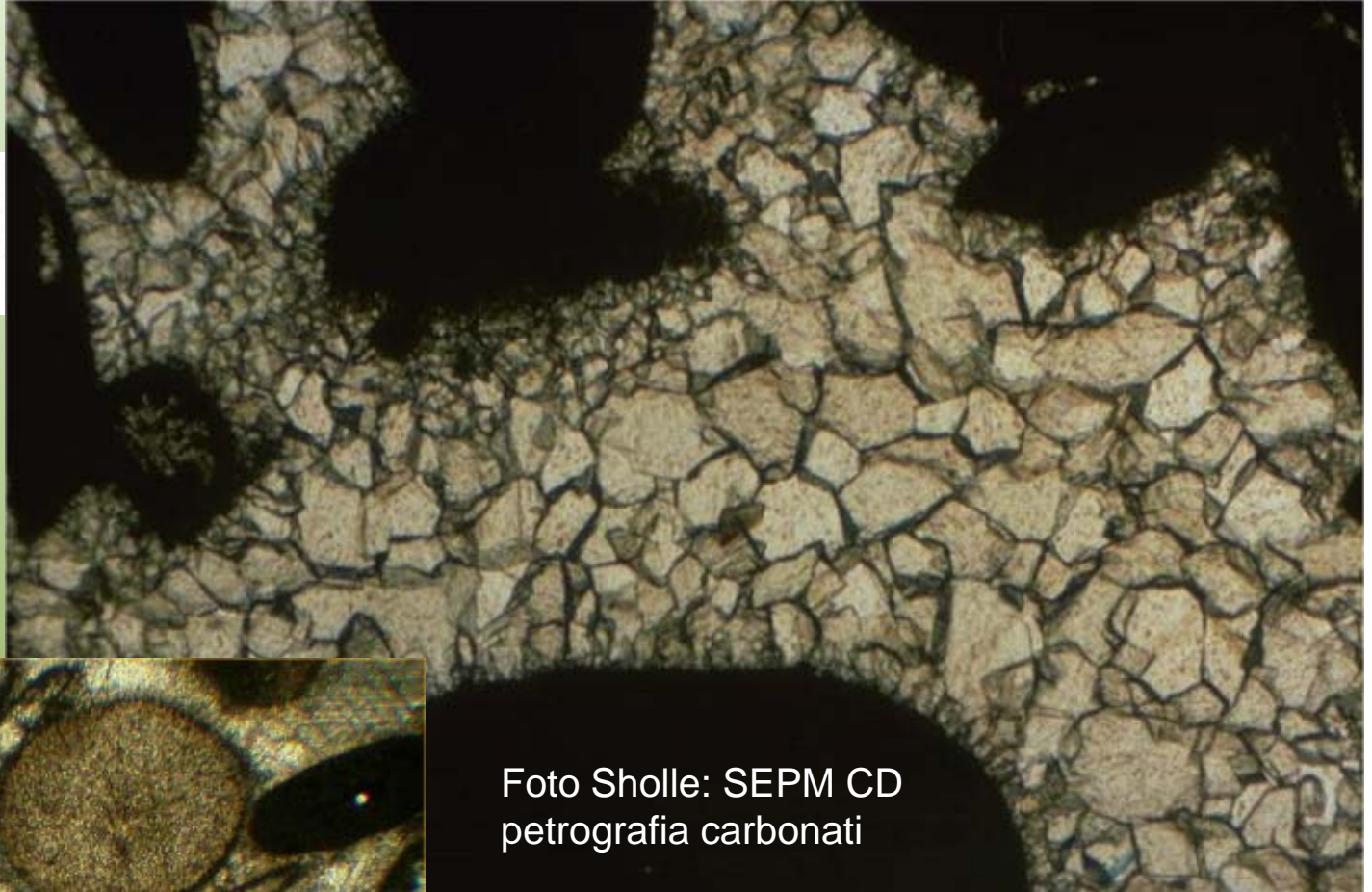
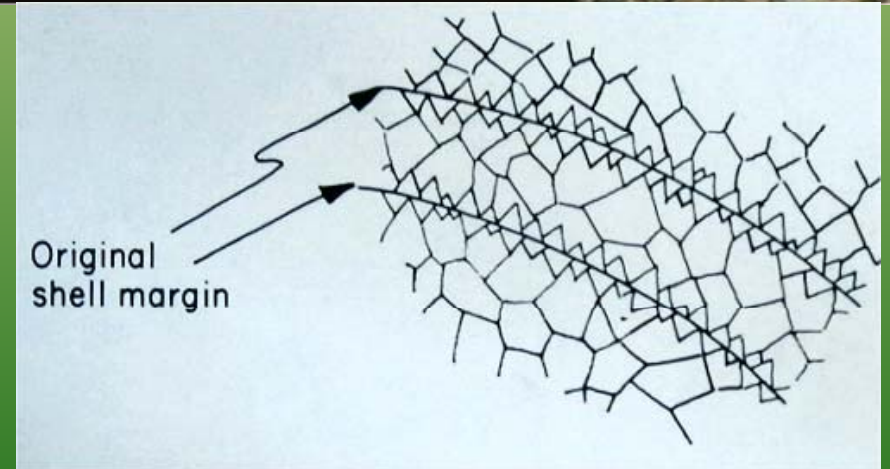
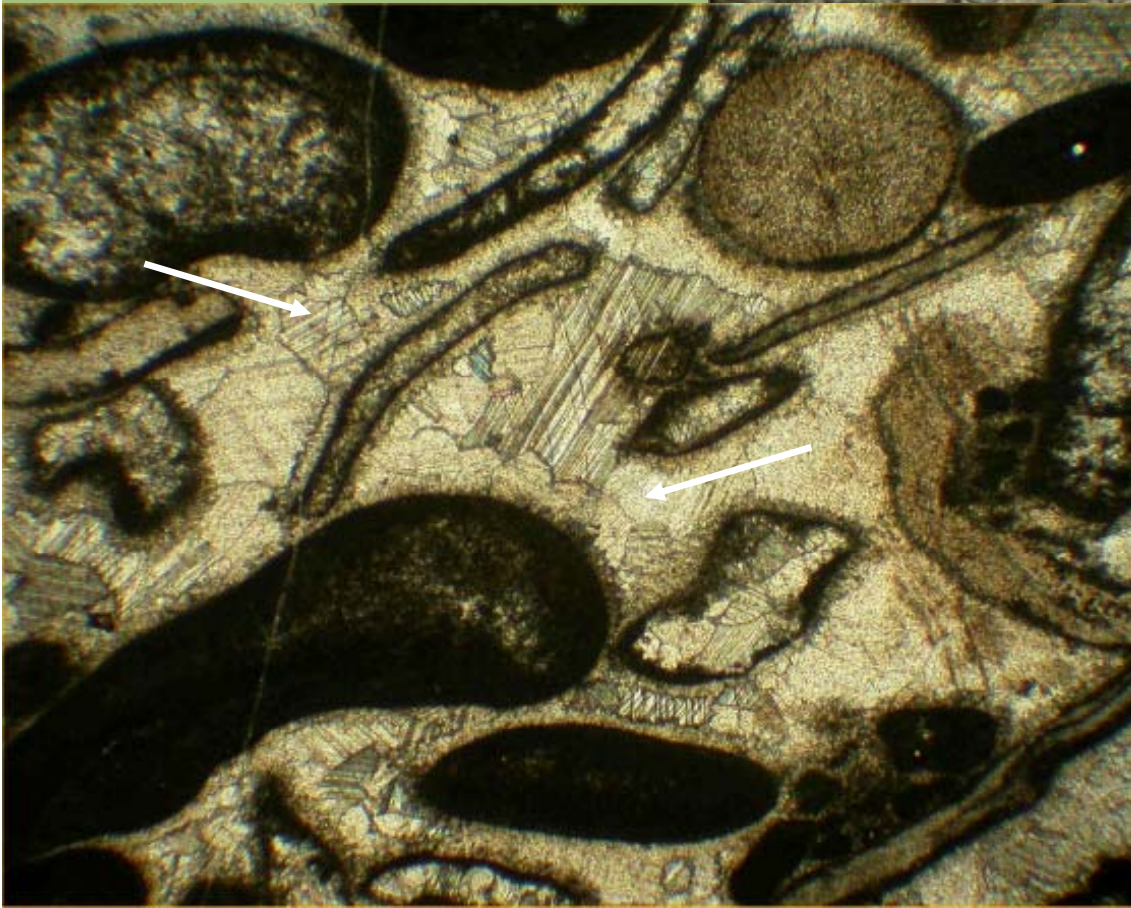
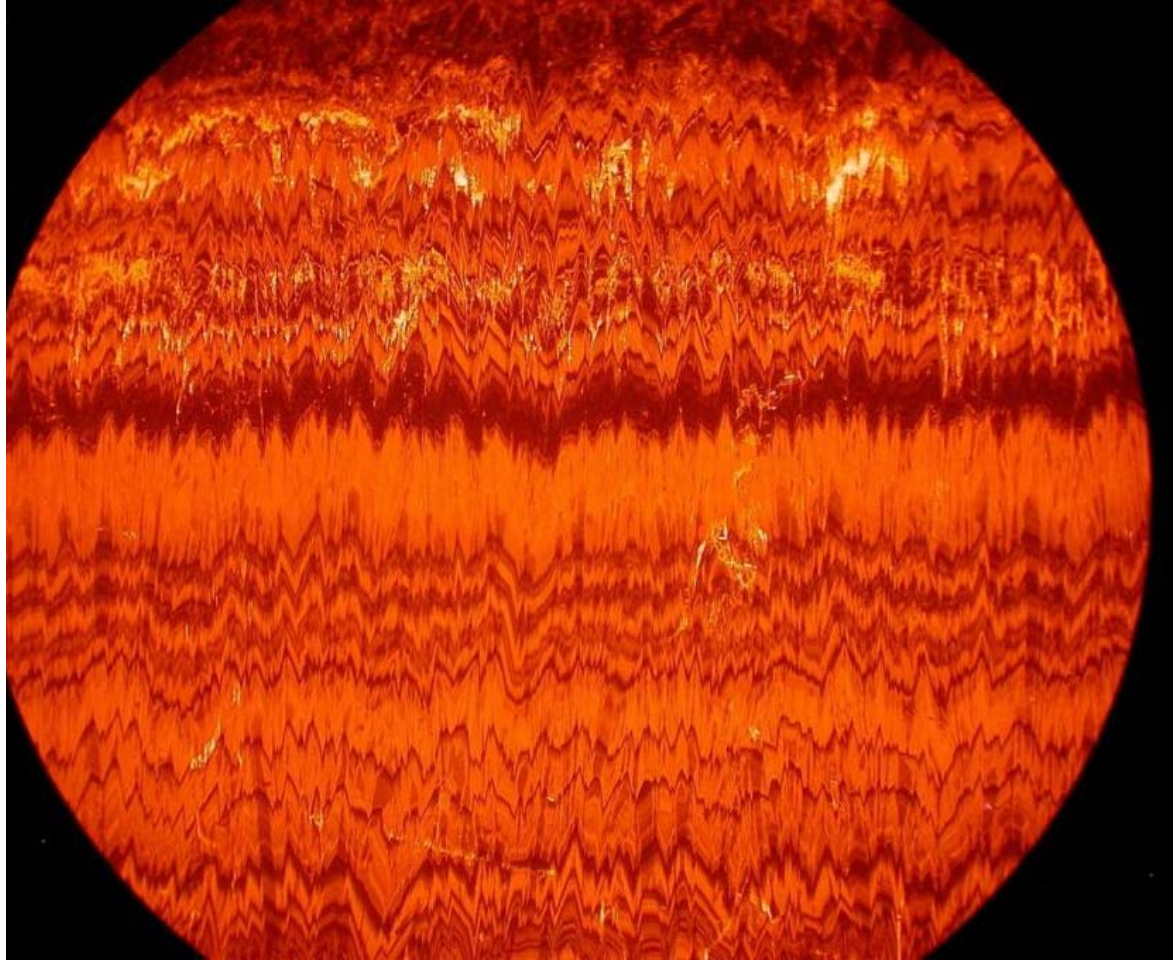
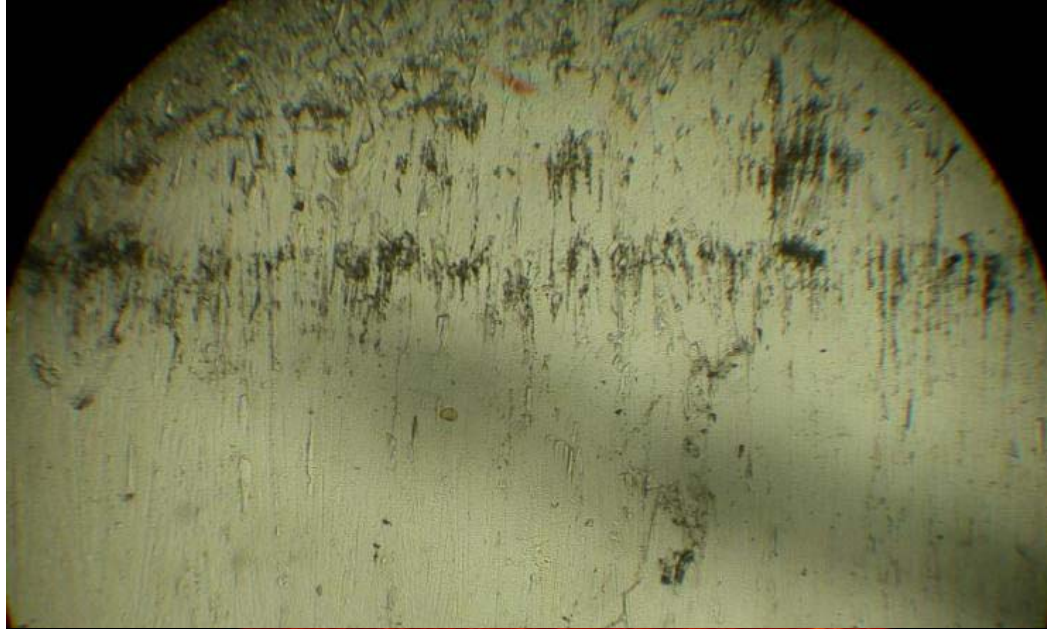


Foto Sholle: SEPM CD
petrografia carbonati



Esempi di cemento spatico “equant” che riempie una cavità ed un bioclasto di lamellibranco il cui guscio è stato disciolto.



Le metodologie di
indagine diagenetica
dei carbonati

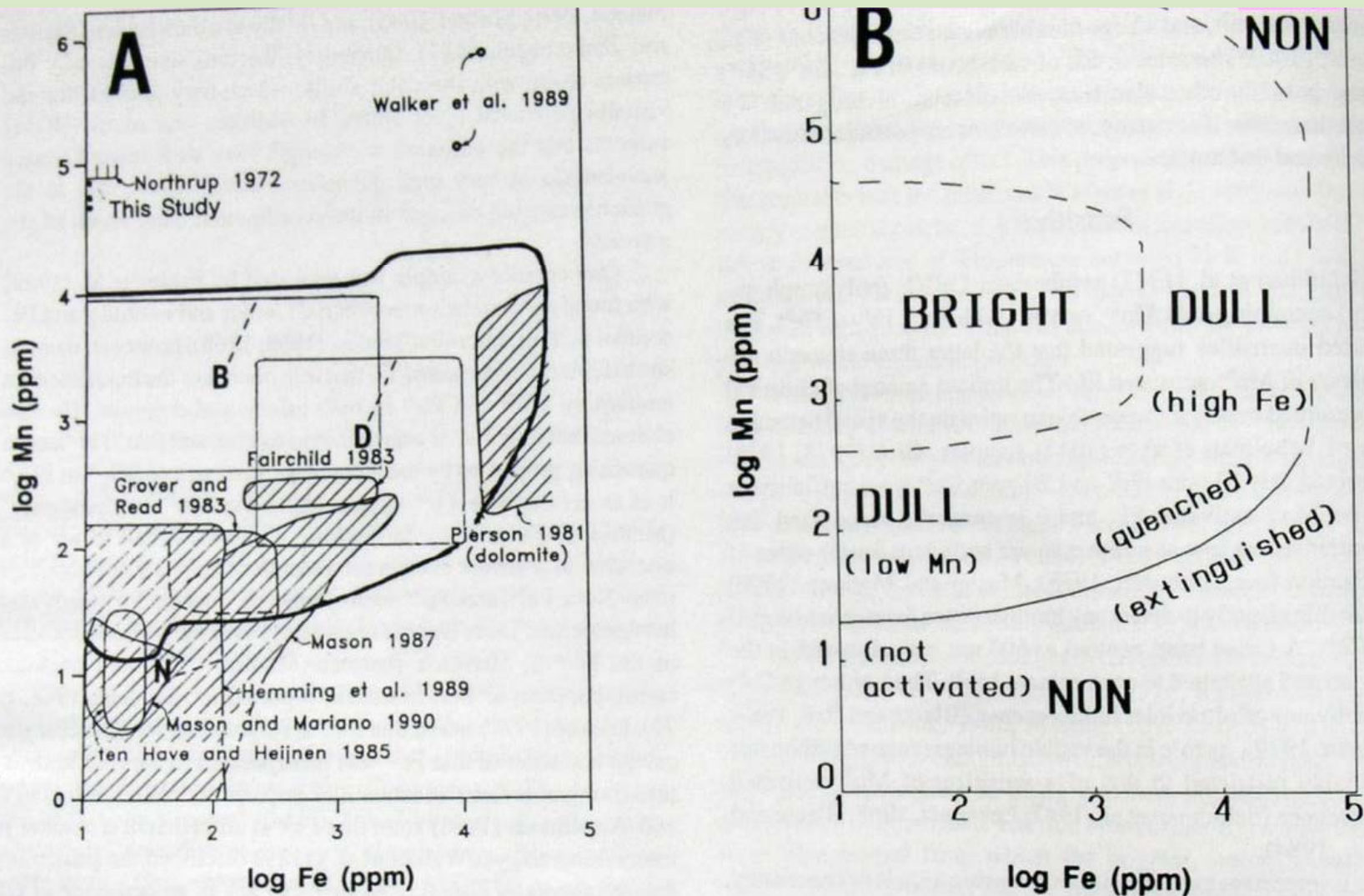
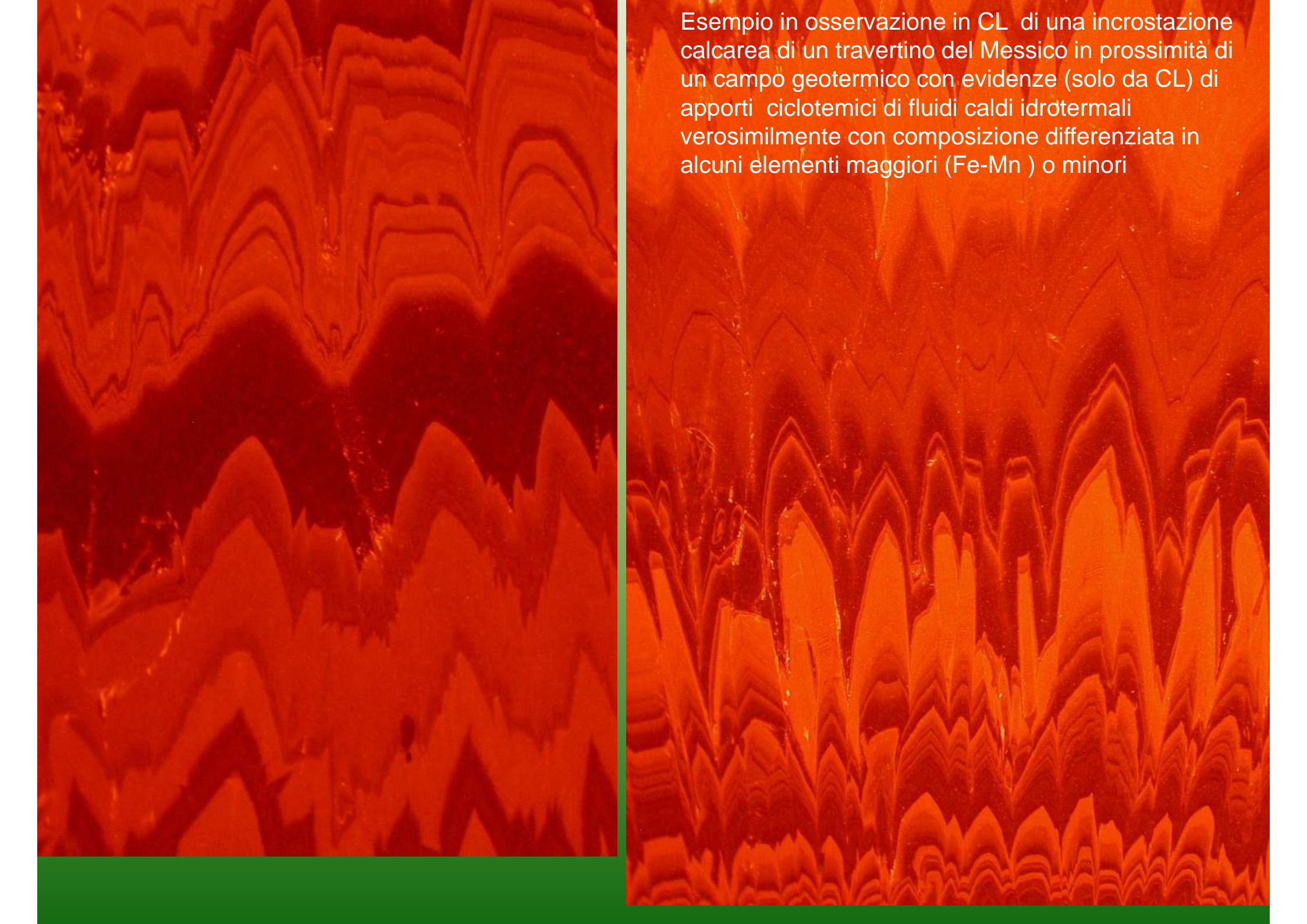
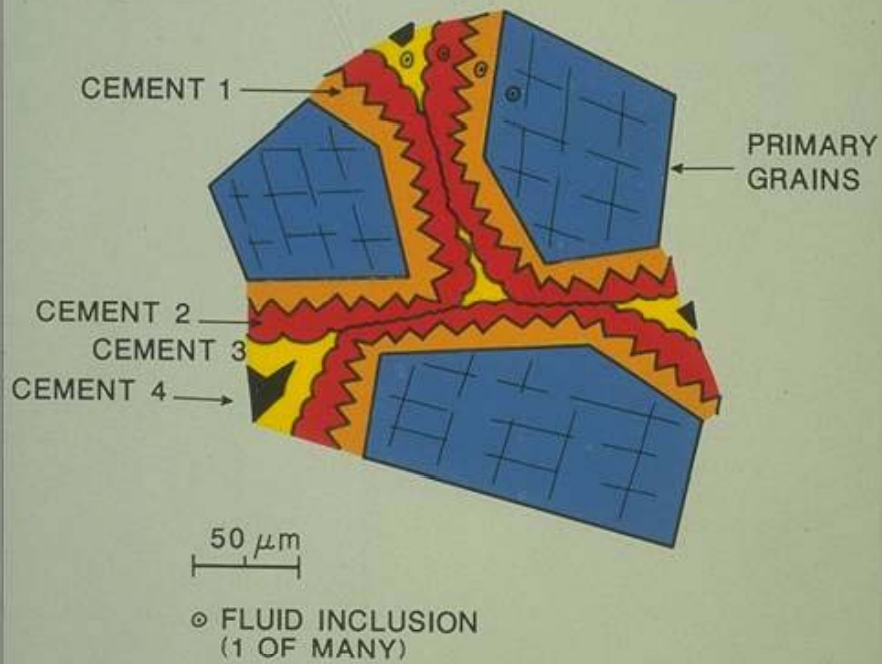


FIG. 12. The roles of Fe and Mn in controlling CL in calcite and dolomite (modified from Mason, 1987). A: The figure is compiled from the sources noted on the figure plus Frank et al. (1982), Meyers (S.U.N.Y., Stony Brook, pers. comm. reported in Machel, 1985), and Kopp et al. (1990). The heavy solid line encloses a field denoting Fe-Mn compositions where luminescing calcite and dolomite have been observed. The shaded fields (labelled by author) denote Fe-Mn compositions where the absence of CL has been observed. N, B, and D denote NON, BRIGHT, and DULL CL ranges compiled by Barnaby and Rimstidt (1989) who used most of the same sources that we used for delineating the heavy line [the field N coincides with that of Hemming et al., 1989]. The two points from Walker et al. (1989) are for a rhodochrosite (46 wt.% Mn, 1 wt.% Fe) and a manganiferous calcite (11.5 wt.% Mn, 0.5 wt.% Fe). 'This Study' denotes our new data. B: Interpretation of the data in 12a showing the regions for NON, BRIGHT and DULL CL.

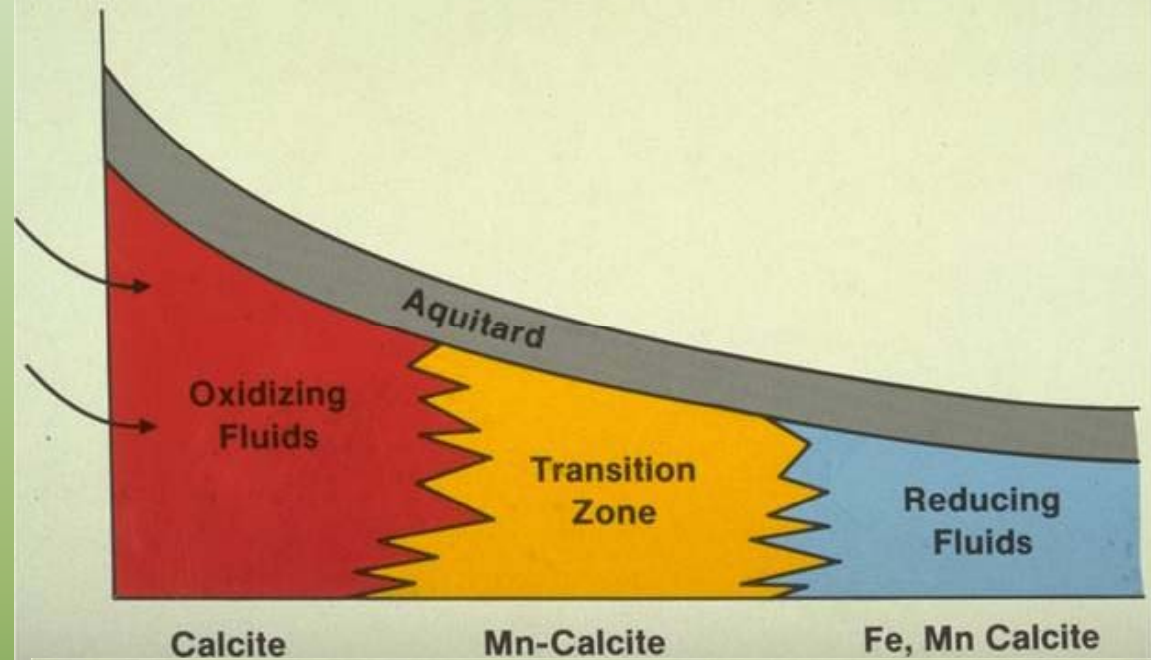


Esempio in osservazione in CL di una incrostazione calcarea di un travertino del Messico in prossimità di un campo geotermico con evidenze (solo da CL) di apporti ciclotemici di fluidi caldi idrotermali verosimilmente con composizione differenziata in alcuni elementi maggiori (Fe-Mn) o minori

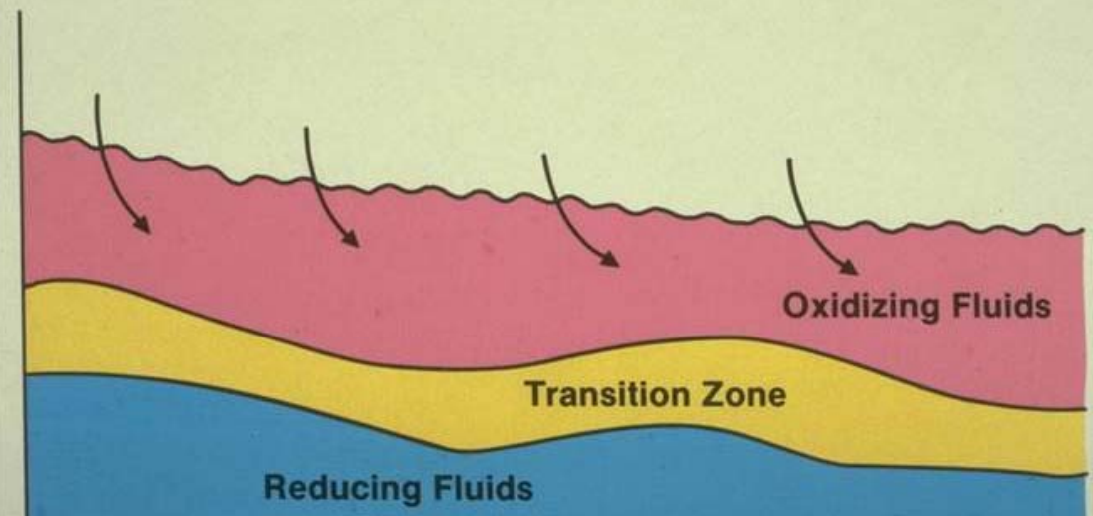
CATHODOLUMINESCENCE STRATIGRAPHY (CARBONATES)



Confined Aquifer Down-Dip Reduction Model (Diachronous Luminescent Zones)



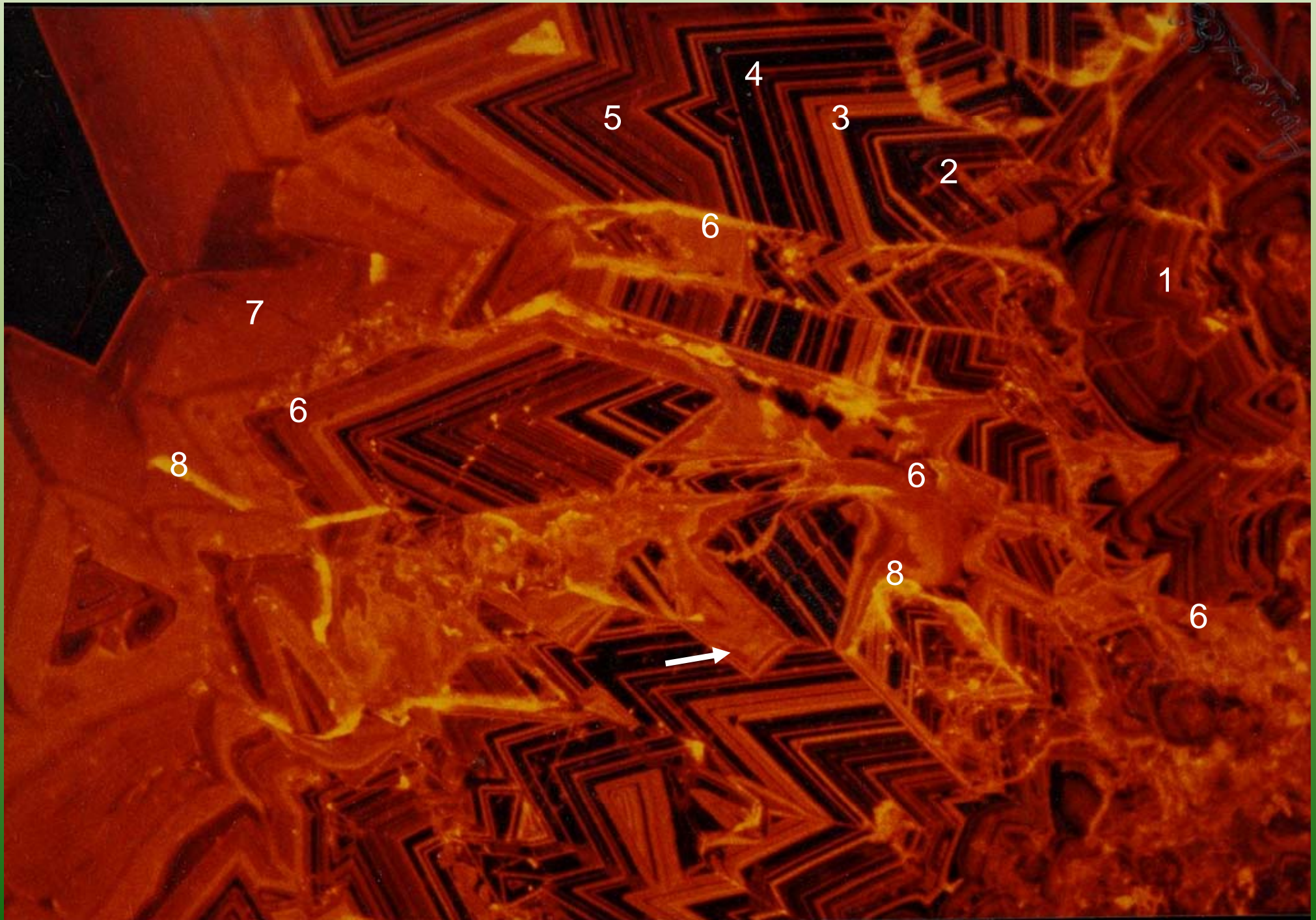
Unconfined Aquifer Unconformity Model (Semi-Time-Correlative Luminescent Zones)

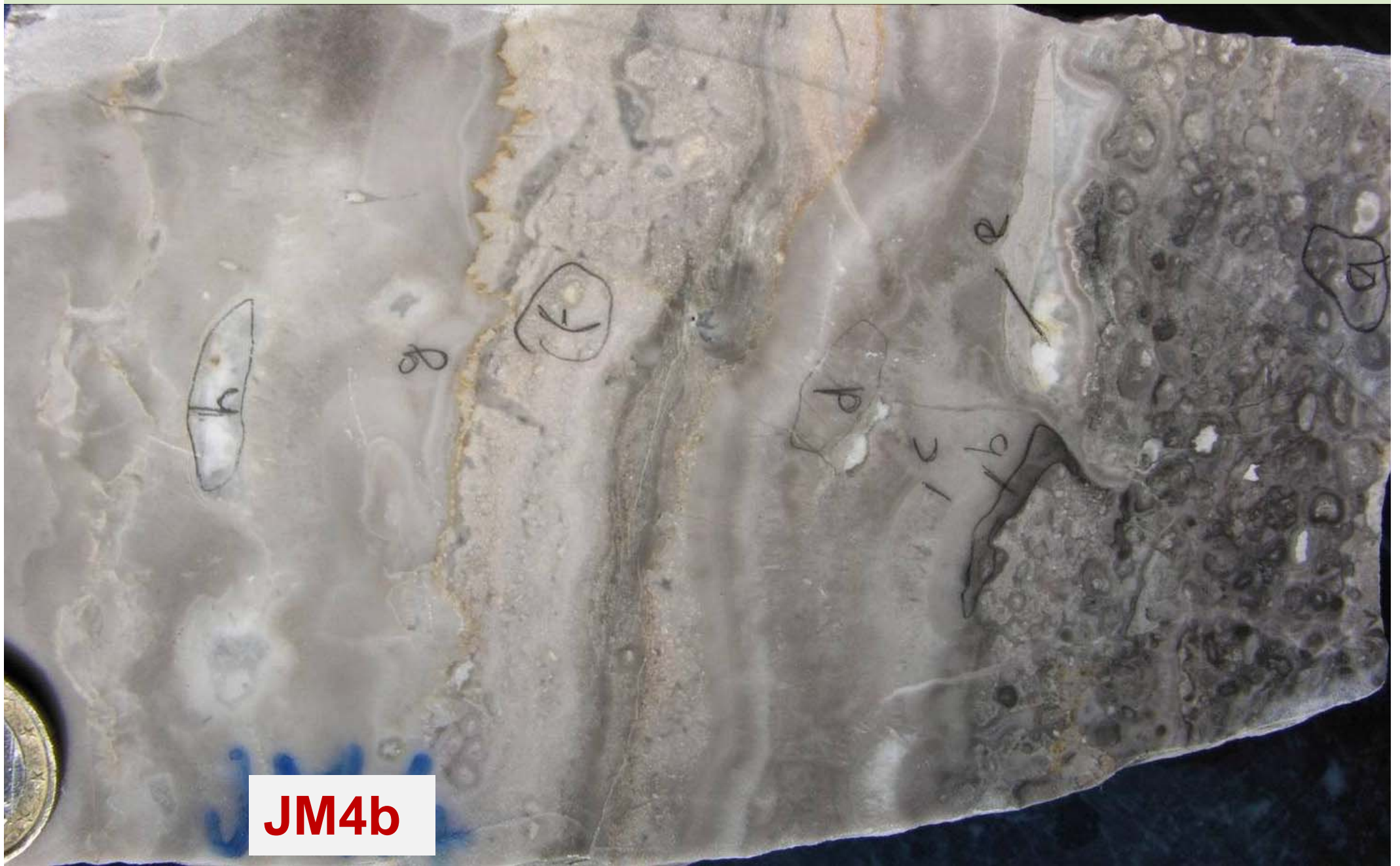


Concetti alla base della stratigrafia dei cementi in catodoluminescenza e loro interpretazione.

Gli schemi a destra mostrano due successioni la prima confinata a tetto da un aquitardo la seconda non confinata. I colori mostrano le possibili distribuzioni (continue lateralmente o con passaggi laterali) dei cementi luminescenti, di transizione e non luminescenti nelle rispettive situazioni.

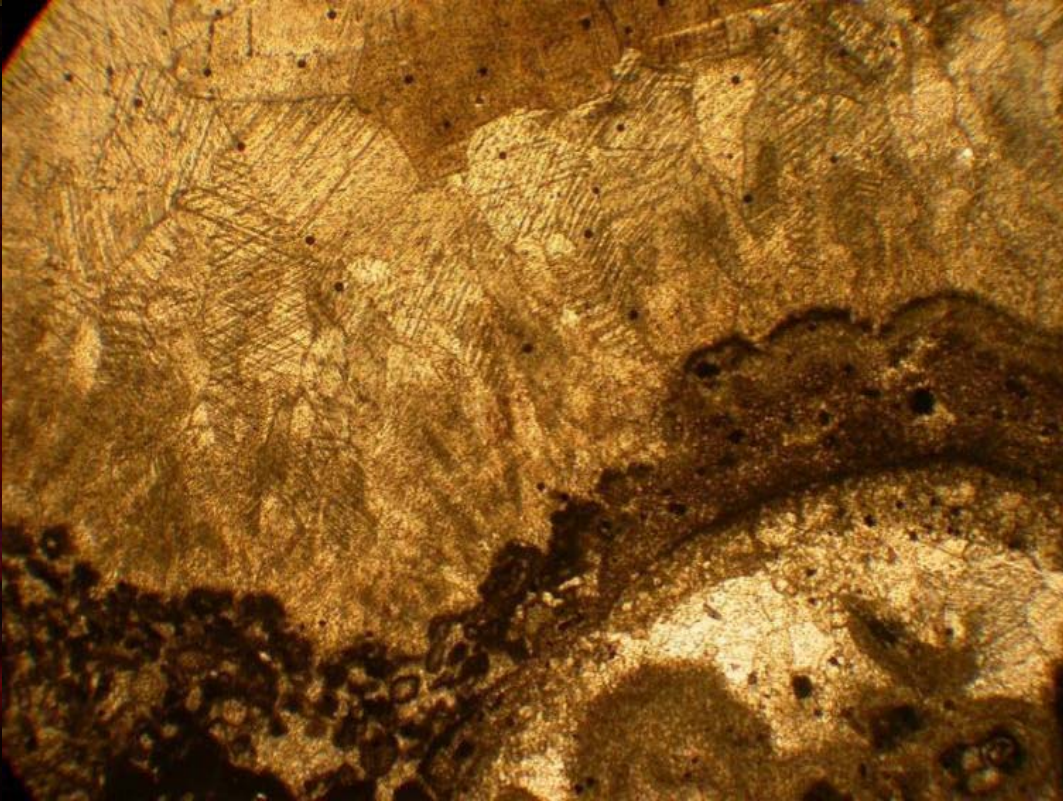
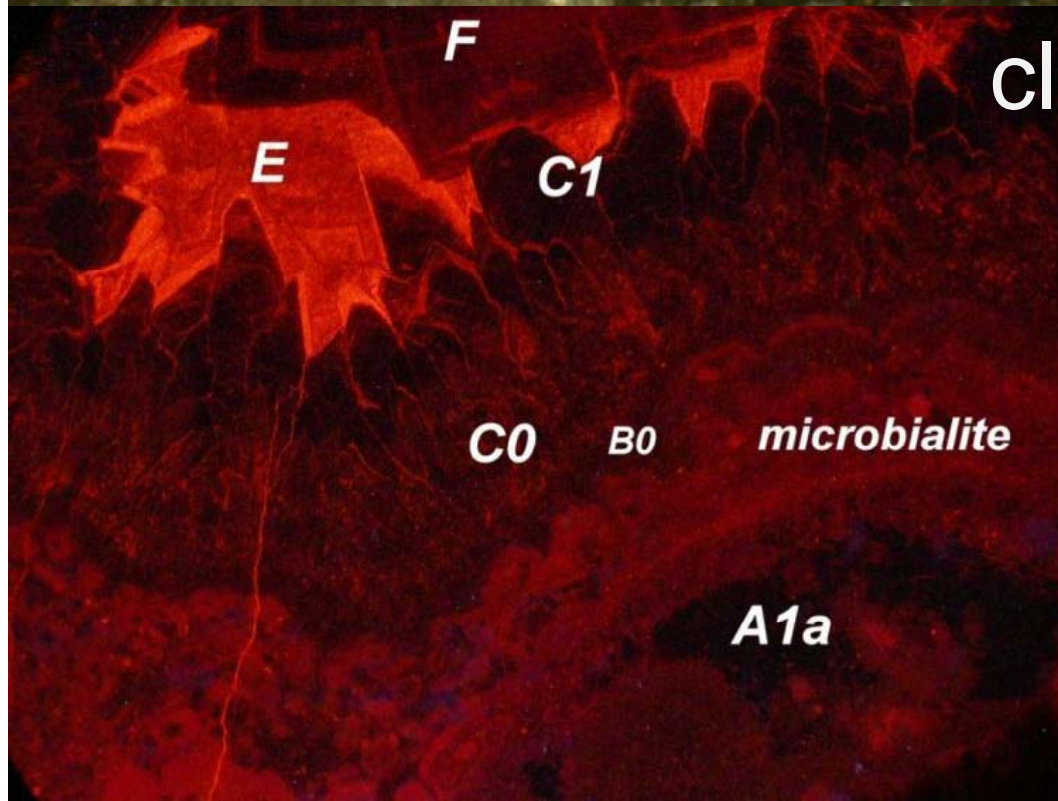
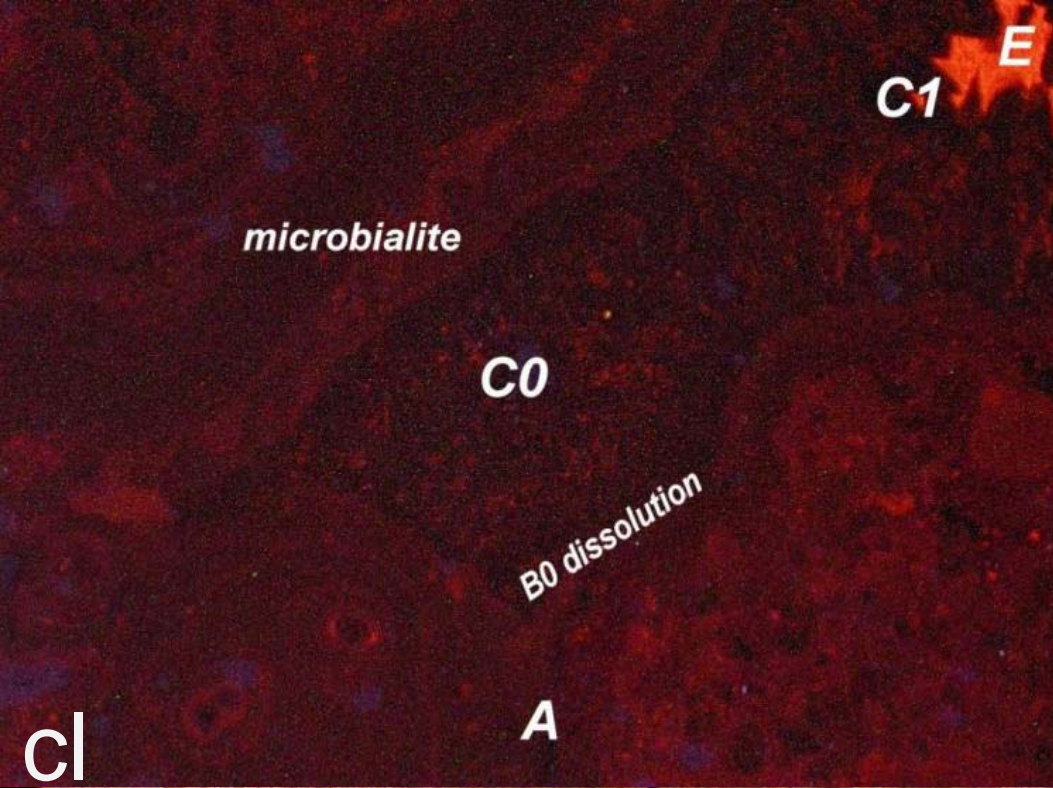
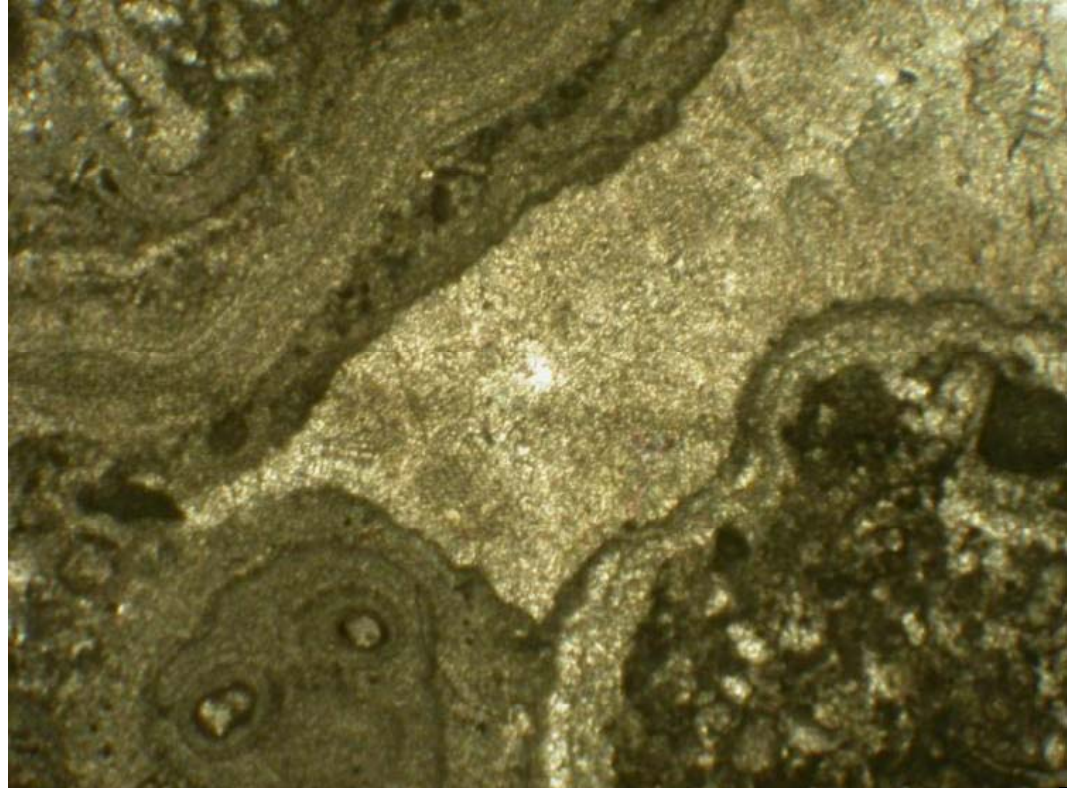
Esempio di paragenesi complessa di cementazioni (calcite i zonata da luminescente e nera) e pervasive fratturazioni (post cementi^{6,8}) che riaprono la permeabilità permettendo la fase ultima di cementazione (in CL dull e meno zonato, zona 7).





JM4b

Campione di calcari peritidali del Carnico basale (Calcare Rosso) con vari tipologie di cementi campionati per osservazioni in CL



Quadro sintetico dei principali processi di cementazione: 1) i cementi attuali marino freatici

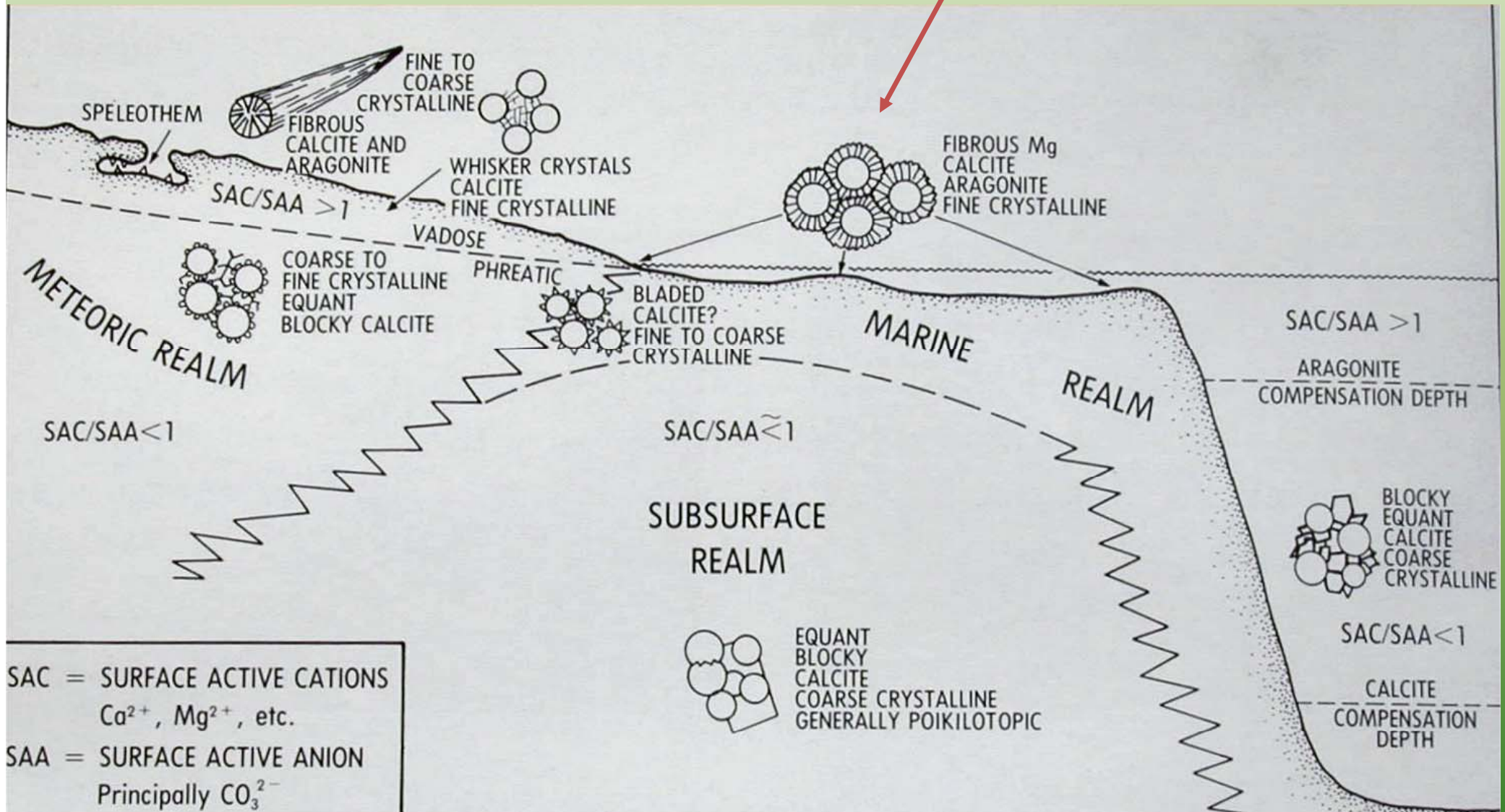
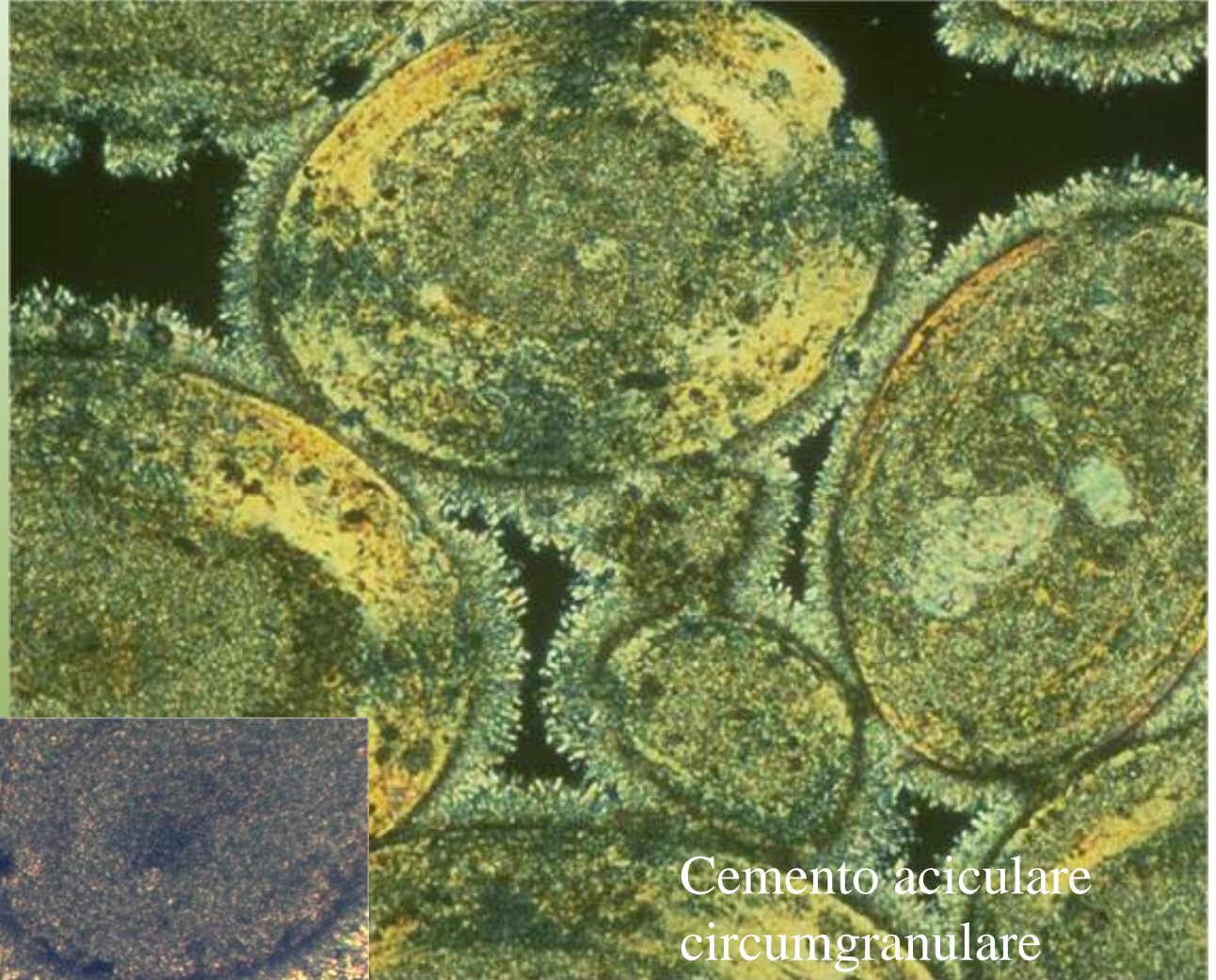


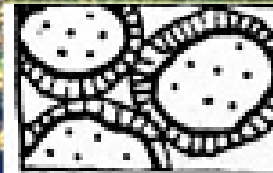
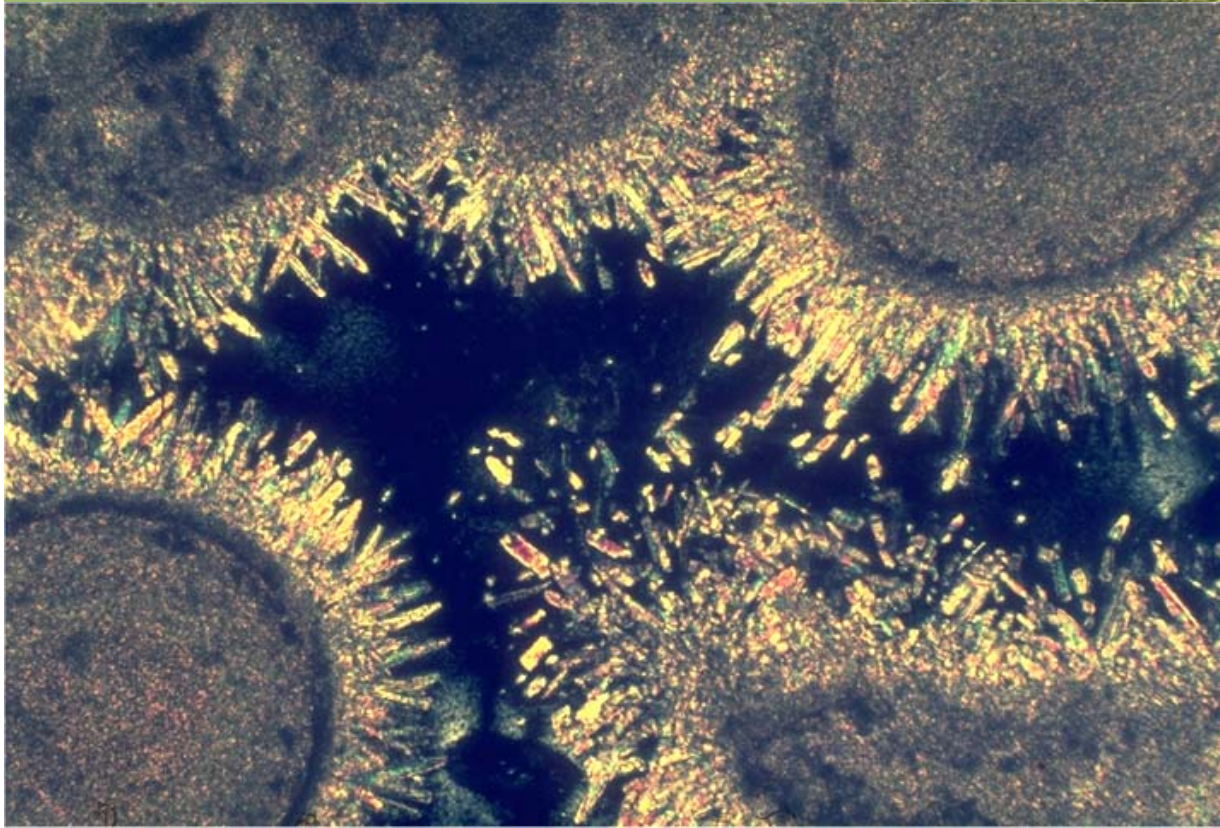
Fig. 3.5 Schematic diagram showing anticipated growth habits of pore-fill calcite cement in the principal diagenetic environments, as controlled by the ratio of surface active cations (SAC) to surface active anions (SAA).

Cementi circumgranulari aciculari in croste isopache.

Costituisce un involucro di spessore costante attorno ai granuli; è formato da cristalli aciculari. *Caratterizza l'ambiente freatico marino.*



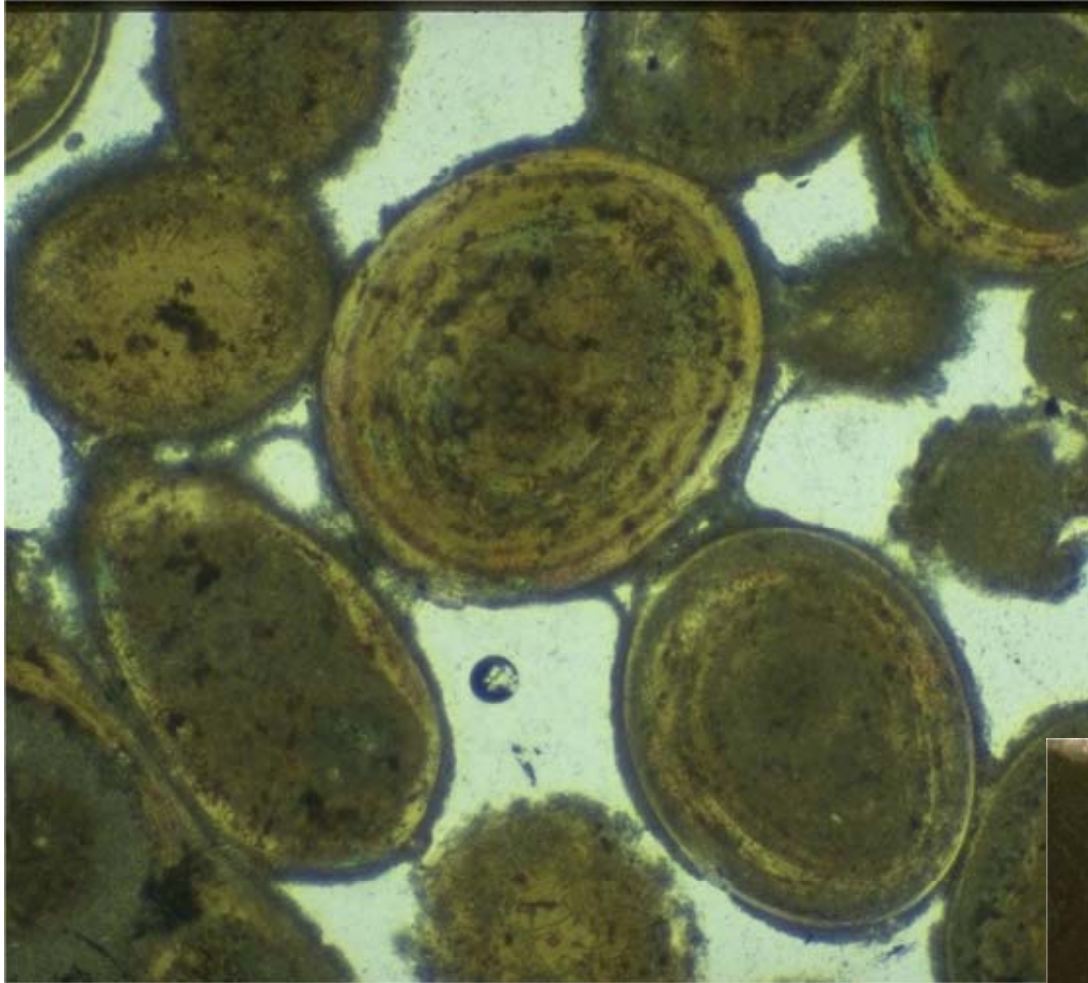
Cemento aciculare circumgranulare



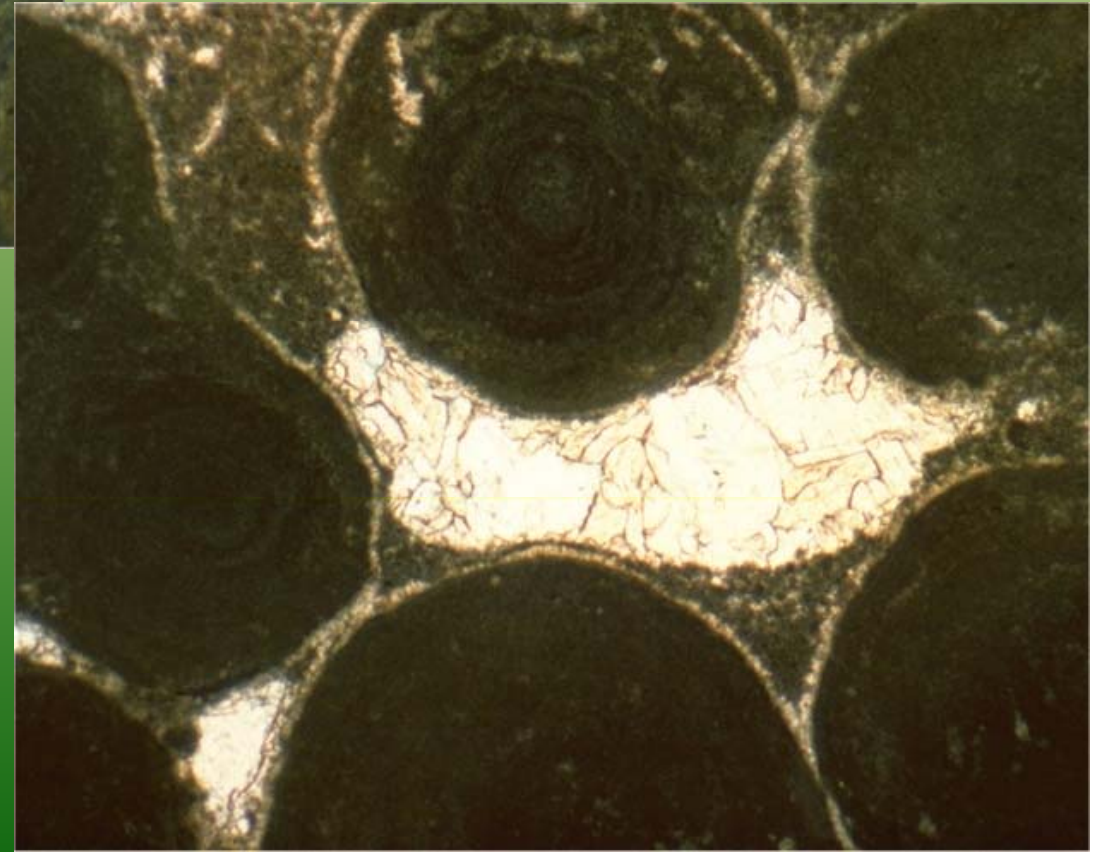
(aragonite o Mg-calcite)



Cemento aciculare fibroso (aragonite, Mg-calcite)



I **cementi micritici** sono sovente presenti nelle zone di contatto tra i granuli e costituiscono le prime fasi di cementazione. Nei sedimenti antichi sono più difficili da osservare a causa dei processi di ricristallizzazione.



Cementi botroidali recenti

(*reef cements*)

Holocene Reef wall limestone Belize Thin-section photomicrograph (cross-polarized light; section stained with clayton yellow) of a cavity in scleractinian coral filled with geopetal sediment and roofed by pendant botryoidal aragonite with a final stage of fibrous mg-calcite (red). L. A. = 1.5 mm
Noel P. James



Foto Sholle: SEPM CD
petrografia carbonati

Belize. A boring in a coral filled with botryoidal aragonite marine cement. Cross polarized light. L.A. = 1.2 cm Noel P. James & Ginsburg (1979)

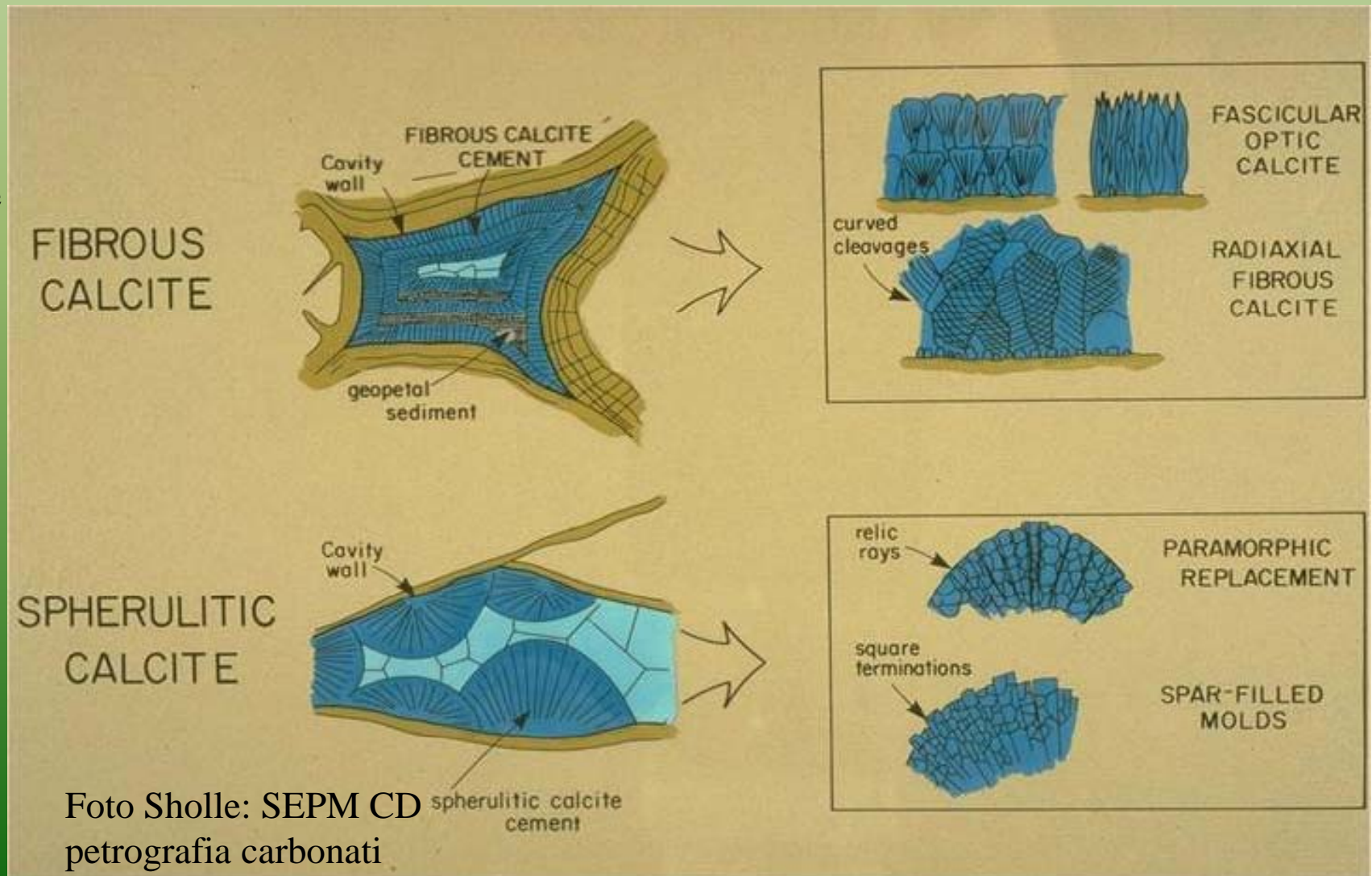
Le cementazioni precoci marine nei carbonati antichi

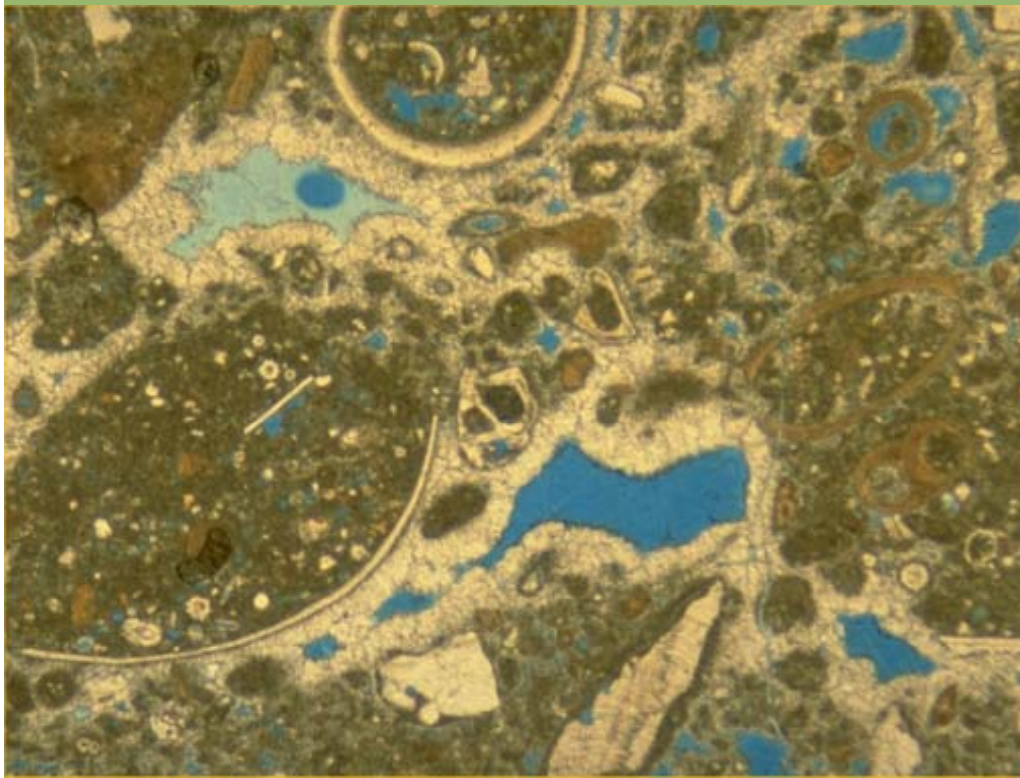
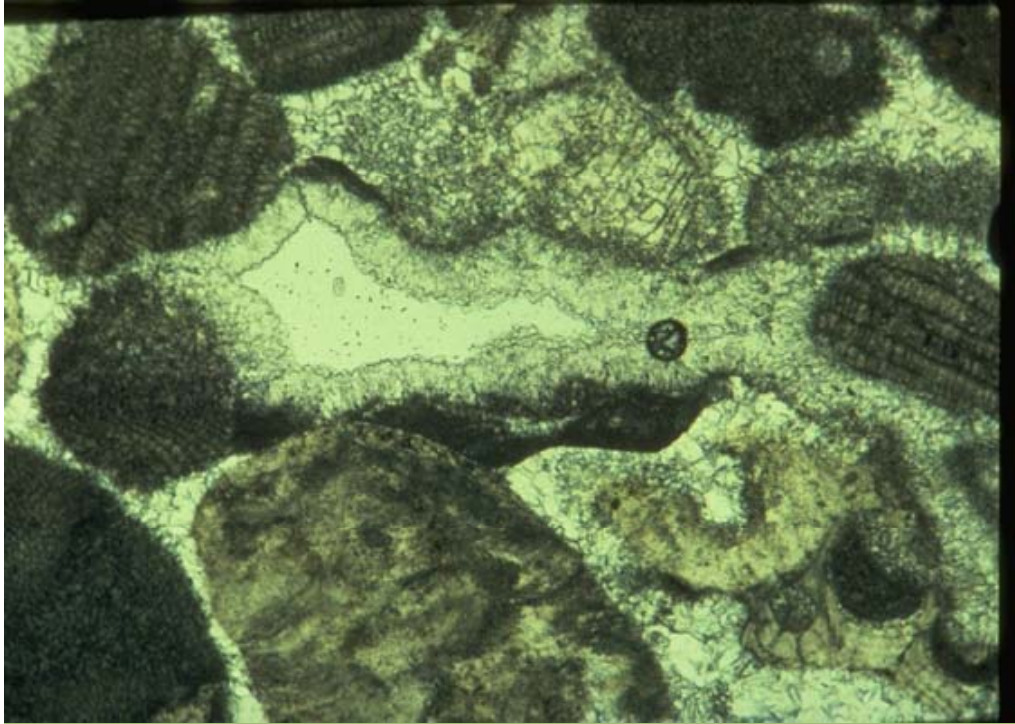
Questi cementi sono attualmente calcitici a seguito di neomorfismo e inversione di originarie cementazioni aragonitiche e/o di Mg-calcite. E' ancora aperta la discussione se la diagenesi precoce possa occludere completamente la porosità o solo parzialmente in modo da permettere successive circolazioni di fluidi burial.

1) I cementi marini freatici antichi si presentano in croste isopache riconoscibili anche per la presenza di differenti concentrazioni di inclusioni (i più precoci e più rapidi nella precipitazione sono in genere anche i meno limpidi)

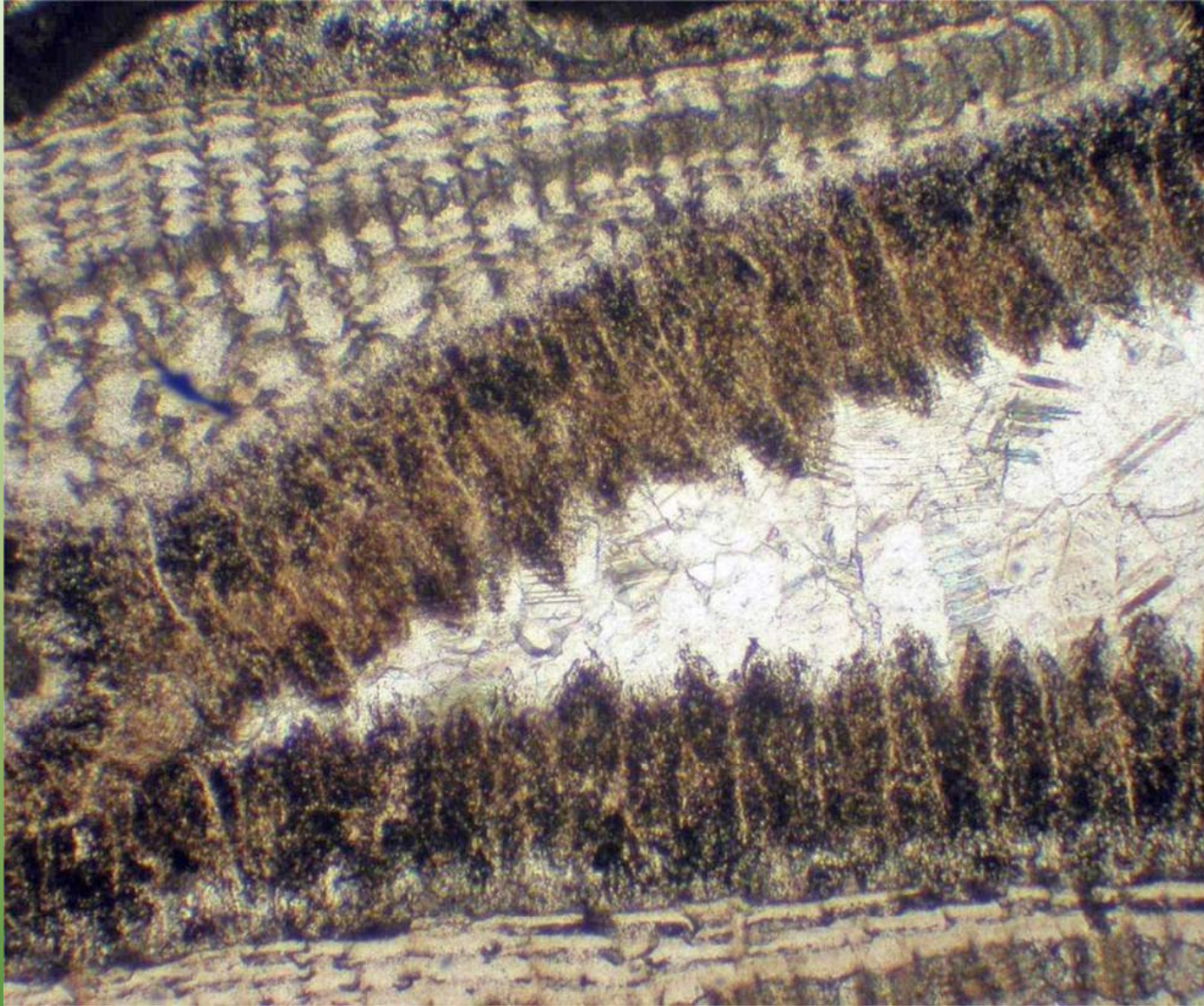
2) Nelle rocce antiche sono descritti anche "cementi micritici" e peloidali (nei reefs, mounds). Essi sono considerati come cementi perché hanno un effetto litificante della biocostruzione.

NB. In CL i cementi marini precoci sono sempre non luminescenti.





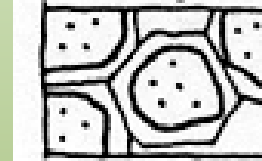
Esempi di croste isopache di calcite (a volte con aspetto pseudofibroso o colonnare che riempie cavità intergranulari (basso a sinistra) e un articolato reticolo di cavità di dissoluzione. Questo cemento è ritenuto di ambiente freatico marino o continentale.



Cavità con crosta iniziale composta da cementi freatici calcitici a palizzata torbidi, per le molte inclusioni solide . Le terminazioni scalenoedriche dei cristalli terminali sembrano evidenziare un'origine primaria di questo cemento precoce che viene descritto anche nelle cementazioni marine (Mg calcite). Questi cementi a dente di cane sono tuttavia più frequenti negli ambienti freatici con influsso di acque meteoriche.

Cemento di accrescimento. In continuità ottica con i granuli del substrato; diagenesi di seppellimento.

Le calciti sintassiali hanno continuità ottica con il granulo su cui si sviluppano)



Cemento di accrescimento o sintassiale

(calcite, frequente sui grani di echinodermi)

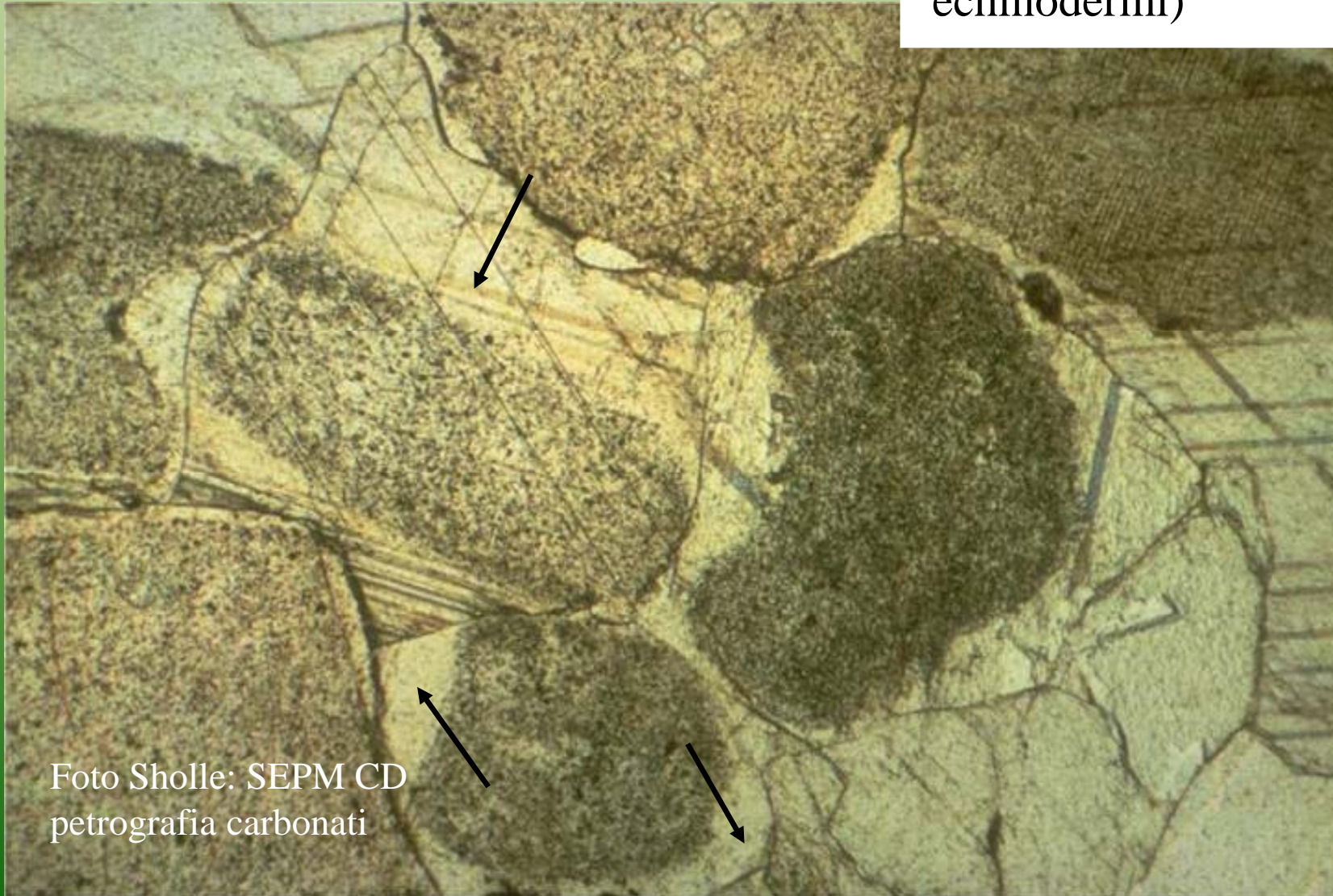
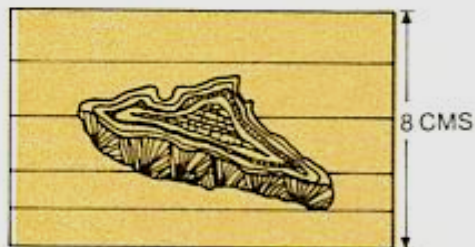
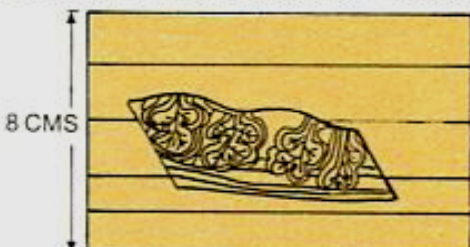



Foto Sholle: SEPM CD
petrografia carbonati


VOID FILL OF REEF




RENALCIS FILL OF CAVITY




 ARAGONITE FIBERS AS BOTRYOIDAL CRUST

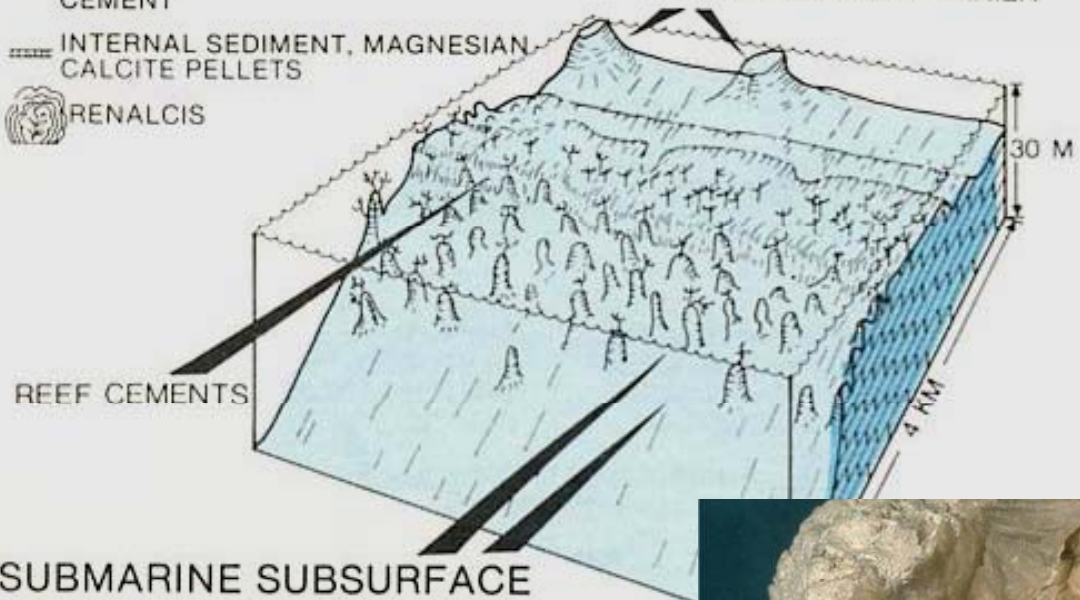
 LAYERS OF MAGNESIAN CALCITE OR ARAGONITE MICRITE

 MAGNESIAN CALCITE ISOPACHUS CEMENT

 INTERNAL SEDIMENT, MAGNESIAN CALCITE PELLETS


 RENALCIS


LITTLE OR NO CEMENTATION IN REEFS BEHIND BARRIER




SUBMARINE SUBSURFACE AND SURFACE CRUSTS



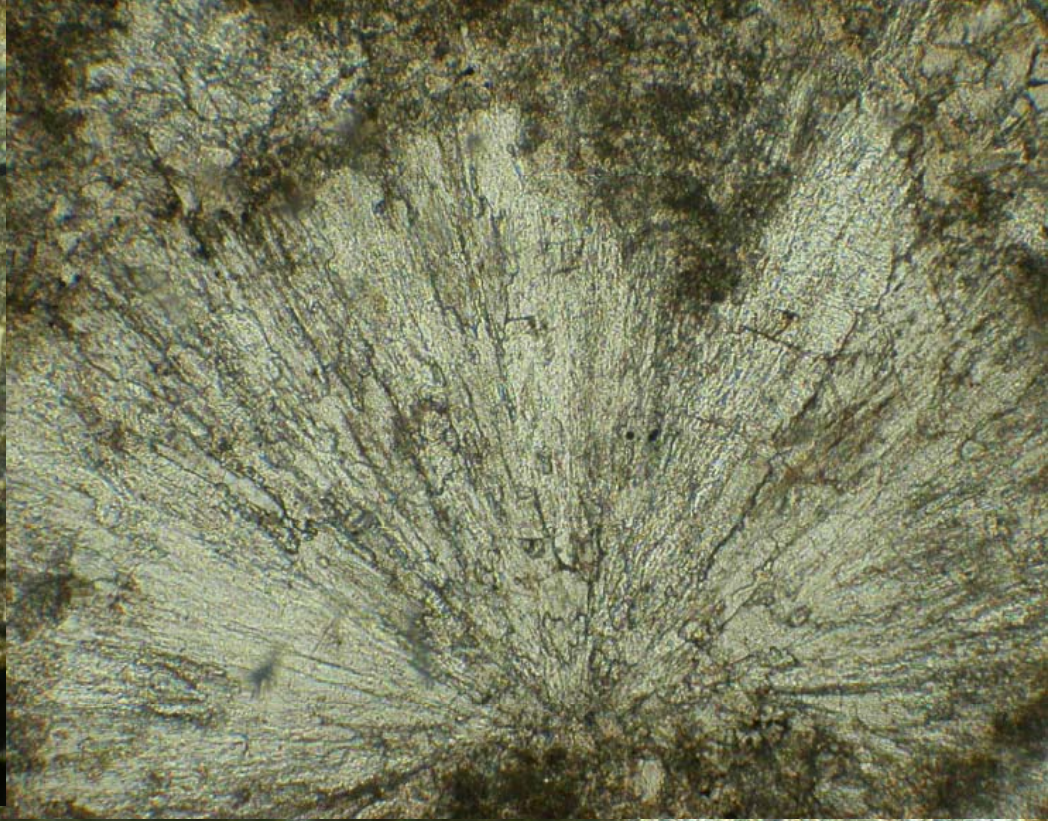
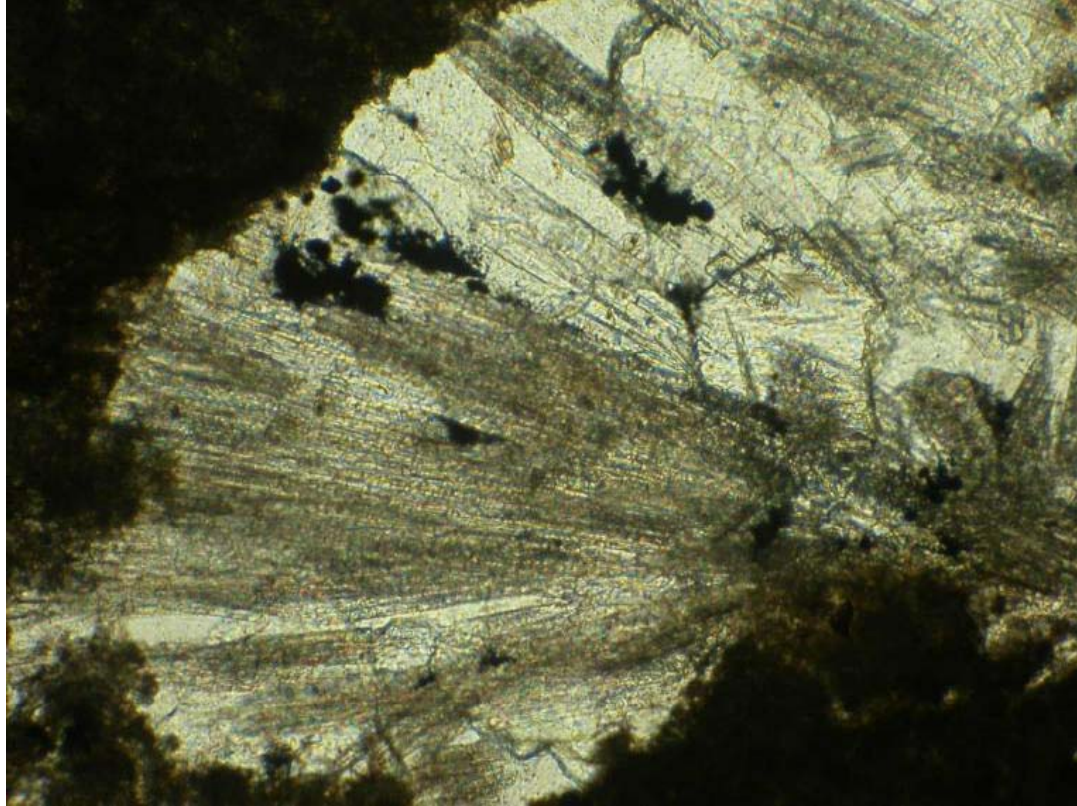
 MICRITIC ARAGONITE OR MG CALCITE

 BLADED MG CALCITE

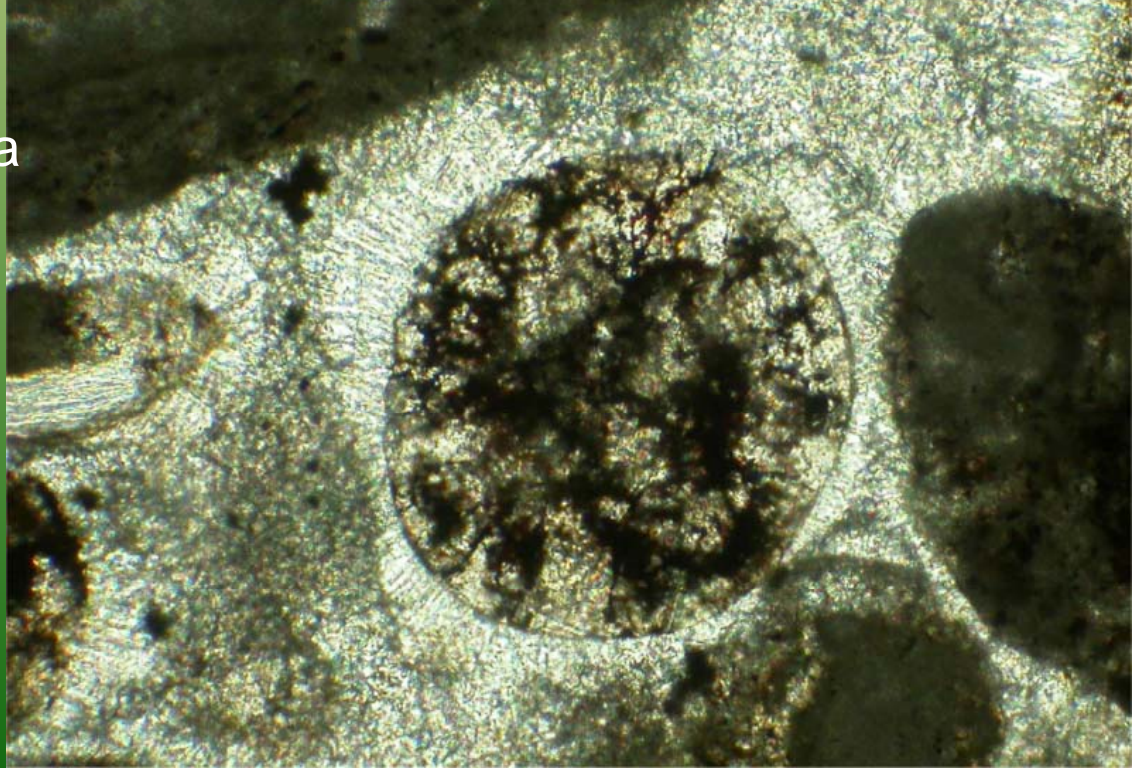
 FIBROUS ARAGONITE

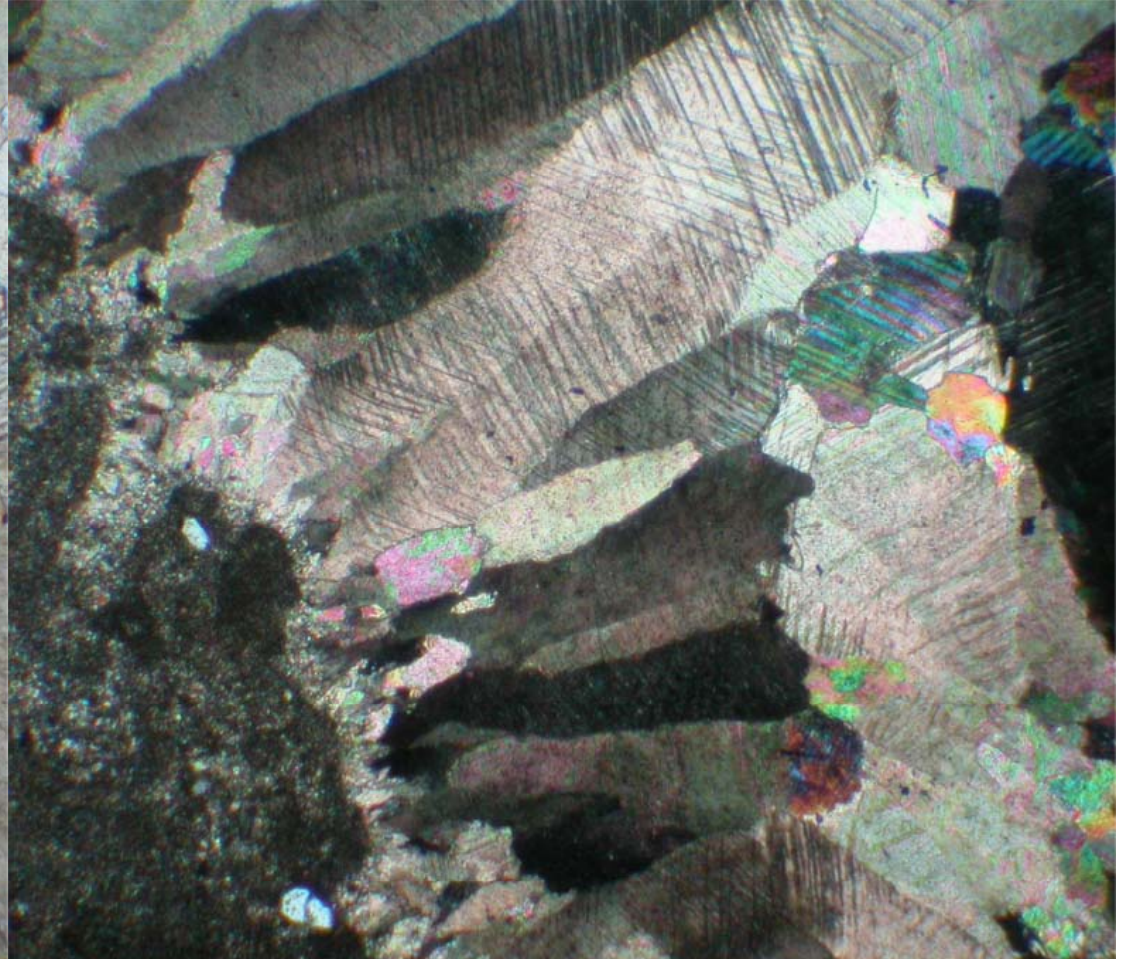
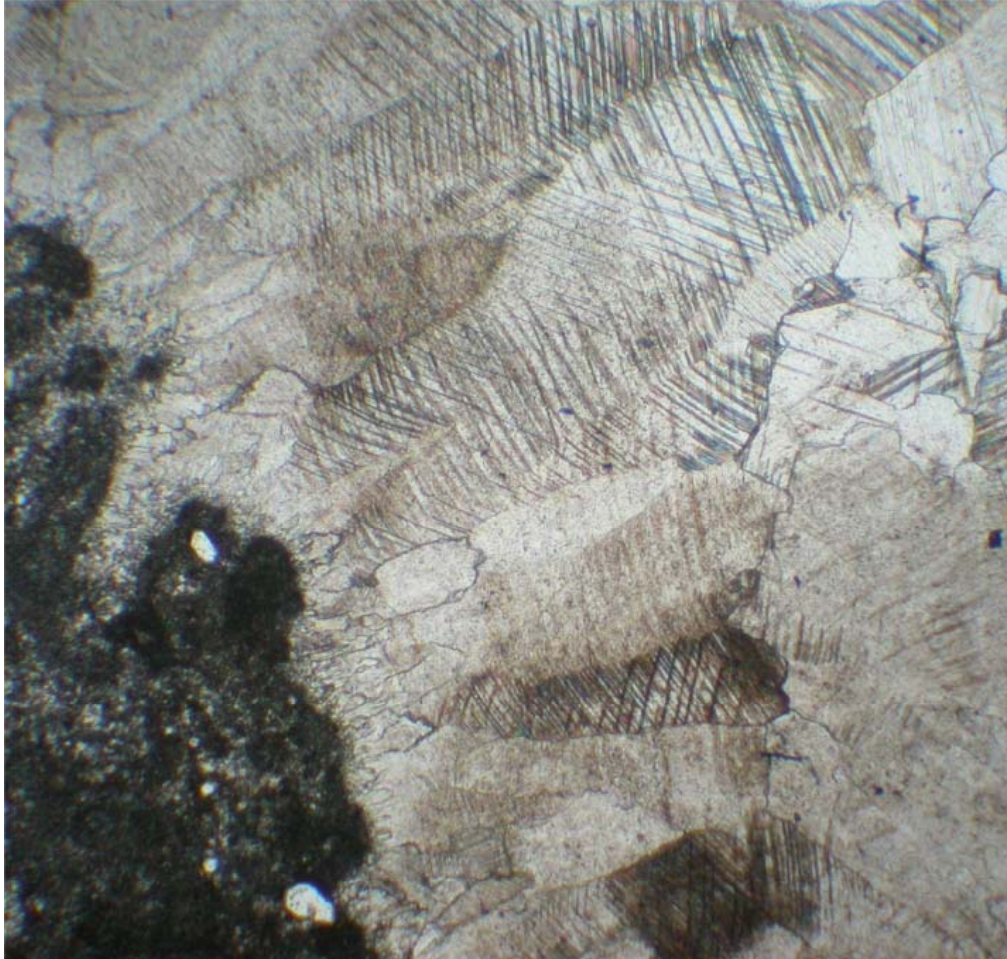


Cementazioni dei reef



Esempi di antichi cementi marini originariamente aragonitici ora calcitici ma con preservata la struttura aciculare del minerale precursore.





Le calciti fibroso-radiale/ radiassiale viste in microfacies.

Questi cementi marini evidenziano le consistenti porosità primarie esistenti nei reef e nelle brecce dei margini di piattaforma del triassico e del paleozoico. Esempio microscopico di cavità nel Calcarea di Esino in facies di margine di piattaforma.

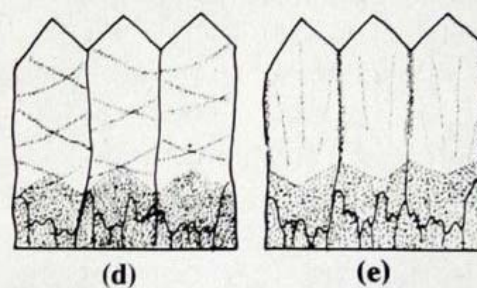
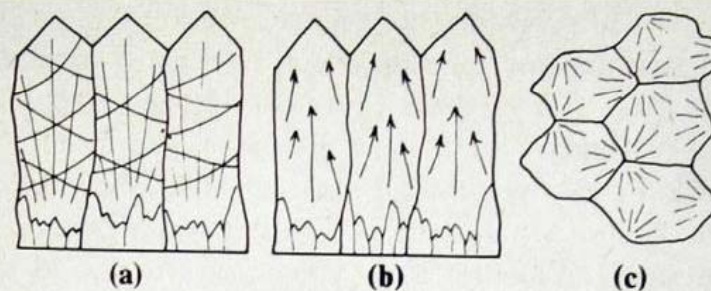


Figure 29.9 Radiaxial fibrous calcite. (a) Subcrystals divergent away from substrate and twin lamellae convex towards substrate; (b) optic axes convergent away from substrate; (c) transverse section showing radiating optic axes shared by adjacent crystals; (d) inclusion patterns along twin lamellae and along the substrate boundary; (e) inclusions along inter-crystalline and inter-subcrystal boundaries. Note the inclusion-defined terminations in (d) and (e) do not always correspond with present fibrous crystals. (After Kendall & Tucker 1973).

Le inclusioni fluide nei grani e nei cementi

Le inclusioni fluide raggiungono dimensioni da pochi micron sino al cm. Sono utili perché i liquidi presenti nelle bolle **forniscono dati importanti sulla composizione dei fluidi diagenetici** (composizione, salinità, temperatura)

Diagramma con i principali tipi di inclusioni fluide.
Noel P. James (from Y. Bone)

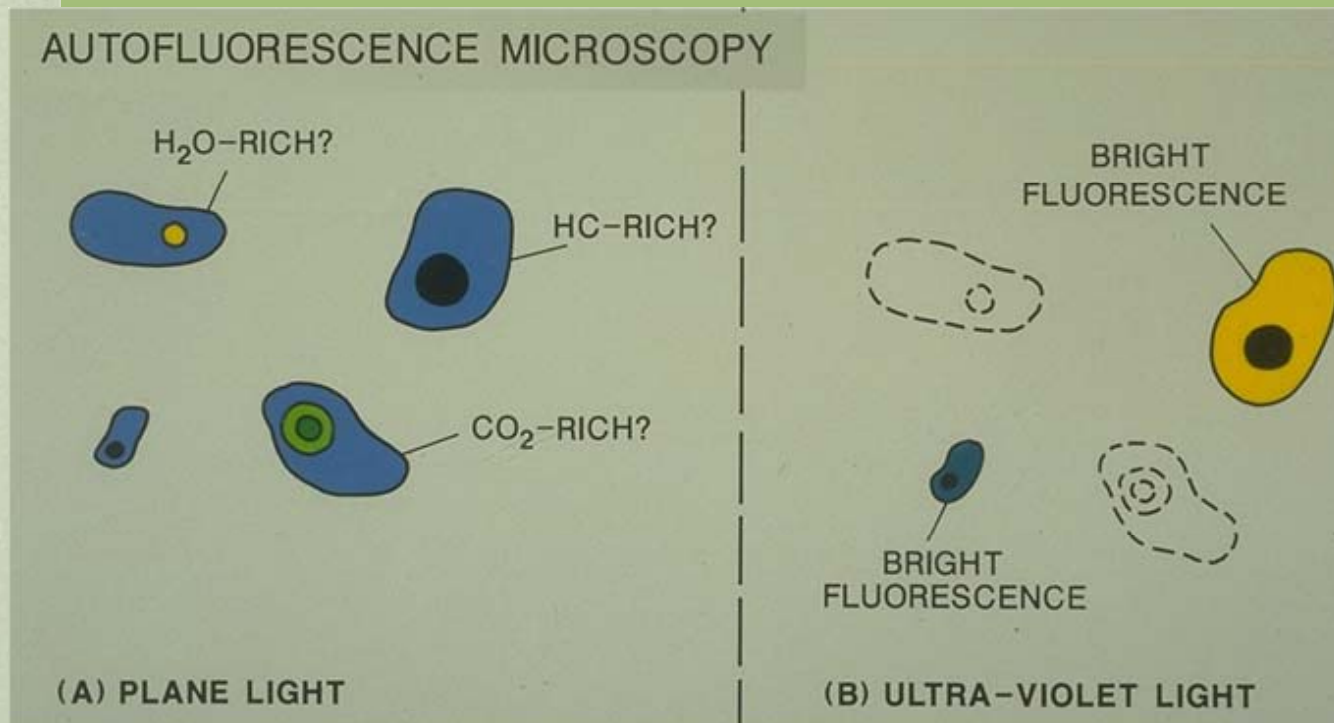
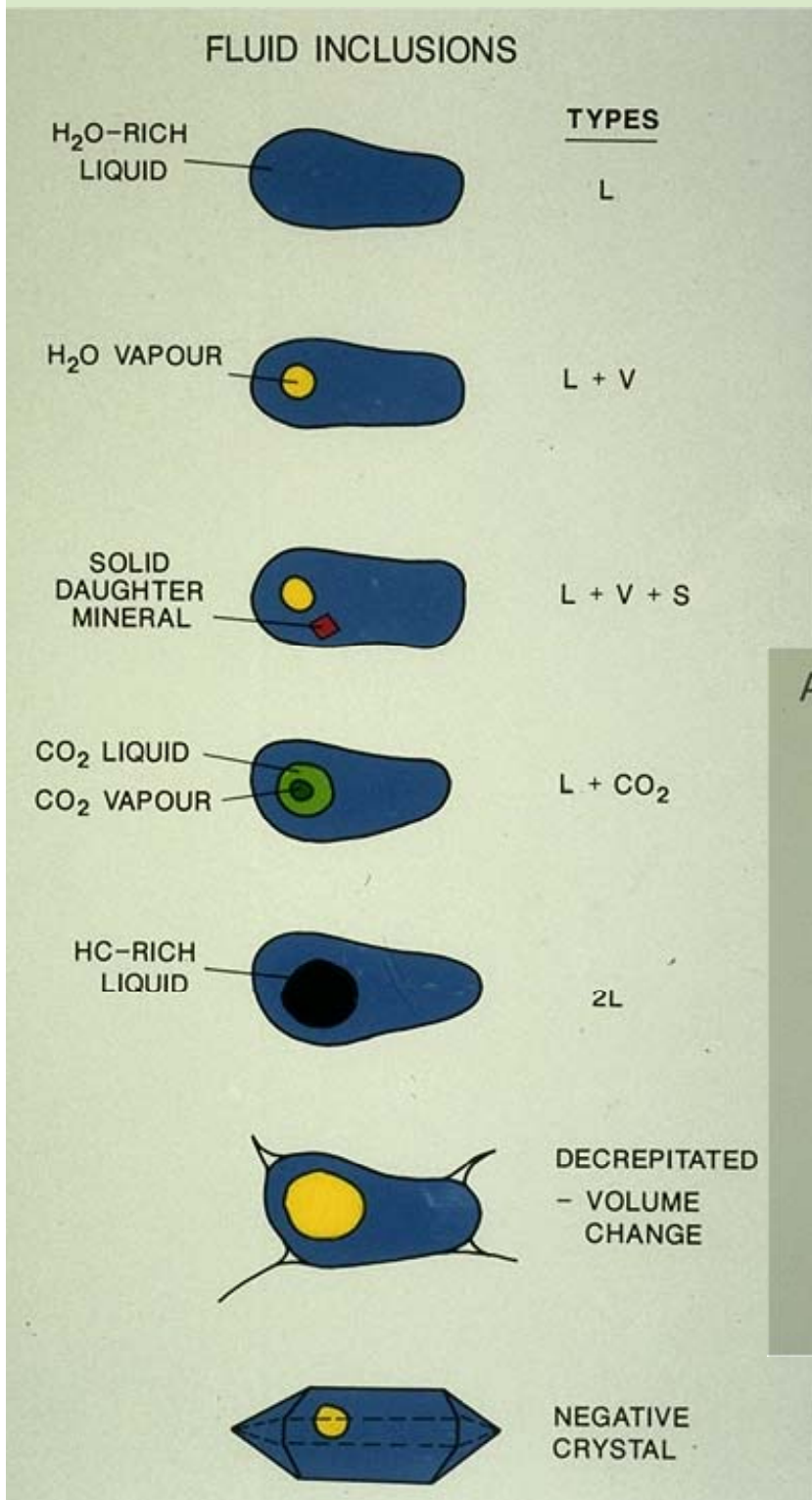
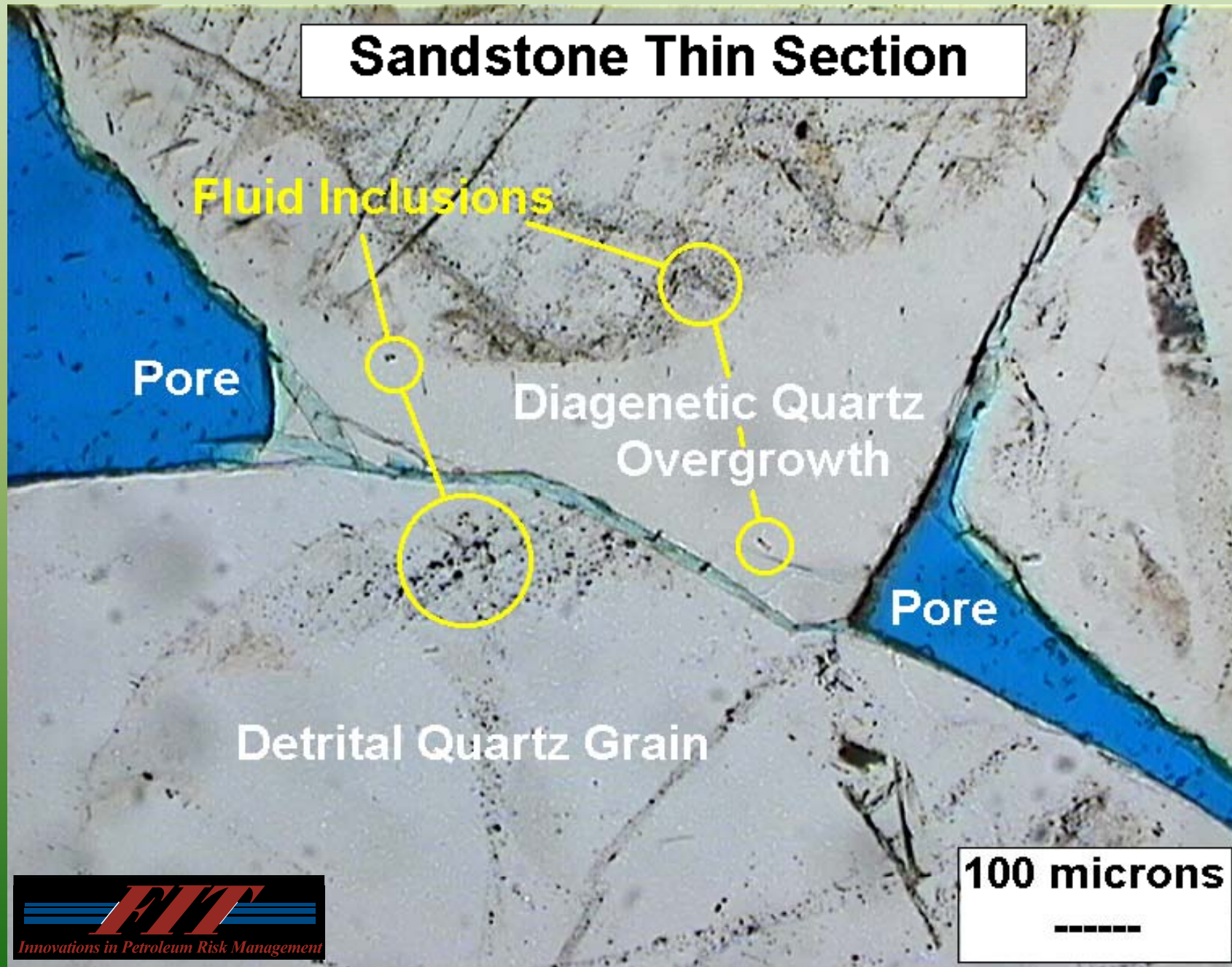


Diagram - Autofluorescence of fluid inclusions.
Noel P. James (from Y. Bone)

Fluid Inclusions in Sandstone



Caratteri petrografici e geochemici dei prodotti e processi della diagenesi meteorica

La diagenesi meteorica coinvolge le acque dolci.

I processi principali sono soluzione, cementazione e formazione di suoli.

Nella **zona vadosa** i pori contengono periodicamente acqua, aria o entrambi.

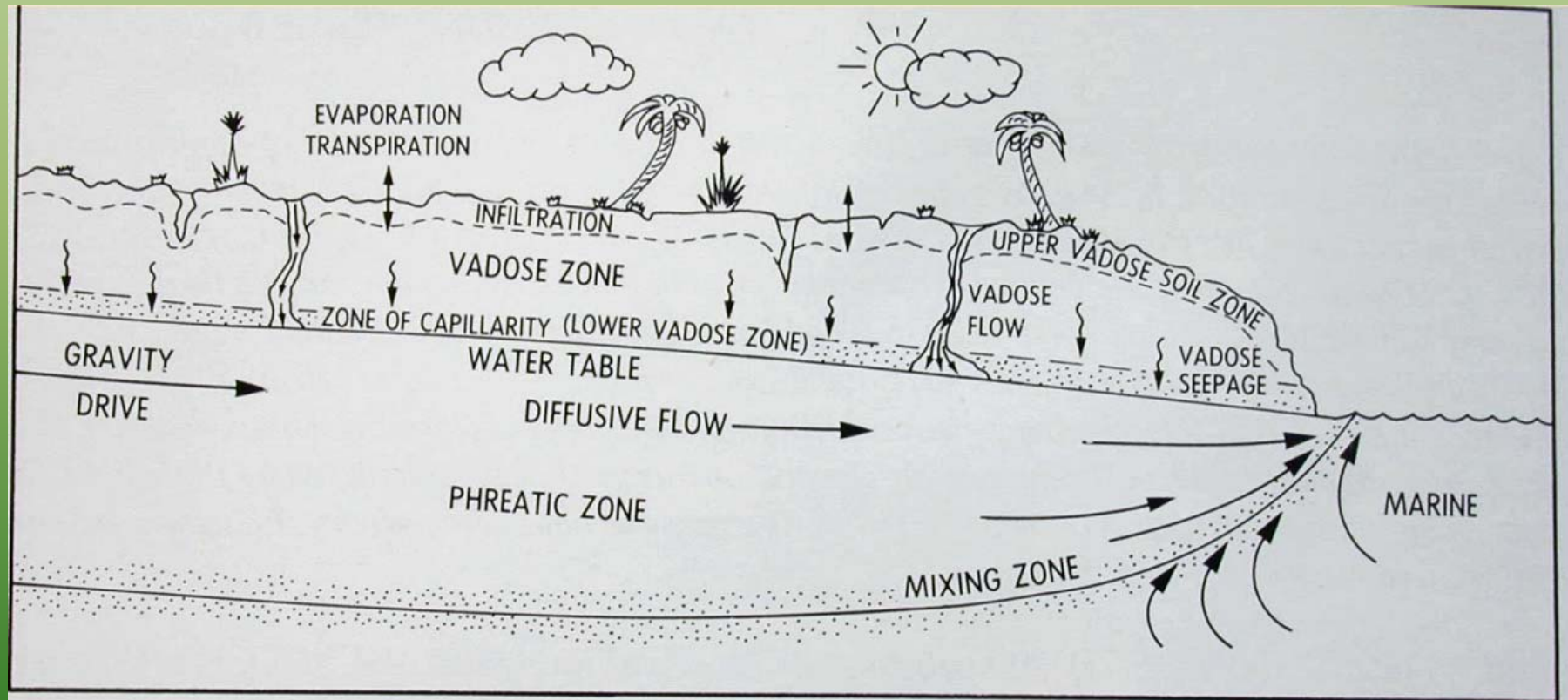
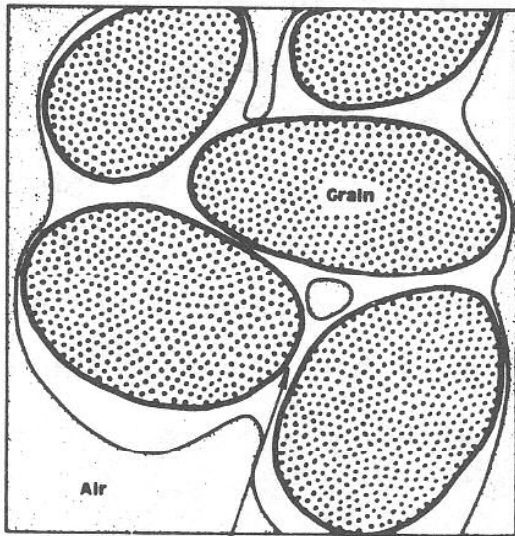


Fig. 6.8. Conceptual model of the major diagenetic environments, and hydrologic conditions present in the meteoric realm.

FRESH WATER VADOSE ENVIRONMENT



MENISCUS WATER FILM

ZONE OF SOLUTION

PROCESSES

1. SOLUTION BY UNDERSATURATED METEORIC WATER
2. PRODUCTION OF CO₂ IN SOIL ZONE AIDING SOLUTION

PRODUCTS

1. EXTENSIVE SOLUTION
2. PREFERENTIAL REMOVAL OF ARAGONITE IF PRESENT
3. FORMATION OF VUGS IN LIMESTONE

ZONE OF PRECIPITATION

PROCESSES

1. MENISCUS OR PENDANT DISTRIBUTION OF WATER
2. CO₂ LOSS

PRODUCTS

1. MINOR CEMENTATION
2. MENISCUS CEMENTS
3. PENDANT CEMENTS
4. EQUANT CALCITE
5. PRESERVATION OF MOST POROSITY

Figure 58. Characteristics of the vadose diagenetic environment.

Criteria per riconoscere dissoluzioni e cementazioni connesse alla diagenesi meteorica (documentare le discontinuità stratigrafiche emersioni)

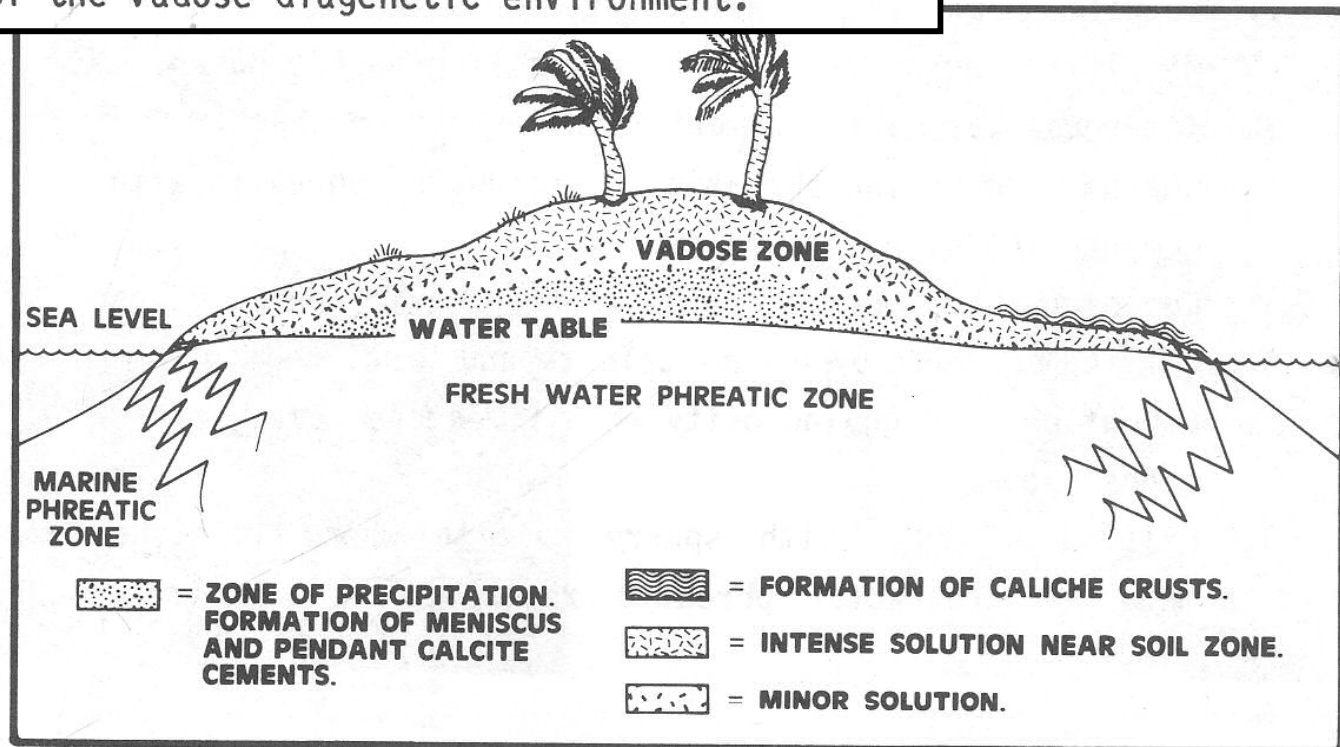
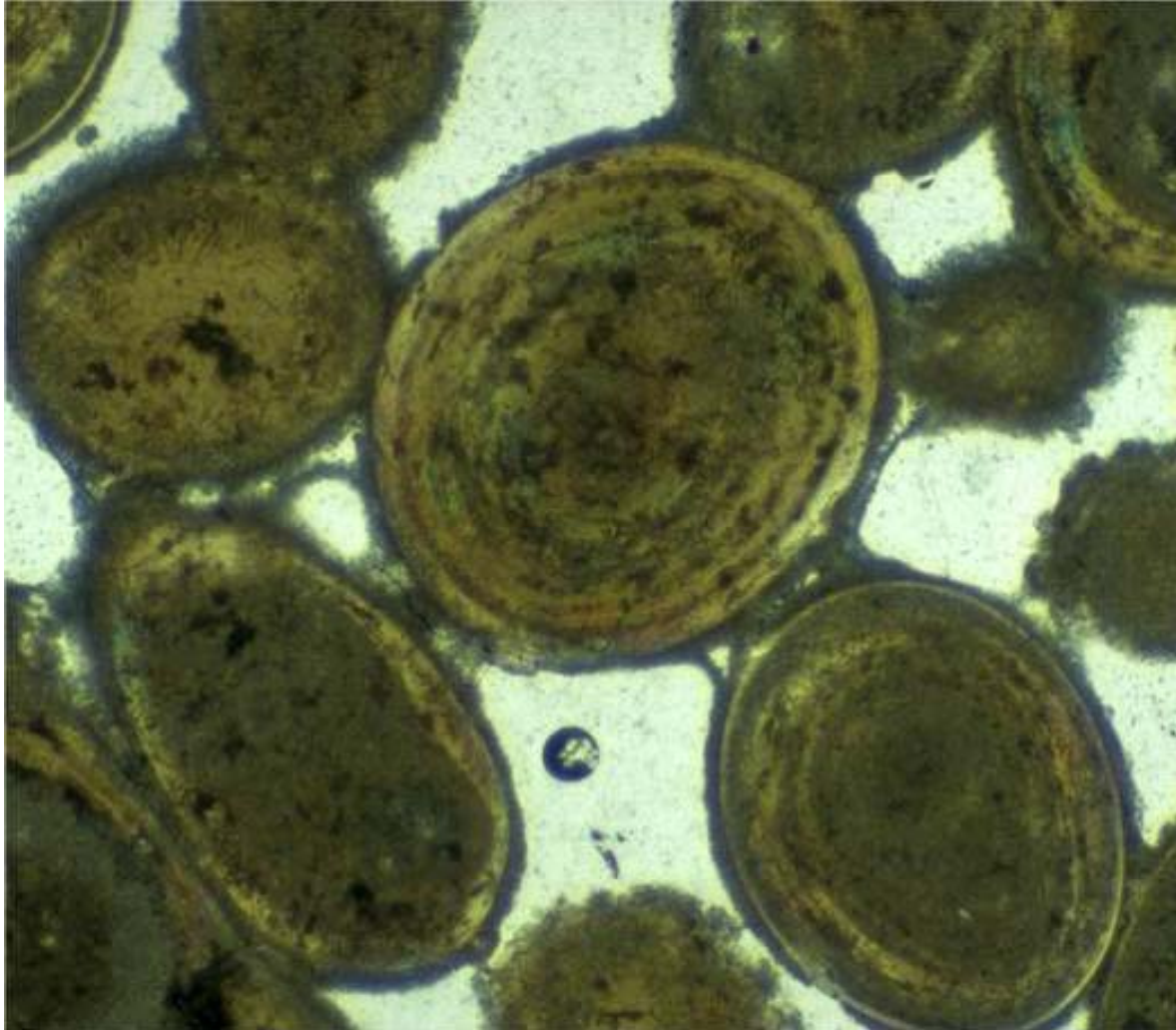
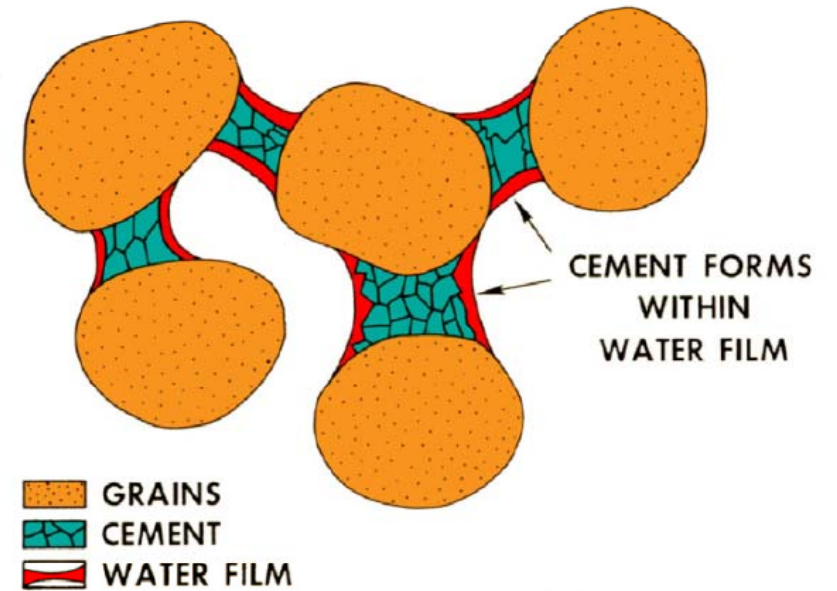


Figure 59. Idealized cross section of fresh water vadose zone showing probable distribution of areas of solution and precipitation.



Meniscus Cement Formed in "Wet" Sediment Above Water Table



Cemento a menisco. Si forma presso il contatto tra due granuli; tipico della zona vadosa.

Il cemento a menisco può essere costituito da:

- calcite equant finemente cristallina (tipica dell'ambiente meteorico)
- Mg-calcite, raramente aragonite (ambiente marino vadoso di spiaggia).

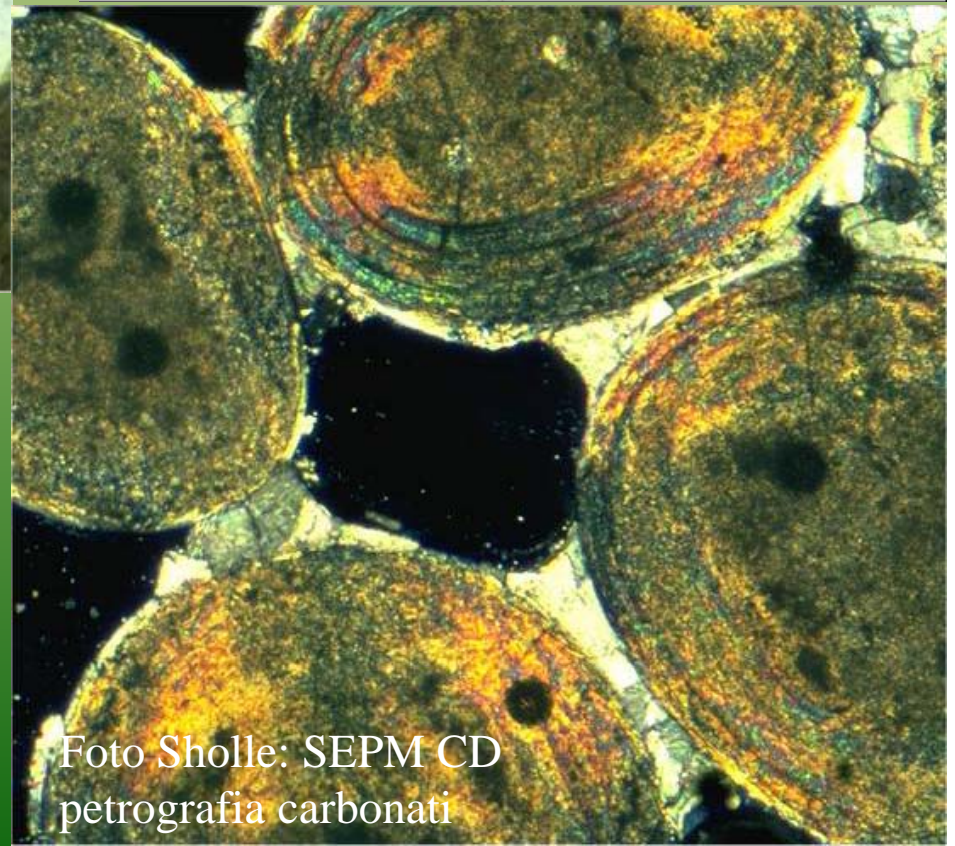
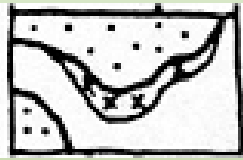


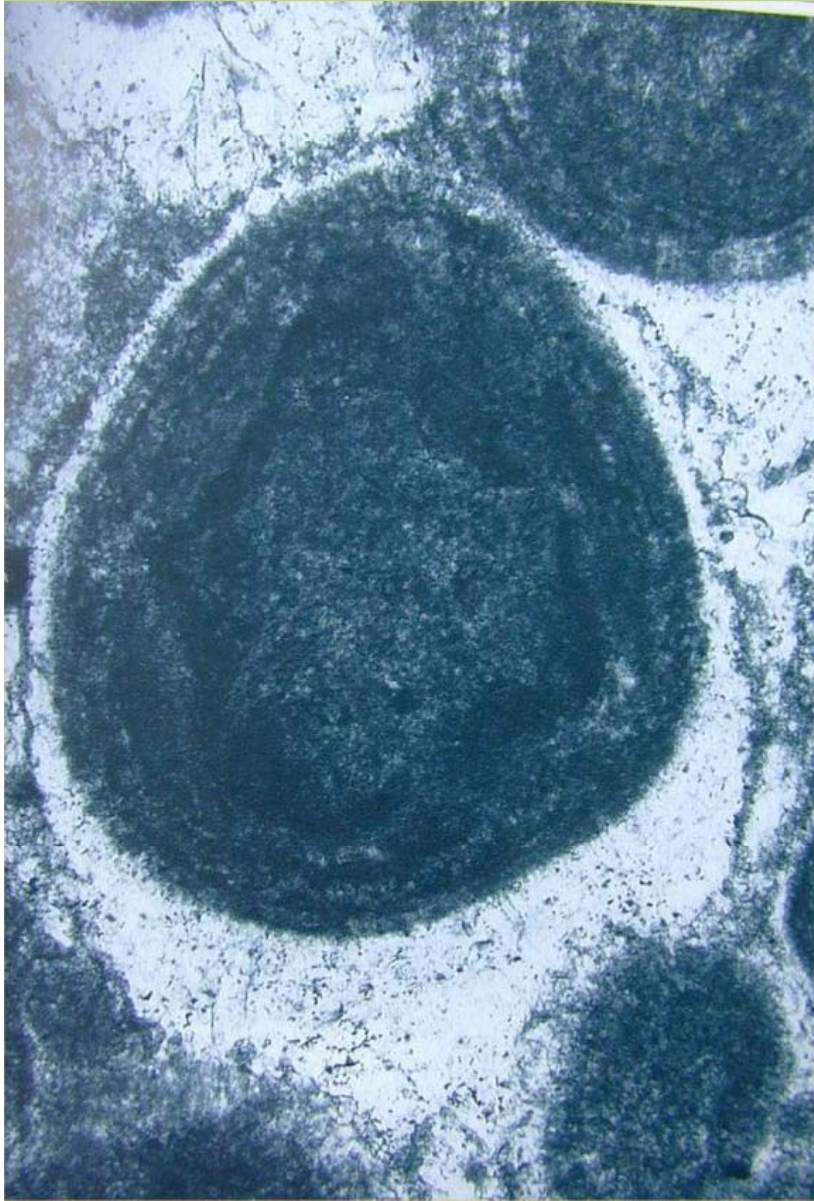
Foto Sholle: SEPM CD
petrografia carbonati



Cemento
microstalattitico o
“pendant”

(Mg-Calcite, calcite)

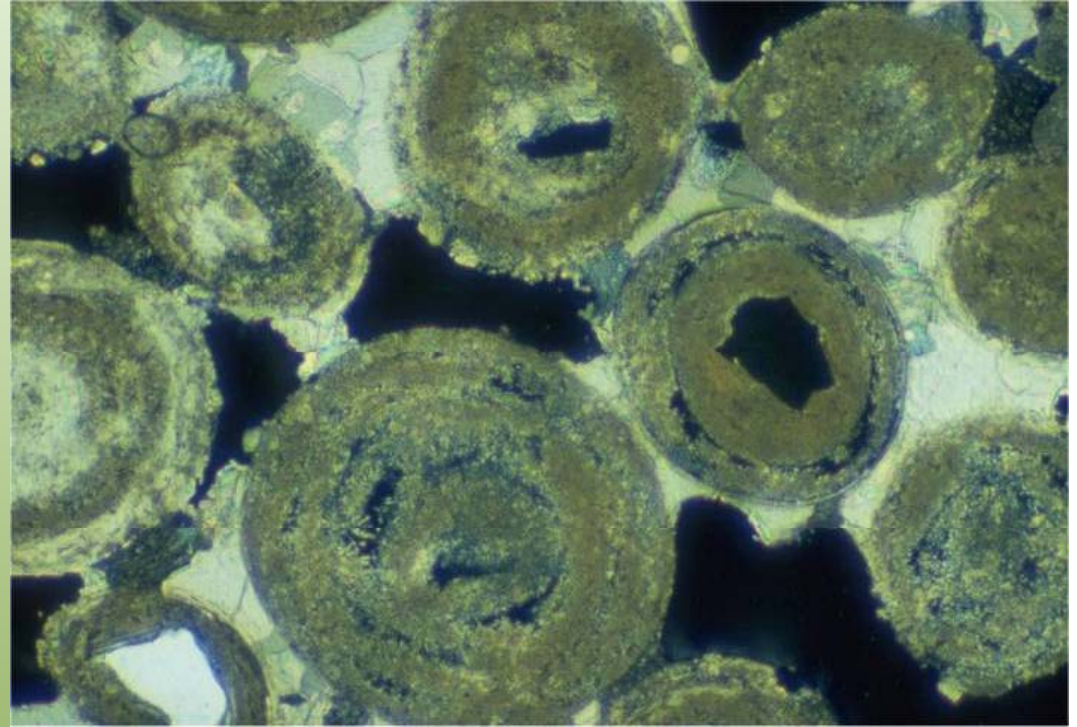
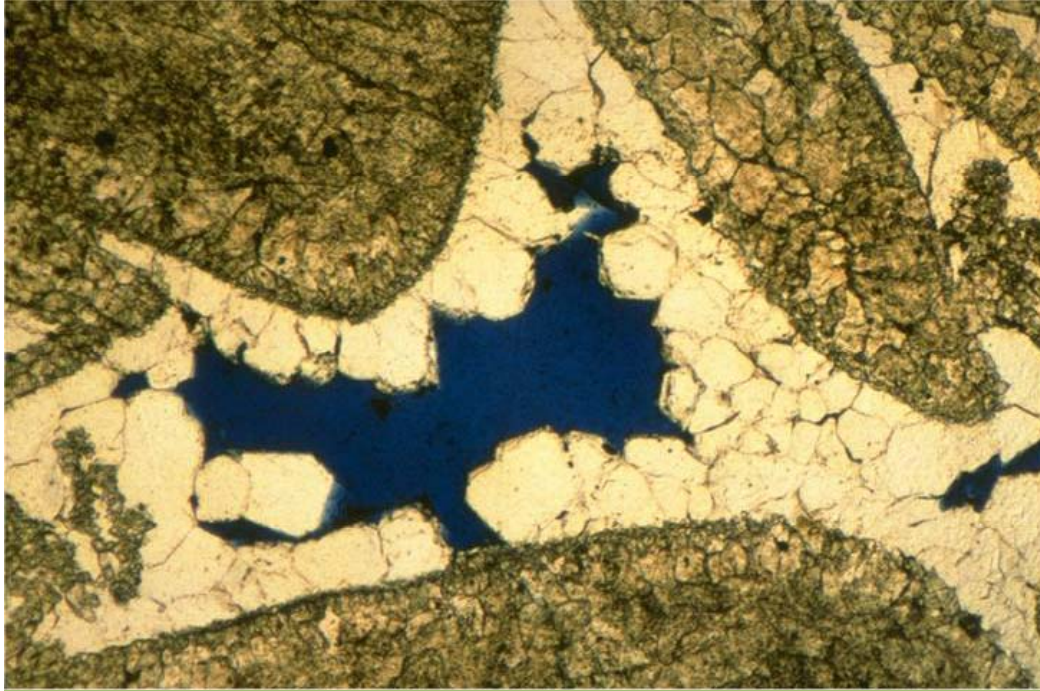
**Le cementazioni dell'ambiente
vadoso (influssi di acque marine e/o
meteoriche (es. pianure inter-sopratidali)).**



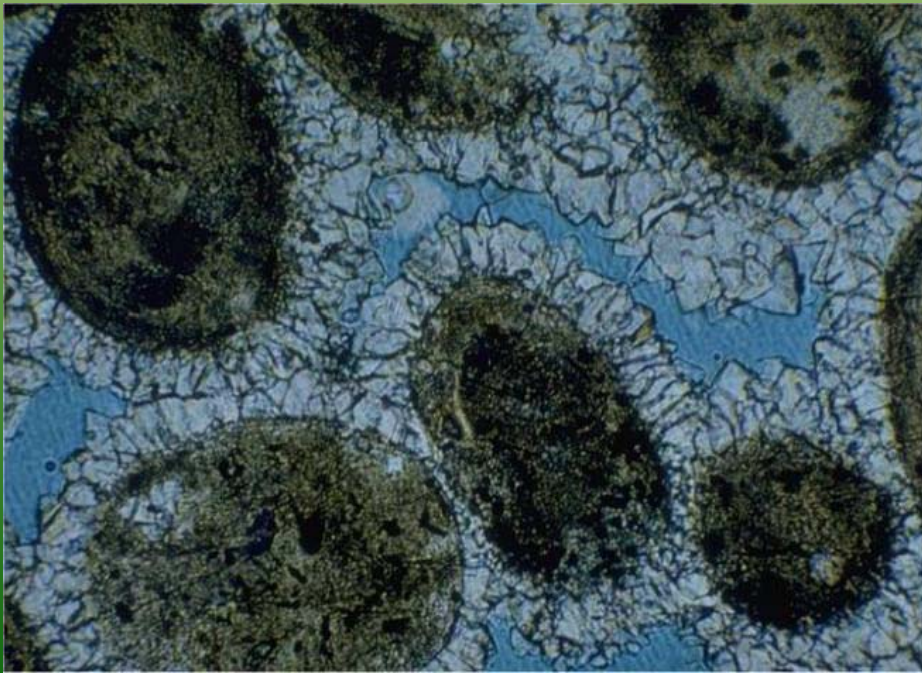
Cemento microstalattitico. Dà origine a piccoli festoni dai contorni arrotondati posti in corrispondenza alla parte inferiore dei granuli; entro la zona vadosa.



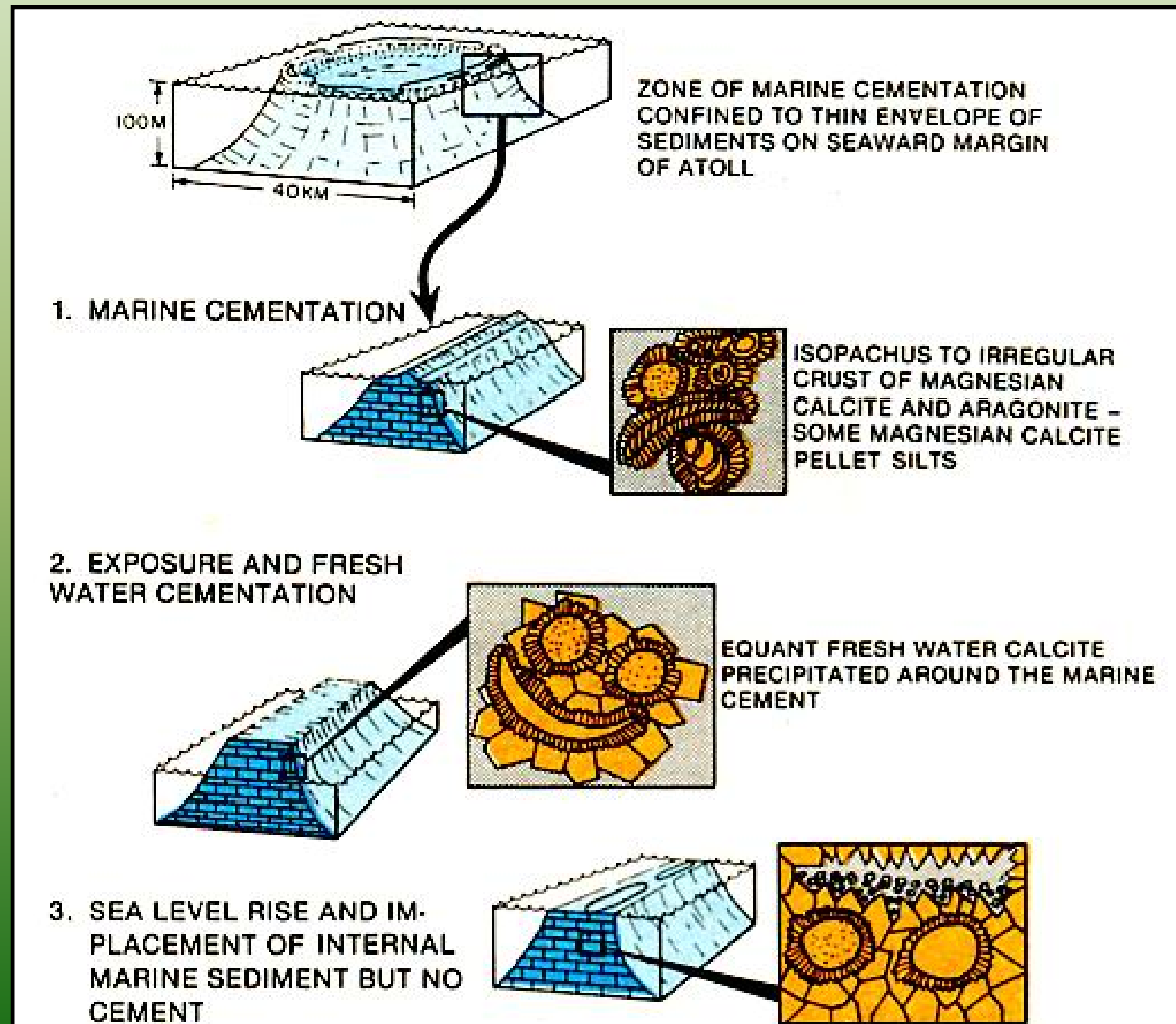
Esempi di cementi calcitici vadosi stalattitici in cavità precoci della piattaforma inter-sopratidale a intraclasti, fenestrae e pisoidi (Calcare Rosso della Valle Brembana Carnico basale). Nella foto in alto i cementi stalattitici (frecche bianche) sono ricristallizzati e associati a pisoliti probabile origine vadosa e a sedimenti interni (plaghe grigie)



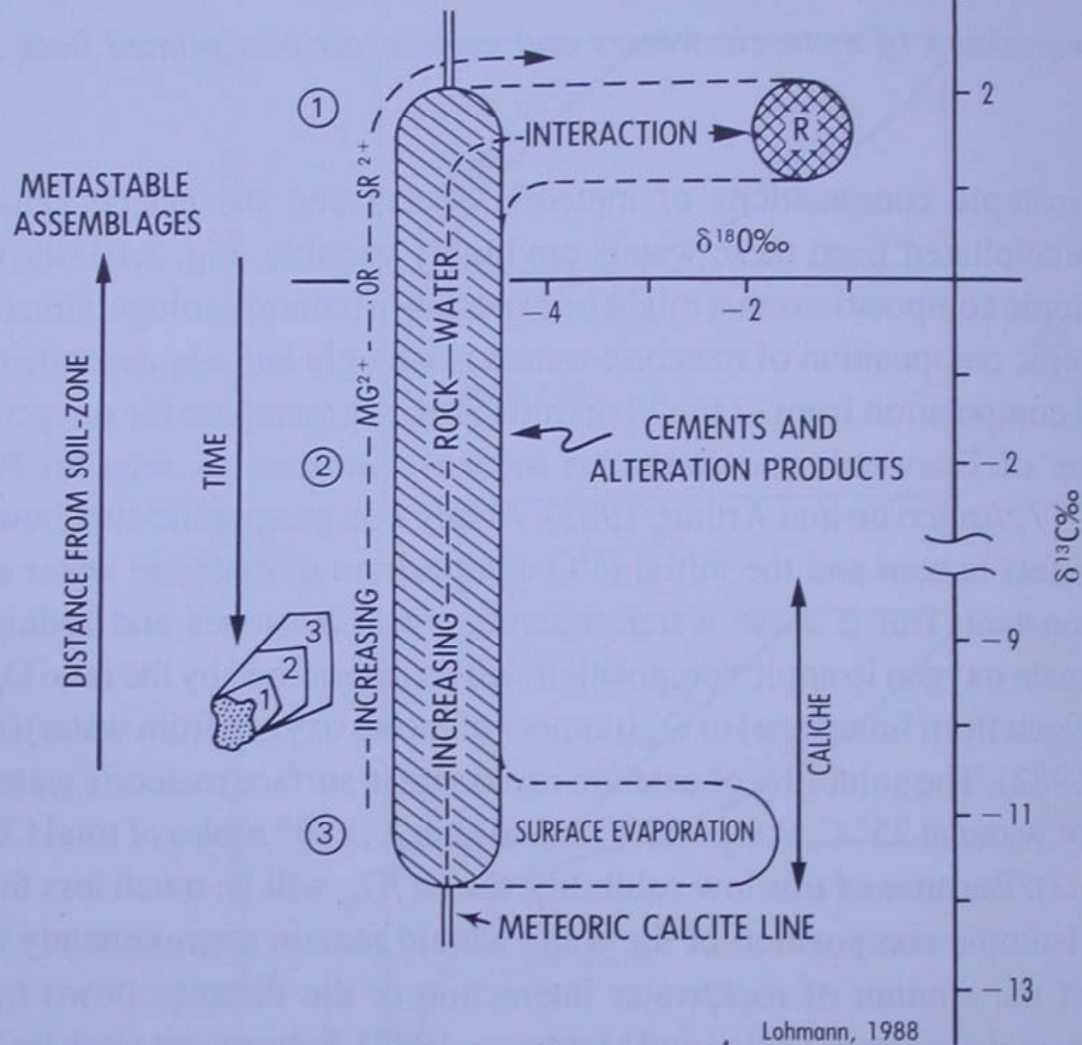
Esempi di carbonati marini cementati da **calcite a palizzata e equant di ambiente meteorico freatico.**



Esempi di interpretazioni diagenetico-ambientali in relazione al tipo di cementazione.

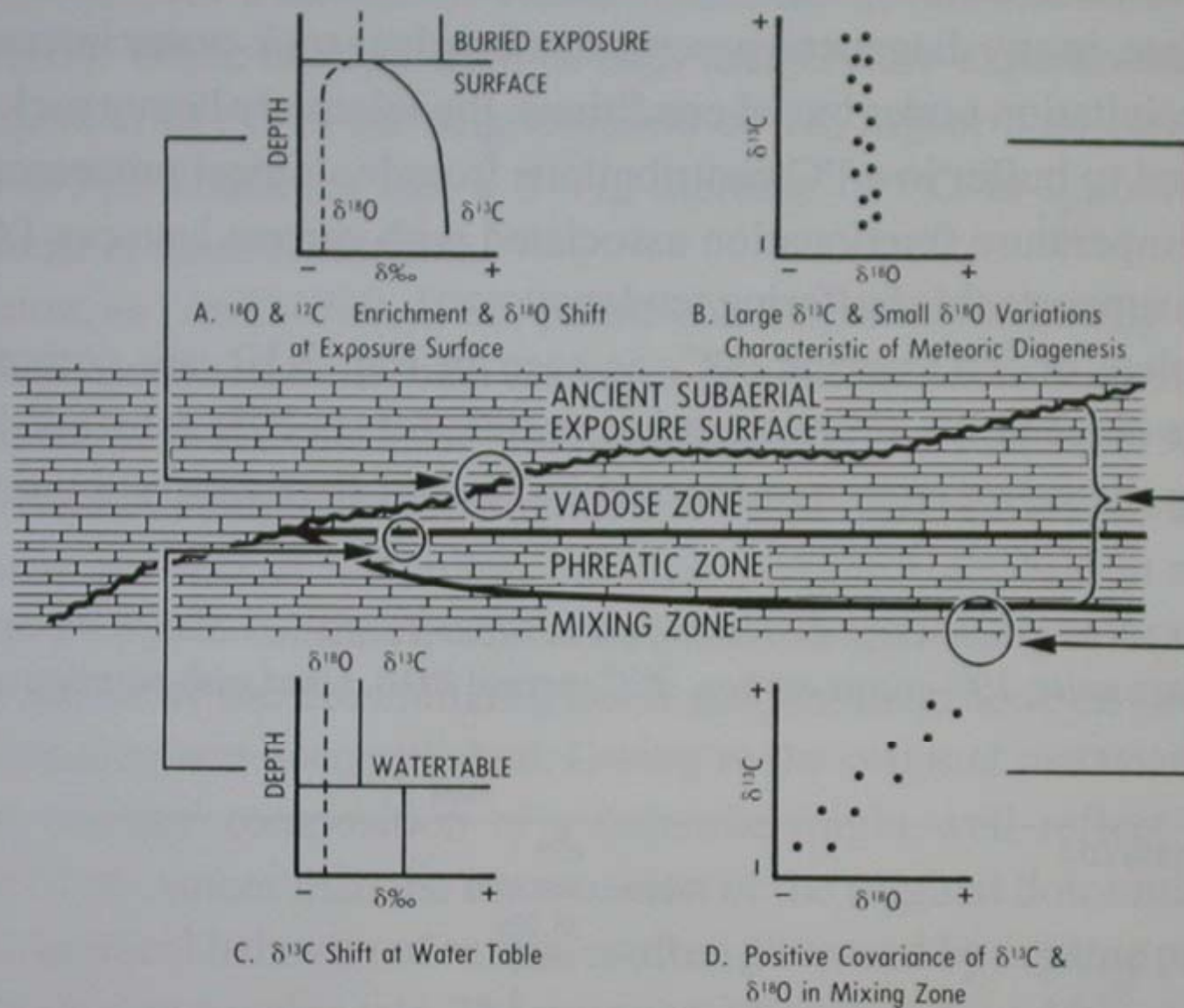


L'utilizzo della geochimica degli isotopi stabili per riconoscere i carbonati meteorici e vadosi.



Lohmann, 1988

Fig. 6.4. Idealized plot of variation in $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ characteristic of meteoric vadose and phreatic carbonates. The constancy of $\delta^{18}O$ and the variable $\delta^{13}C$ define a trend termed the meteoric calcite line (2). Deviations from this line will generally take place where: there is increased rock-water interaction with polymineralic suites distal from meteoric recharge and water may be buffered by rock-derived carbon, oxygen, and trace elements, such as Mg and Sr (1); and at exposure surfaces where surface evaporation may drive $\delta^{18}O$ compositions toward more positive values. Reprinted with permission from Paleokarst. Copyright (C), 1988, Springer-Verlag, New York.



Allen and Matthews, 1982

Fig. 3.11. Schematic diagram showing the anticipated carbon and oxygen isotopic shifts across meteoric diagenetic interfaces such as exposure surfaces, water tables, and meteoric-marine water mixing zones, as compared to the trend expected in the meteoric phreatic zone. Reprinted with permission of the International Association of Sedimentologists.

La diagenesi profonda.

Nella fig 9.1 sono visibili le relazioni con gli ambienti diagenetici superficiali

I fluidi della diagenesi profonda si caratterizzano perché **non hanno più relazioni con gli ambienti superficiali che possono apportare O e CO₂**.

Inoltre gli scambi tra fluidi diminuisce a seguito della diminuzione della porosità e subiscono una lenta evoluzione composizionale guidata da interazioni roccia-acqua e/o mixing con acque derivanti dal bacino (acque connate, fluidi prodotti dalla compattazione).

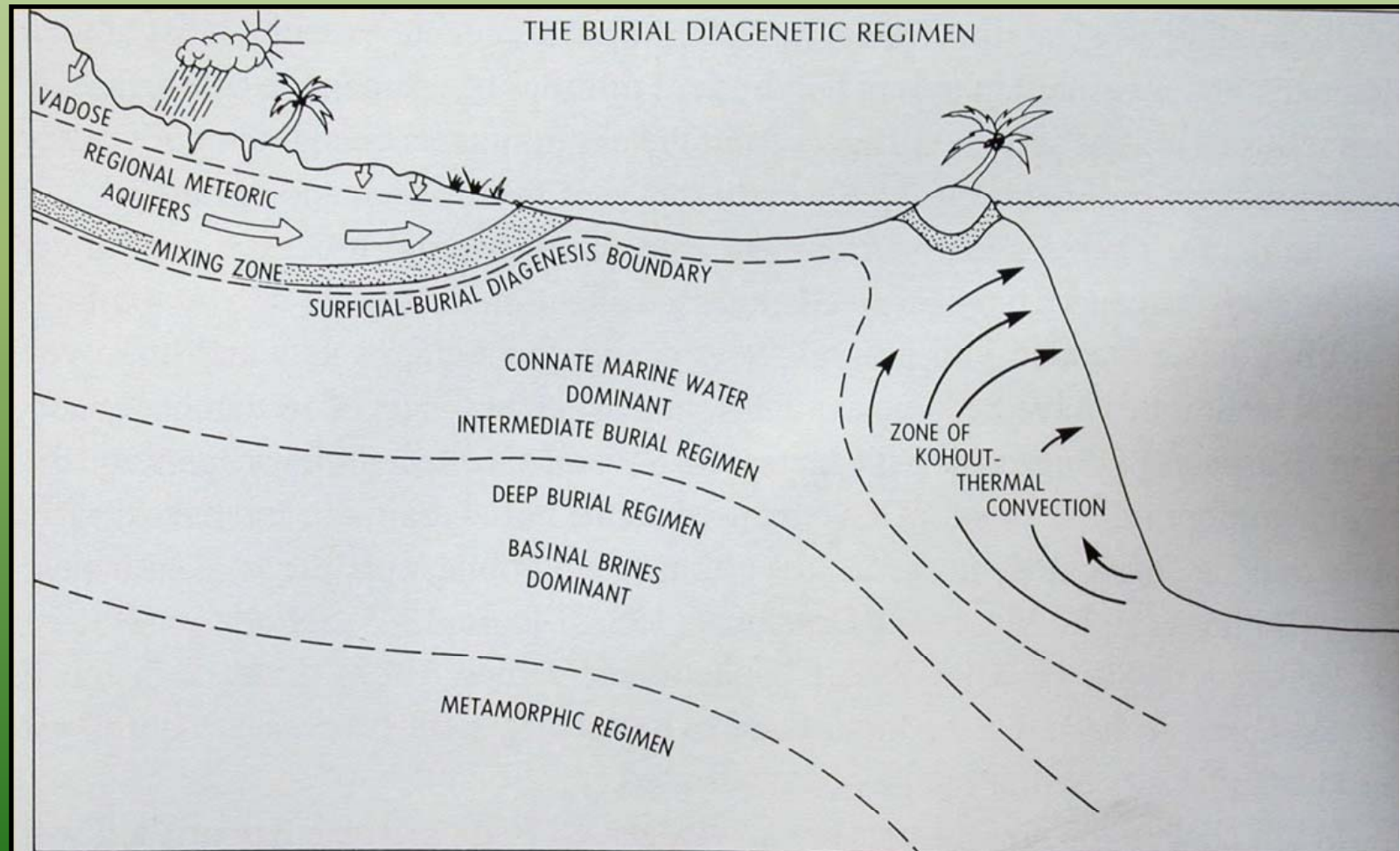
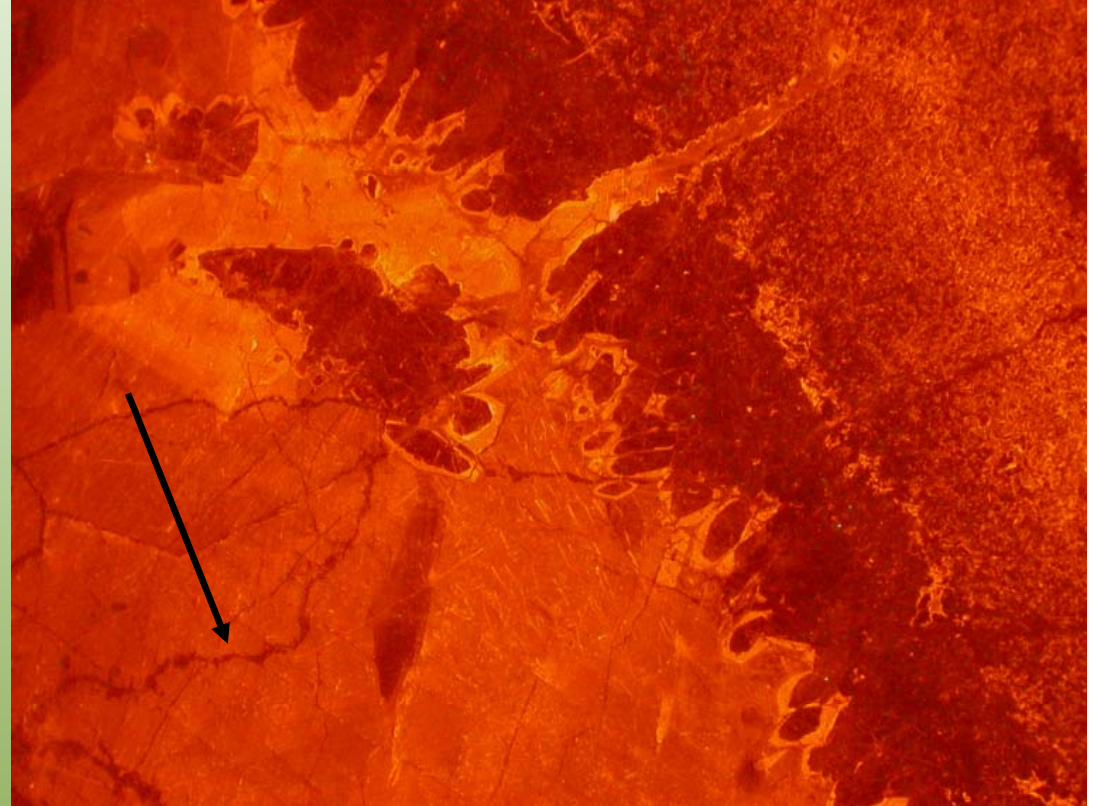
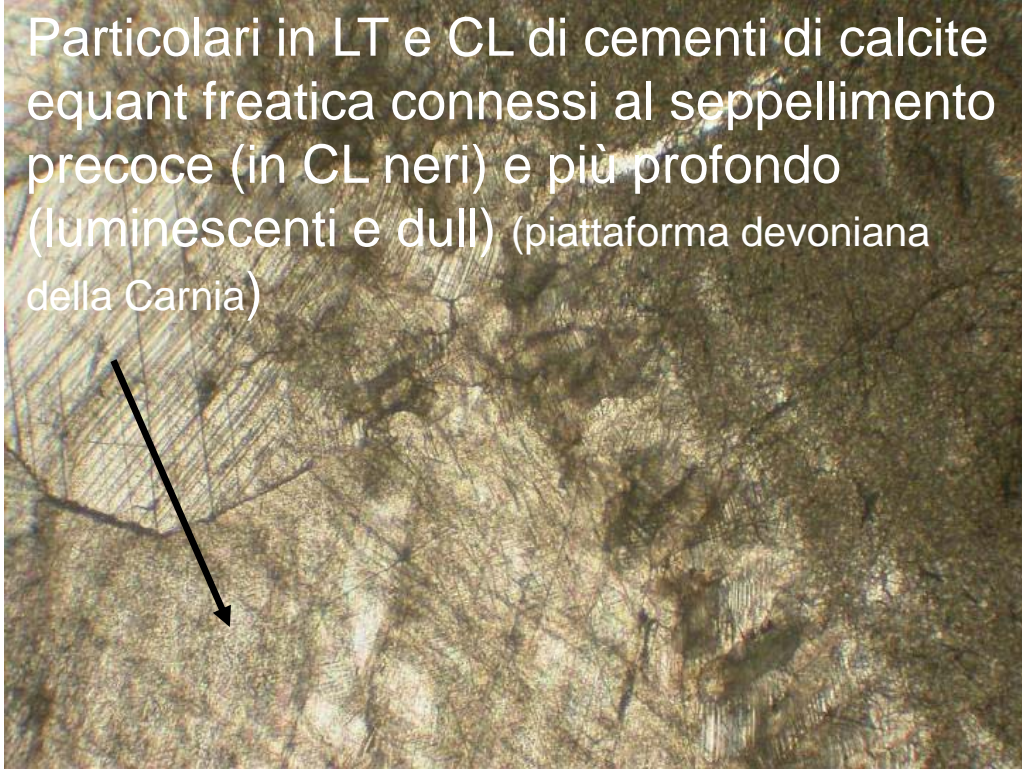
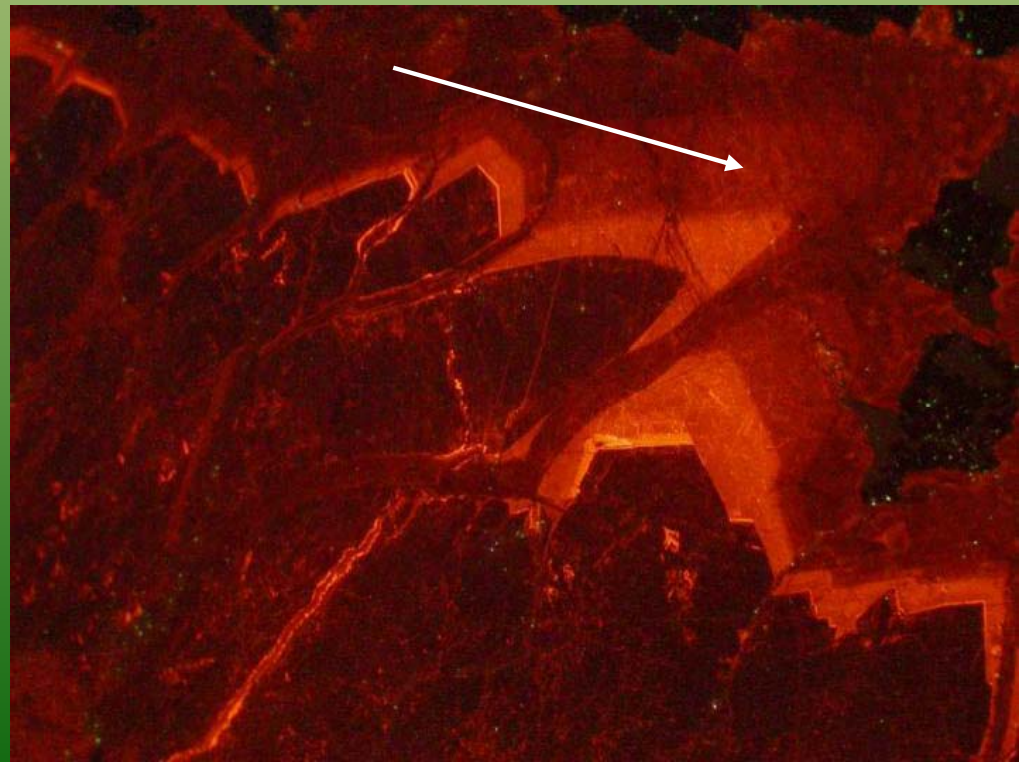
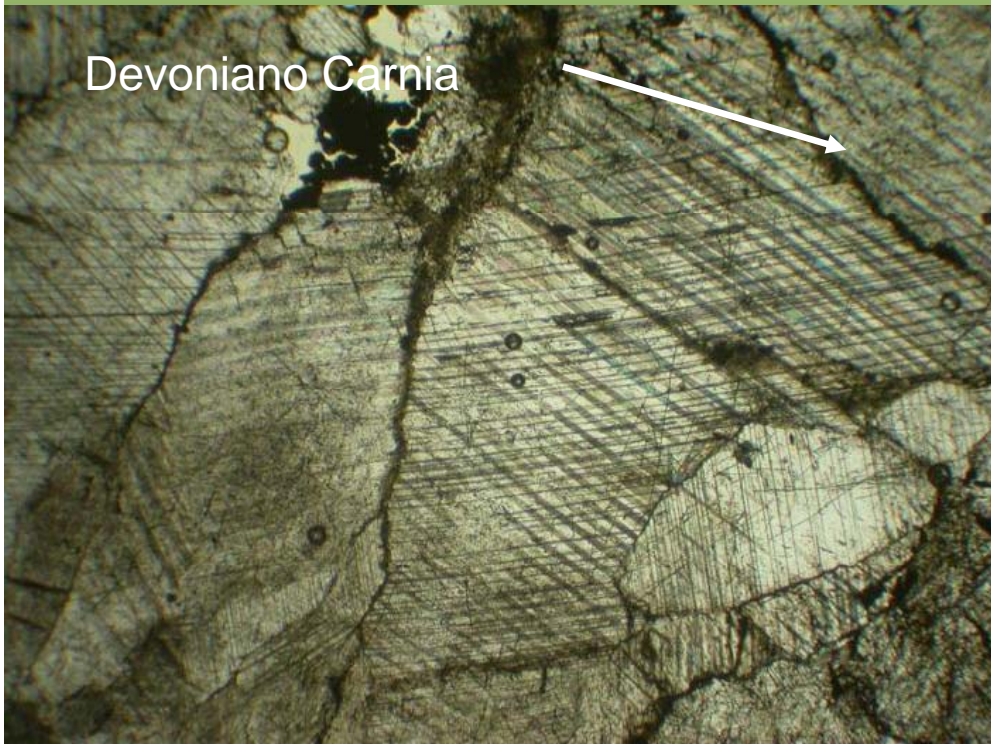


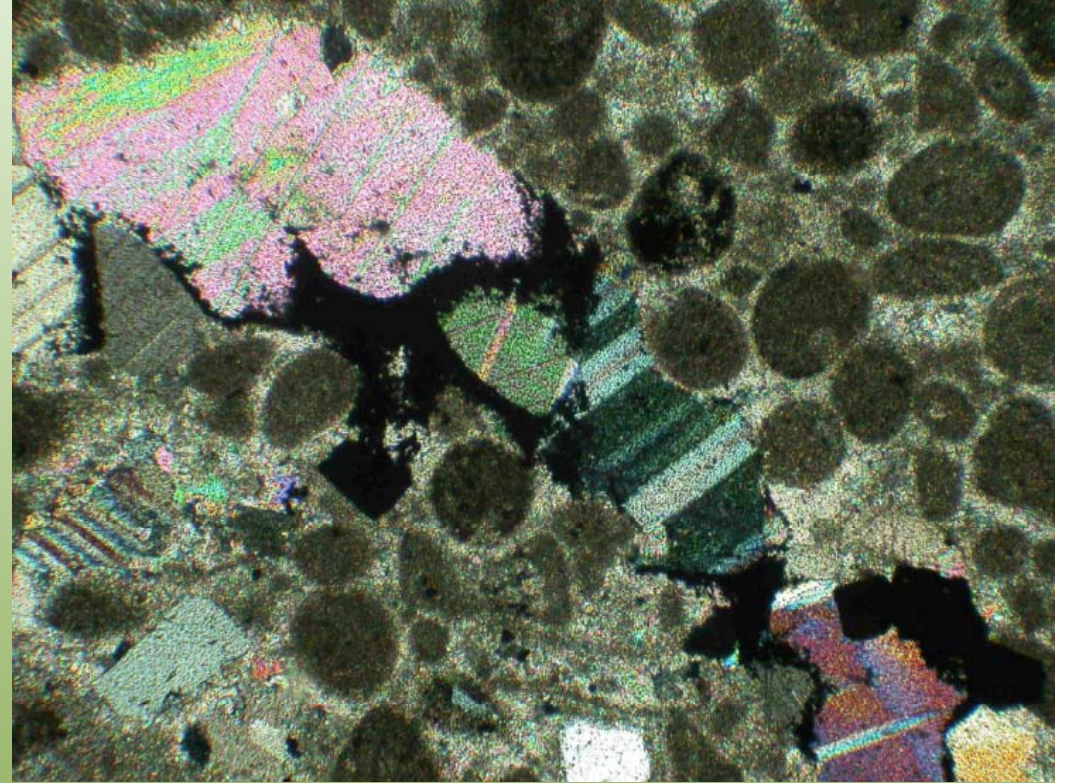
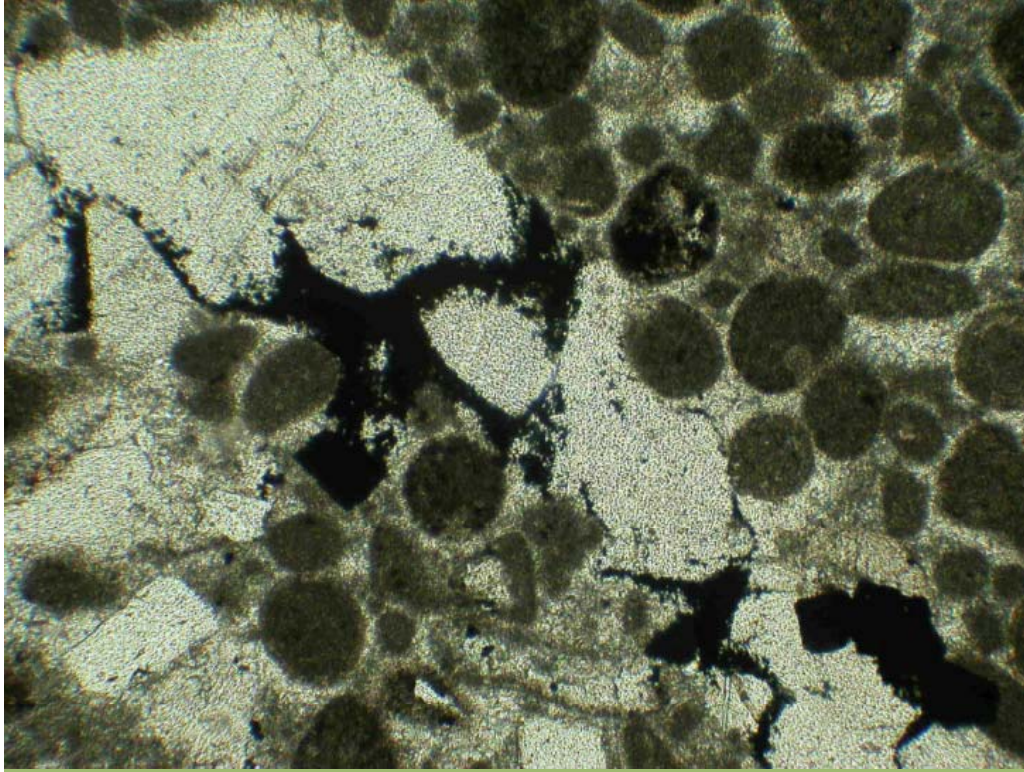
Fig. 9.1. Schematic diagram showing the relationship of surficial diagenetic environments to several zones of the burial diagenetic regimen.

Particolari in LT e CL di cementi di calcite equant freatica connessi al seppellimento precoce (in CL neri) e più profondo (luminescenti e dull) (piattaforma devoniana della Carnia)

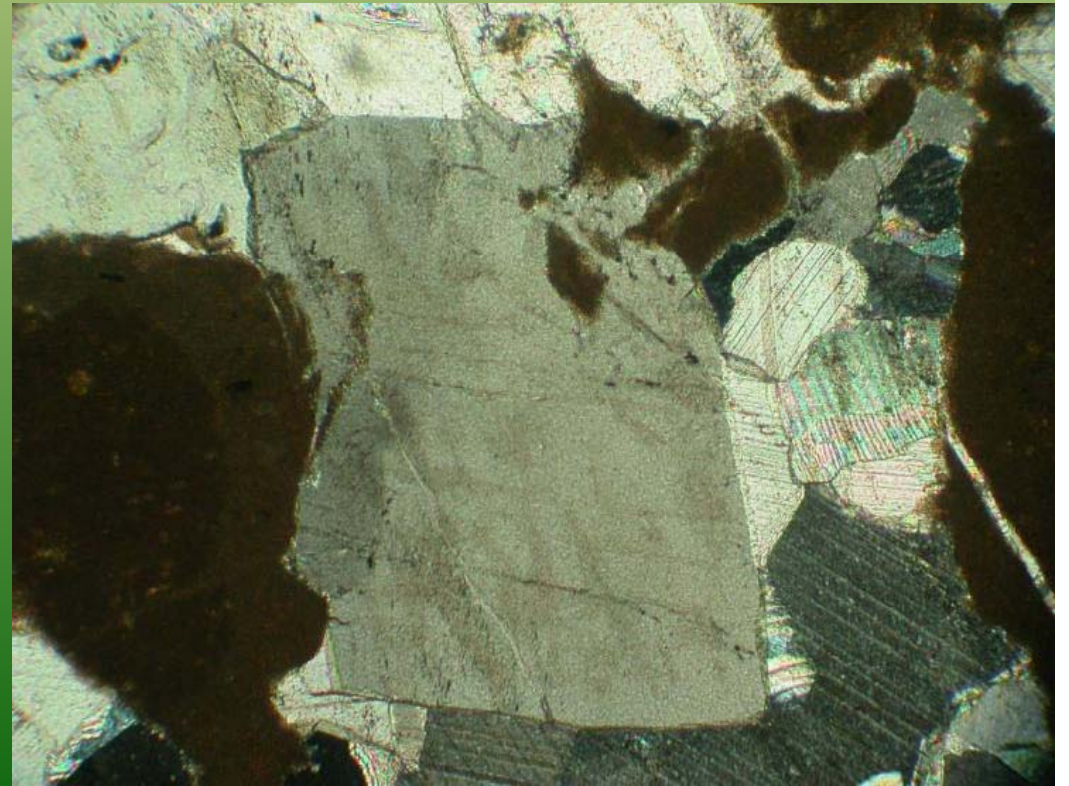
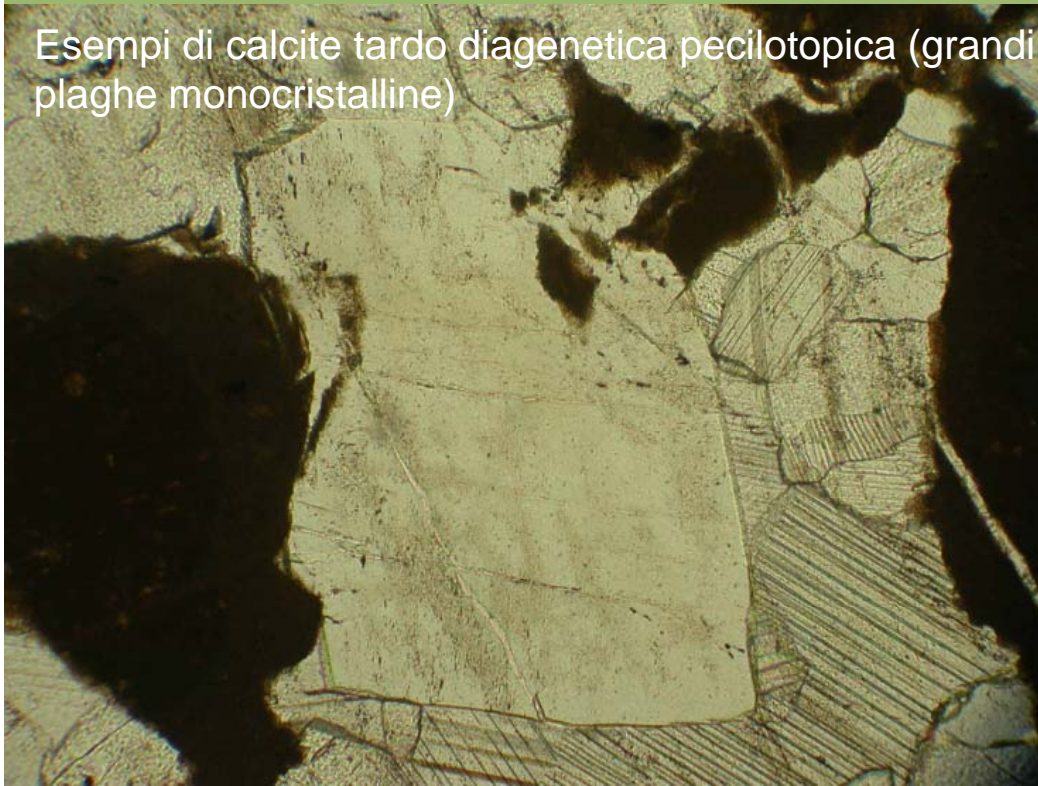


Devoniano Carnia

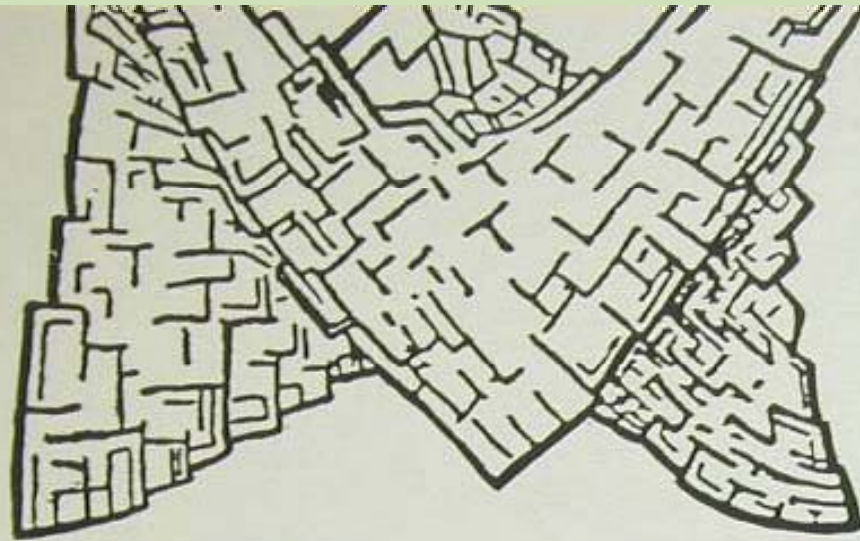




Esempi di calcite tarso diagenetica pecilotopica (grandi
plaghe monocristalline)



Cementi ferriferi "calcite o dolomite a sella" o "barocco". Sono costituiti da grossi cristalli con estinzione ondulata. Sono caratteristici della diagenesi da seppellimento profondo (>70-100°).



Cementi tardivi di
cavità in grandi
cristalli e plaghe:

-Calcite, dolomite
selliforme

Calcite e dolomite
ferrifere

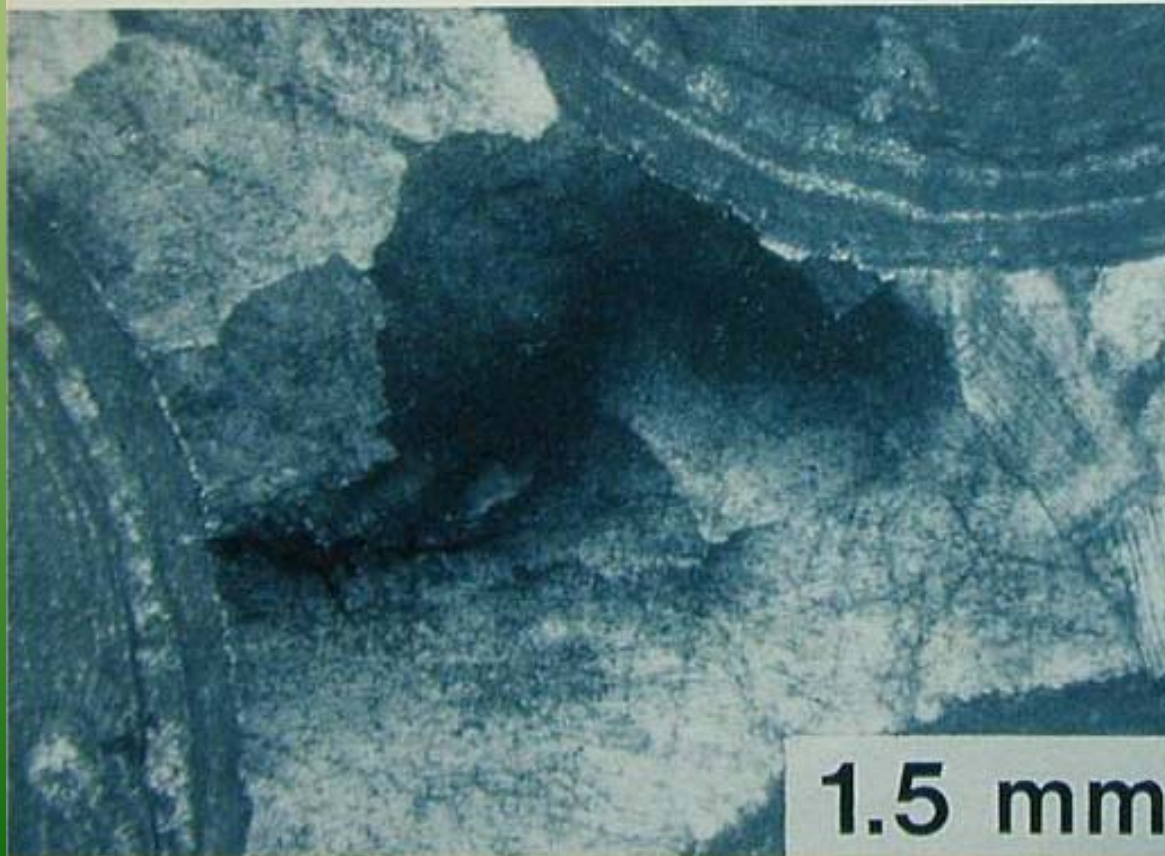
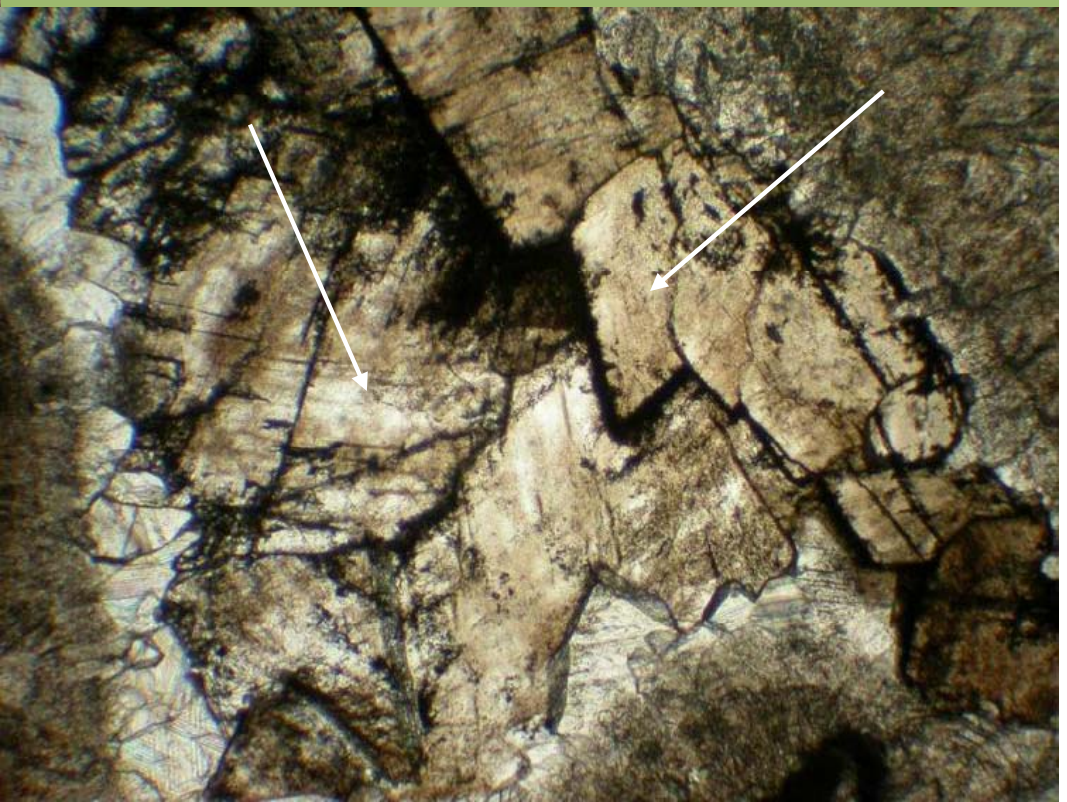
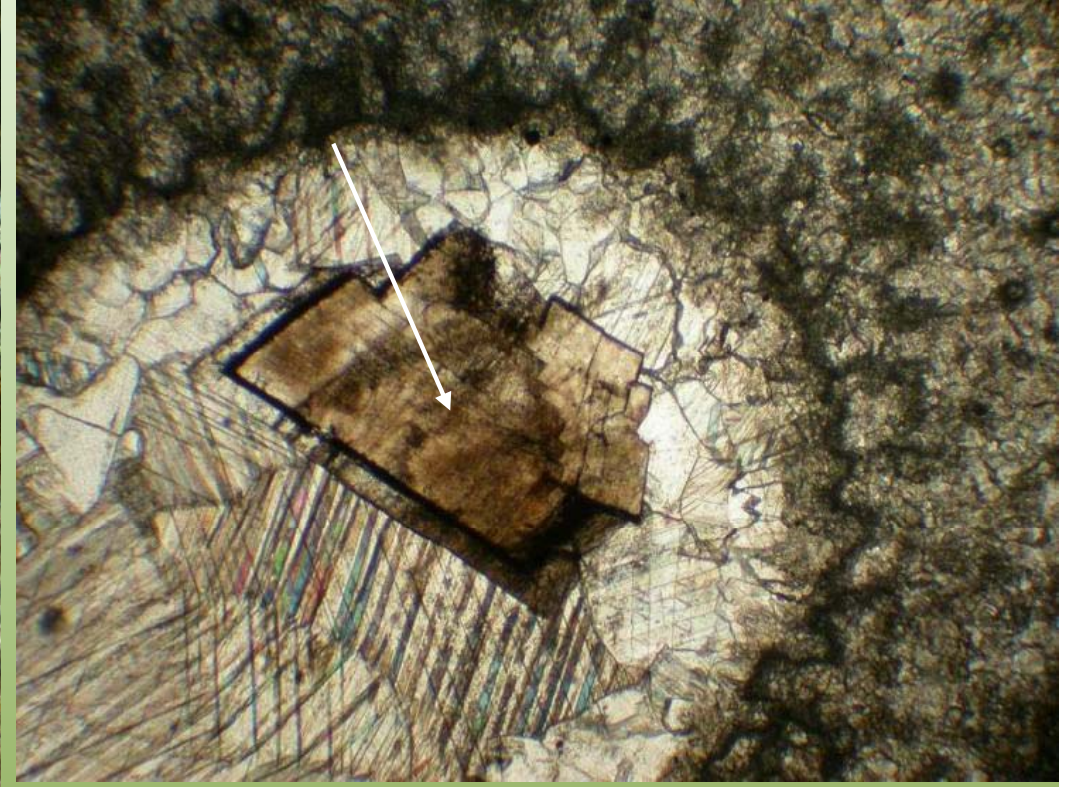


Figura 2.19. La *saddle dolomite*. (A), disegno del cristallo (da Dana, 1953); (B), *grainstone* oolitico cementato da *saddle dolomite* (Beck Spring Dolomite; Proterozoico della Valle della Morte).



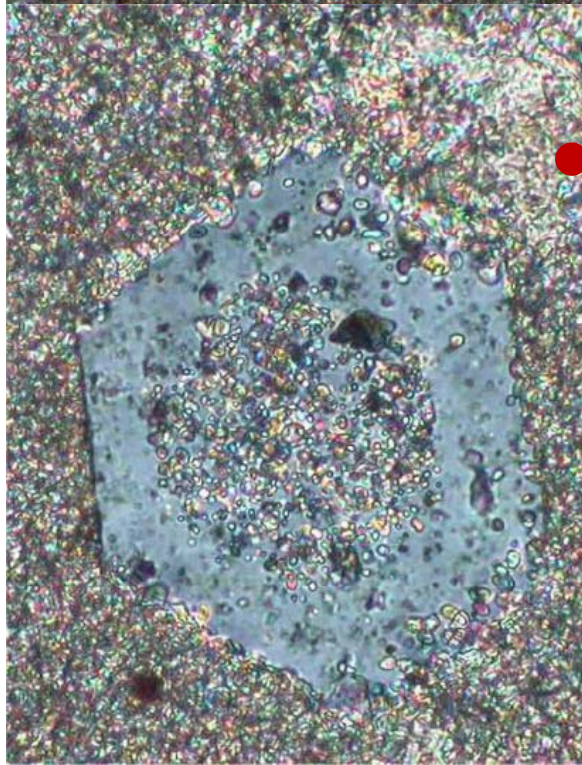
Esempi di tre microfacies contenenti cementazioni tardive di dolomite ferrifera che cresce in vuoti residuali e sostituisce precedenti cementi calcitici equant, a loro volta susseguenti cementi marini fibroso radiali.



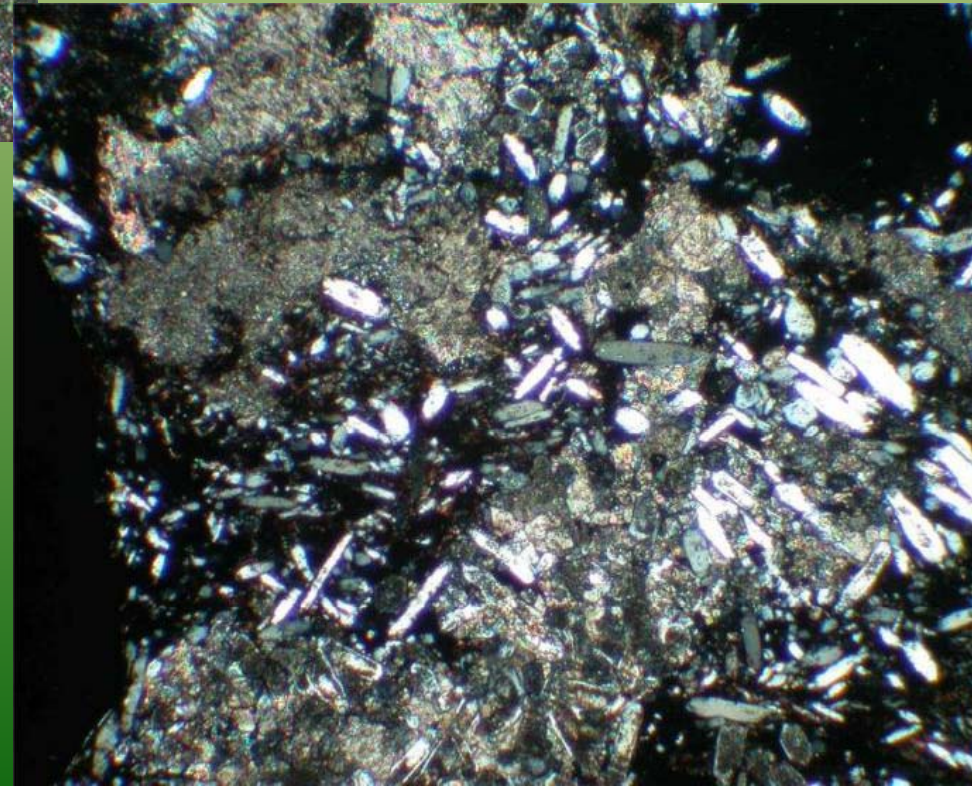
La silicizzazione

Cristalli di **quarzo autigeno** (nicols X, con il tipico aspetto prismatico bipiramidato o sezione esagonale) contenenti molte inclusioni del carbonato sostituito dalla progressiva nucleazione e crescita idiomorfa del quarzo.

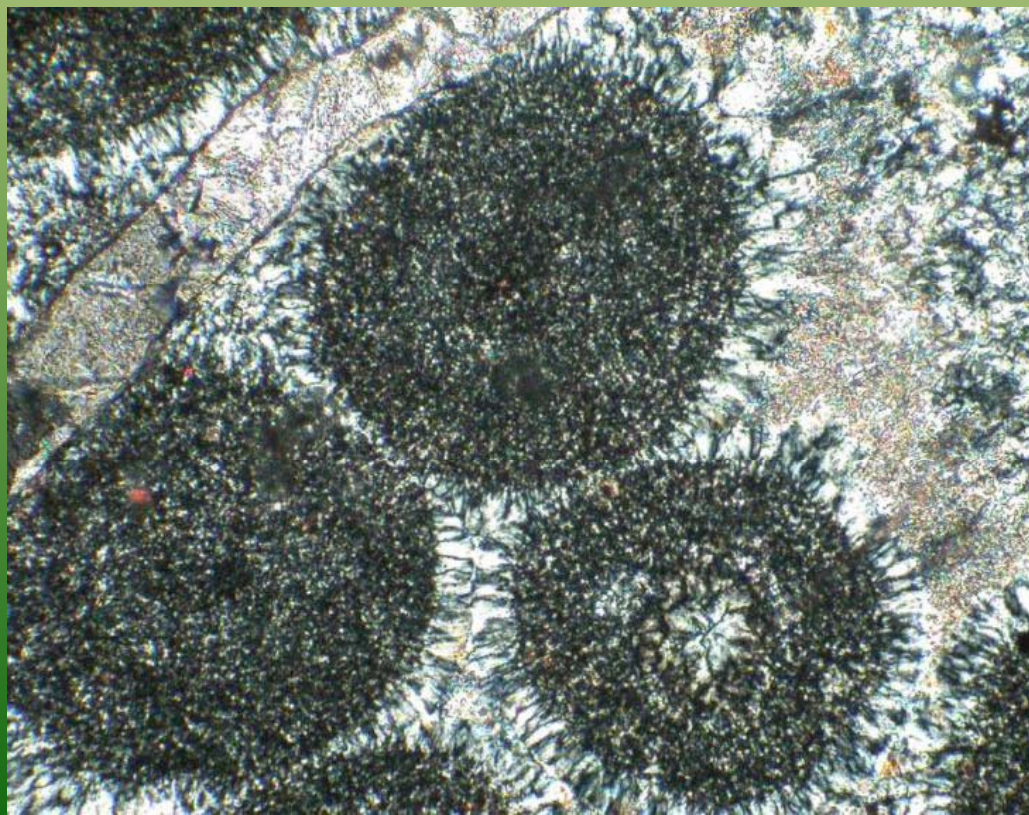
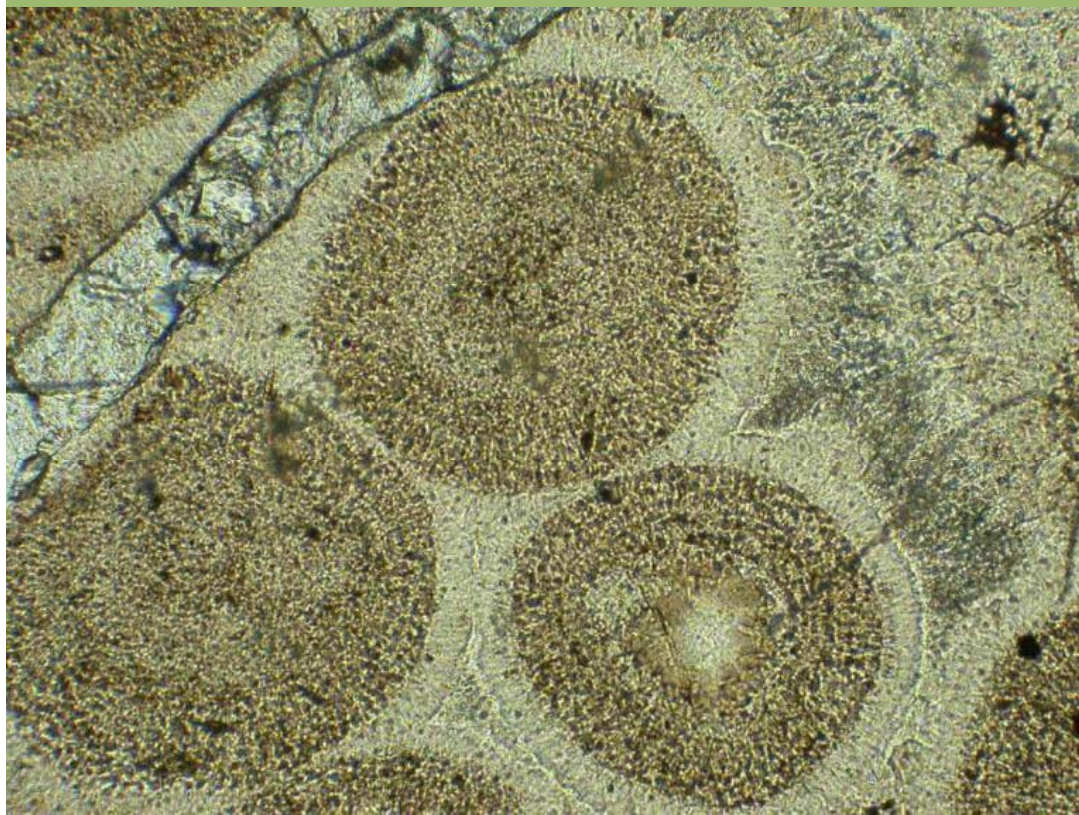
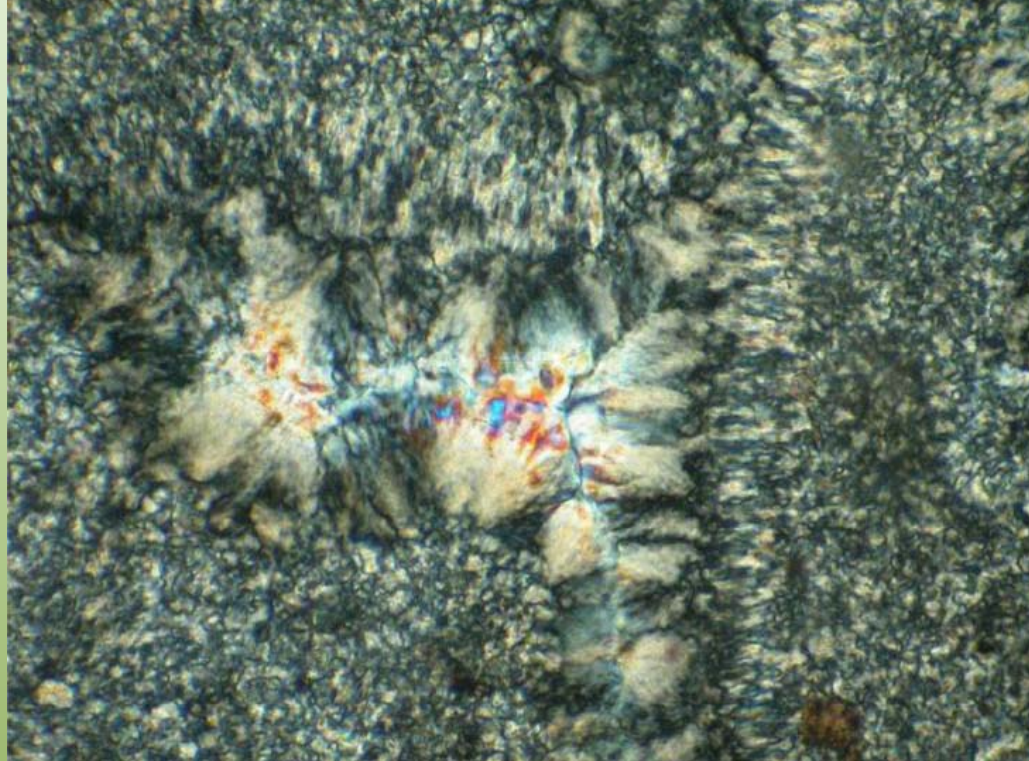
Silicizzazione diffusa da parte di quarzo autigeno.



● Processi di sostituzione

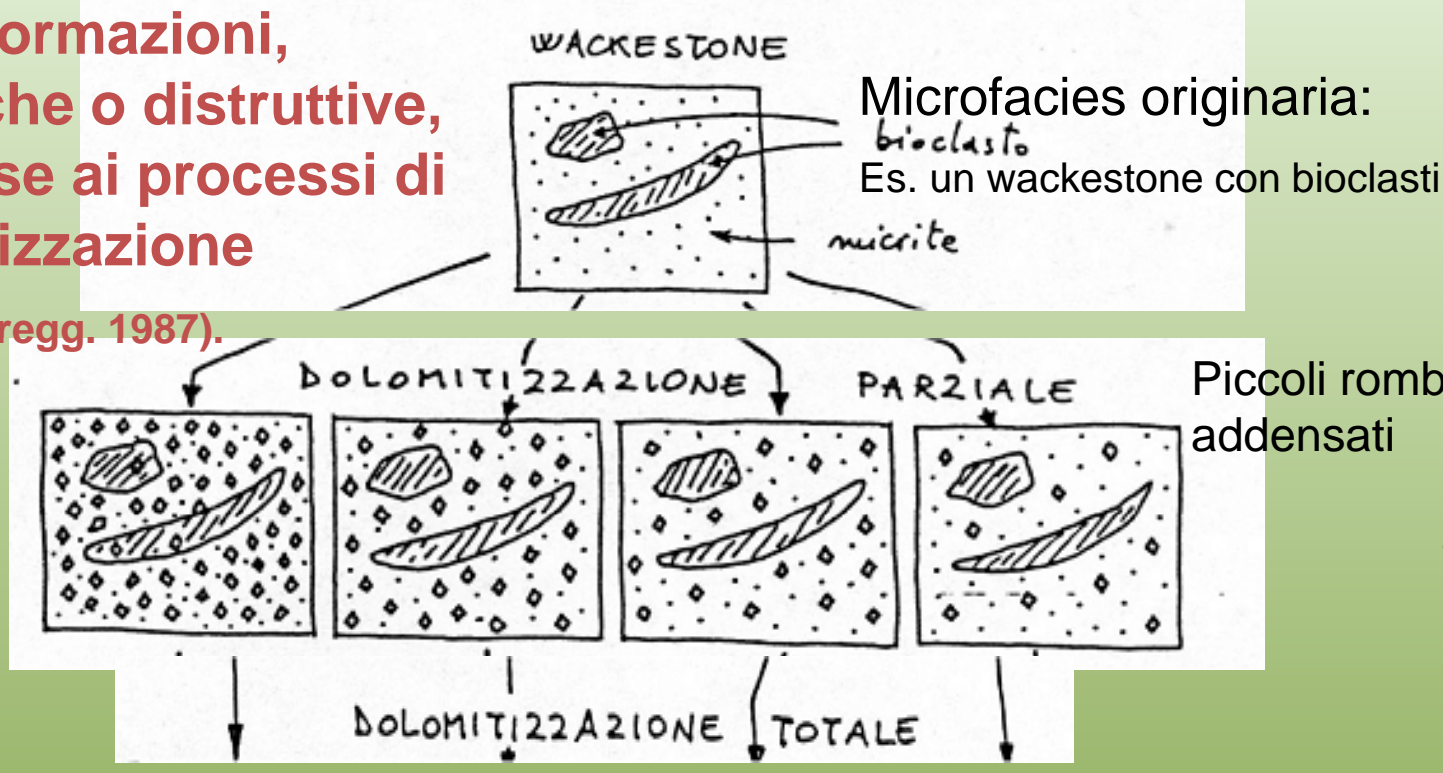


Silicizzazioni selettive di cementi e boldi



Le trasformazioni, mimetiche o distruttive, connesse ai processi di dolomitizzazione

(Sibley e Gregg, 1987).



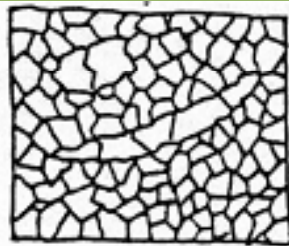
Microfacies originaria:

Es. un wackestone con bioclasti

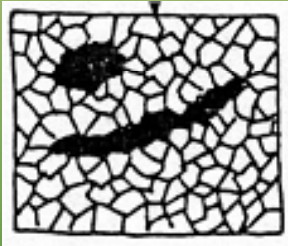
Piccoli romboedri isolati o addensati

Classificazione tessiturale delle dolomie viste al microscopio di Sibley e Gregg:

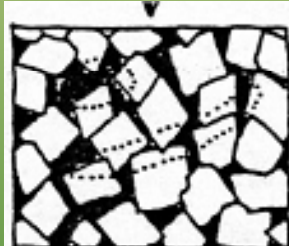
- a) Unimodale-polimodale
- b) Planare-non planare
- c) Euedrale-subeuedrale-anaedrale



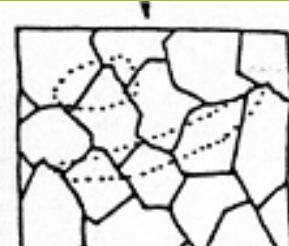
dolomia planare-s; fossili sostituiti matrice



dolomia unimodale planare-s; fossili disciolti



dolomia unimodale planare-e; fossili e parte della matrice passati in soluzione (spazi porosi in nero)



dolomia unimodale planare-s;

La soprassaturazione rispetto alla dolomite diminuisce nel senso indicato dalla freccia



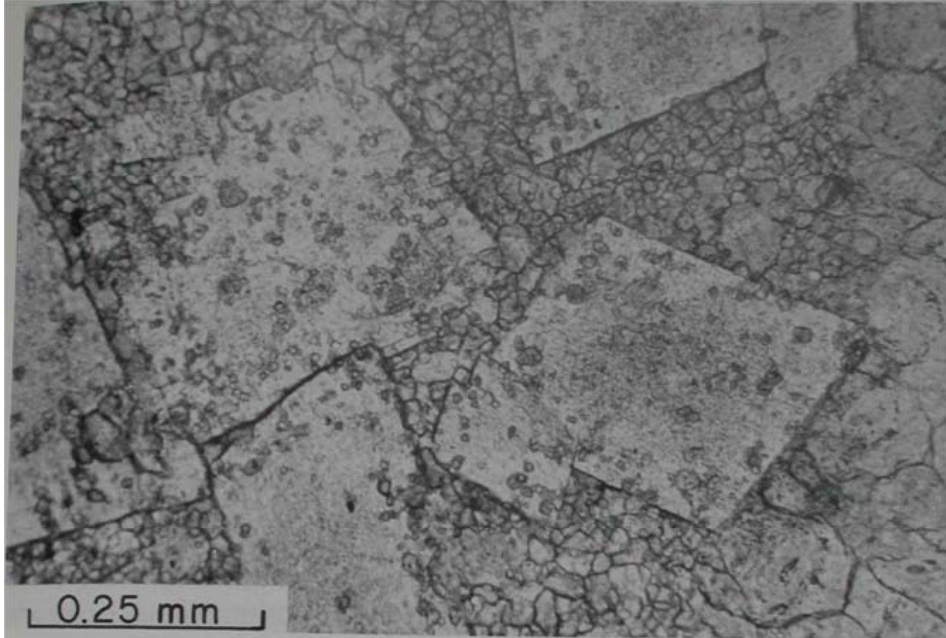
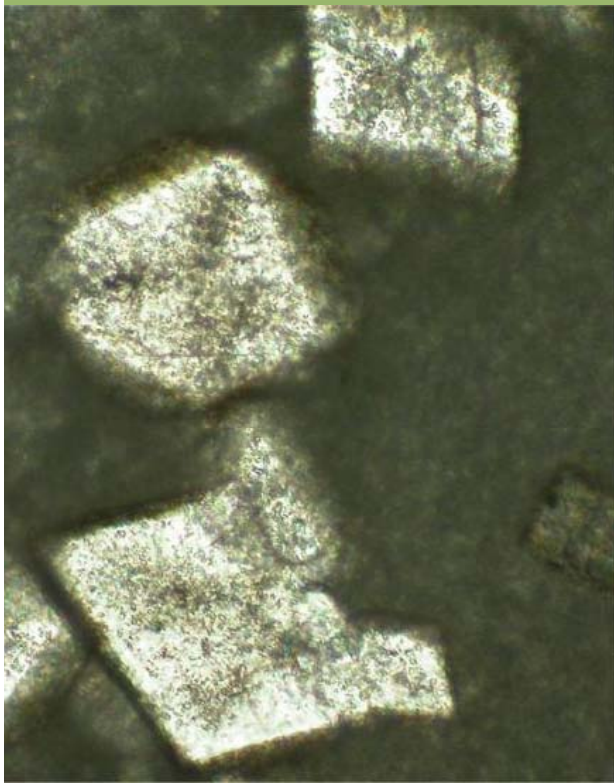


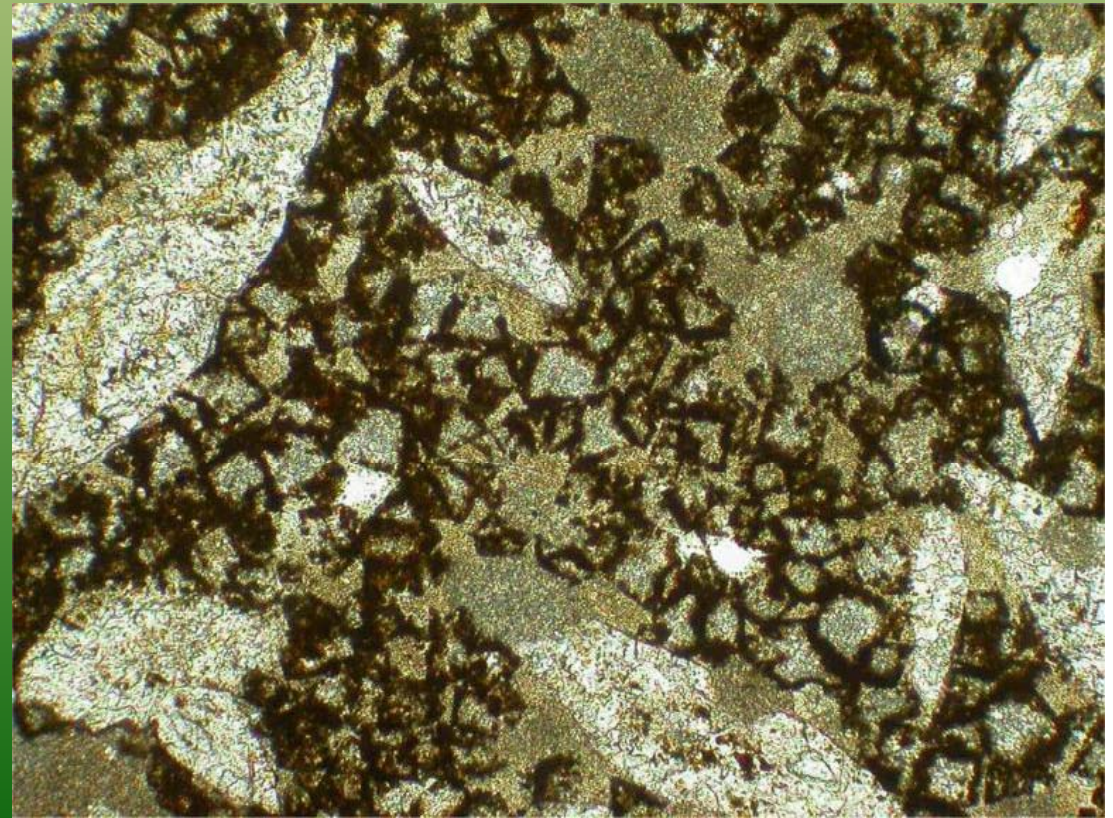
Fig. 7-9. Photomicrograph (ordinary light) of thin-section of poikilotopic dolomite (large lighter crystals) replacing calcisiltite (darker, owing to staining with Alizarin Red S). Note inclusions of calcite. Lost Burro Formation (Middle and Upper Devonian), Funeral Mountains, east-central California. (Photograph by D.H. Zenger.)



Fig. 7-10. Dolomitic limestone with complex texture. The dolomite rhombohedrons are composed of core and thin rim. The cores are composed of very fine-grained calcite with dolomite background, whereas the rims are pure dolomite. Areas between rhombohedrons are filled with medium-grained calcite. Insoluble residue: 1.70%, CaCO_3 : 75.37%, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: 22.88%. Upper Carboniferous, Samarskaya Luka. (After Khvorova, 1958, fig. 175, p. 127.) Diagenetic dolomite, later altered during epigenesis; $\times 45$.

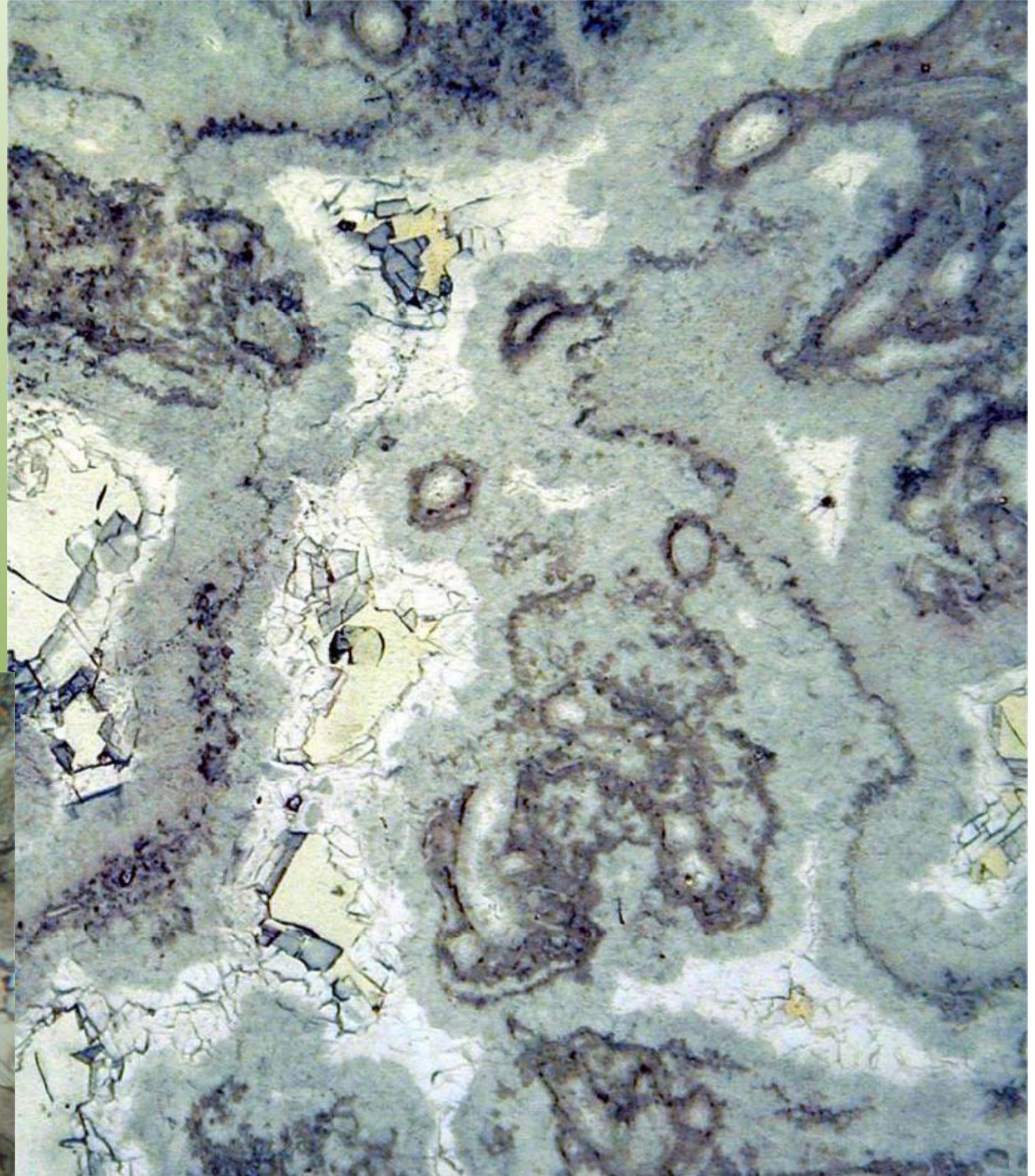


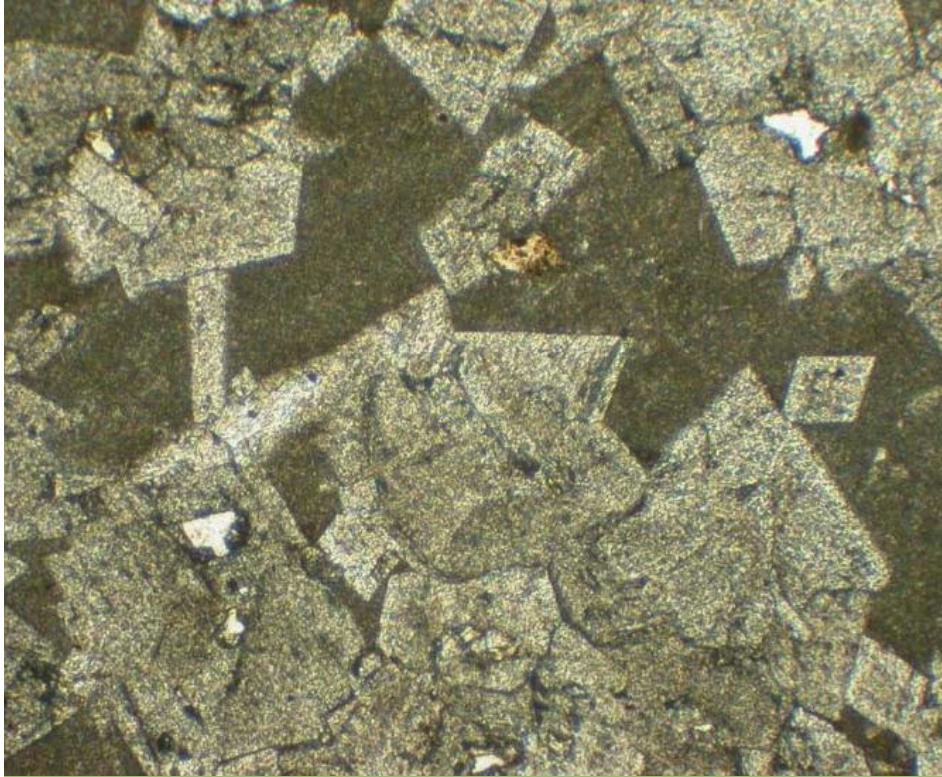
Rombi di dolomite che crescono nel sedimento calcareo sostituendolo progressivamente : A destra rombi di dolomite con Fe associata con pseudomorfi di possibile anidrite ora calcitizzata.



Esempio di microfacies
totalmente dolomitizzata in
modo selettivo
(dolomitizzazione mimetica)
che preserva ancora molte
strutture primarie

(visibili ancora 2 tipi di cementi e il
bordo micritizzato di organismi)
(Dol.Principale del Lago Iseo)

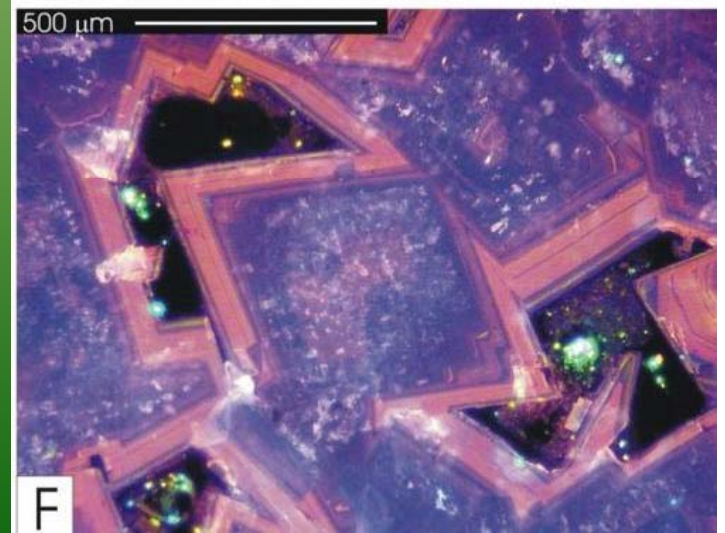
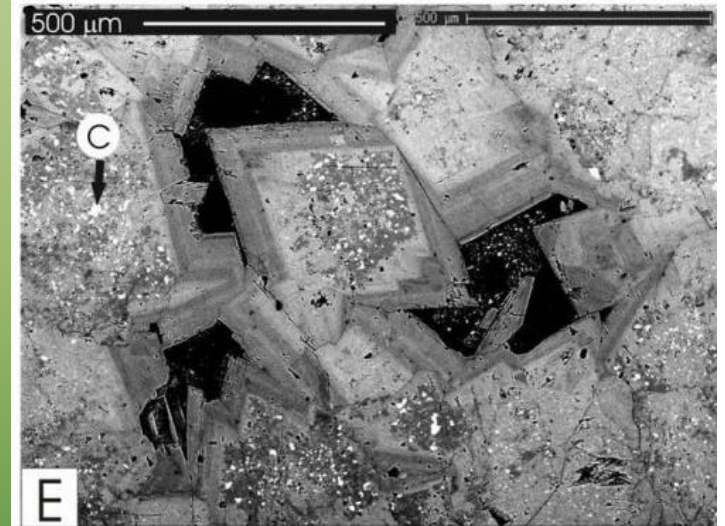




Osservazione della dolomite in fluorescenza e catodoluminescenza

In CL la dolomite luminescente è generalmente rossastra (la calcite presenta invece colori più arancioni e giallastri)

La crescita zonata dei cristalli di dolomite. La CL mostra molti più dettagli della luce trasmessa: in particolare si osserva una ultima fase non luminescente (2) cresciuta su precedenti rombi dolomitici zonati (1). Le due fasi di crescita sono separate da una discontinuità dissoluzione della fase 1 (freccia).



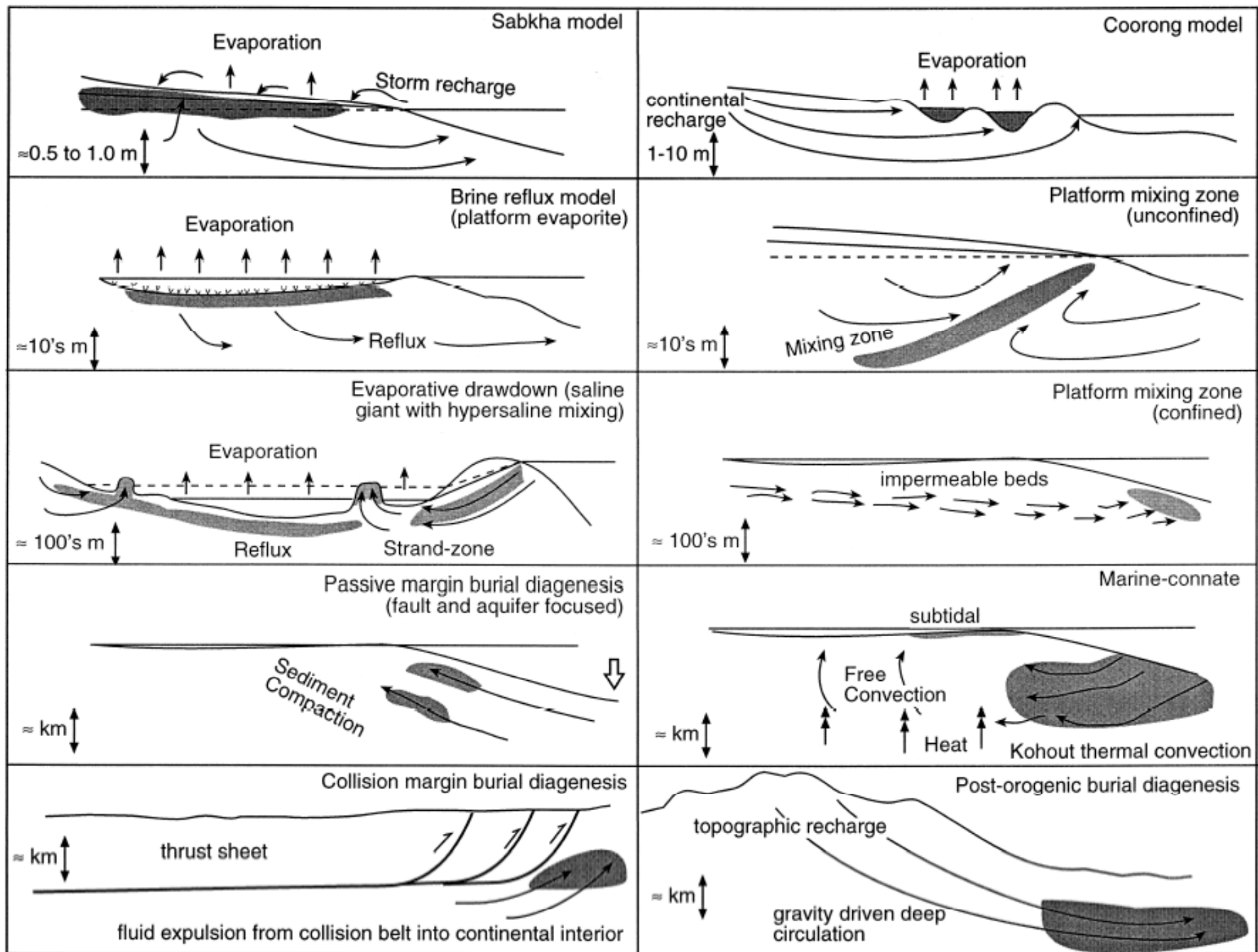


Fig. 28. Dolomitization models (see text for discussion). Note that the position and geometry of the dolomite is a result of its hydrological setting.

Esempi di dolomiti da seppellimento profondo

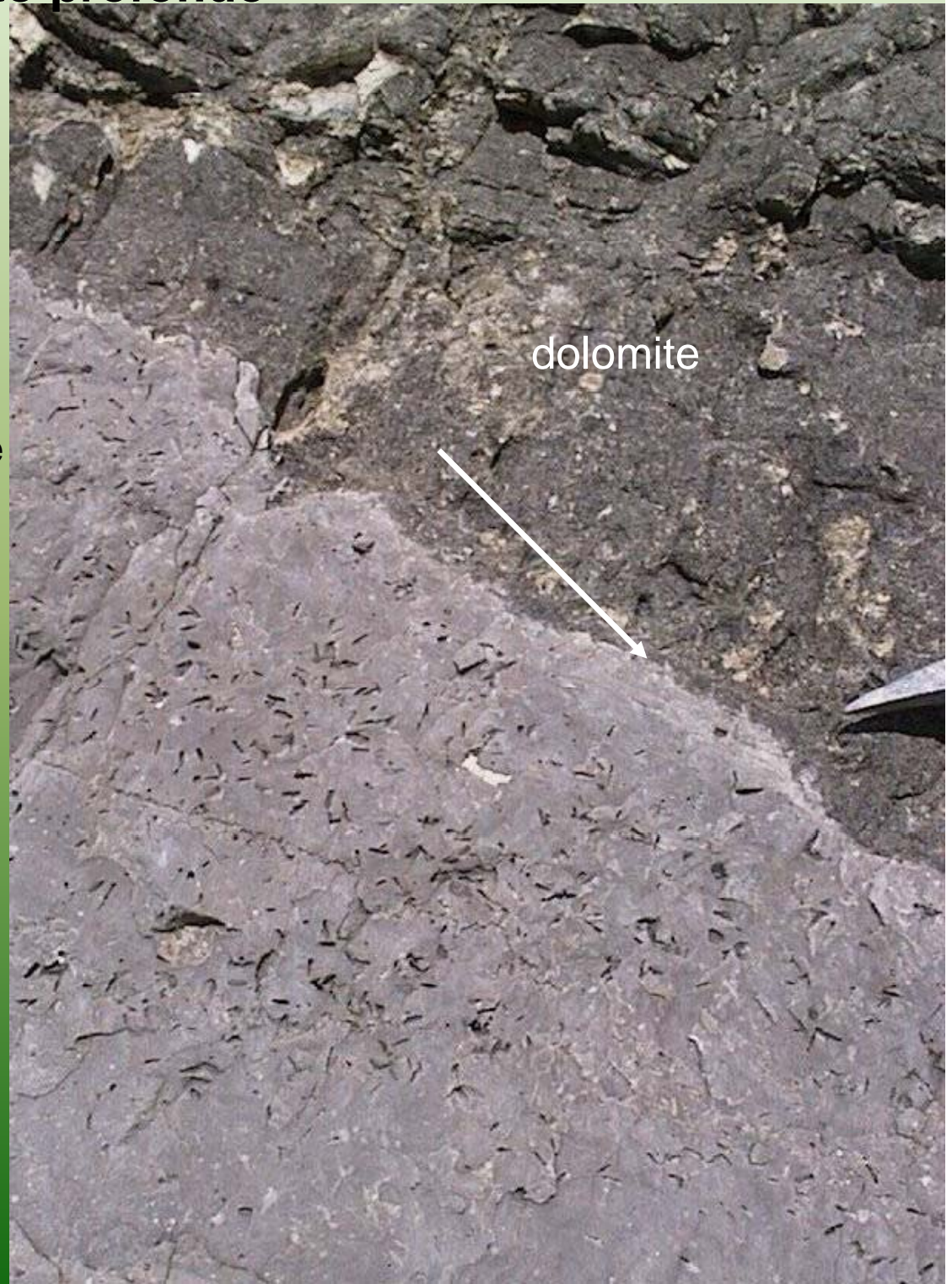
La dolomitizzazione tardiva (verosimilmente profonda) di depositi calcarei è un **processo diffuso e**, responsabile della formazione della maggior parte delle dolomie del mesozoico e paleozoico.

Criteri di riconoscimento in affioramento:

La sostituzione del carbonato di calcio da parte della dolomite si osserva molto spesso già nelle strutture e tessiture macroscopiche:

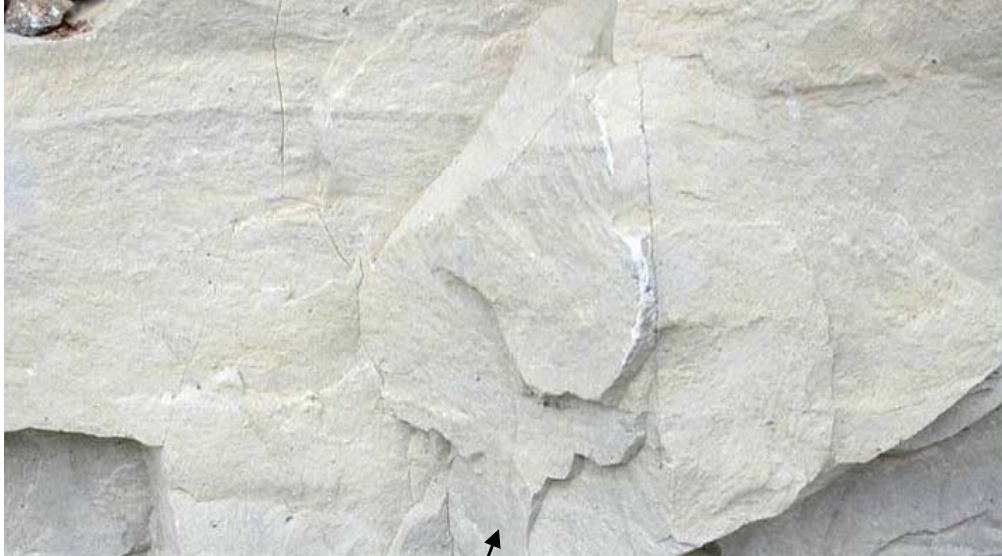
- **passaggi bruschi da calcare a dolomia** in corrispondenza di superfici ad andamento più o meno irregolare e discordanti rispetto ai piani di stratificazione, così che uno stesso strato può risultare da un lato costituito interamente da calcite, dall'altro da dolomite.

- sovente i **processi di dolomitizzazione sono selettivi** e le soluzioni dolomitizzanti sostituiscono preferenzialmente carbonati più permeabili (es i grainstone oolitici oppure i livelli a fenestrae inter-sopratidali).



Esempio di dolomitizzazione selettiva di
grainstone oolitici del Giurassico basale:

Dolomia del M. Albenza e Corna del
Altopiano di di Serle (Bs)





Esempio di dolomitizzazione
pervasiva strato-concordante (ma
lateralmente discontinua) nella
Formazione di Porto Venere (Retico-
Hettangiano di La Spezia)

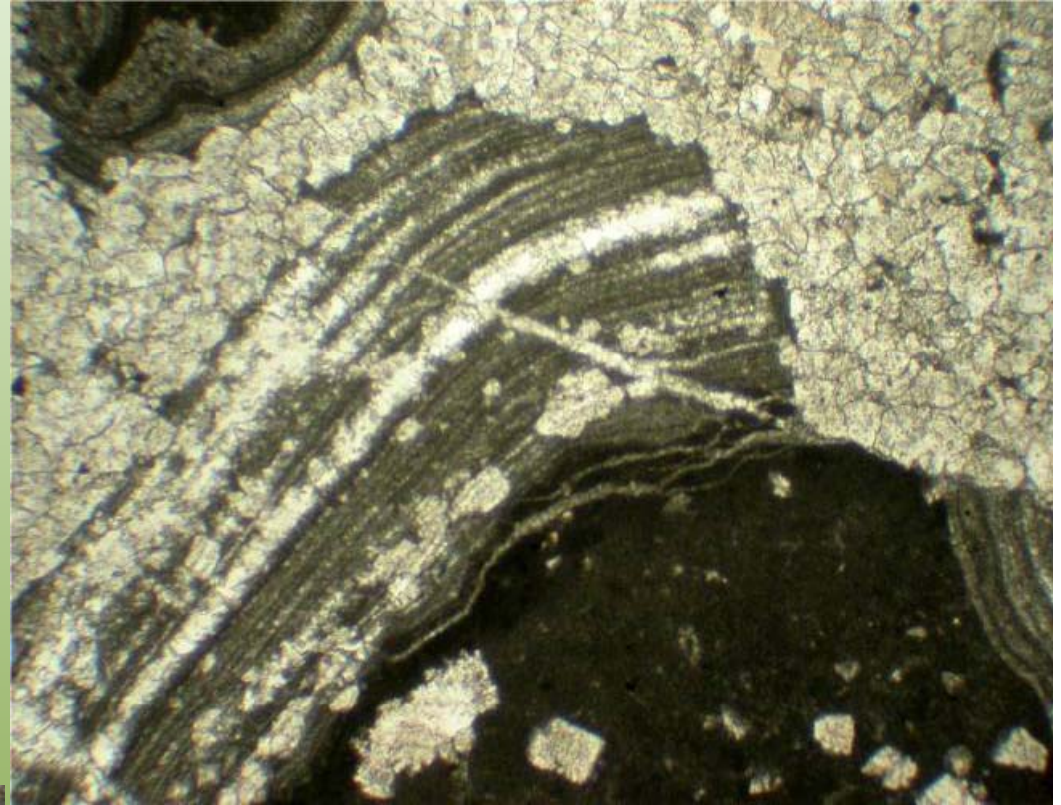


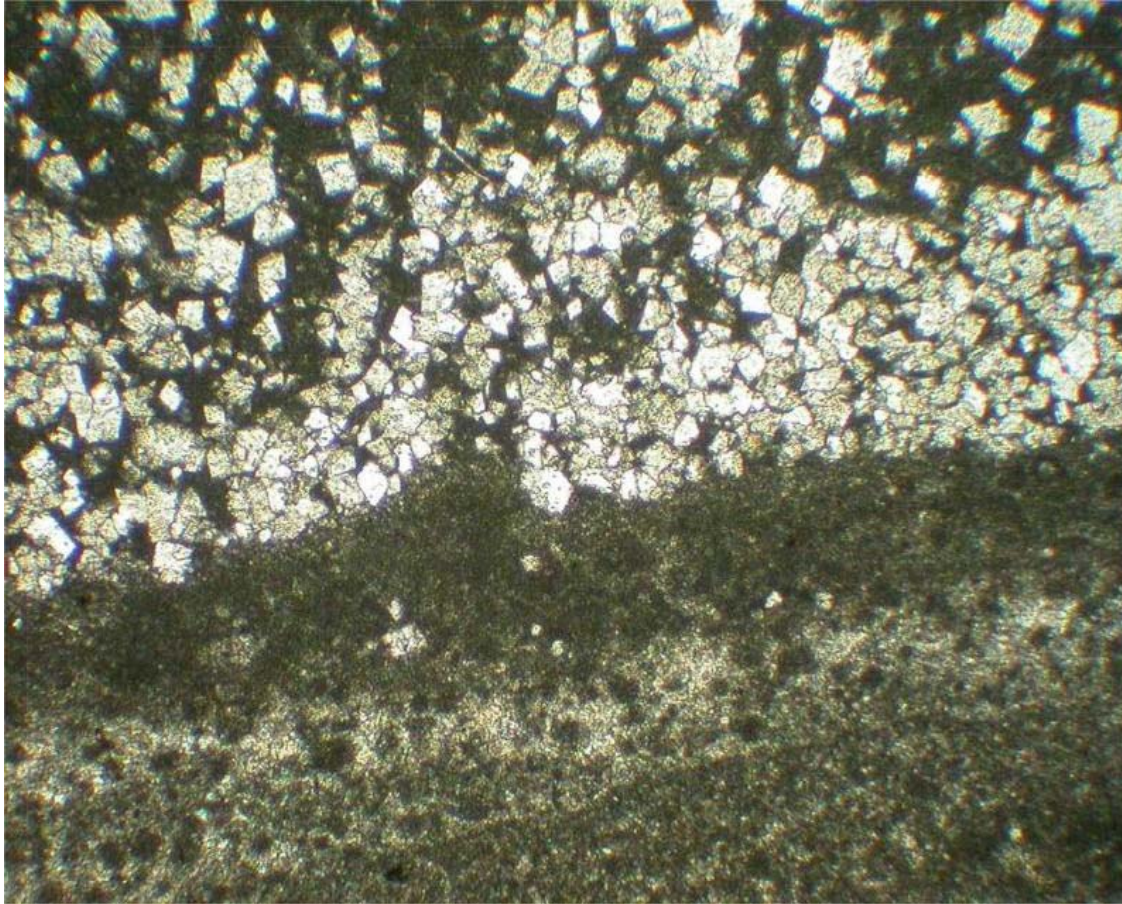


Particolari della dolomitizzazione nei calcari della F. di Porto Venere. Si possono vedere a sinistra i rombi bianchi degli agglomerati dolomitici cresciuti nel calcare.

Esempi di microfacies con dolomitizzazione parziale

Le tre foto mostrano microfacies con oncoidi (più o meno micritizzati) interessate da un processo di dolomitizzazione parziale con rombi isolati e aggregati di dolomite.

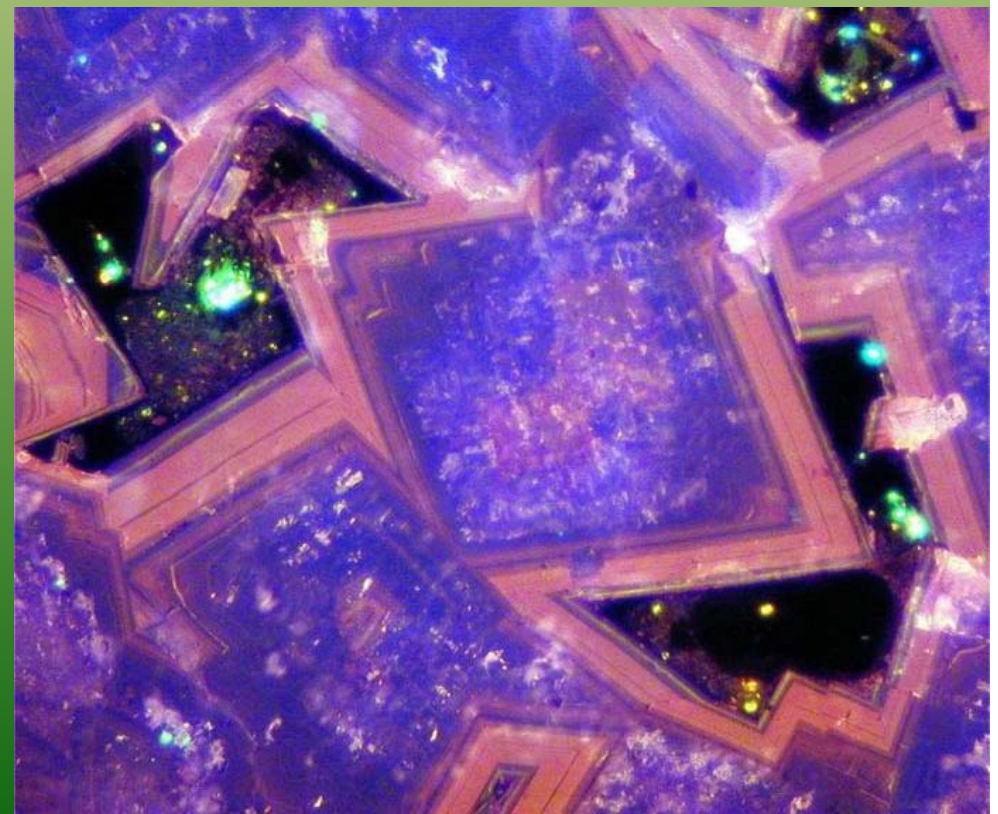




Dolomitizzazione parziale tramite fronti di dolomitizzazione costituiti da rombi di dolomite che crescono nel sedimento e tagliano ogni struttura o tessitura primaria.

Foto a destra: aspetto in CL della crescita dei rombi dolomitici che presentano le ultime fasi di crescita zonate e luminescenti rossastre.

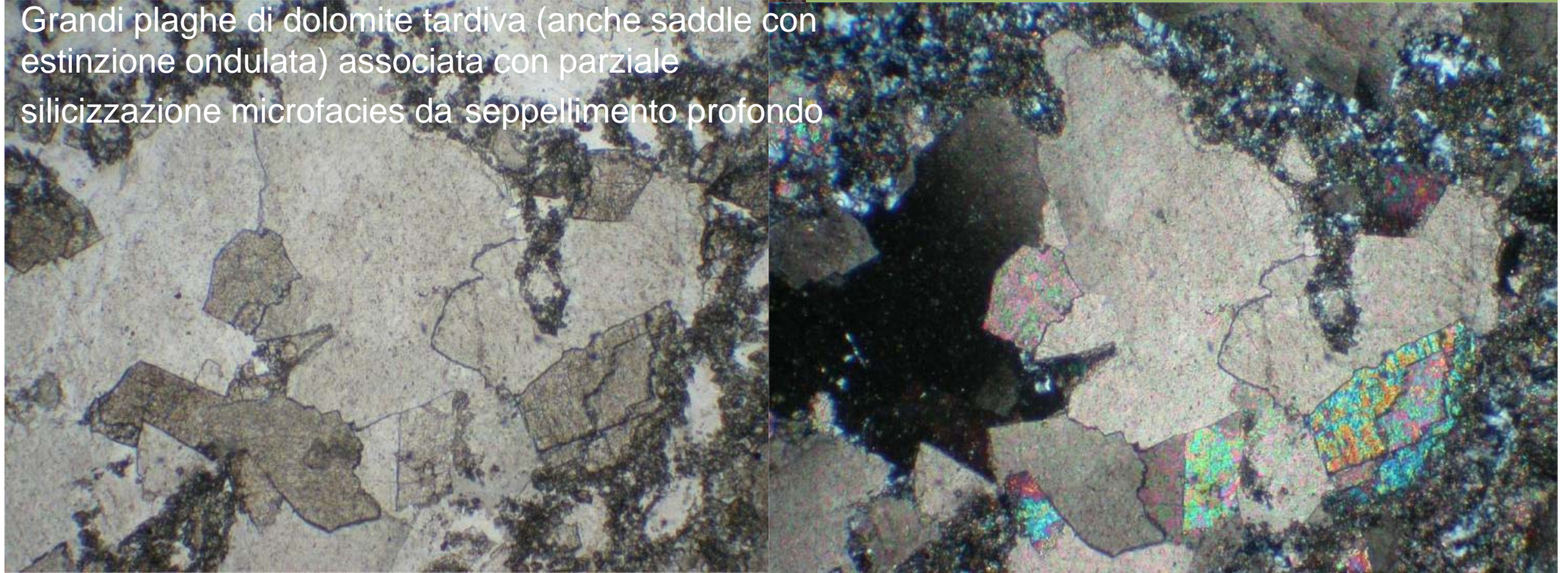
Al nucleo della cavità vi è del bitume (nero, rappresenta la fase di migrazione dell'olio).



Mosaico di rombi coalescenti e zonati di dolomite tardiva di seppellimento.



Grandi plaghe di dolomite tardiva (anche saddle con estinzione ondulata) associata con parziale silicizzazione microfacies da seppellimento profondo



Introduzione alla dedolomitizzazione

- La dedolomitizzazione è un processo diagenetico che comporta la calcitizzazione, in genere solo parziale, di rocce in precedenza dolomitizzate.

I processi genetici della dedolomitizzazione sono noti dagli anni 60 (Lucia, 1961) e si possono inquadrare principalmente in due gruppi:

- Dedolomitizzazione diagenetica da seppellimento: è connessa alla dissoluzione ad opera di fluidi “aggressivi” (acque meteoriche, dissoluzione solfati, fluidi che derivano da trasformazioni di anidriti-gessi) seguita da precipitazione di calcite.

Dedolomitizzazione in ambiente continentale ad opera di acque meteoriche sottosature e “fredde”: la calcitizzazione coinvolge solo le porzioni più superficiali dell’unità dolomitiche, dedolomitizzazioni connesse al carsismo, sovente impostate lungo fratture.

La dedolomitizzazione aumenta la porosità (fino al 13%) e

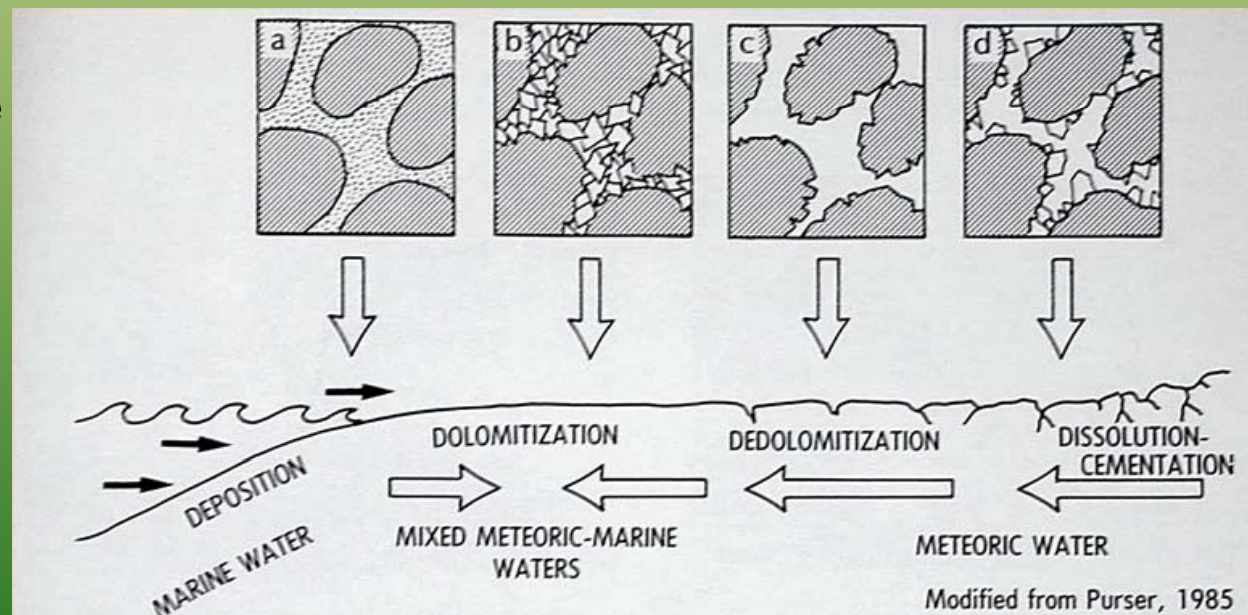
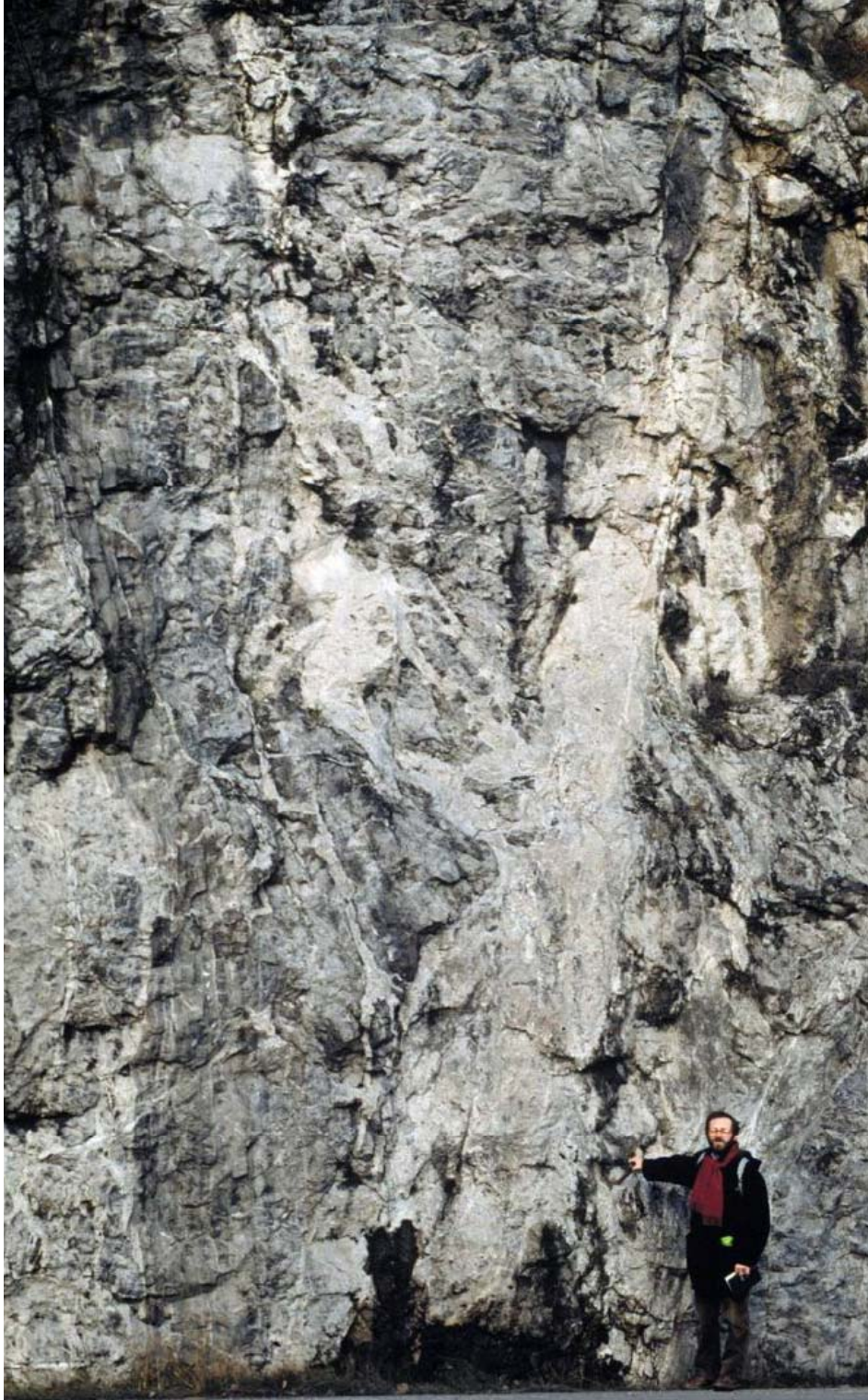


Fig. 2.14. Geologic setting for the dolomitization-dedolomitization of Jurassic ooid packstones from the Paris Basin. Final porosity consists of cement-reduced, dolomite crystal-moldic porosity. Reprinted from *Carbonate Petroleum Reservoirs*, with permission. Copyright, Springer-Verlag, New York.

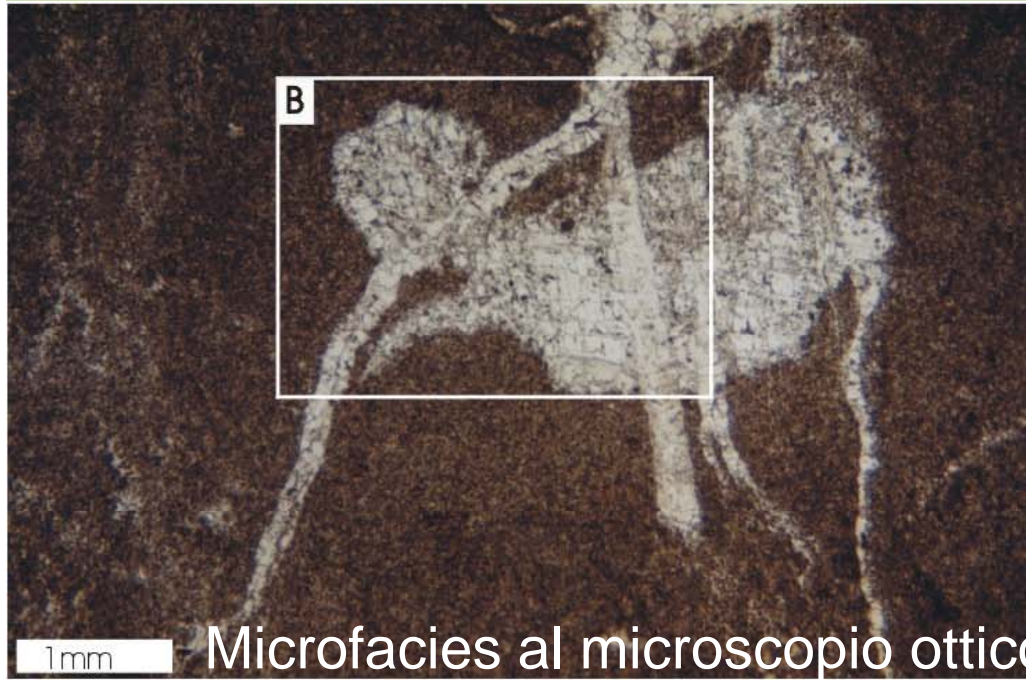


Esempi di dedolomitizzazione:

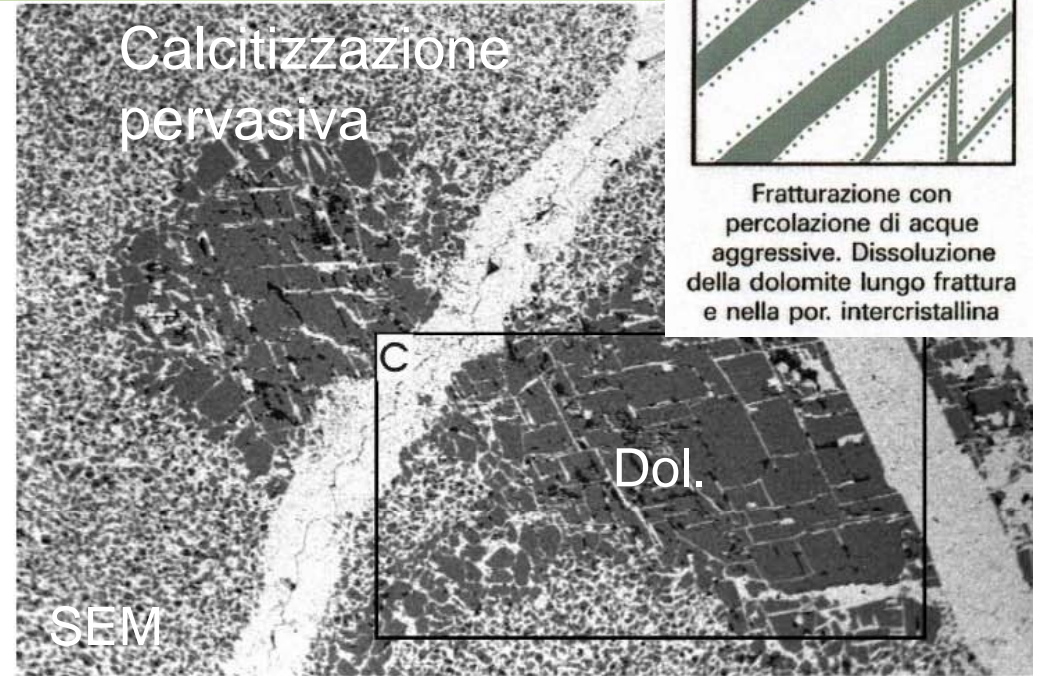
-lungo fratture della DP e di clasti dolomitici in breccie Pleistoceniche (Ceppo dell'Isèo)



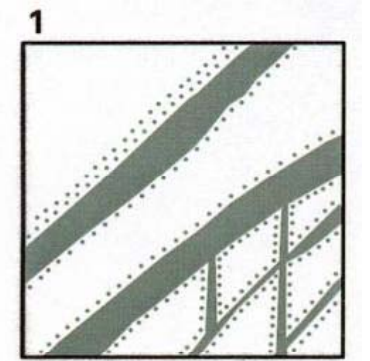
L'analisi delle microfacies dedolomitizzate al SEM e in Catodoluminescenza



A



B



Fratturazione con percolazione di acque aggressive. Dissoluzione della dolomite lungo frattura e nella por. intercrystallina

