

Le rocce carbonatiche

Testi di riferimento: D'Argenio, Sassi Innocenti, cap 4
Boggs, cap 9

Rappresentate da calcari e dolomie. Costituiscono da 1/3 a 1/4 di tutte le rocce sedimentarie. Sono presenti in molte associazioni litologiche Precambriane (dove dominano le dolomie) e in tutti i sistemi geologici dal Cambriano al Quaternario (dominanti i calcari).

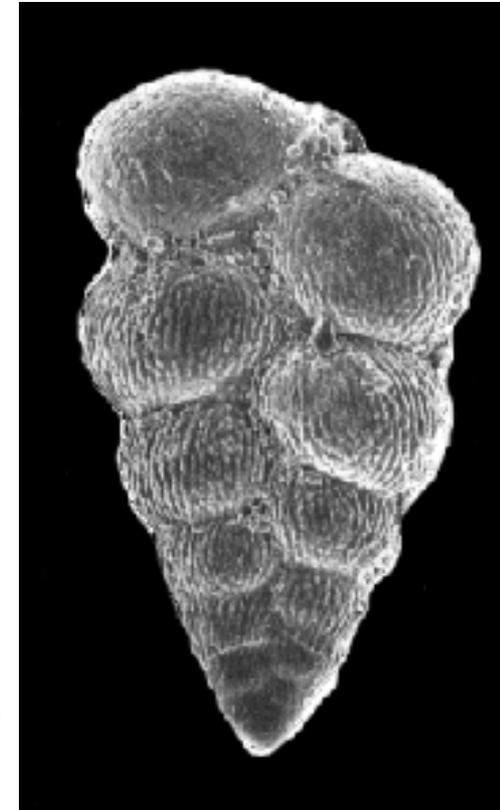
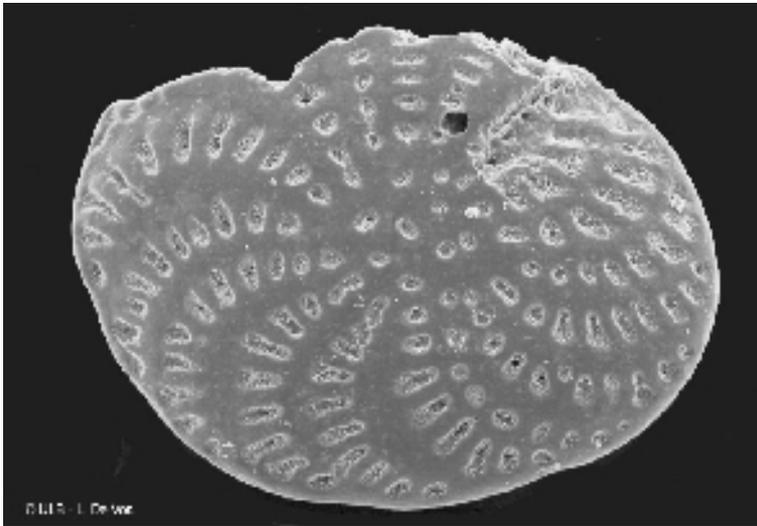


Si tratta di rocce importanti non solo per l'abbondanza, ma anche perchè sono importanti marker paleontologici e ambientali. Contengono buona parte dei fossili che testimoniano le forme di vita passate e sono ricche di strutture che forniscono informazioni fondamentali sulle condizioni paleo-ambientali. Sono usate nell'industria e come materiali da costruzione ed ospitano più di un terzo delle riserve petrolifere al mondo.



Le rocce carbonatiche

Viste le premesse, le rocce carbonatiche sono state studiate con cura e sono oggetto di numerose ricerche le strutture ed i componenti di queste rocce, per definirne gli ambienti, i tempi e le condizioni di formazione. Oltre alle analisi di terreno, paleontologiche, petrografiche e geochimiche, sono sempre più impiegate tecniche analitiche dettagliate, al microscopio elettronico, in catodoluminescenza, alla microsonda elettronica e ionica e in ablazione laser.



Ad esempio, I calcari depositati in mare profondo non presentano fossili visibili ad occhio nudo perchè sono costituiti da gusci di piccoli organismi (*foraminiferi*). Queste specie (viste al microscopio elettronico) sono grandi circa 100 microns (0,1 mm).

Le rocce carbonatiche

Calcari

Costituenti

I principali costituenti di queste rocce sono i carbonati, principalmente calcite, dolomite e aragonite. La calcite può contenere Mg a sostituire il Ca, per formare calcite magnesiacca (con più di 4-5 mol% di $MgCO_3$). Spesso gli scheletri ed i gusci degli organismi sono costituiti da calcite, aragonite o da calcite ricca in Mg (sino a 30 mol%).

Altri minerali costituenti (in genere < 5%) sono i silicati: quarzo, calcedonio, feldspati, miche, mireali argillosi e minerali pesanti. Se si analizzano le rocce carbonatiche mediante attacchi acidi, questi minerali rimangono come **residui insolubili**.

Le rocce carbonatiche possono inoltre contenere materiale organico animale o vegetale.

Principali componenti delle rocce carbonatiche

Sebbene le rocce carbonatiche siano considerate come appartenenti a depositi biogenici, organogenici e biochimici, e sebbene i loro costituenti mineralogici siano molto diversi da quelli delle areniti, molti calcari da un punto di vista **tessiturale** assomigliano alle areniti.

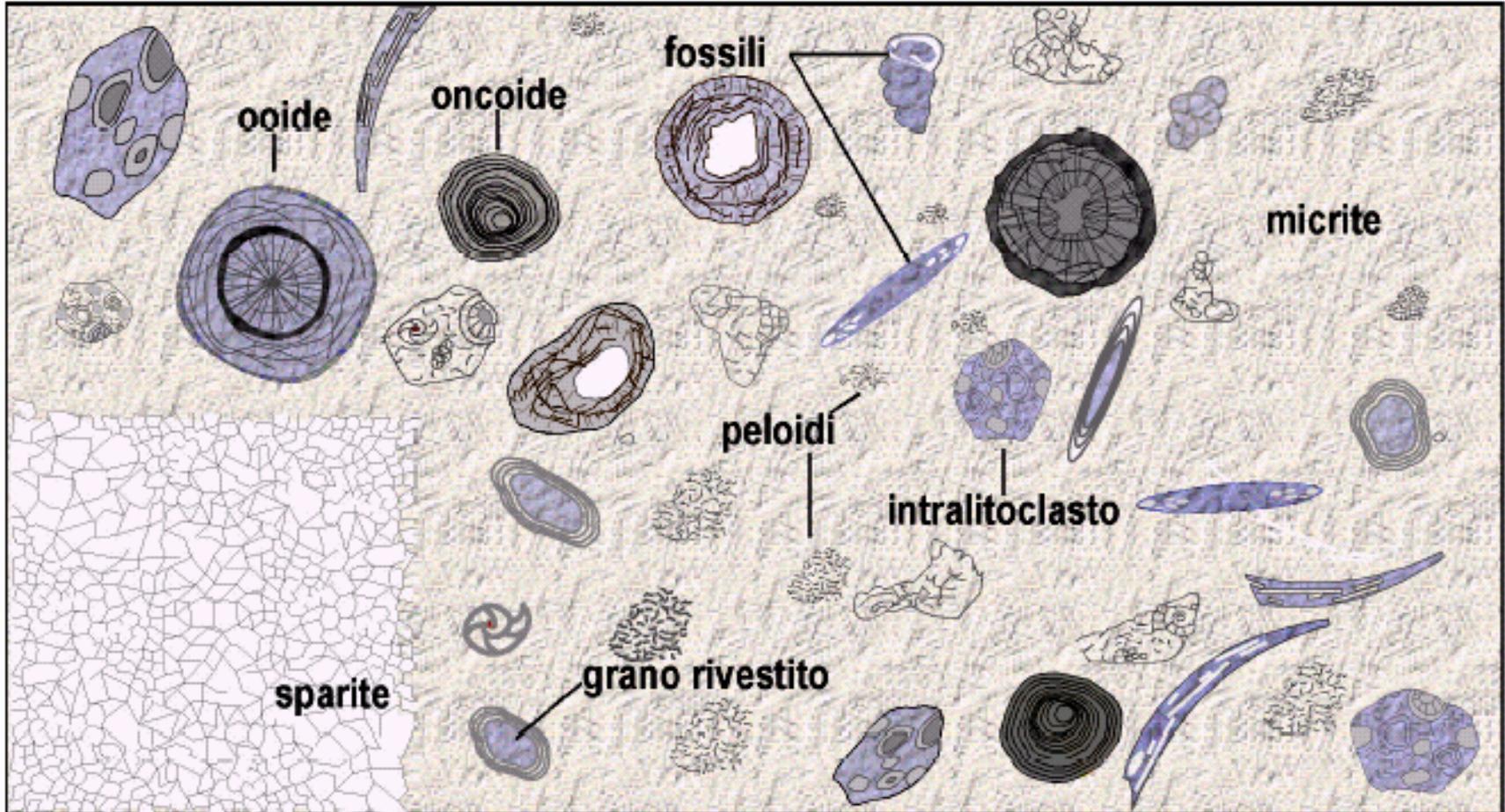
Molte rocce carbonatiche sono costituite da:

- (1) vari tipi di **granuli** carbonatici (frammenti di gusci, ooliti e frammenti di rocce pre-esistenti) paragonabili a granuli di silt o di sabbia,
- (2) da quantità variabili di fango carbonatico a grana fine costituente la **matrice** (micrite),
- (3) da **cemento** carbonatico (sparite) di origine diagenetica.

Rocce carbonatiche. Calcari

Principali componenti delle rocce carbonatiche

Lo schema mostra i principali tipi di granuli e/o clasti (fossili, peloidi, ooliti e clasti litici) che possono essere presenti in una roccia carbonatica e che possono essere dispersi in una matrice micritica (grana molto minuta <10 mm) o una sparitica (le dimensioni dei singoli cristalli è maggiore, >10 mm).



Bioclasti (nummuliti)



Bioclasti

Granuli scheletrici, rappresentati da fossili interi, frammenti di fossili e frammenti arrotondati e abrasati.



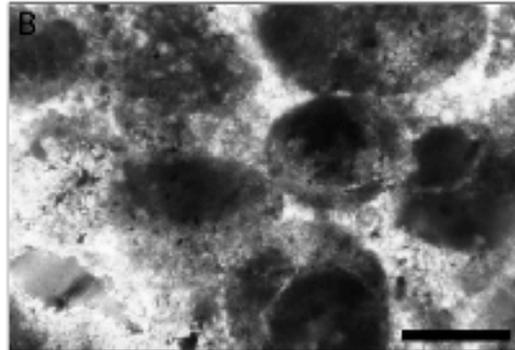
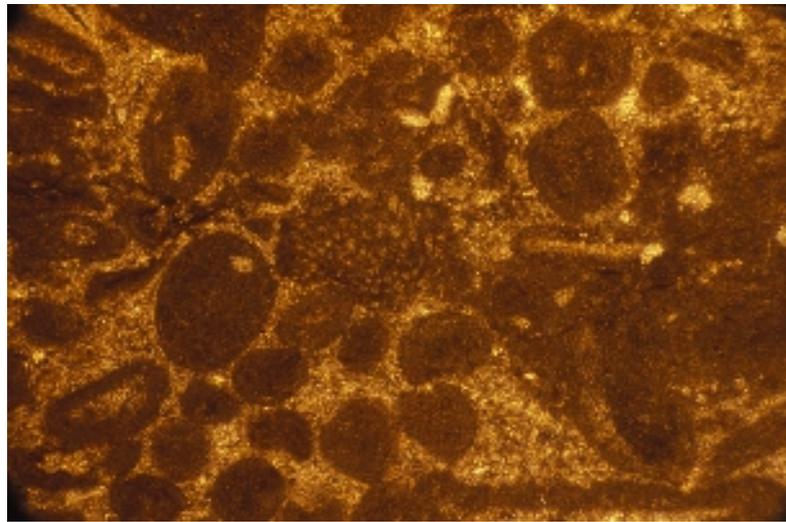
Rocce carbonatiche. Calcari

Granuli carbonatici

Principali componenti delle rocce carbonatiche

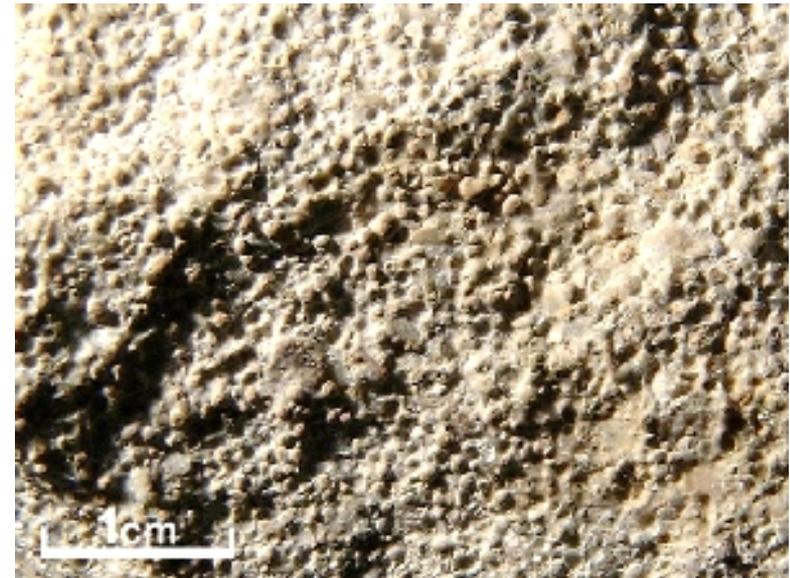
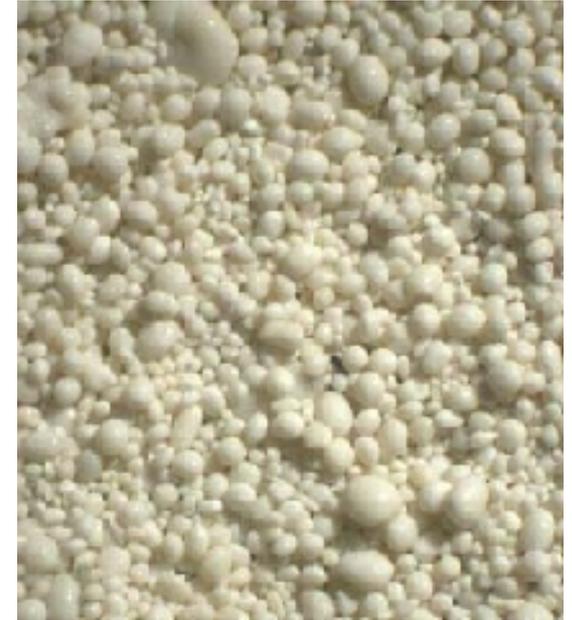
Peloidi

I peloidi sono granuli carbonatici di forma sferica, ovoidale o allungata e della taglia del silt (0.05 a 0.2 mm). Sono costituiti da fine micrite (da 2 a 5 micron) e non mostrano una struttura interna. In molti casi sono di origine fecale, generati da micro-organismi che ingeriscono fango carbonatico ricco di materiale organico. In base alla forma e taglia dei peloidi è possibile risalire al tipo di organismo che ha generato il peloide



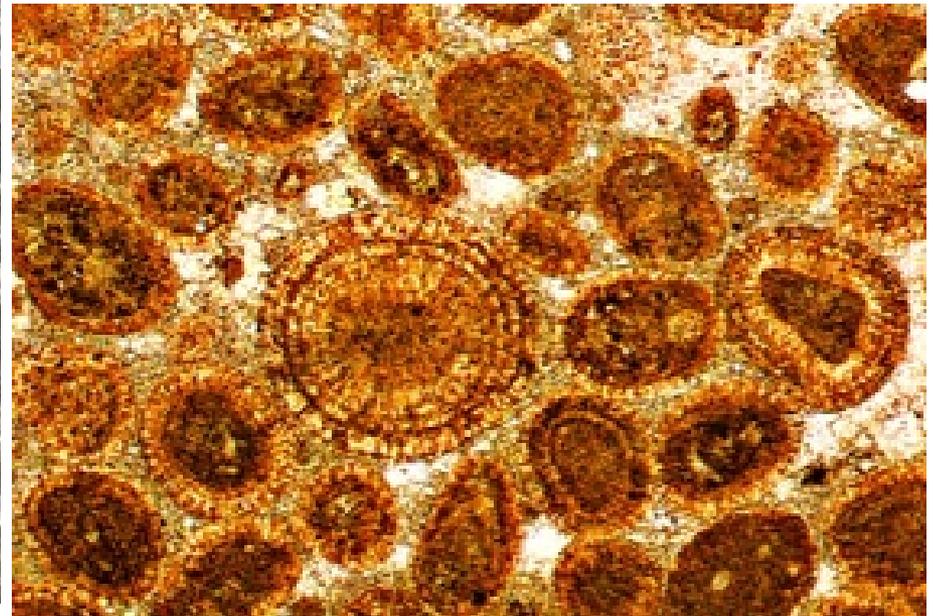
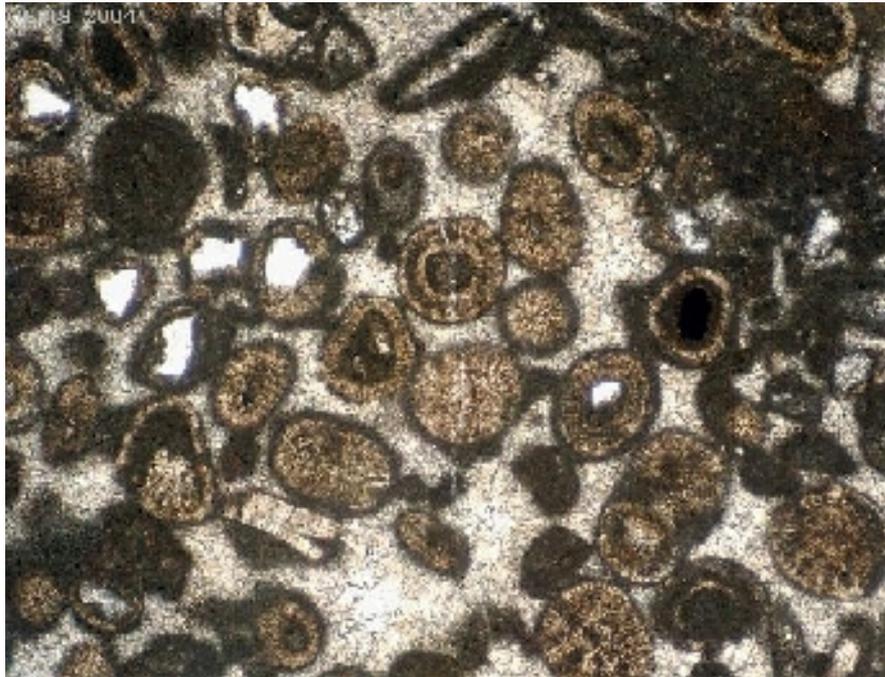
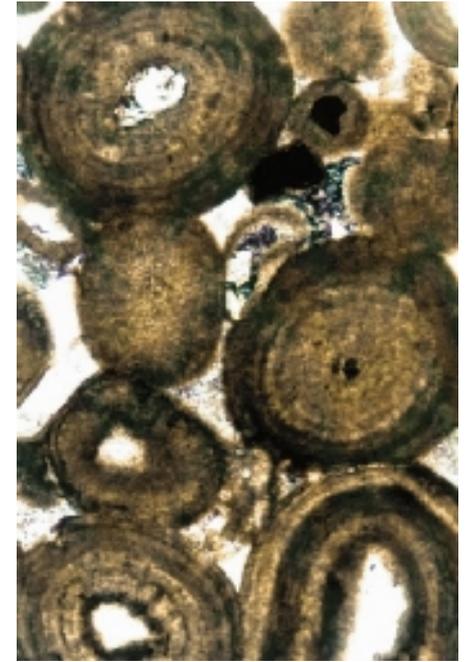
Granuli carbonatici rivestiti**Ooliti**

Sono granuli composti di forma da sferica a ovale e dimensioni da 0.1 a 2 mm. Granuli con diametro > 2 mm sono detti pisoliti. Sono bianchi o color crema. Sono strutture sferiche di origine essenzialmente chimica, per precipitazione di carbonato di calcio intorno a nuclei di condensazione (granuli silicoclastici, e.g. quarzo, parti scheletriche, materiale biogenico, vecchi ooliti, peloidi). I nuclei sono rivestiti da lamine concentriche di carbonato. Le lamine si formano per precipitazione di CaCO_3 da acque sature o soprassature in bicarbonato di Ca. Possono precipitare da acque agitate o da acque calme.



Ooliti

Gli studiosi delle rocce carbonatiche distinguono due tipi di ooliti in base alla disposizione dei cristalli di carbonato di calcio all'interno dei sottili gusci che rivestono in nucleo: (1) ooliti in cui i cristalli sono disposti tangenzialmente rispetto ai livelli; (2) ooliti con cristalli disposti radialmente rispetto ai gusci; (3) ooliti micritici o sparitici con cristalli orientati casualmente rispetto ai livelli



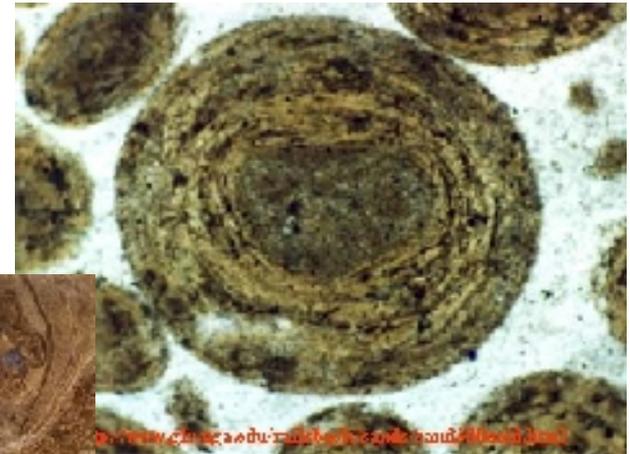
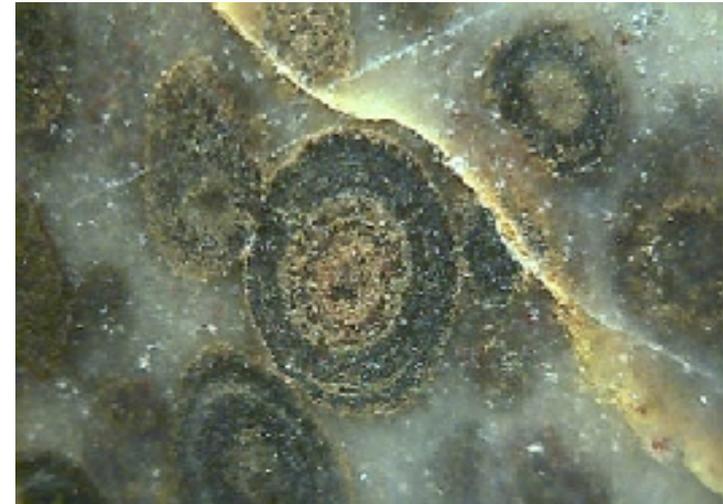
Rocce carbonatiche. Calcari

Principali componenti delle rocce carbonatiche

Granuli carbonatici rivestiti

Oncoliti

Si tratta di granuli rivestiti di forma più irregolare (sferiche, ellittiche o schiacciate) degli ooliti, con più lamine irregolari e in genere più grandi, da 2 a 10 mm. Molti autori si riferiscono agli oncoliti come costruzioni algali che si sviluppano grazie all'attività di alghe blu-verdi (cianobatteri).



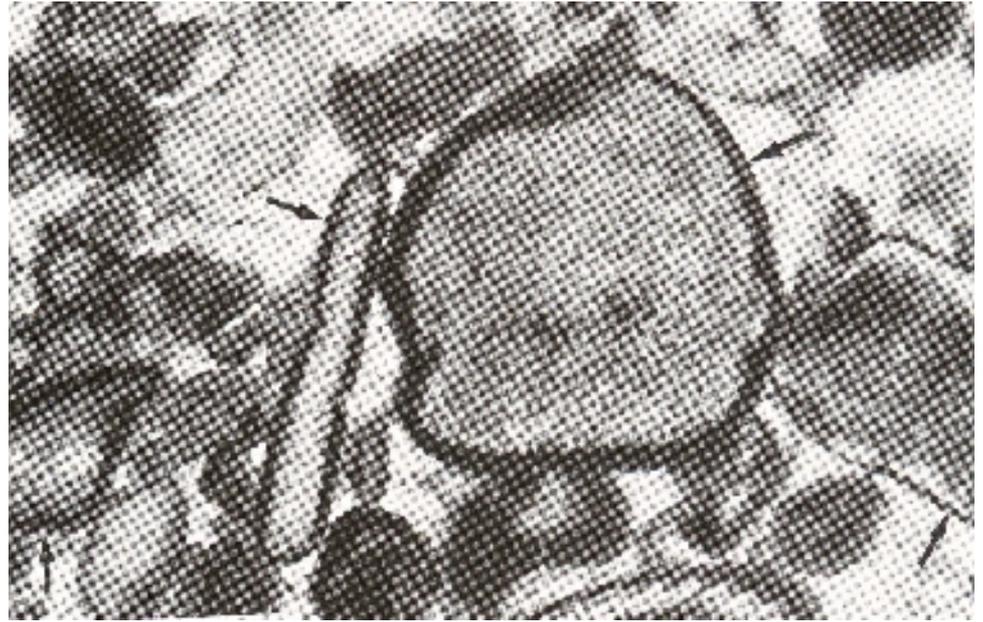
Rocce carbonatiche. Calcari

Granuli carbonatici rivestiti

Cortoidi

I cortoidi sono granuli rivestiti in cui un nucleo fatto di fossili, ooliti, peloidi sono rivestiti da un unico layer sottile di micrite scura e sono costituiti da cristalli da 2 a 5 micron di calcite

Principali componenti delle rocce carbonatiche



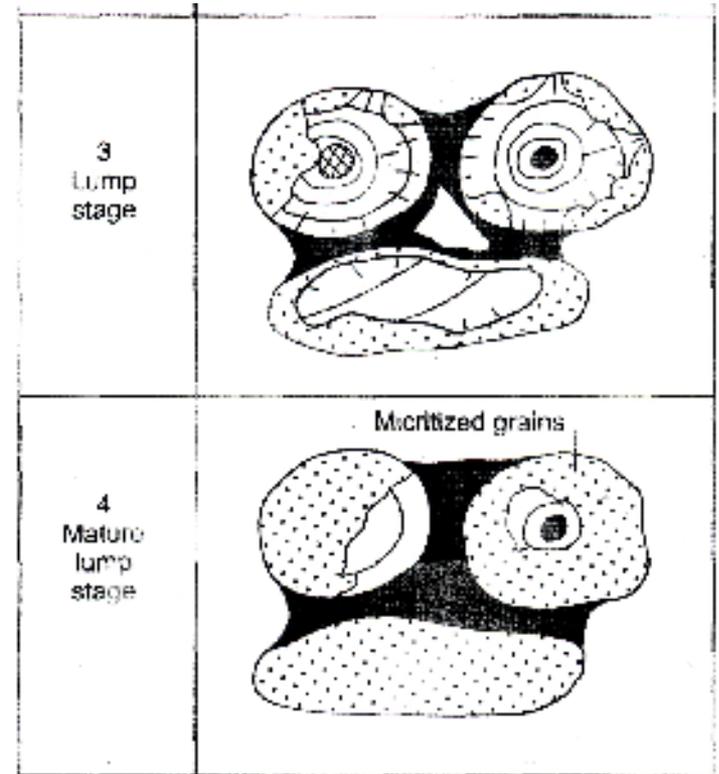
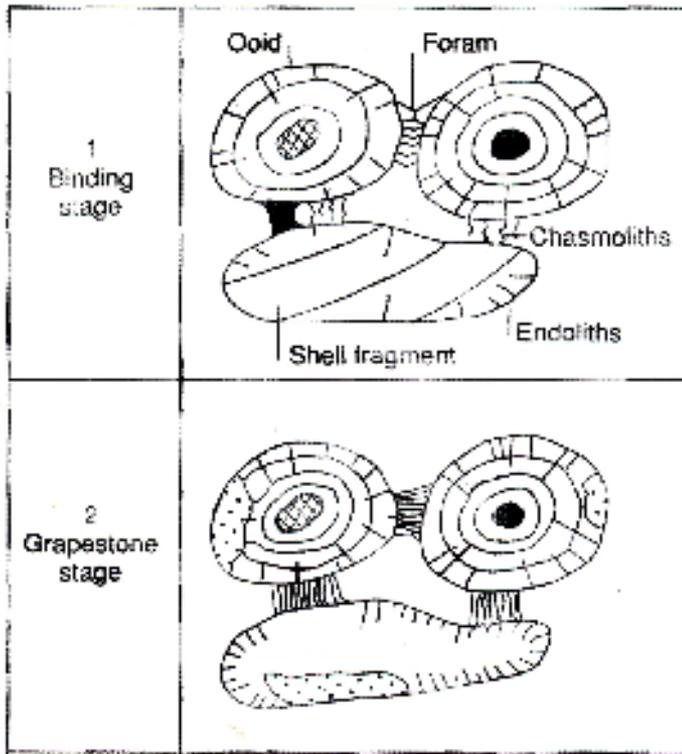
Pisoliti

I pisoliti sono simili agli ooliti. Sono diversi per la struttura interna, sono meno uniformi come forma e sono più grandi (da alcuni mm ad alcuni cm). Non sono di origine marina e si formano in zone vadose e in grotte (perle di grotta).

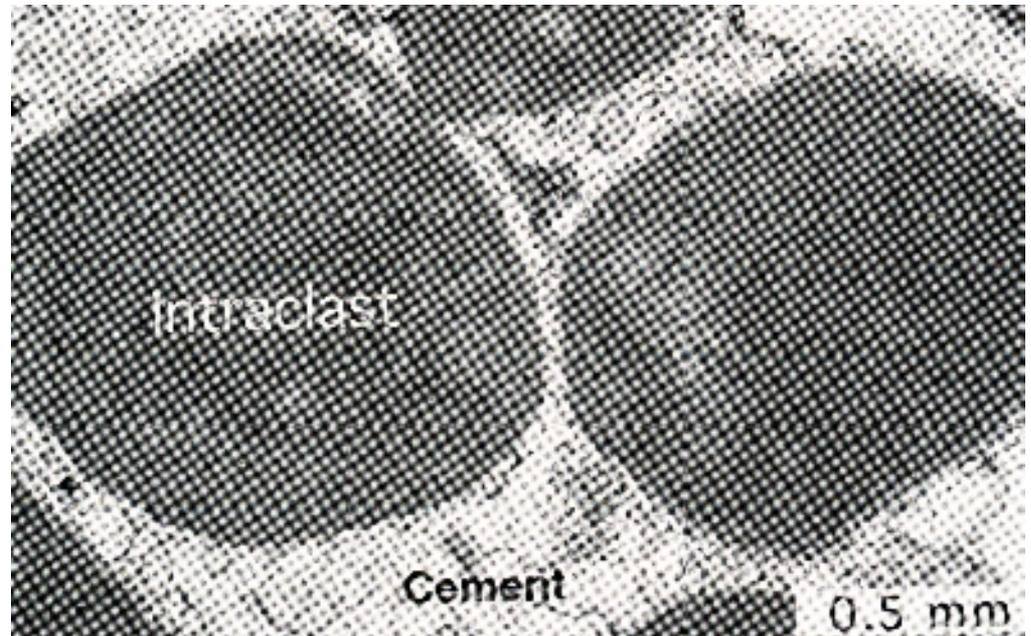
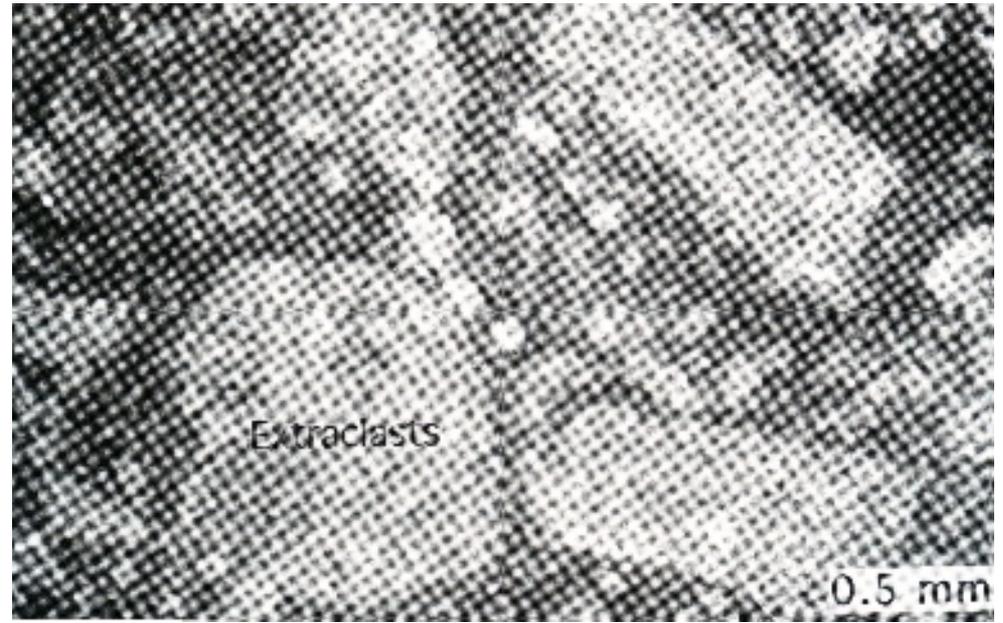


Aggregati di granuli

Granuli carbonatici irregolari formati da 2 o più frammenti uniti da matrice micritica (fango). Si possono distinguere grapestones e lumps. Il grapestone contiene aggregati di granuli a grappolo. Questi possono evolvere in lumps, cioè in aggregati con una copertura di ooidi, sino a essere micritizzati completamente e incrostati.



Litoclasti

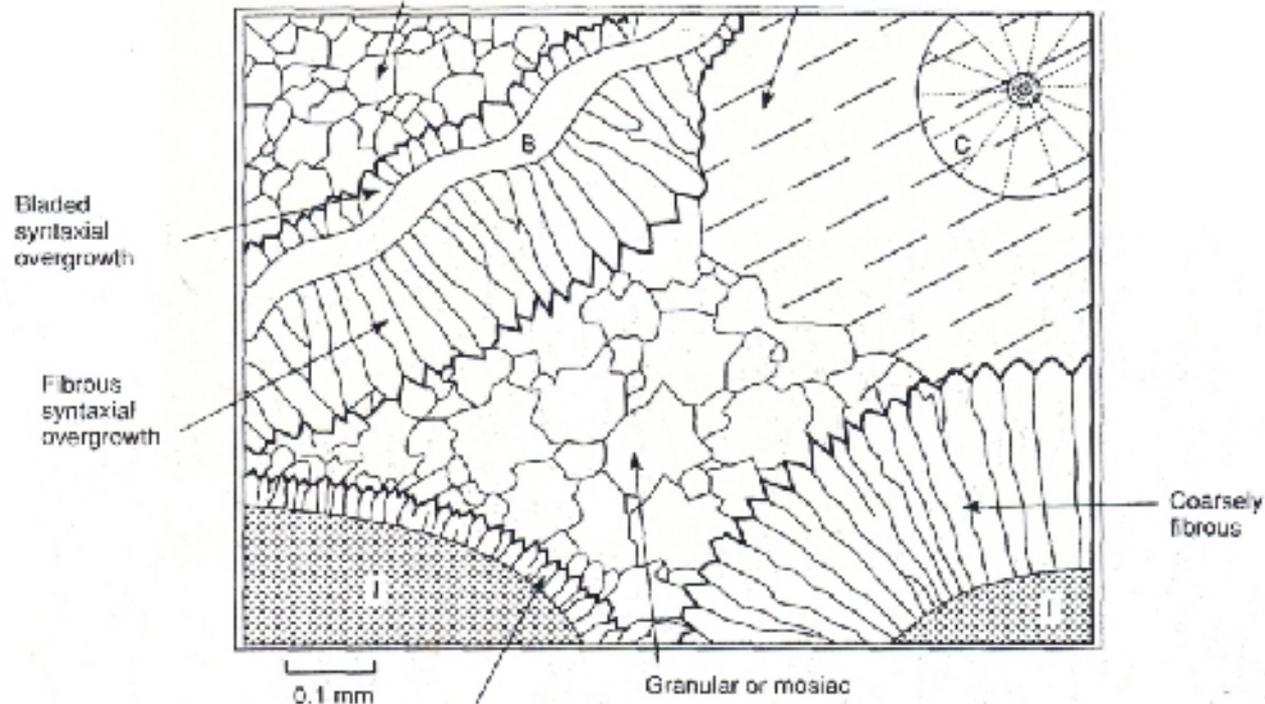


Matrice e cemento a grana fine

Micrite = dalla contrazione dell'inglese microcrystalline calcite. Parte a grana fine formata da cristalli finissimi di calcite che formano un feltro bruno nella roccia. Costituisce la parte a grana fine che circonda granuli, clasti, materiale organico e fossile e costituisce la matrice delle rocce carbonatiche



Sparite = Sparry calcite in inglese. Sono cristalli limpidi a grana relativamente grossa che sovraccrescono i granuli e la matrice micritica. Si tratta spesso di cemento carbonatico diagenetico.



Phi-Grades		Carbonates	
mm			
2048	-11	very large	
		large	Boulders
1024	-10	medium	
		small	
512	-9		
256	-8	large	Cobbles
		small	
128	-7		
64	-6	very coarse	Pebbles
32	-5	coarse	
16	-4	medium	
8	-3	fine	
4	-2		Granules
2	-1		
1	0	very coarse	Sand
µm		coarse	
500	1	medium	
		fine	
250	2	very fine	
125	3		
63	4	coarse	Silt
32	5	medium	
16	6	fine	
8	7	very fine	
4	8	coarse	Clay
2	9	medium	
1	10	fine	
1/2	11	very fine	

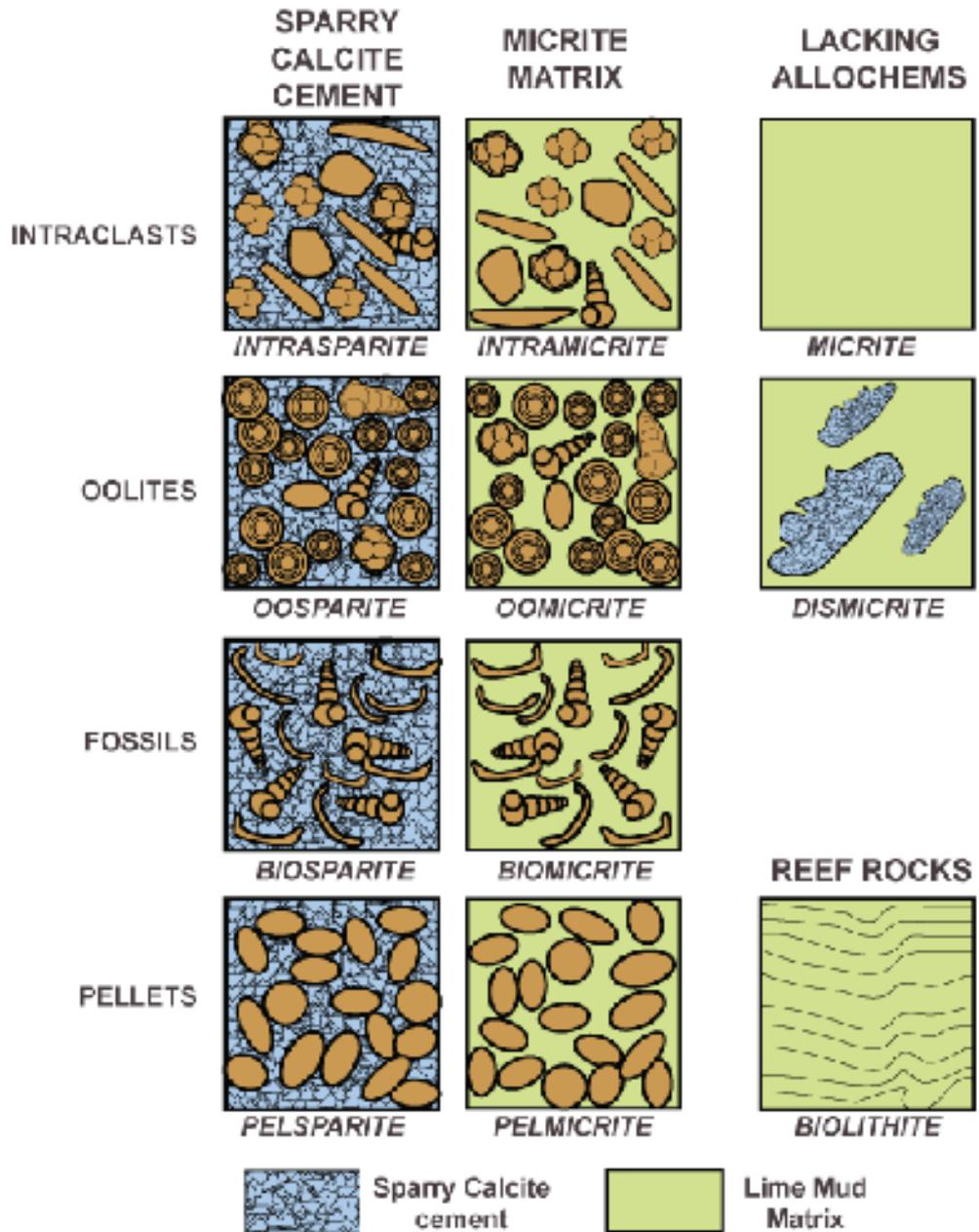
Fig. 6.1. Wentworth-Udden grain-size scale and grain-size-based terms used for differentiating of carbonate rocks. Note that the upper limit of micrite is often expanded and the size range of calcisiltite is a matter of discussion (Sect. 4.1.1 and 4.1.4).

da Flügel, 2004

Classificazione su base granulometrica

Si tratta di uno schema semplice ma molto usato che divide le rocce carbonatiche in base alla taglia dei granuli in

1. **calciruditi**, la maggior parte dei granuli è maggiore di 2 mm
2. **calcareniti**, la maggior parte dei granuli è tra 2 mm e 62 micron
3. **calcilutiti**, la maggior parte dei granuli è inferiore a 62 micron

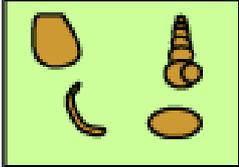
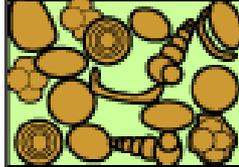


C.G.St.C. Kendall, 2005 (after Folk 1959)

Classificazione di Folk, 1959. Basata sulla natura dei granuli e frammenti, detti allochem (allochimici), e sul tipo di matrice. Quest'ultima può essere micritica o sparitica

Il termine **Allochem** fu introdotto da Folk (1959). E' un termine generale per descrivere tutte le varietà di 'granuli' e aggregati di granuli carbonatici che hanno subito trasporto in qualche momento della loro storia. In pratica si usa per descrivere i 'granuli' riconoscibili nelle rocce carbonatiche. Ciascun frammento la cui taglia va da circa 0.5 mm in su può essere considerato un allochem. Gli esempi includono ooliti, peloidi, oncoliti fossili o frammenti carbonatici pre-esistenti.

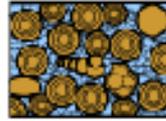
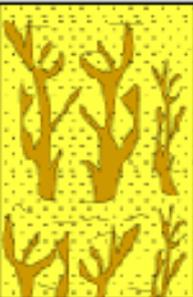
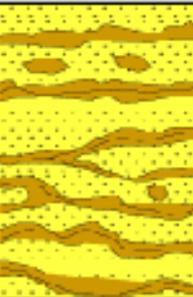
Rocce carbonatiche. Calcari

Original components not bound together at deposition				Original components bound together at deposition. Intergrown skeletal material, lamination contrary to gravity, or cavities floored by sediment, roofed over by organic material but too large to be interstices
Contains mud (particles of clay and fine silt size)		Lacks Mud		
Mud-supported		Grain-supported		
Less than 10% Grains	More than 10% Grains			
Mudstone 	Wackestone 	Packstone 	Grainstone 	

C. G. St. C. Kendall, 2005 (after Dunham, 1962, AAPG Memoir 1)

Classificazione di Dunham, 1962. Basata sulle relazioni tessiturali tra granuli e frammenti, più che sulla loro natura. Prende in considerazione due aspetti della tessitura: 1) l'impacchettamento dei granuli e l'abbondanza relativa di granuli e matrice; 2) il 'legamento' dei granuli durante la deposizione.

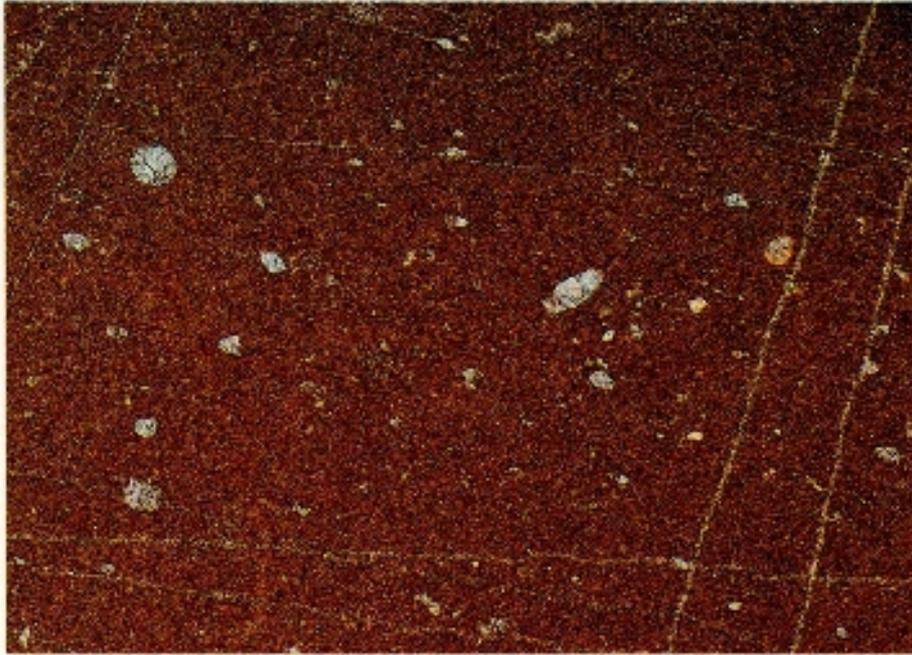
Rocce carbonatiche. Calcari

Alloctoni				Autoctoni biocostruiti				
Costituenti originari non saldati da organismi durante la deposizione				Costituenti originari saldati durante la deposizione da organismi che				
< 10% granuli > 2mm		> 10% granuli > 2mm						
Con fango calcareo (micrite) < 0.03 mm		Senza fango						
Matrice sostenuti (elementi non a contatto)		Granulo sostenuti (elementi a contatto)						
Granuli		Cemento sparite						
< 10% granuli tra 0.03-2mm	> 10% granuli tra 0.03-2mm	Matrice micrite	Cemento sparite	Matrice sostenuti Elementi > 2mm separati da matrice	Granulo sostenuti Elementi > 2mm a contatto	Formano una griglia	Incrostano e legano	Formano impalcature rigide (e.g. coralli)
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
								

Textural classification of reef limestones after Embry & Klovan (1971) and Jamco (1984)

Classificazione di Embry and Klovan, 1971.

Esempi di classificazione



Mudstone secondo Dunham e Embry & Klovan. Calcare dominato dalla matrice (matrix supported) con meno di 10% di allochems (elementi). In questo caso gli allochems sono microfossili e clasti di calcite.

Secondo Folk è una **micrite fossilifera** e in base alla grana è una **calcilutite**.

Dimensione dei granuli circa 0.015 mm. Foto al microscopio ottico

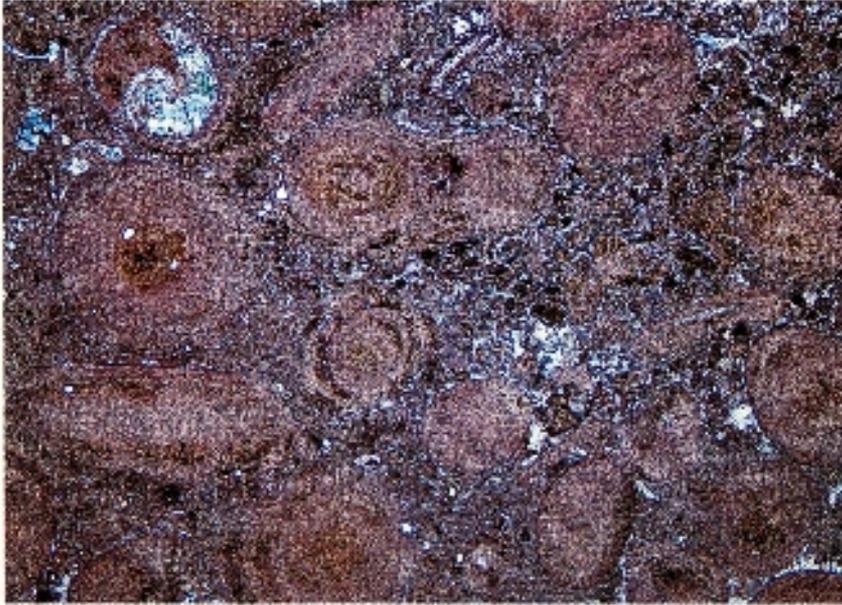


Wakestone secondo Dunham e Embry & Klovan. Calcare supportato dalla matrice (matrix supported) con più di 10% di allochems (elementi). In questo caso gli allochems sono bioclasti e la matrice è micritica.

Secondo Folk è una **biomicrite** e in base alla grana è una **calcilutite** al limite con calcarenite

Dimensione dei granuli grandi circa 0.15 mm. Foto al microscopio ottico

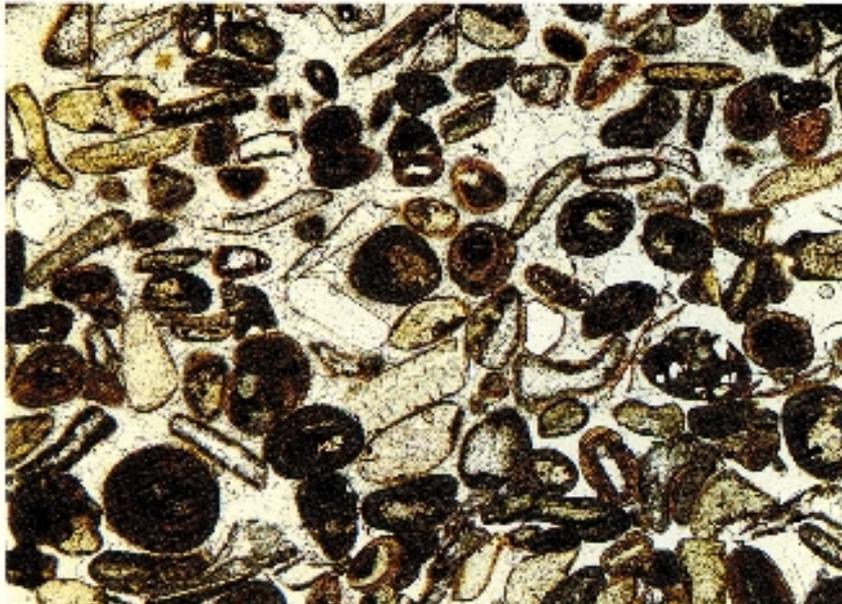
Rocce carbonatiche. Calcari



Packstone secondo Dunham e Embry & Klovan. Calcarenite supportata dai granuli di allochem di taglia variabile. Questi corrispondono a ooliti (micritizzate, quelli di taglia grande) e peloidi (quelli di taglia piccola).

Secondo Folk è una **oomicrite** e in base alla grana è una **calcarenite**

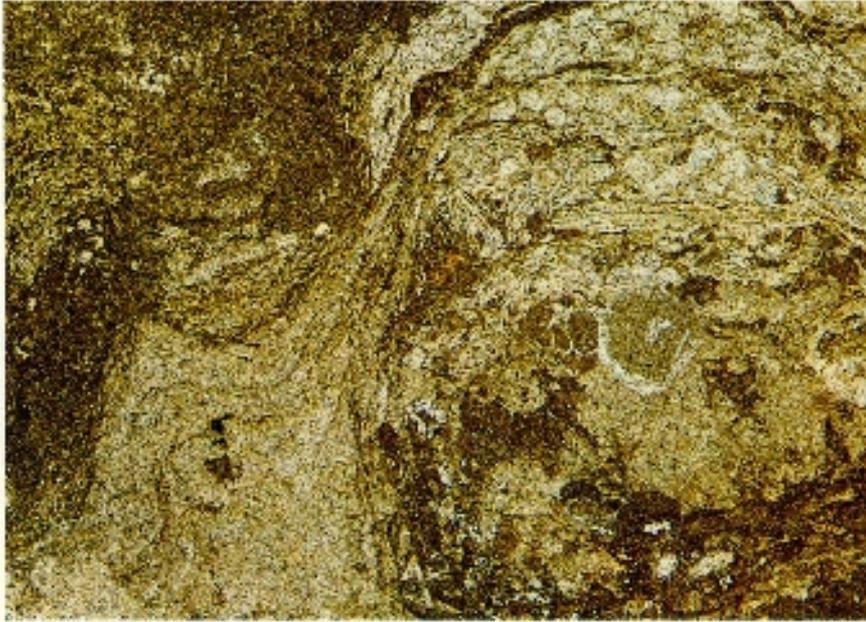
Dimensione dei granuli grandi circa 0.2 mm. Foto al microscopio ottico



Grainstone secondo Dunham e Embry & Klovan. Calcarenite supportata dai granuli di allochem in una matrice spatica. Gli allochem corrispondono a ooliti e bioclasti.

Secondo Folk è una **oosparite** e in base alla grana è una **calcarenite** al limite con calcilutite

Dimensione dei granuli grandi circa 0.2 mm. Foto al microscopio ottico



Boundstone secondo Dunham e Embry & Klovan. (Bindstone) Calcare che contiene un numero di organismi (alghie) che tengono insieme un sedimento a grana più fine.

Secondo Folk è una **biolitite** e in base alla grana è una **calcilutite** al limite con calcarenite

Dimensione dei granuli grandi circa 0.15 mm. Foto al microscopio ottico

Le rocce carbonatiche

Dolomie

Le dolomie sono rocce sedimentarie comuni. Nell'ambito delle rocce carbonatiche, la proporzione e la quantità di dolomie cresce andando a ritroso nel tempo.

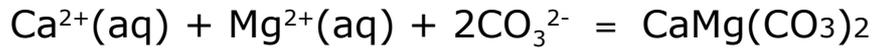
Sebbene le dolomie siano rocce ben studiate, la loro origine è ancora dibattuta. Il problema nasce in parte dal fatto che geochimici e petrologi non sono ancora riusciti a sintetizzare e precipitare in laboratorio cristalli ordinati e stechiometrici di dolomite da soluzioni acquose alle temperature e pressioni ambiente presenti alla superficie terrestre. Si forma solo protodolomite, ricca in Ca e poco ordinata. Per precipitare dolomite in laboratorio occorrono temperature dell'ordine dei 100 °C.

Ciò nonostante la dolomite stechiometrica e ordinata è comune nelle rocce e questo fatto ha portato alla proliferazione di teorie e modelli sulla genesi delle dolomie. Alcune dolomie preservano tessiture relitte (fantasma) di vecchi calcari (e.g. fossili e ooliti). Alcune dolomie passano in modo abbastanza netto a calcari secondo contatti che tagliano la stratificazione. Queste dolomie nascono dalla sostituzione dei calcari, presumibilmente per migrazione sotterranea di acque arricchite in Mg.

In contrasto a queste evidenze, molte dolomie non contengono strutture relitte, lasciando aperte le speculazioni sulla loro origine.

Costituenti

I principali costituenti di queste rocce sono la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ e l'ankerite $\text{Ca}(\text{Mg, Fe, Mn})(\text{CO}_3)_2$. La precipitazione di dolomite da soluzioni acquose può avvenire per la reazione



spiega la formazione di dolomite a spese di calcite.

Secondo alcuni ricercatori si può formare dolomite primaria mediante la reazione 1, ma i dati sperimentali non confermano. Le dolomie sono state osservate in numerosi ambienti attuali (età da 10000 a 3000 anni). Il costituente è proto-dolomite. Inoltre gli studi sulla composizione isotopica dell'ossigeno di dolomite e calcite coesistenti indicano che a bassa T la dolomite dovrebbe essere arricchita rispetto alla calcite coesistente in ^{18}O . Cosa che non si osserva. Pertanto solo una piccola parte delle dolomie deriva da precipitazione diretta da acque sopra e/o all'interfaccia tra sedimenti e acqua e che la maggioranza derivi da sostituzione post-deposizionale di originari calcari.

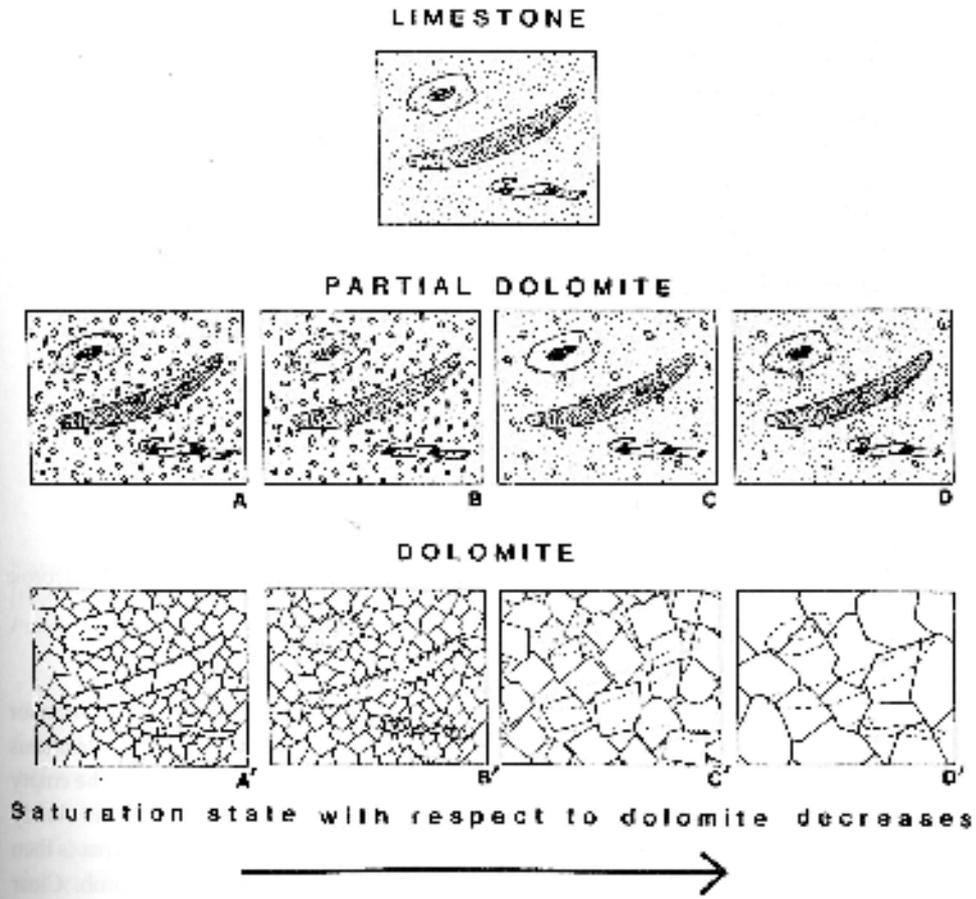


Figure 10.5 Replacement of carbonate grains and the formation of carbonate grain ghosts in plaut dolomite. Note that the overall texture is related to the saturation state of the dolomitizing fluids with respect to dolomite, which decreases to the right in the diagram. D and D' represents a condition where saturation state is low but residence time in the dolomitizing solution is long, resulting in a low-porosity dolomite. Note also that A' has irregularly replaced circular and nonirregularly replaced cylindrical and tubular fragments. B' has molds, and C' and D' have ghosts of the fossil grains. [After Sibley, D. F. and J. M. Gregg, 1987, Classification of dolomite rock textures, *J. Sediment. Petrol.*, 57, Fig. 11, p. 974, reprinted by permission of SEPM, Tulsa, OK.]

La formazione post-deposizionale delle dolomie richiede la circolazione di grandi volumi di fluidi magnesiaci attraverso sedimenti carbonatici porosi (i precursori). Sono stati proposti molti modelli, che questi cadono in 4 categorie principali:

1 Riflusso. Si verifica in ambienti lagunari e di mare basso per flusso verso il basso di acque ipersaline ricche in Mg (brines; residuali da forte evaporazione) a causa della loro alta densità. Queste salamoie penetrano sino ad alcune centinaia di metri. Spiegano dolomitizzazione anche alla scala della piattaforma.

2 Miscela di acque marine ipersaline e acque normali. Si verifica in ambienti costieri. La miscela tra queste acque causa prima la saturazione in calcite; l'acqua residuale si satura progressivamente in dolomite. Questo processo determina la sostituzione della calcite dalla dolomite. Questo modello di formazione è progressivamente discredito

3 Flusso di acqua di mare. Il flusso di grandi volumi di acqua marina (sovrasatura in Mg e sottosatura in Ca) nei sedimenti carbonatici può causare la dolomitizzazione. Perché questo avvenga l'acqua di mare deve essere forzosamente pompata nei sedimenti porosi in modo da rinnovare costantemente l'influsso di Mg e il deflusso di Ca dal sedimento carbonatico, favorendo la dolomitizzazione. Meccanismi di pompaggio: 1 maree, in superficie; 2 convezione termica in profondità. Dipende dalla porosità dei sedimenti

4. Dolomitizzazione durante il seppellimento a profondità intermedie ed elevate. In profondità, l'espulsione di fluidi simili all'acqua di mare dai sedimenti, crea il flusso profondo di acqua ricca in Mg che facilita la dolomitizzazione. Questa sorgente è però limitata (servono grandi volumi di acqua) ed il flusso dipende dalla porosità dei sedimenti, che a queste profondità è ridotto. Per contro, la dolomitizzazione è facilitata a temperature > 50 °C. Può spiegare la genesi di dolomie antiche.