

## 8. NANOSTRUTTURE BIOGENICHE NELLE DOLOMIE STROMATOLITICHE

Le stromatoliti rappresentano i più comuni e noti depositi microbialitici, fossili e recenti. Esse sono il risultato dell'interazione di complessi processi sedimentari, chimici e biochimici (cfr Cap. 3). Da studi condotti sui *microbial mats* che generano le stromatoliti attuali si è potuto osservare che i processi più importanti coinvolti nell'accrescimento delle lamine sono la cattura e l'intrappolamento di sedimento ad opera dei batteri e dell'EPS, la precipitazione diretta di carbonati mediata dalle attività metaboliche microbiche e la calcificazione di scheletri di microrganismi autoctoni (Visscher & Stolz, 2005).

Attraverso il confronto con analoghi moderni, le stromatoliti fossili sono state considerate la prova dell'esistenza della vita sulla Terra fin dall'inizio del Precambriano (3,5 miliardi di anni). Esse preservano, infatti, l'evidenza del fenomeno di biomineralizzazione microbica attraverso l'intero record geologico (Riding, 2000). L'origine biogenica di queste strutture è ancora, tuttavia, oggetto di molti dibattiti (Allwood et al., 2006; Brasier et al., 2006), perché spessissimo le strutture microbiche originali non si sono conservate come fossili, né rimangono preservate le firme geochemiche originali.

In prosecuzione ai dati sulle microtessiture biotiche ed abiotiche, ed a quelli geochemici e petrografici illustrati nel capitolo precedente, di seguito sono riportati i risultati di ulteriori indagini, alla scala delle nano-strutture, mirate all'individuazione di concrete testimonianze fossili e chimiche del coinvolgimento dei microbi nella genesi delle stromatoliti dolomitiche.

### 8.1. STRUTTURE SFEROIDALI DI DIMENSIONI MICROMETRICHE

Le laminazioni stromatolitiche sul terreno appaiono come macro e micro lamine chiare e scure in bande alternate (Fig. 8.1A). A scala microscopica conservano la medesima struttura, che si risolve come un'alternanza di fasce sub-millimetriche di cristalli di dolomite microsparitica (Tipo 2) con dolomite micritica grigio-nera (Tipo 1) (Figg. 8.1B e C; cfr Cap. 7). L'osservazione al microscopio elettronico, oltre a confermare l'origine della laminazione come dovuta essenzialmente alla diversità di dimensioni dei cristalli nelle singole lamine, mostra che nelle lamine micritiche i cristalli (generalmente inferiori a 5  $\mu\text{m}$ ) raggiungono dimensioni estremamente ridotte fino 0,5  $\mu\text{m}$  (Fig. 8.2A).

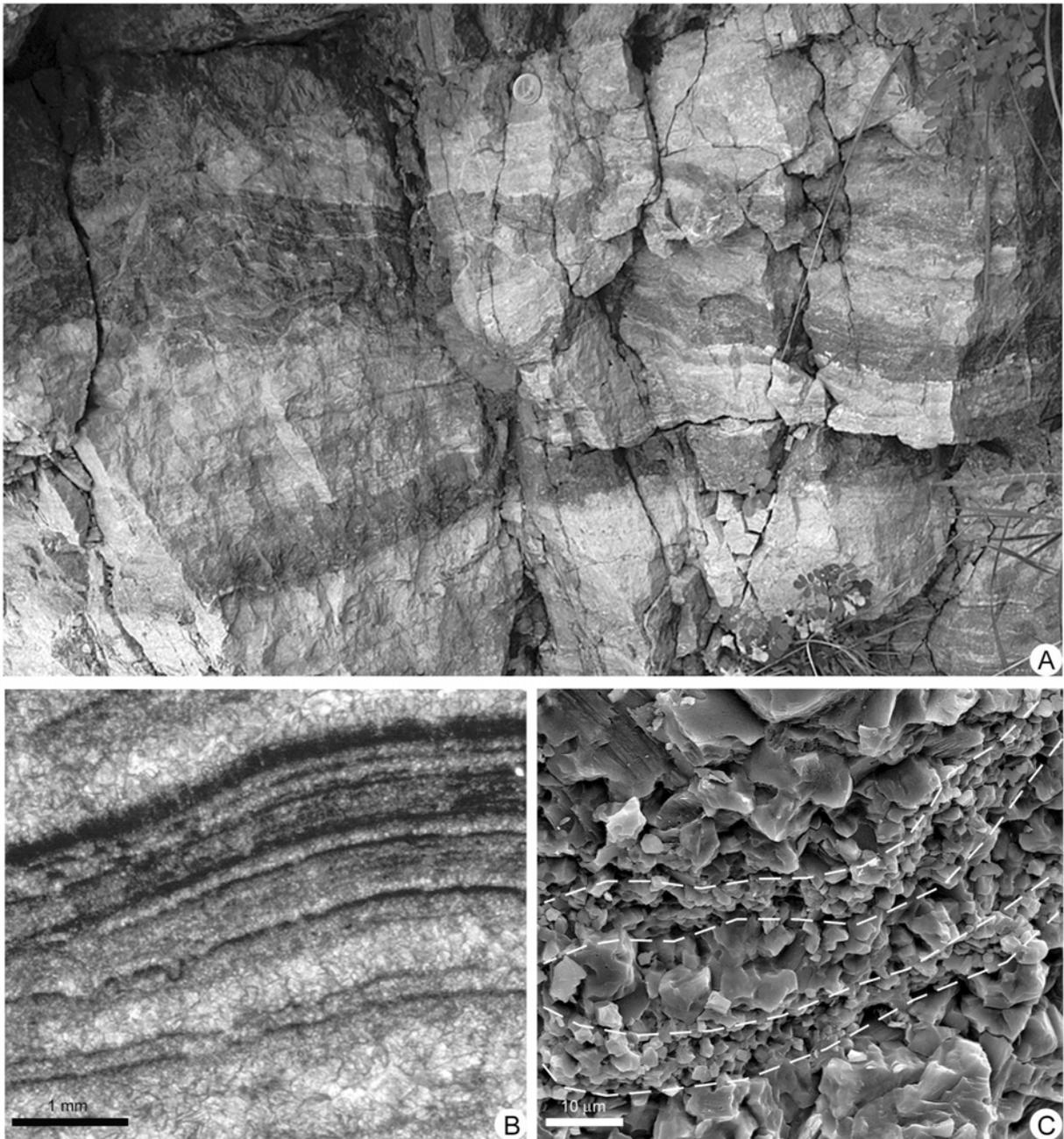


Figura. 8.1. Vedute di laminazioni stromatolitiche formate dall'alternanza di micrite nera e microsparite chiara, in affioramento di campagna (A), in microscopia ottica (B), ed al SEM (C).

A dispetto dell'apparente compattezza della struttura laminata, osservabile sia al campione a mano sia al microscopio petrografico, all'interno del mosaico cristallino delle lamine, in particolar modo in quelle micritiche, si evidenzia al SEM la presenza di molto spazio intercristallino originato da ridotta "compenetrazione" dei cristalli. Questi spazi sono generalmente vuoti o occupati da altri minerali come ossidi e minerali argillosi (Fig. 8.2). Tuttavia, reiterate osservazioni hanno permesso di scoprire, all'interno di alcune lamine, la presenza di diverse strutture fossili, di seguito illustrate.

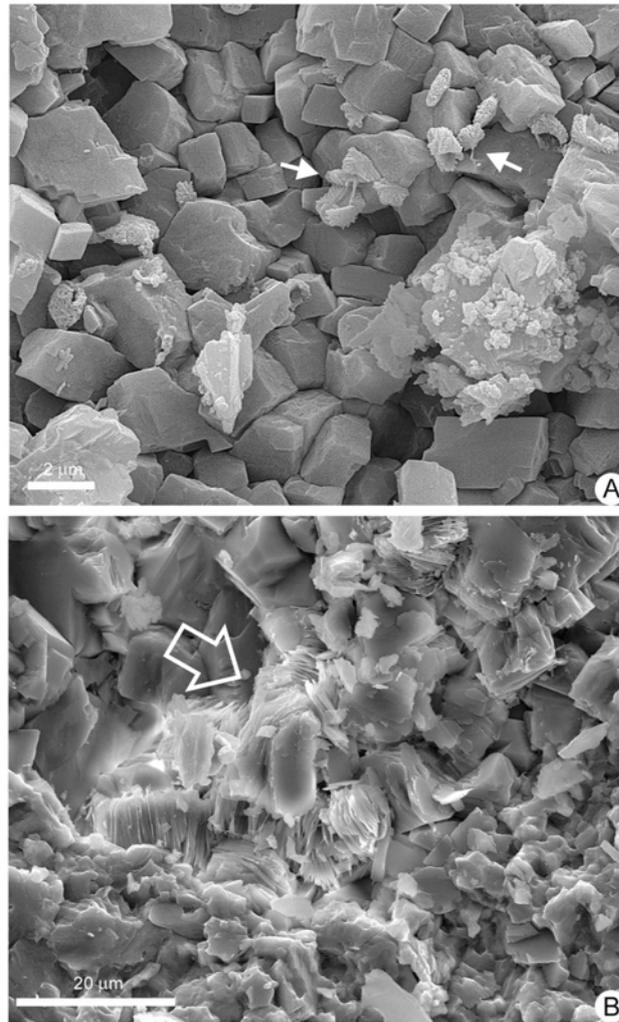


Figura 8.2. Minerali accessori all'interno delle lamine stromatolitiche. A) Ossidi di Fe (freccie), si noti inoltre la ridotta dimensione dei cristalli euedrali di dolomite; B) Cristalli lamellari di illite (freccia).

Un primo gruppo di strutture fossili, particolarmente abbondanti nelle lamine micritiche, si caratterizza per la forma sferoidale (Fig. 8.3A). La maggior parte di questi resti consistono di frammenti di dimensioni micrometriche di sferoidi vuoti, con pareti spesse circa 100 - 150 nm, inglobate nei cristalli o sporgenti dalla superficie dei cristalli stessi (Figg. 8.3B, C). A volte si osservano anche all'interno degli spazi intercrystallini, ed in tal caso si presentano collassati o schiacciati tra i fianchi dei cristalli (Figg. 8.3D, 8.5D). Raramente, lo spazio primario intercrystallino ha permesso la preservazione dell'intera struttura sferoidale, che mostra un diametro uniforme di circa 1 µm (Fig. 8.3E). Le pareti di questi sferoidi hanno una tessitura granulare formata da aggregati di nanocristalli di dolomite (Fig. 8.3F).

Le analisi semiquantitative in EDS di tali strutture rivelano una composizione dolomitica ricca in Ca. Il contenuto in Ca ha, infatti, una percentuale media di 55,4 mol%, che in alcuni casi raggiunge una concentrazione pari a 70 mol%. La composizione degli sferoidi risulta, inoltre, equivalente a quella dei cristalli di dolomite che le ospitano.

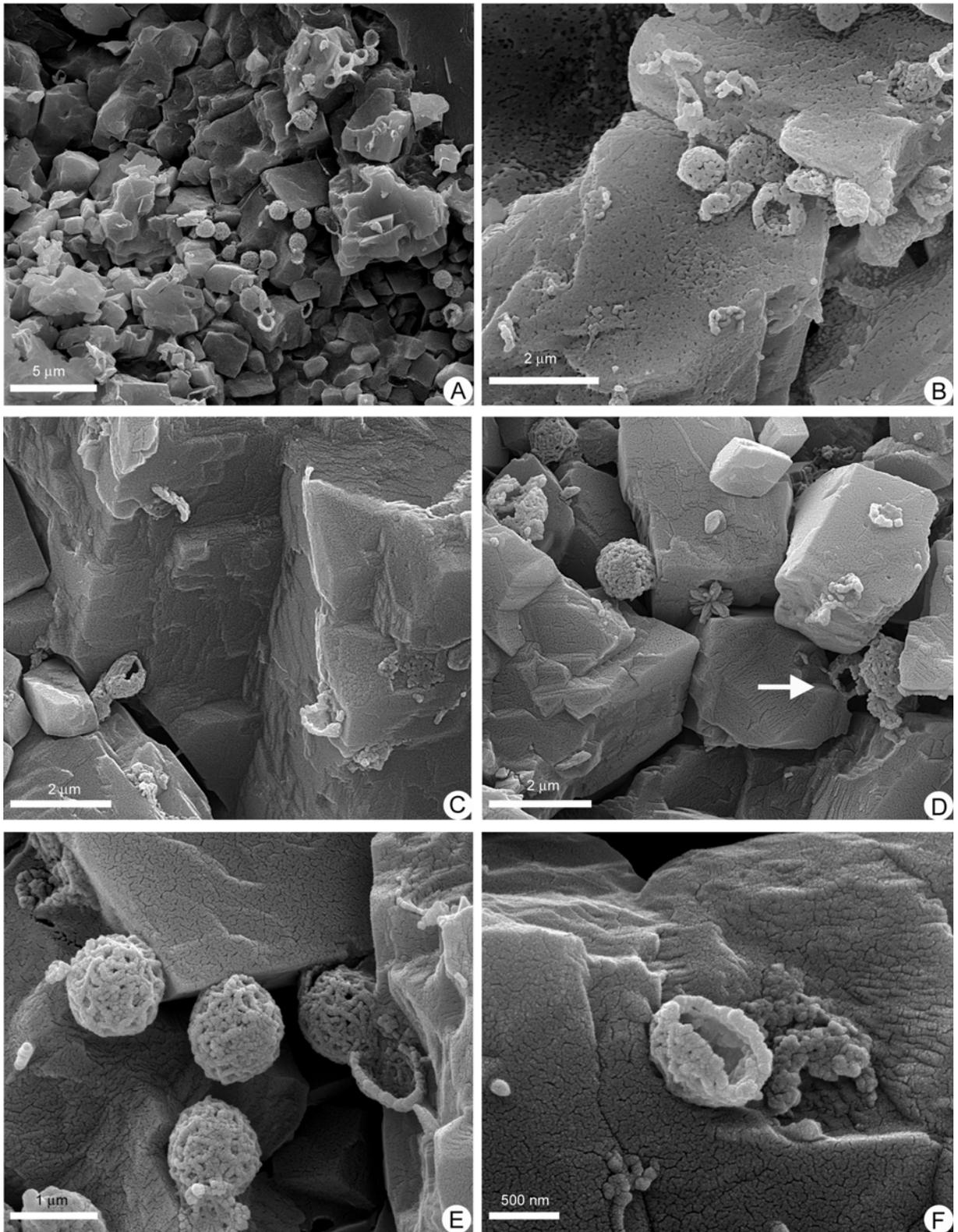


Figura 8.3. Immagini al SEM di strutture microscopiche, interpretate come di natura biogenica, all'interno di stromatoliti triassiche. A: Strutture sferoidali all'interno del mosaico dolomitico formato da cristalli con dimensioni <5 micron. B, C: Frammenti di strutture sferoidali inglobate nei cristalli o sporgenti da essi (freccie). D: Sferoidi deformati nello spazio intercristallino (freccia). E: Sferoidi interi ben conservati all'interno di spazi intercristallini. F: Ingrandimento di uno sferoide vuoto, mostrante la parete formata da aggregati di nanocristalli di dolomite. Tutte le immagini sono state acquisite su superfici fresche di campioni non trattate.

## 8.2. SFEROIDI DI SCALA NANOMETRICA E TESSITURE GRANULARI

Ulteriori osservazioni all'interno delle lamine micritiche hanno rivelato la presenza di strutture con forma sferica-ovoidale ancora più piccole delle precedenti, aventi dimensioni comprese tra 150 - 400 nm (Fig. 8.4). Tali strutture a volte si presentano isolate, mentre spesso sono circondate da aree aventi una tessitura granulare composta da corpi sferoidali con dimensioni di 70 – 150 nm coalescenti (Figg. 8.4A,C e 8.5F).

Queste forme a scala più piccola sono distribuite in modo irregolare, però anch'esse sono particolarmente abbondanti nelle lamine micritiche nere delle stromatoliti; difficilmente si osservano nella dolomite microspartica del Tipo 2, e sono completamente assenti nella dolomite a grana grossa del Tipo 3.

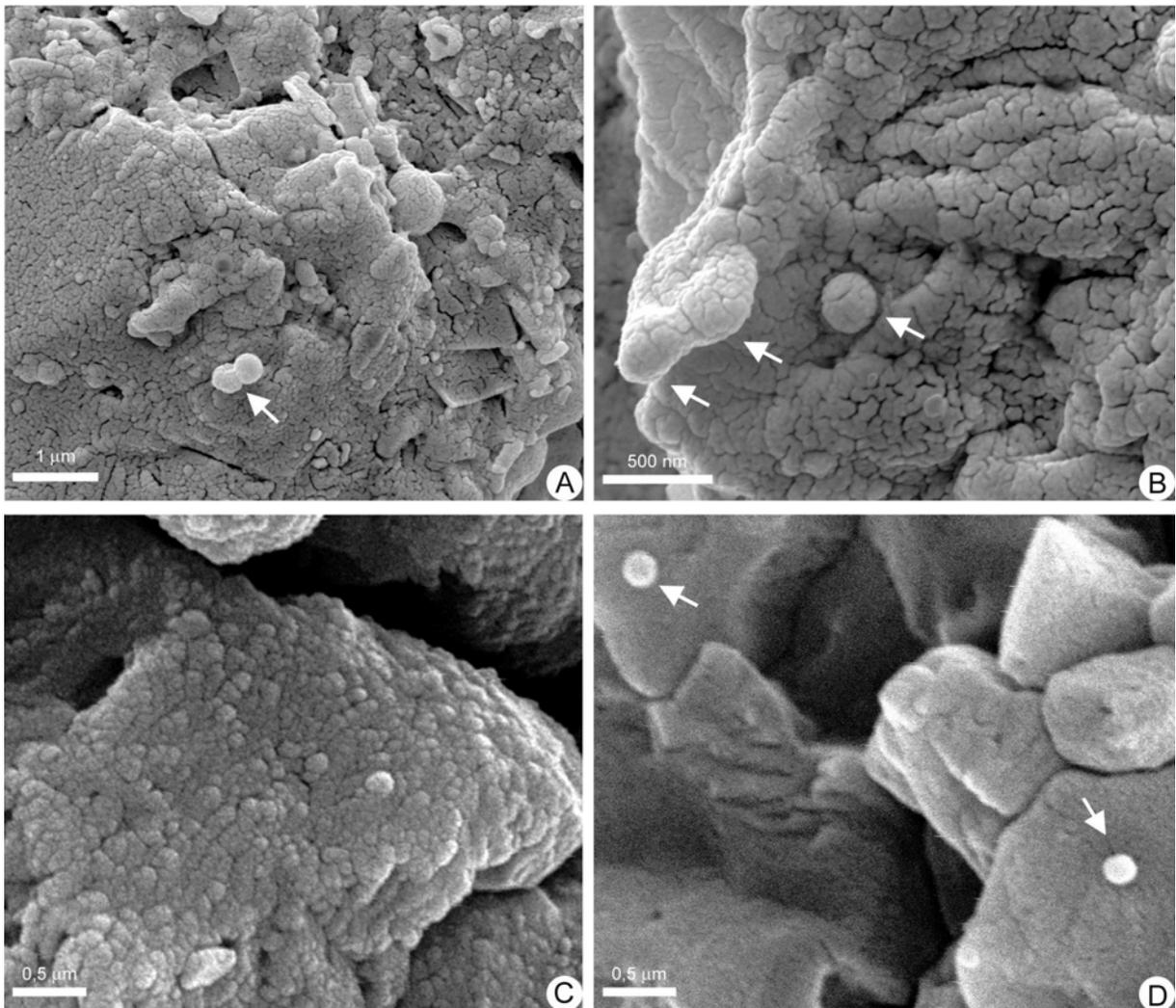


Figura 8.4. Immagini al SEM di strutture nanoscopiche. A: Sferoidi (freccie) circondati da una tessitura granulare irregolare. B: Dettaglio di sferoidi nanometrici (freccie) C: Particolare della tessitura granulare composta da corpi sferoidali con dimensioni di 70 – 150 nm. D: Sferoidi isolati (freccie).

### 8.3. STRUTTURE DI TIPO PLANARE

In associazione alle varie strutture sferoidali descritte, sono presenti anche strutture planari che consistono di sottili lamine leggermente ondulate, spesse circa 100-200nm. Tali lamine sono state osservate sia negli spazi inter-cristallini, sia intersecanti i cristalli stessi. In alcune zone sono state osservate anche tra gli sferoidi di dimensioni più grandi, dove fungono da collegamenti o da rivestimento di questi resti (Fig. 8.5A). Localmente, appaiono come nastri uniformi ed isopaci che si estendono per diversi microns (Fig. 8.5B), mentre a volte è possibile osservare come queste lamine formino delle geometrie sub-poligonali (Figg. 8.5C, D, E).

La struttura di queste lamine si presenta generalmente uniforme, però a volte è frammentata, mostrante una superficie irregolare con la tessitura granulare a sfere coalescenti < 100 nm descritta prima (Fig. 8.5F).

Dalle analisi in EDS risulta che la composizione di queste strutture laminari è dolomitica (ricca in Ca), così come quella dei cristalli adiacenti o di quelli che le contengono.

Tutte le strutture descritte sono state osservate su superfici fresche di campioni non trattate, o sottoposte ad un debole attacco acido.

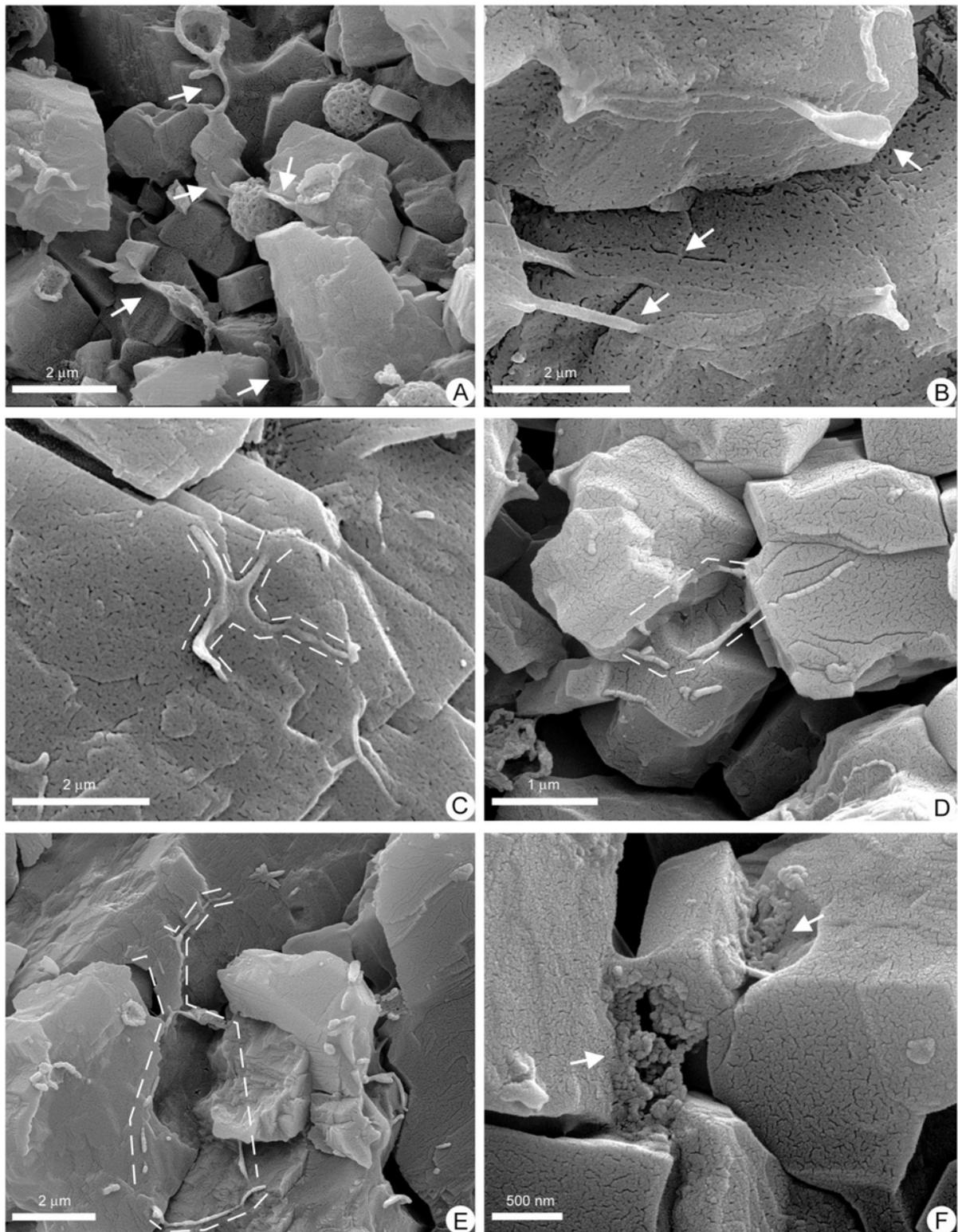


Figura 8.5. Immagini al SEM di strutture planari, di tipo laminare. A: Lamine sottili e leggermente ondulate tra i cristalli di dolomite microcristallina; esse avvolgono gli sferoidi di dimensioni micrometriche (freccie). B: Lamine nastriformi isopache tra cristalli. C, D, E: Strutture planari con forma sub-poligonale (messe in evidenza dalle linee tratteggiate). F: Strutture planari (freccie) che collegano microcristalli di dolomite, mostranti una superficie frammentata con tessitura granulare, composta da corpi sferoidali di dimensioni inferiori a 100 nm. Tutte le immagini sono state acquisite su superfici fresche di campioni, non trattate.

#### 8.4. ANALISI IN AUTOFLUORESCENZA

Le lamine di dolomite micritica, all'interno delle quali sono state osservate le strutture descritte, mostrano un'alta autofluorescenza (Fig. 7.10, par. 7.3). Le stesse lamine sono state osservate anche in microscopia confocale, sempre in luce fluorescente. Questa tecnica permette maggiori ingrandimenti ed una restituzione tridimensionale della visione dell'oggetto, in quanto lo strumento acquisisce più piani di osservazione, che sono successivamente sovrapposti mediante un software dedicato. In microscopia confocale, si osserva che le sorgenti di autofluorescenza consistono di piccoli corpi sub-sferici, di dimensioni di poche decine di microns, oltre a sottili laminazioni ondulate e drappeggiate, concentrati sulle parti esterne dei cristalli di dolomite (Fig. 8.6).

La posizione, la forma e le dimensioni di questi resti autofluorescenti coincidono esattamente con quelle degli sferoidi e delle strutture planari osservate al SEM.

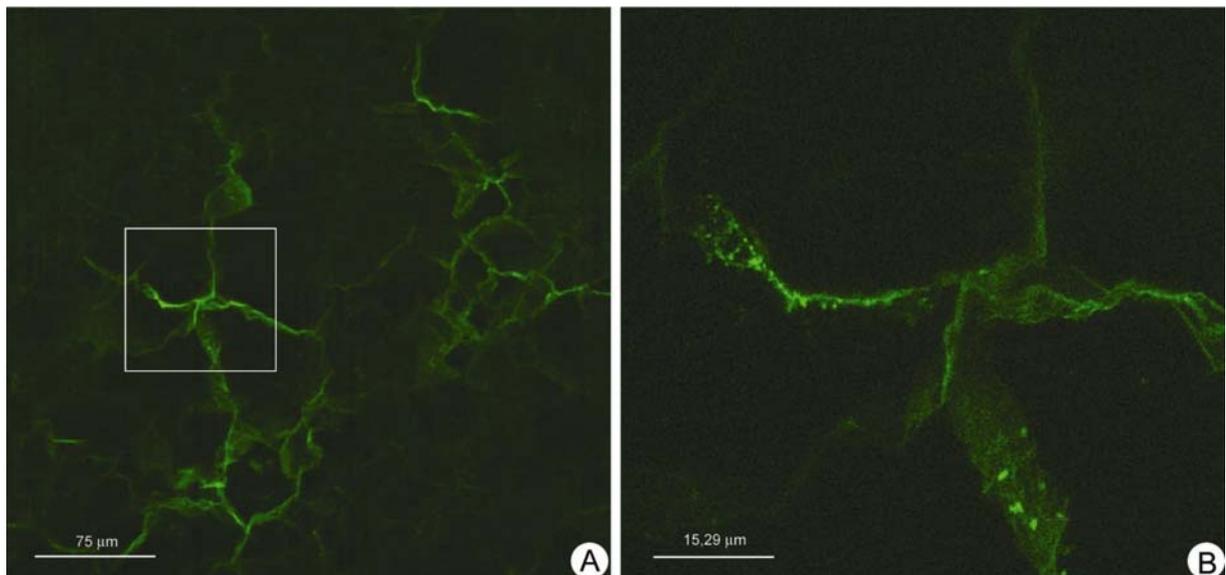


Figura 8.6. Dettaglio della struttura cristallina di una lamina stromatolitica in microscopia confocale in luce fluorescente. A) Le sorgenti di autofluorescenza si concentrano sulle parti esterne dei cristalli di dolomite; nel riquadro il campo (B). (B) Dettaglio delle sorgenti di autofluorescenza che appaiono come corpi sub-sferici e laminazioni ondulate e drappeggiate.