



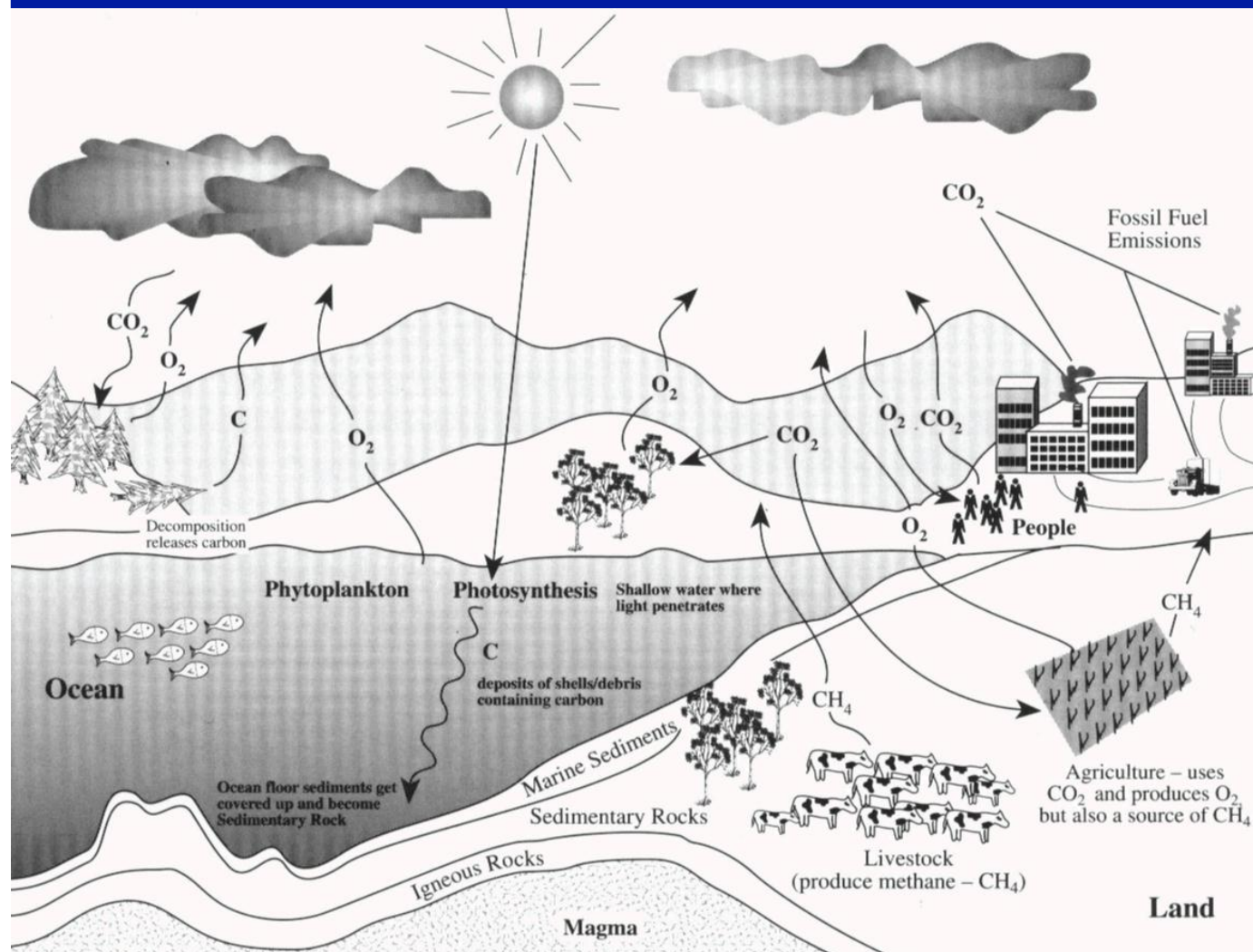
# **Microrganismi e ciclo del carbonio: il Grande Gioco dei flussi globali**

*SGA/SIMP/SPI Distinguished lectures 2011*



**Roberto Barbieri**  
***Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali***  
***Università di Bologna***

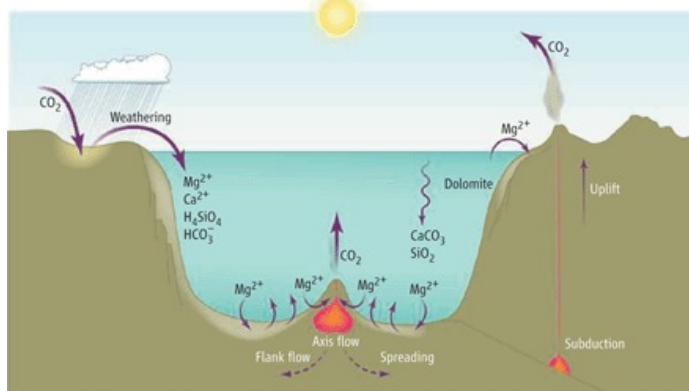
# Ciclo globale del carbonio e clima: inseparabile rapporto di causa-effetto. Protagonisti: i gas serra $\text{CO}_2$ e $\text{CH}_4$



(da NASA GES DISC)

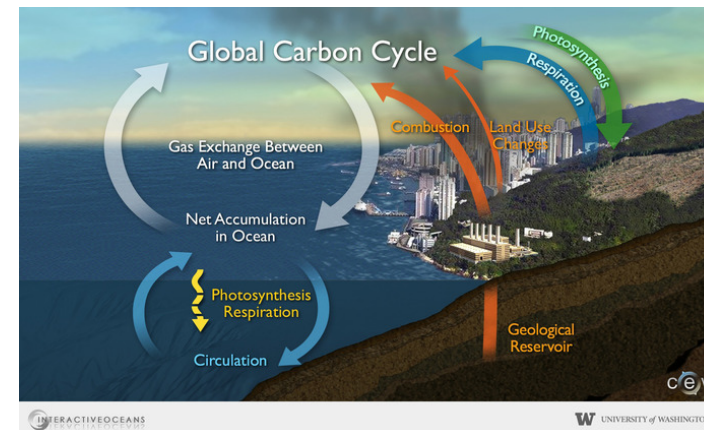
# Se partiamo dalla CO<sub>2</sub> e dal suo ciclo nel sistema oceano-atmosfera...

CO<sub>2</sub> prodotta in natura...



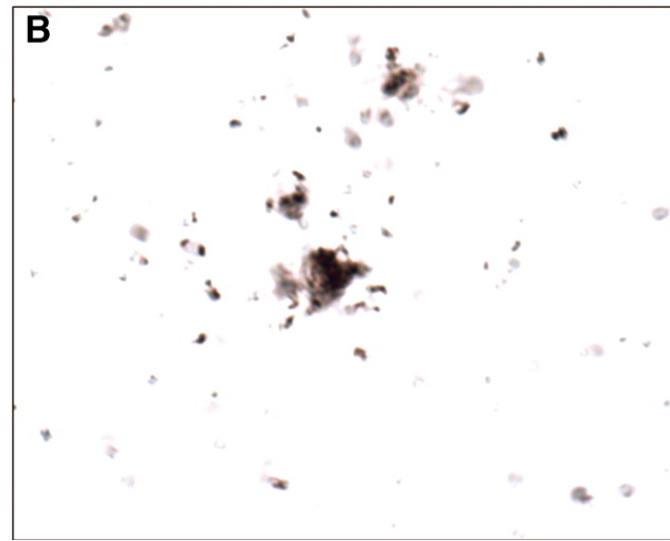
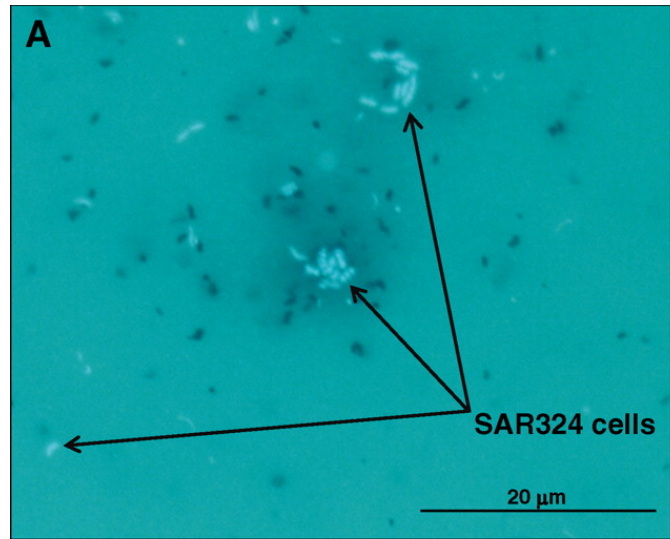
(da Elderfield, 2010)

...e dalle attività umane

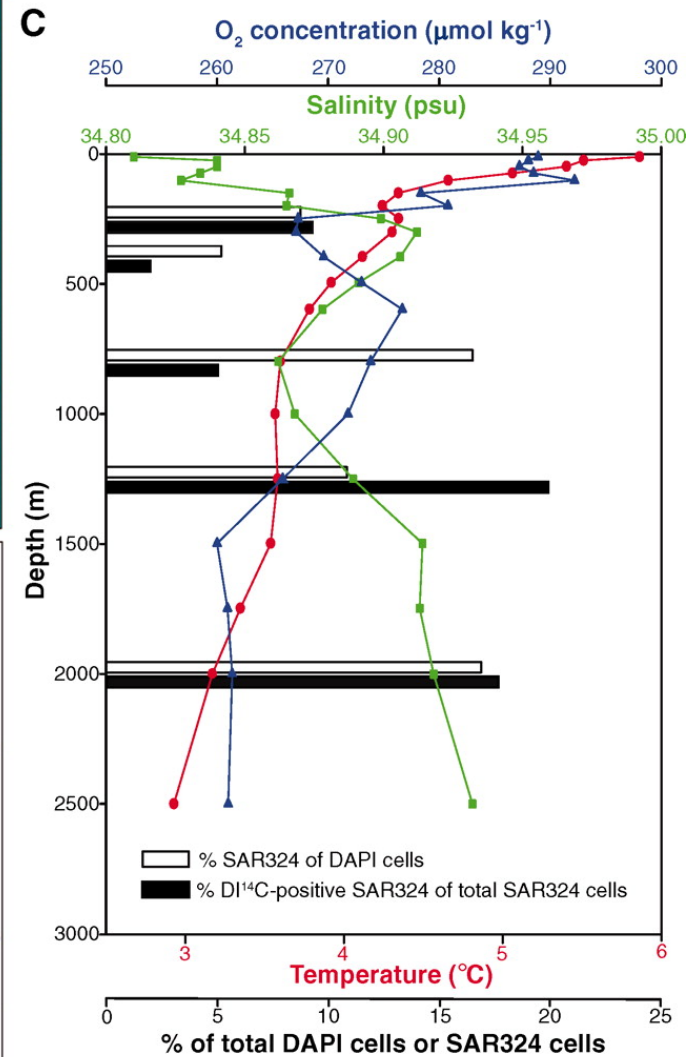


Metà (o quasi) della CO<sub>2</sub> prodotta da combustibili fossili finisce negli oceani

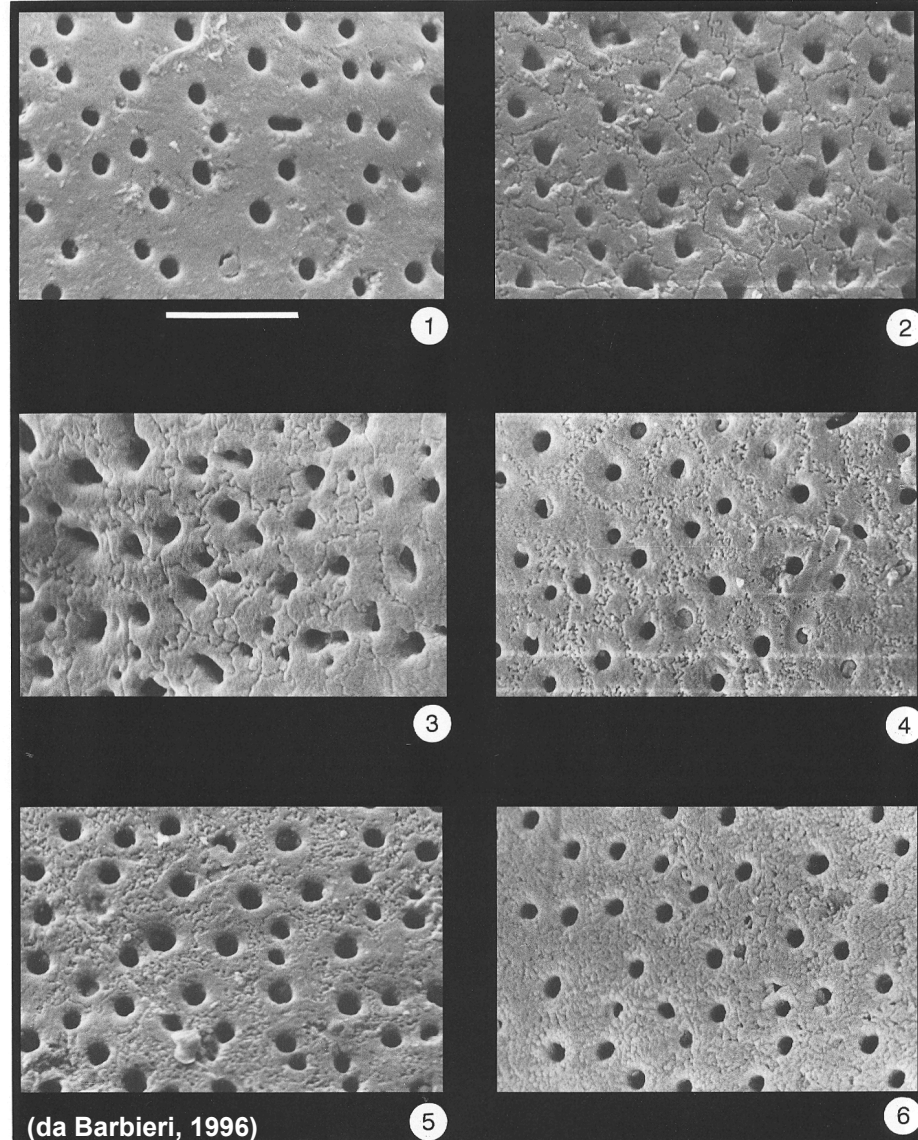
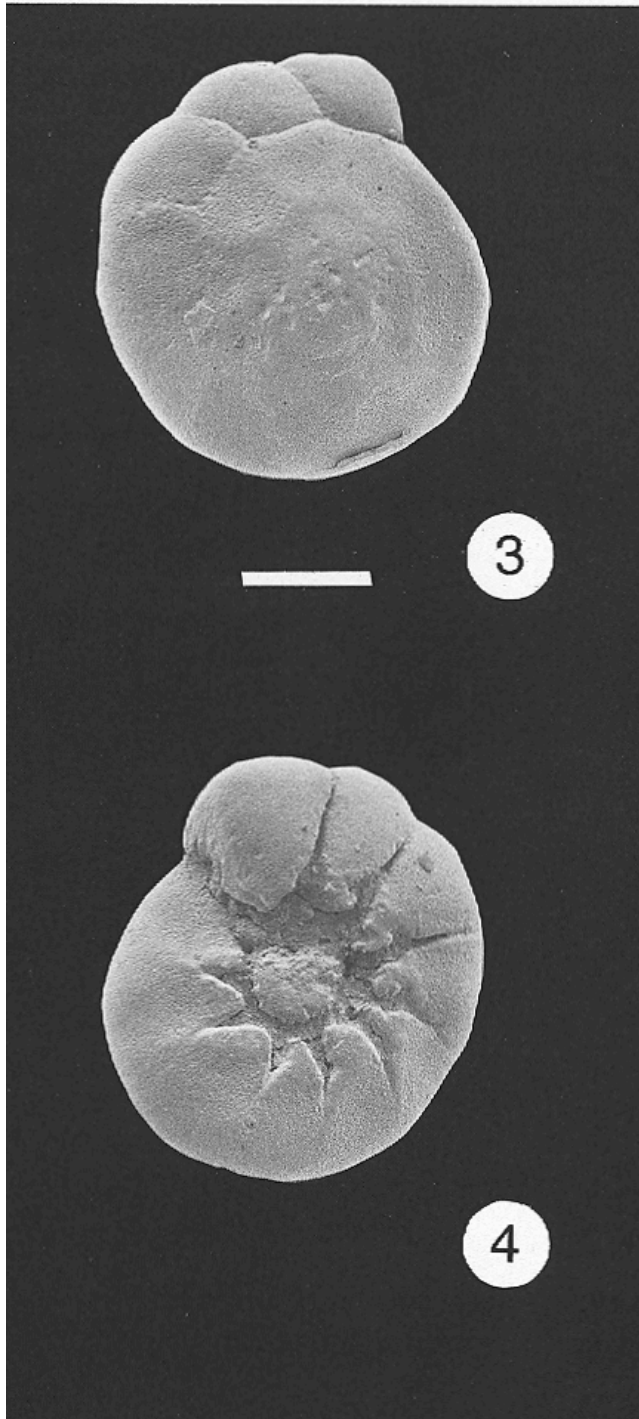
La fotosintesi non è il solo modo di trasformare la  $\text{CO}_2$  in biomassa. Nelle profondità dell'oceano chemiolitoautotrofi producono  $\text{C}_{\text{org}}$  ossidando composti come solfuri e metano. E non solo nelle aree di risalita idrotermale!



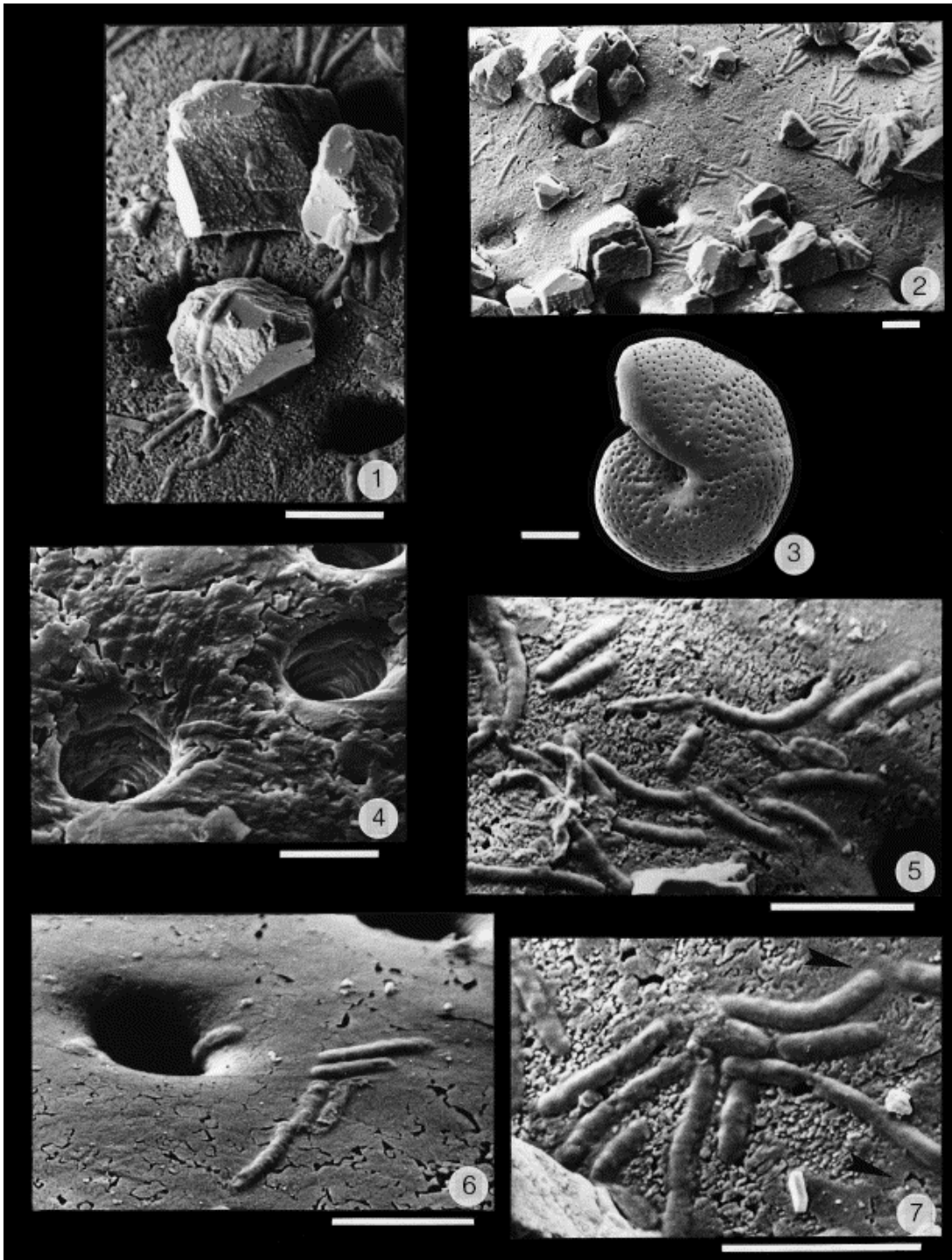
(da Swan et al., 2011)



L'acidificazione degli oceani, a opera della  $\text{CO}_2$  immessa, crea problemi agli essere con guscio carbonatico: nell'esempio diversi stadi di dissoluzione di superfici di foraminiferi bentonici



(da Barbieri, 1996)



The infaunal taxon *Melonis zaandamae* (Van Voorthuysen). Scale bars (unless otherwise indicated) equal 5 mm.


1, 2. Details of the wall surface showing clusters of rod-shaped bacteria, note the bacterial cells encrusting calcite crystals grown on foraminiferal wall.

3. *Melonis zaandamae*, side view (sample 71–73 cm). Scale bar = 100 mm.

4. Close-up of lamellar wall structure showing the effect of dissolution on the last-formed lamella.

5–7. Details of calcified clusters of bacteria encrusting portions of etched wall surface, note mucus biofilm (arrows) partially coating the etching network.

(da Barbieri et al., 1999)



**Microorganismi:  
protagonisti fin  
da subito?**

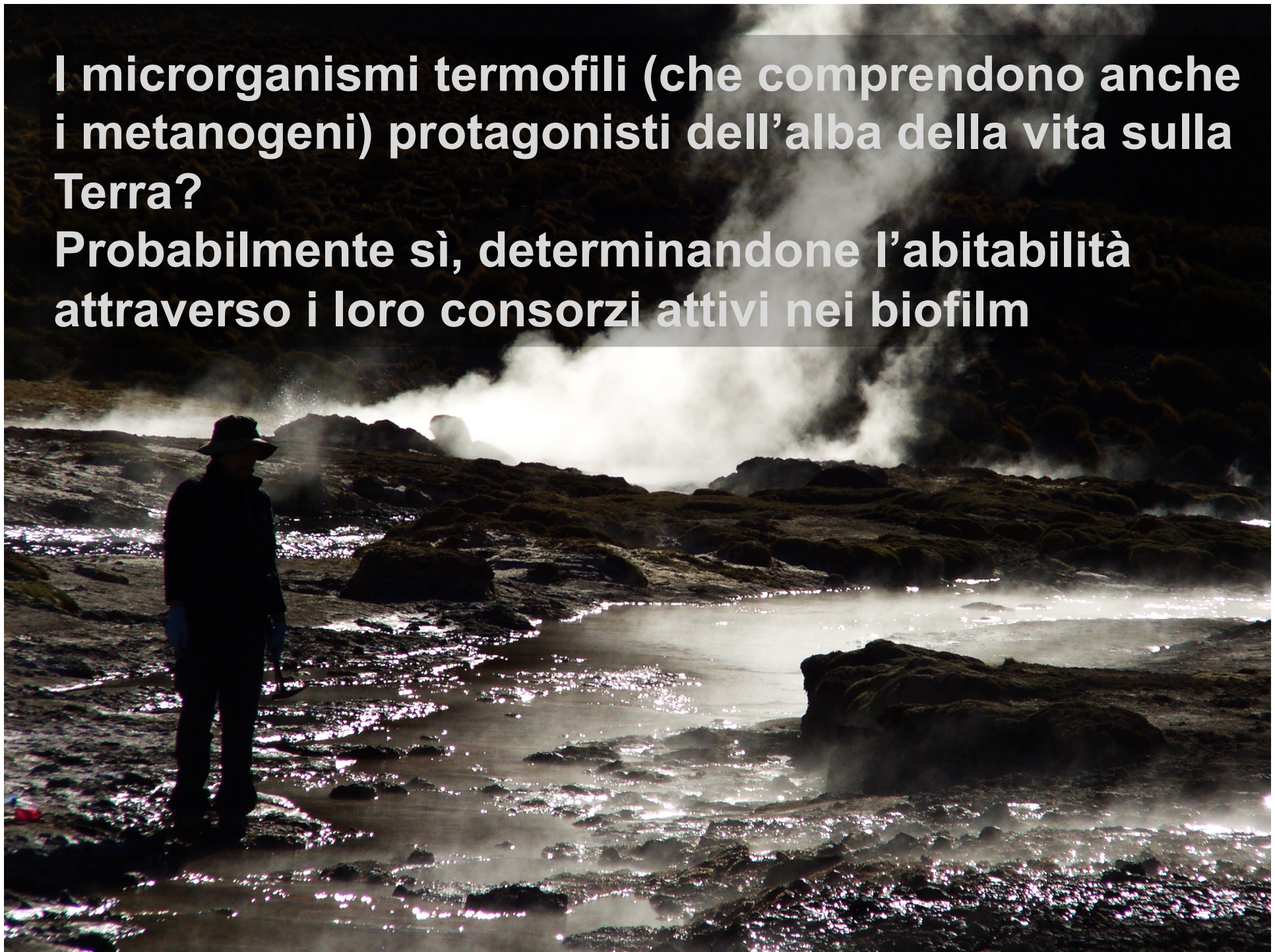


**Microorganismi determinanti per  
l'abitabilità iniziale degli ambienti  
terrestri (*natural terraforming*)?  
Come?**

- ✓ **trattenendo l'acqua sulle superfici minerali**
- ✓ **trasformando la CO<sub>2</sub> atmosferica in acidi  
inorganici e organici e modificando  
l'atmosfera**

**I microrganismi termofili (che comprendono anche i metanogeni) protagonisti dell'alba della vita sulla Terra?**

**Probabilmente sì, determinandone l'abitabilità attraverso i loro consorzi attivi nei biofilm**

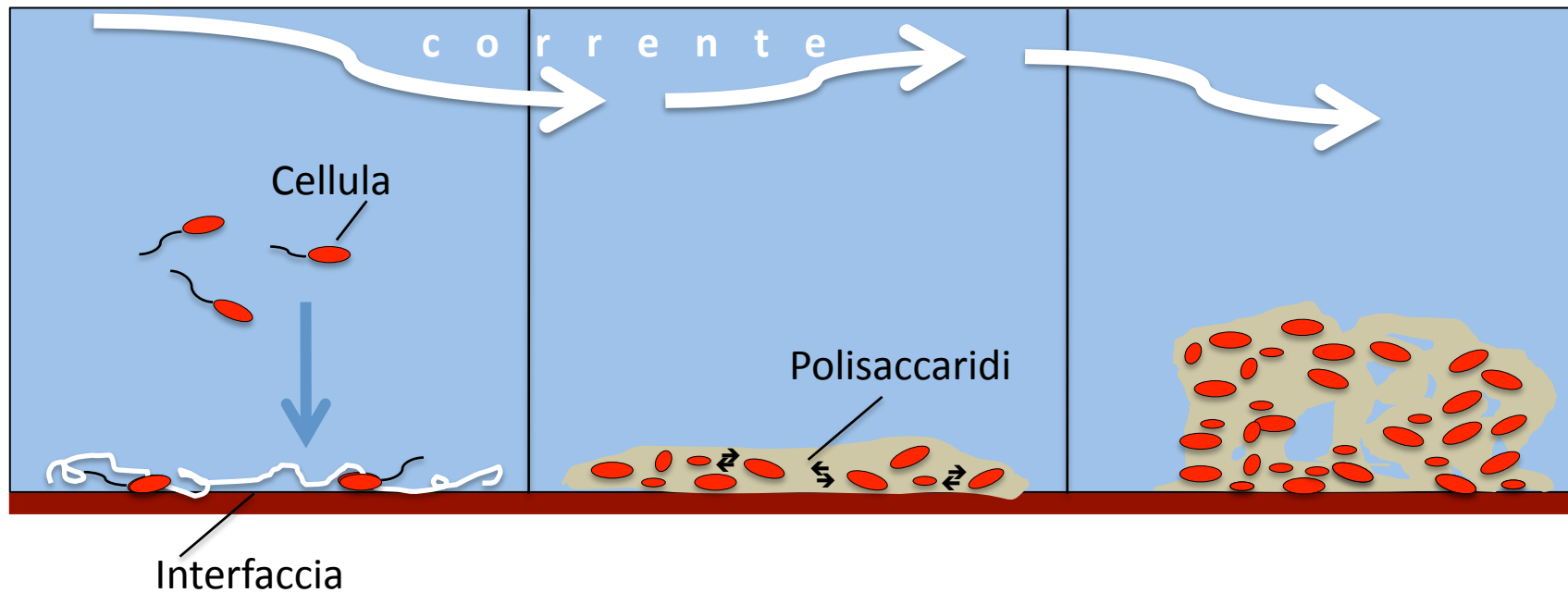


# Formazione e sviluppo di un biofilm

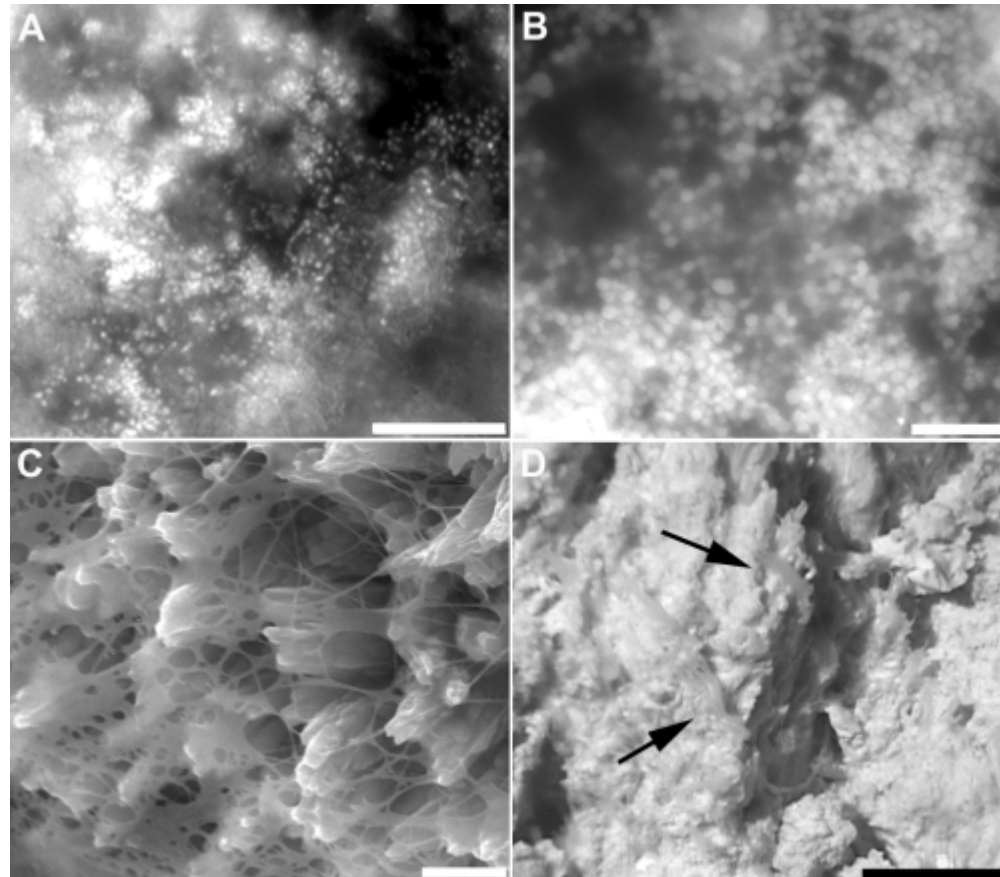
**FISSAZIONE**  
(adesione di alcune cellule a un substrato idoneo)

**COLONIZZAZIONE**  
(comunicazione intercellulare, formazione di film a polisaccaridi)

**SVILUPPO**  
(crescita del film a polisaccaridi)

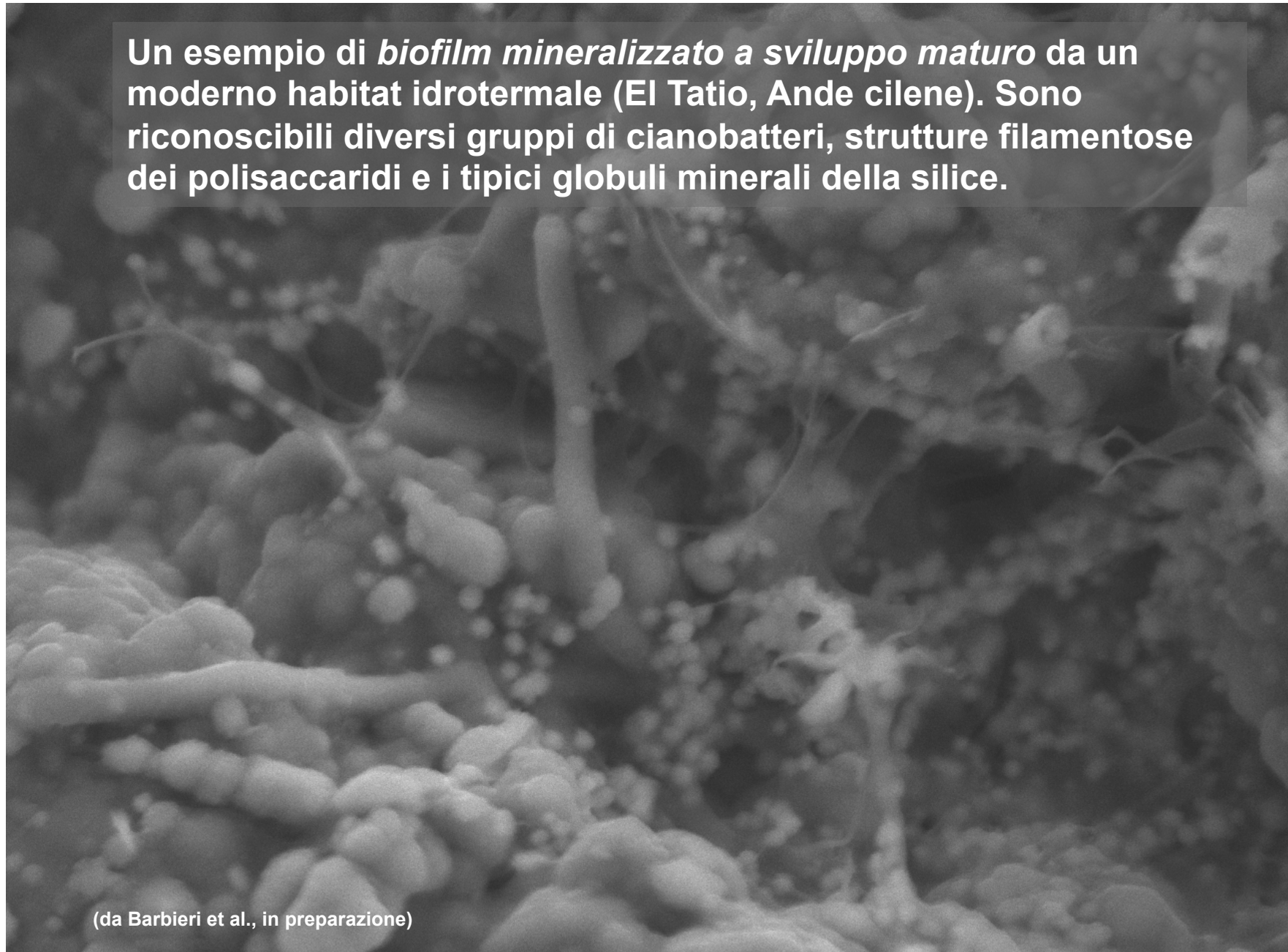


**Un biofilm da Lost City (in C), oceano Atlantico. La complessa struttura, secreta dalle comunità microbiche che vivono dentro ai camini carbonatici di Lost City, è prodotta da polisaccaridi**



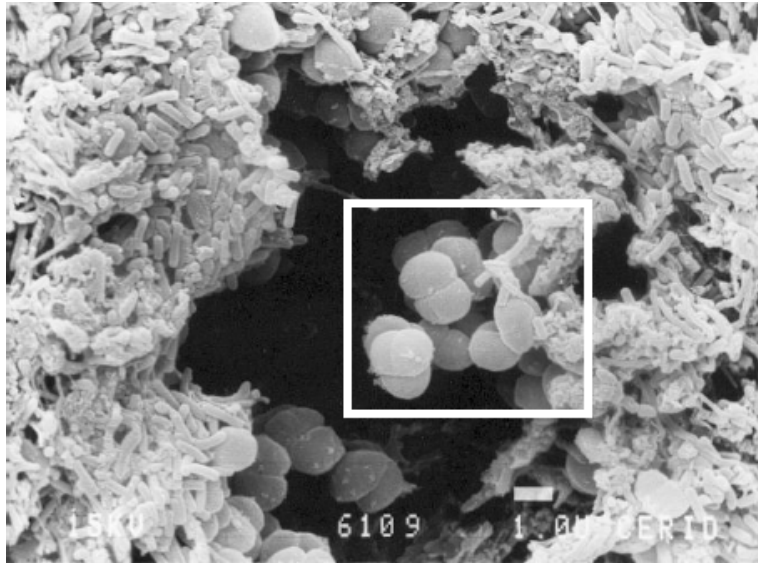
(da Schrenk et al., 2004)

Un esempio di *biofilm mineralizzato a sviluppo maturo* da un moderno habitat idrotermale (El Tatio, Ande cilene). Sono riconoscibili diversi gruppi di cianobatteri, strutture filamentose dei polisaccaridi e i tipici globuli minerali della silice.



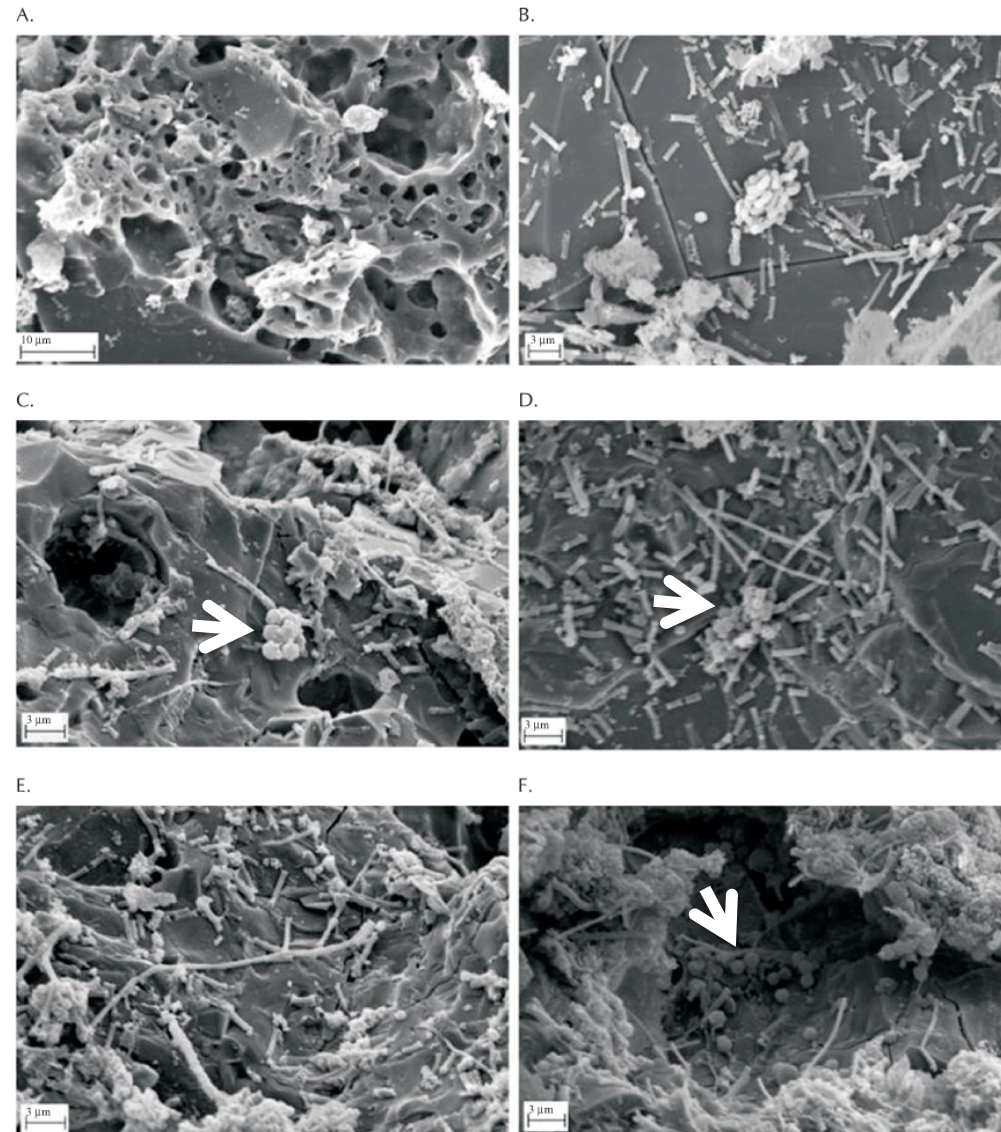
(da Barbieri et al., in preparazione)

10μm 1800X



**Comunità anaerobiche di archeobatteri metanogeni (*Methanosarcina*, nel riquadro, e altri) avvolte dai loro biofilm**

(da Mussati et al., 2005)

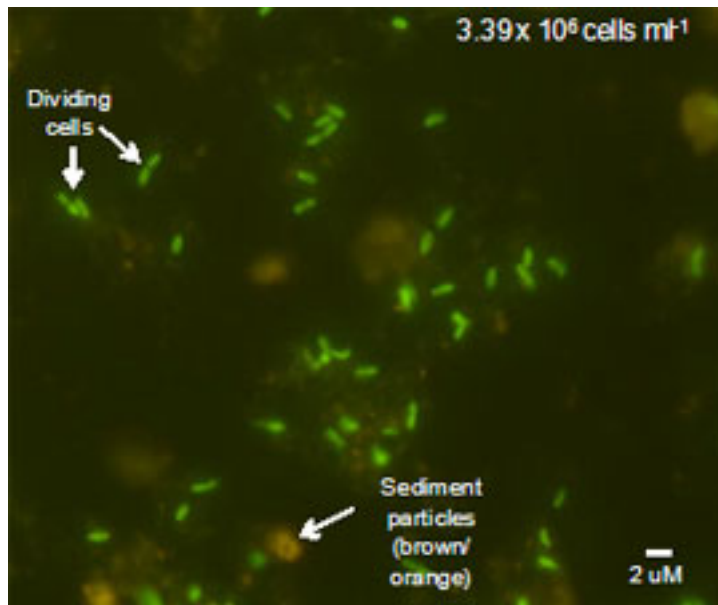


(da Fátima et al., 2010)

***Methanosarcina* (frecce) e altri**

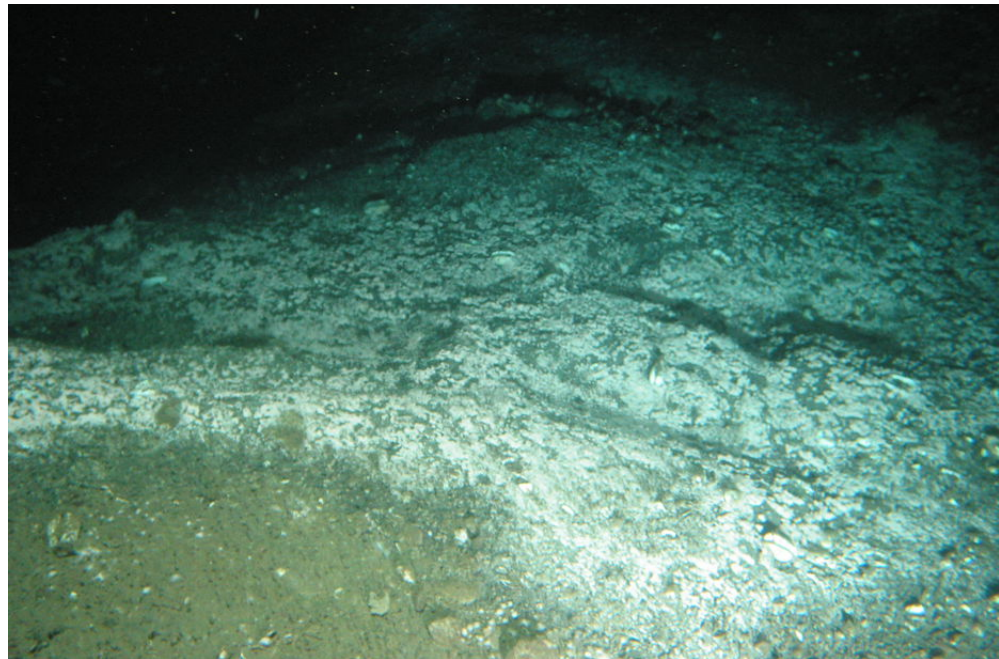
## CO<sub>2</sub> e metano incrociano spesso i loro destini:

Gran parte del metano terrestre è di origine biologica. Il metano biogenico è di origine marina, è prodotto dai batteri metanogeni ed è il risultato della reazione:



**Batteri metanogeni al lavoro in un oil reservoir del nord Alberta**  
(micrografia Canadian Association of Petroleum Producers)

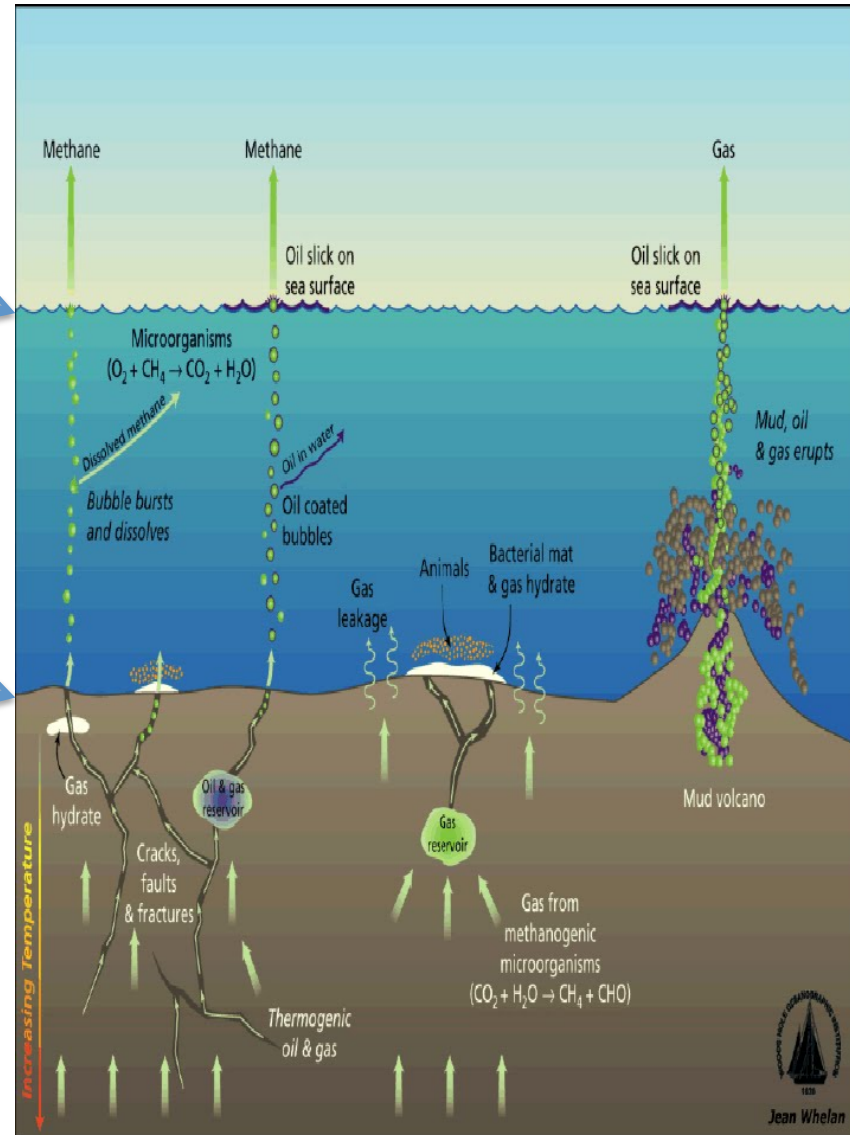
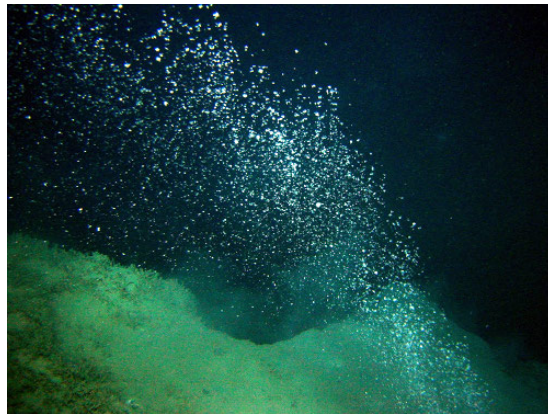
**I metanogeni sono un agente fondamentale nella rimineralizzazione del carbonio organico: il metano biogenico si può accumulare in depositi di idrati di metano che, dunque, accumulano il  $C_{org}$**

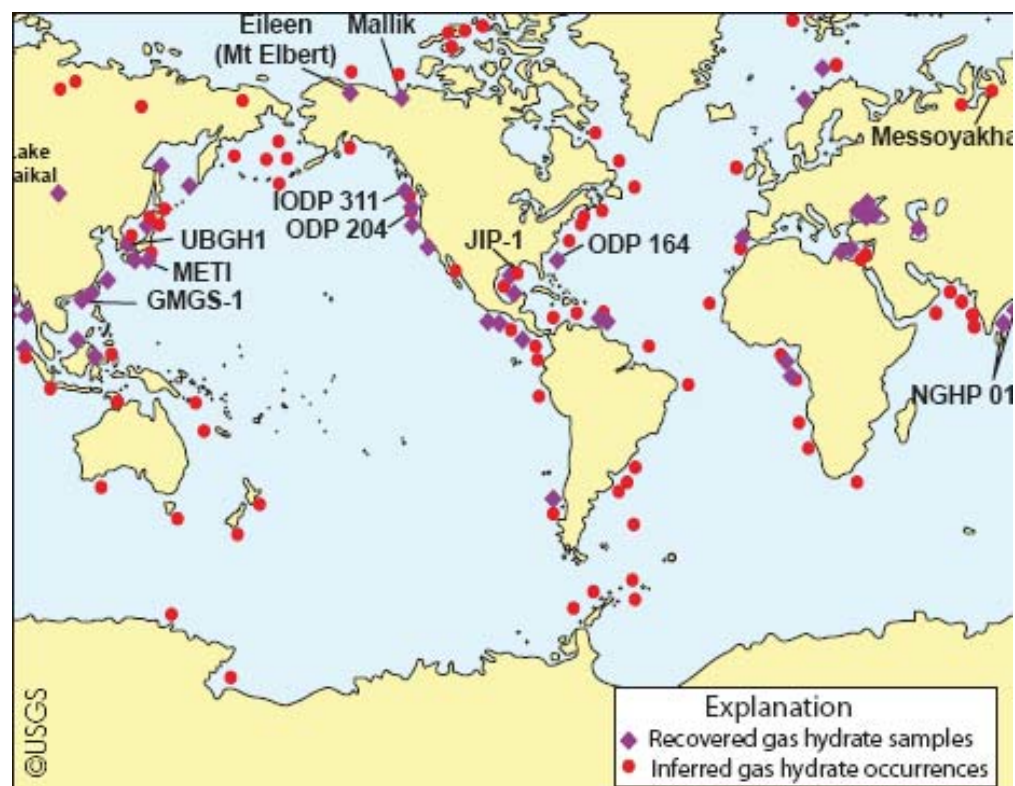


**Idrati di metano in prossimità del fondo marino fotografati dal sottomarino Alvin nel 2006 nel Hydrate Ridge, al largo delle coste dell' Oregon**

(Scientific Party, RV Atlantis/Alvin Expedition: NSF/Dorv II, 2006)

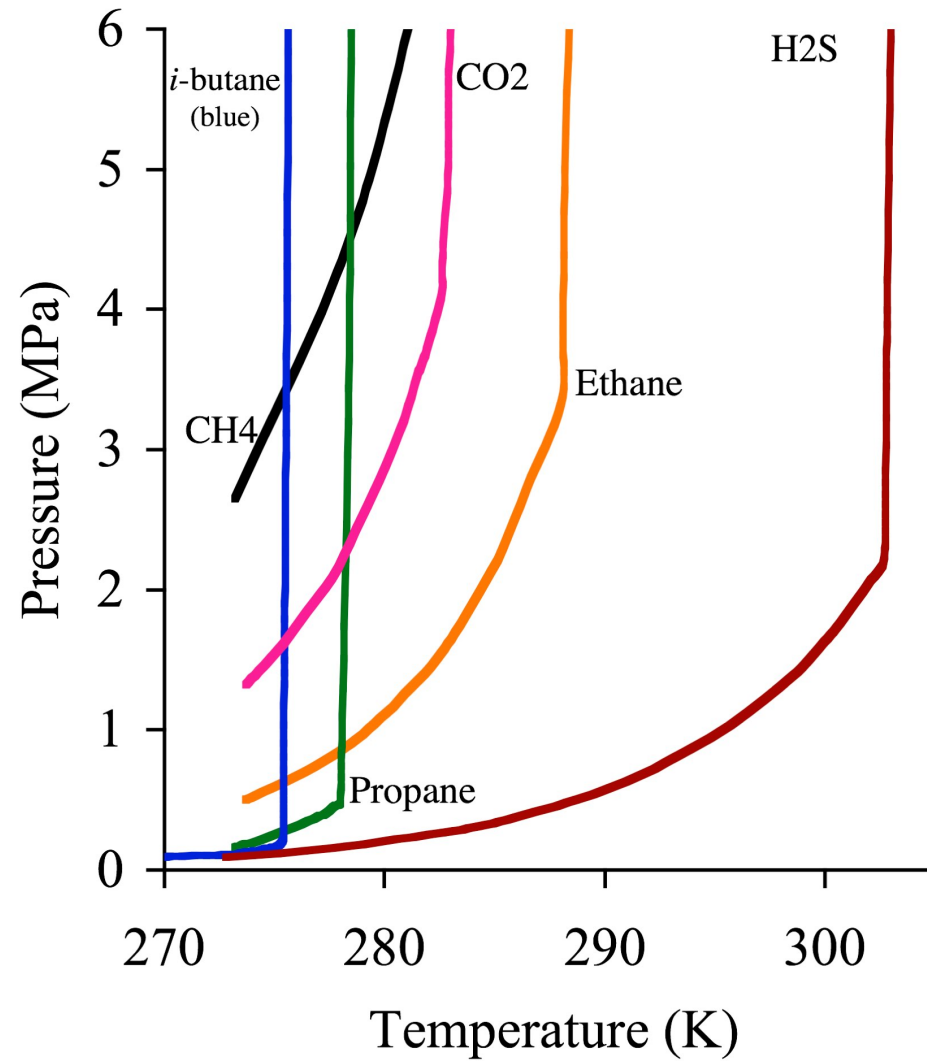
# Mutate condizioni ambientali possono destabilizzare i gas idrati fossili





**Sampled and inferred gas hydrates occur world wide in oceanic sediment of continental margins and in permafrost regions. Inferred gas hydrates are from bottom simulating reflectors (BSRs) on seismic profiles**

(© USGS 2008)



(da Sloan e Koh, 2007)

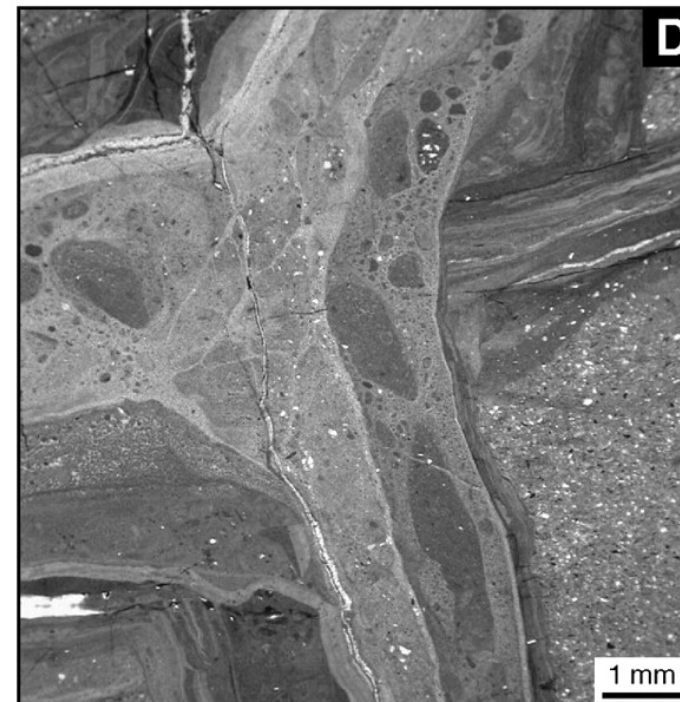
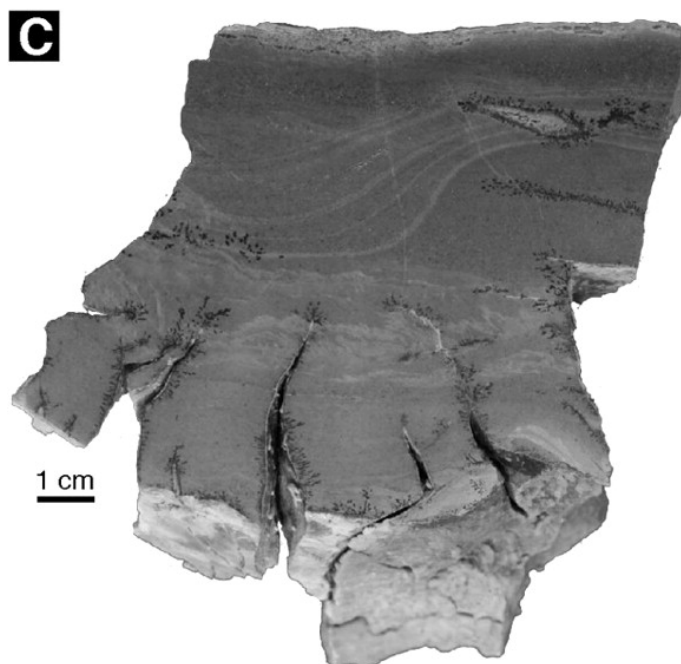
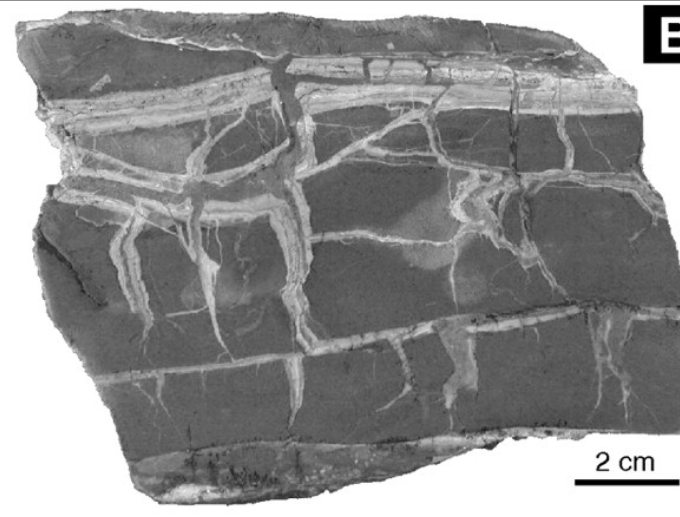
**I gas idrati presentano un ristretto campo di stabilità che prevede temperature basse e/o elevate pressioni**

## Gas idrati da campioni di permafrost carotati nel pozzo Mallik, delta del MacKenzie, Canada

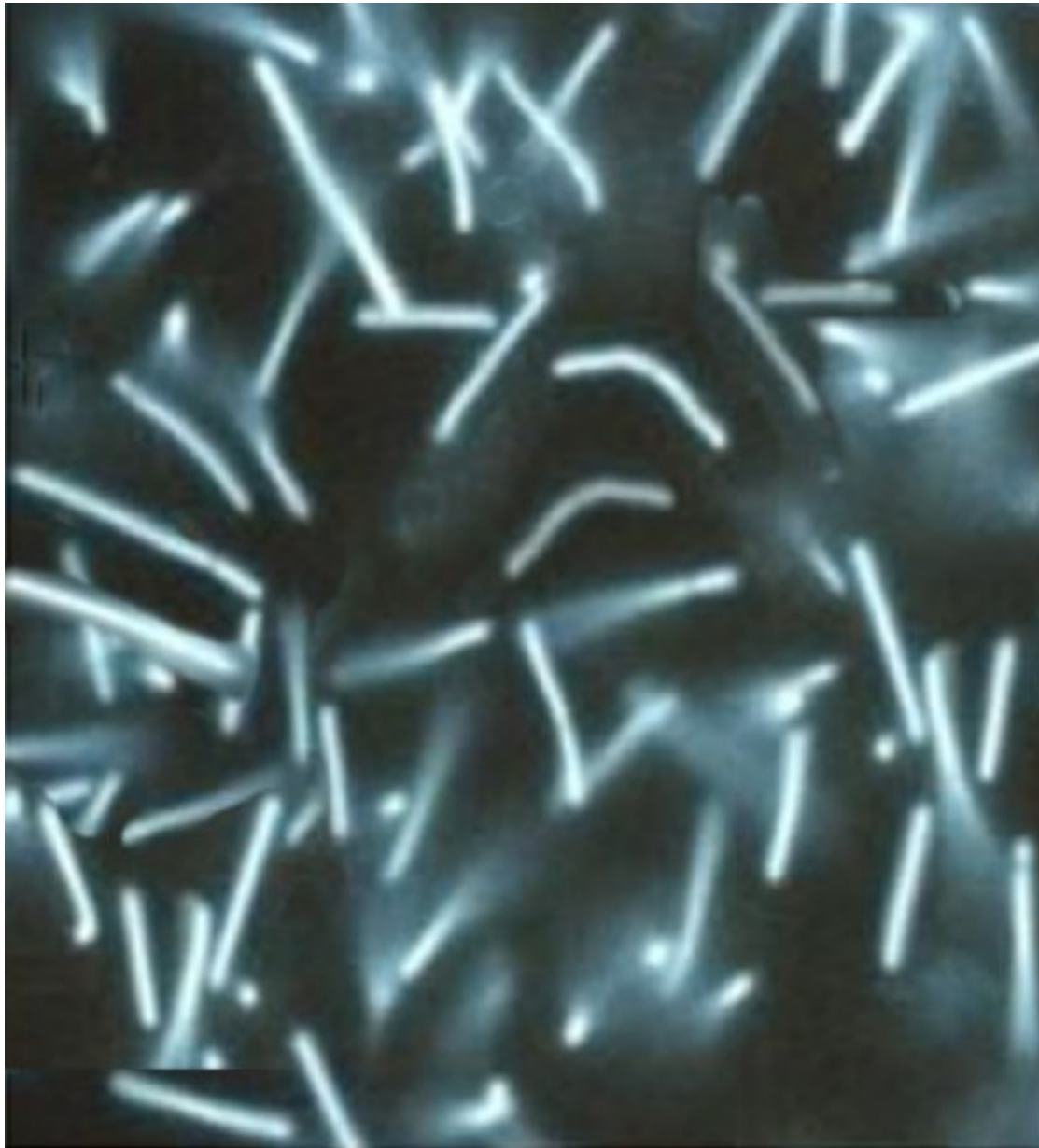


(foto di Tim Collette, USGS e 2006-2008 Canada-Japan Mallik Project)

**Esempio di strutture fossili (Miocene superiore) interpretate come il prodotto di destabilizzazione dei gas idrati**



(da Dela Pierre et al., 2010)

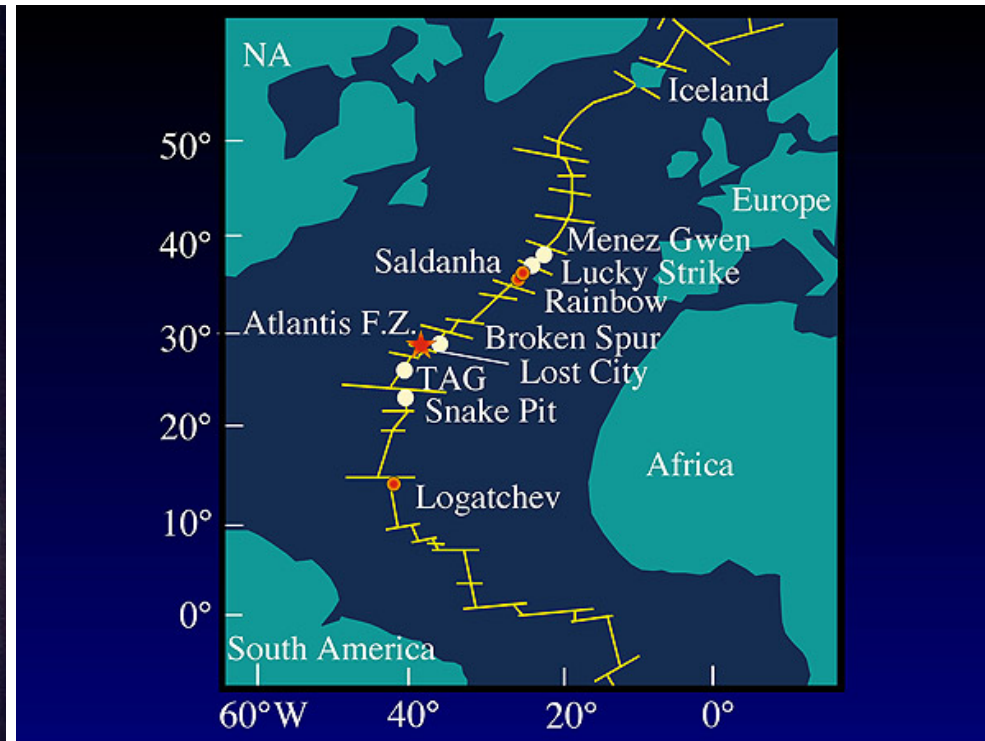


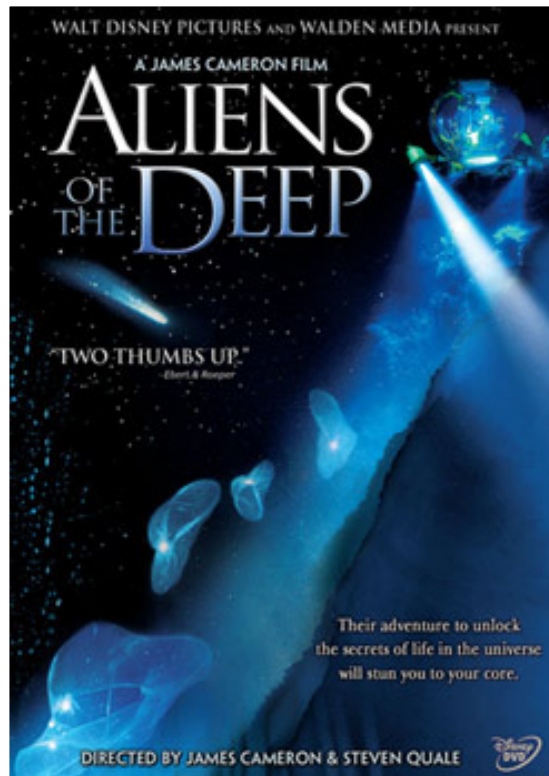
## Gli archeobatteri metanogeni sono ipertermofili!

Qui a fianco *Methanopyrus kandleri*, (⊗ rods: 0.5  $\mu\text{m}$ ) che vive nei camini dei black smokers a 2000 m di profondità e 100°C nei fondali del golfo di California

(micrografia di K.O. Stetter, R. Huber, R. Rachel, Università di Regensburg)

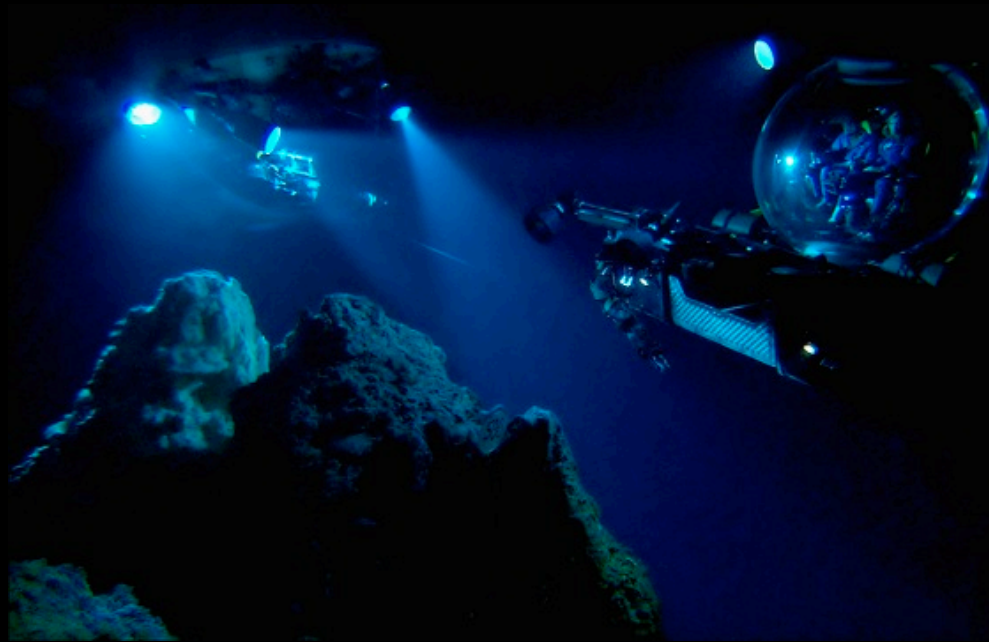
# Lost City, la città di roccia





**Qualcuno ricorda  
*Aliens of the Deep* di  
James Cameron?**

# From Fiction to Fact



# Lost City, la città di roccia...

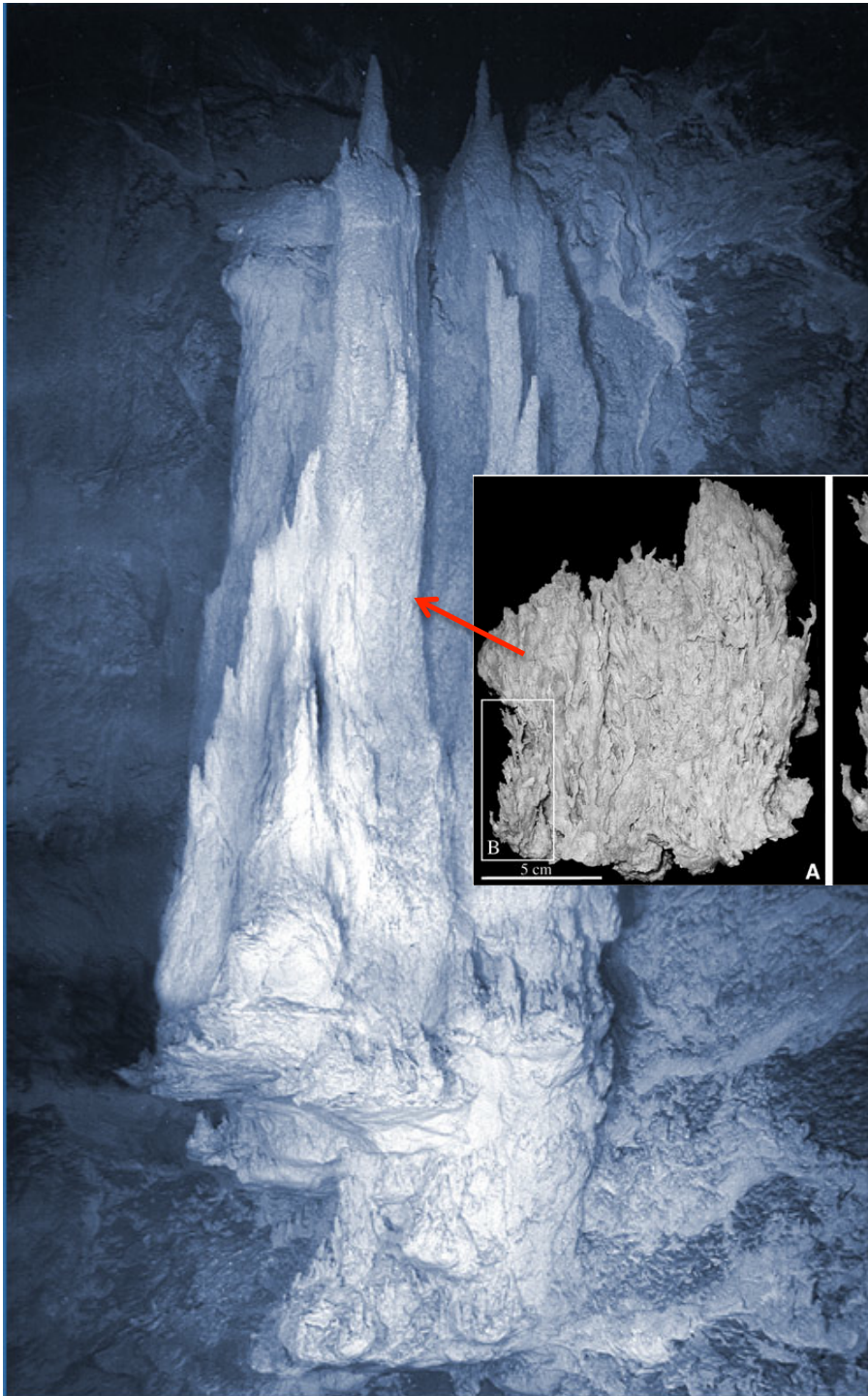
(Foto University of Washington)



# Lost City, la città di roccia...

(© National Geographic)

# Lost City, la città di roccia...

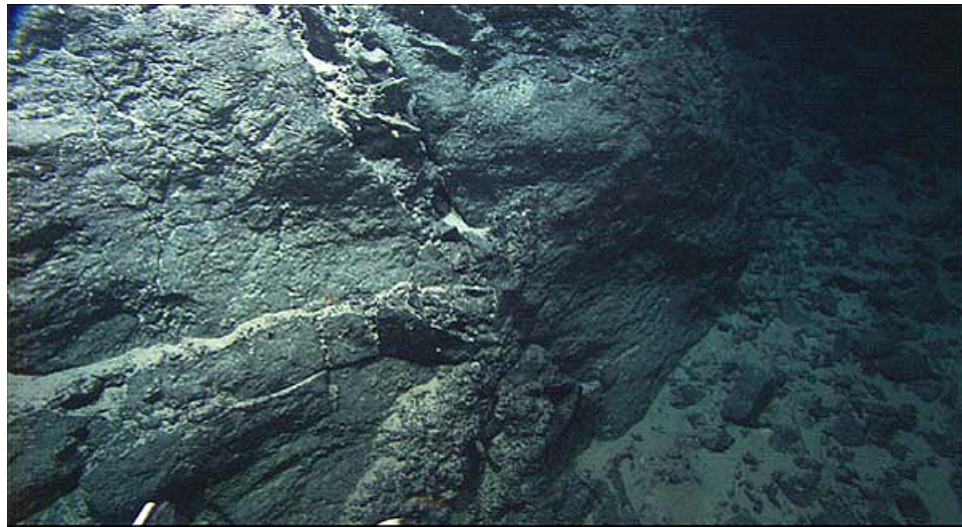


(da Kelley et al., 2005)

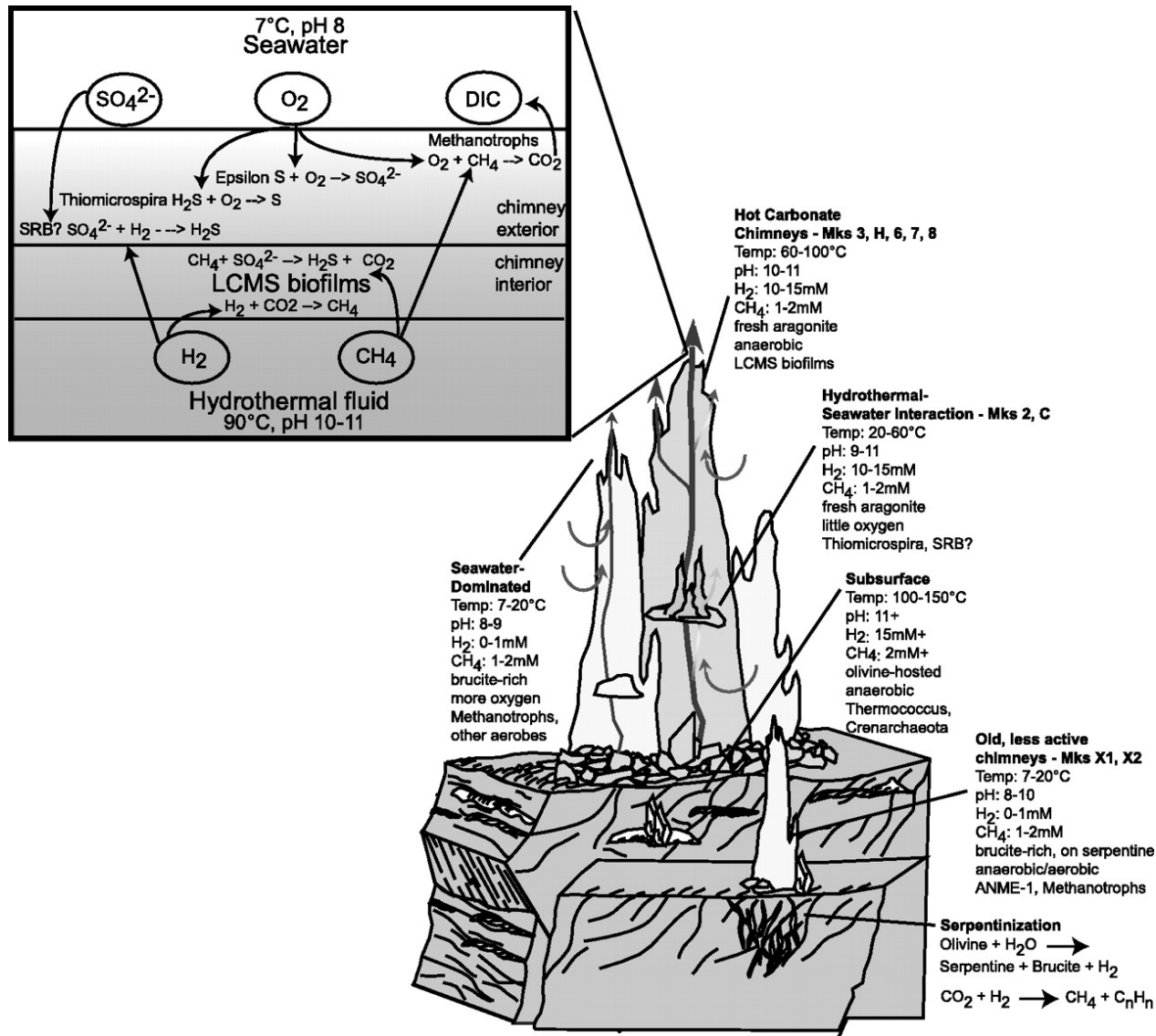
(© National Geographic)

**Vene riempite di  
precipitati minerali  
nei carbonati di  
Lost City**

*(Foto: IFE, URI-IAO, UW, Lost City science  
party, NOAA)*

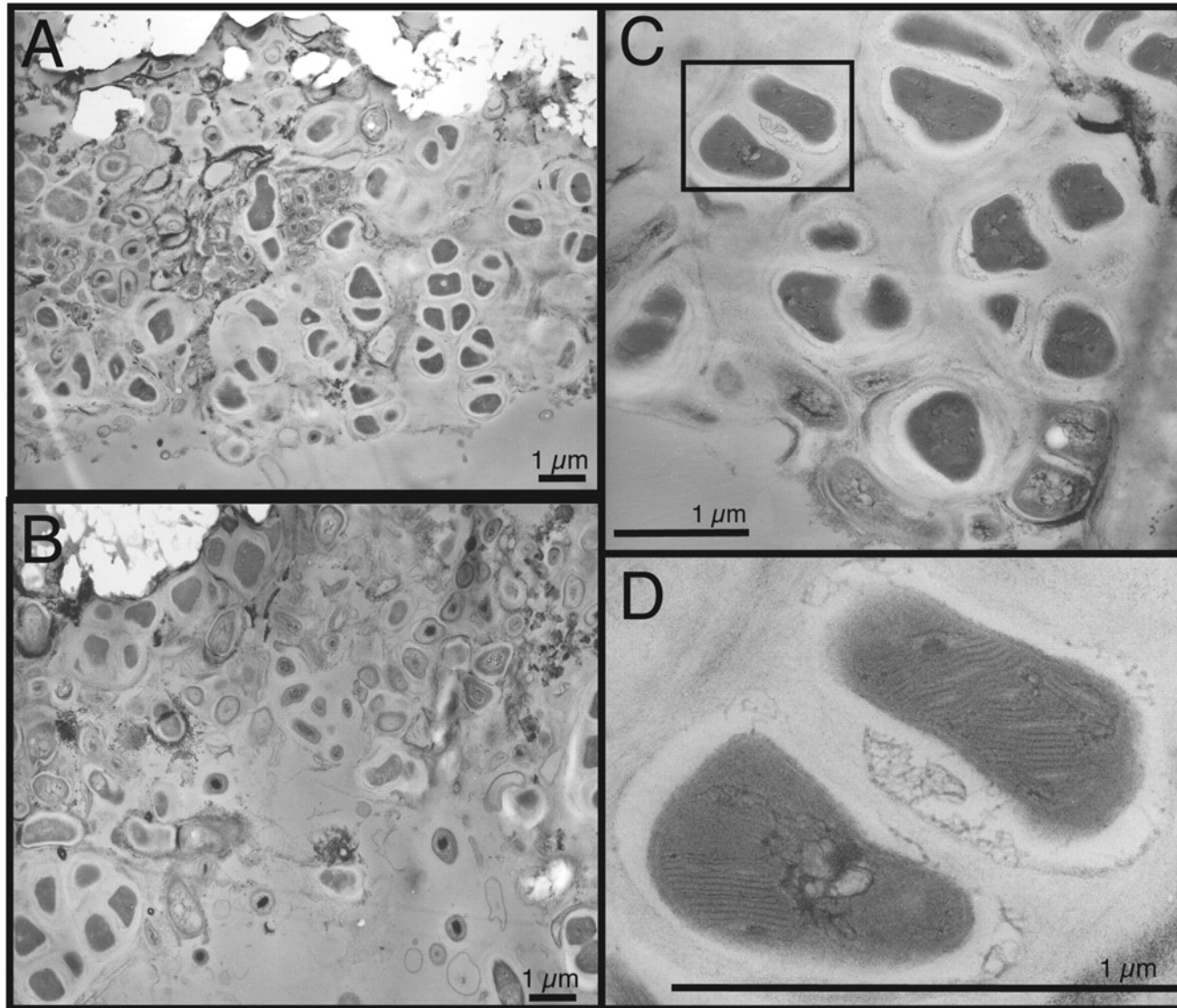


# Zonazione biogeochimica del sito idrotermale di Lost City



(da Brazelton et al., 2006)

**Sezioni di camini carbonatici di Lost City osservati al TEM:  
cellule attribuibili a biofilm di archei Methanosarcinales, uno dei cinque ordini di metanogeni**



(da Brazelton et al., 2011)

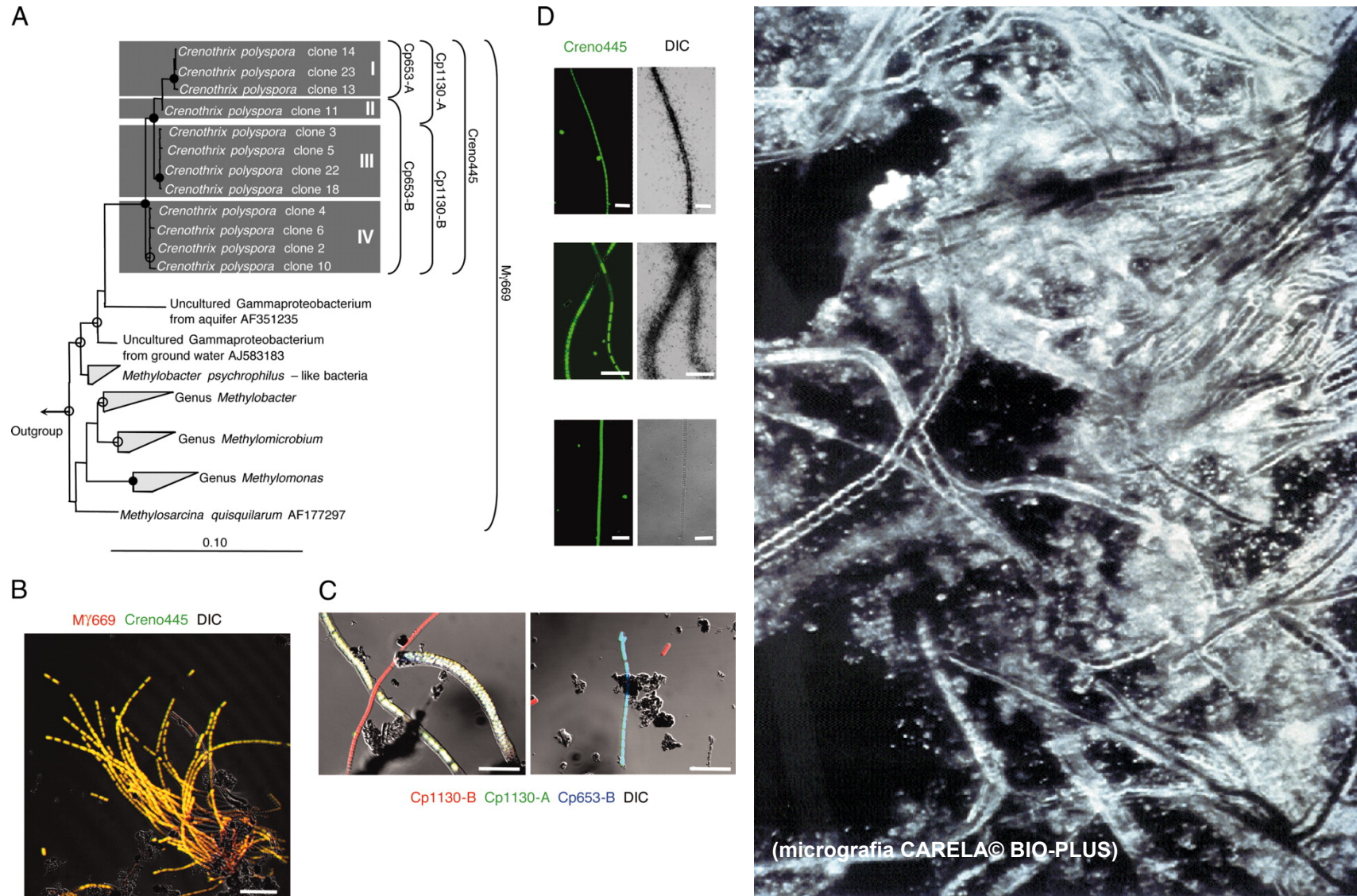
**Colonie batteriche moderne sulle pareti dei camini carbonatici di Lost City viste alla fluorescenza. Ogni punto è una singola cellula, insieme formano filamenti di circa 1 micron di spessore**

(micrografia University of Washington)

10  $\mu\text{m}$



# *Crenothrix polyspora* nel proprio biofilm: il primo MOB (un metanotrofo) filamentoso che è stato descritto



(da Stoecker et al., 2006)



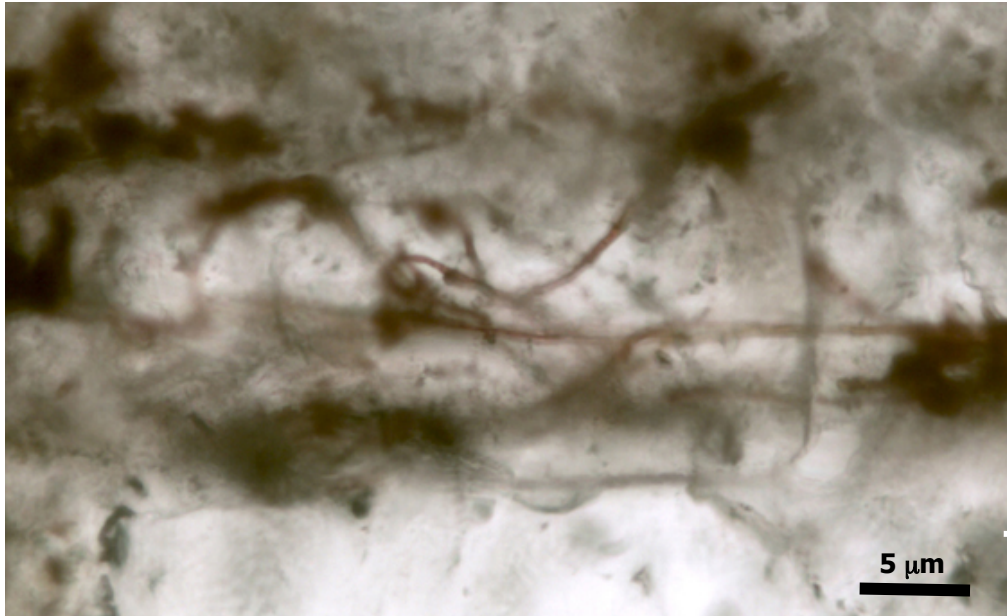
**I mound conici devoniani del Sahara marocchino: un potenziale analogo antico di Lost City?**



**I mound conici devoniani del Sahara marocchino: un potenziale analogo antico di Lost City?**



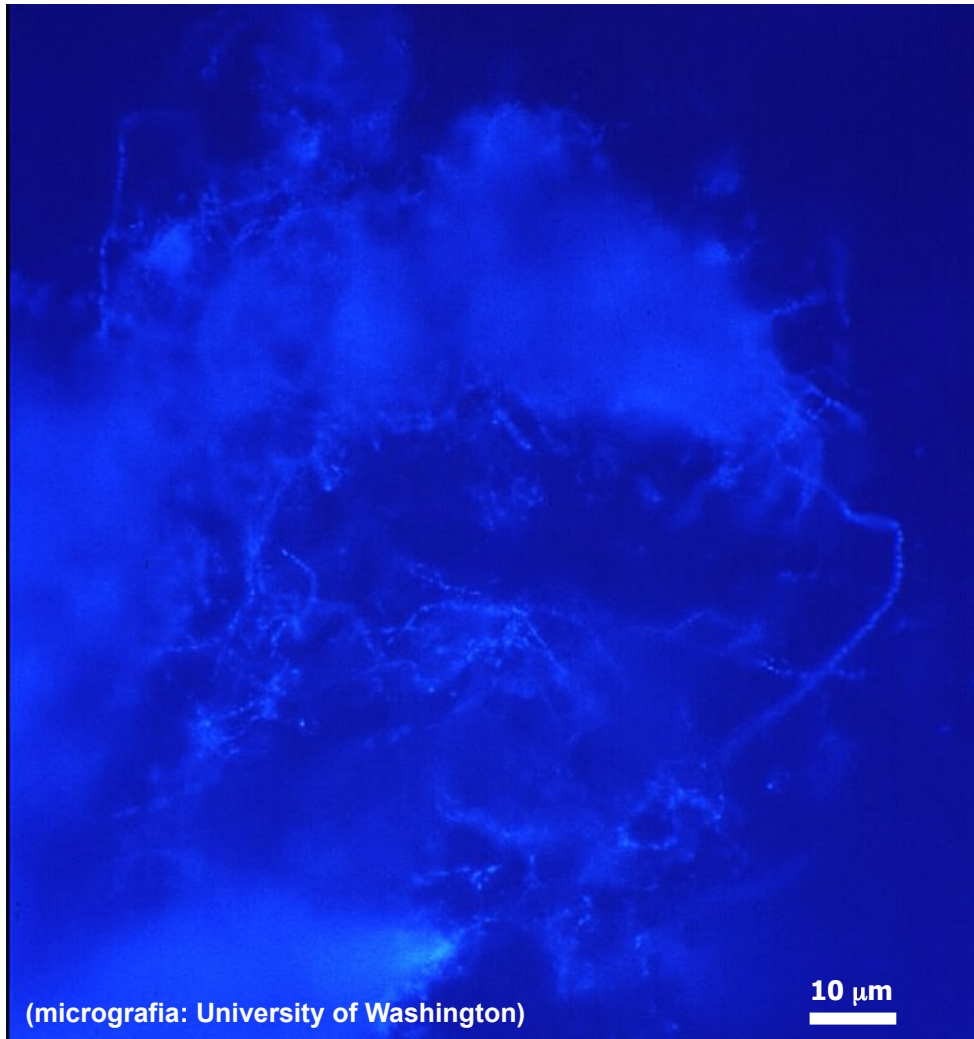
**Le vene colorate che attraversano i coni devoniani**



(da Barbieri e Cavalazzi, 2008)

**Colonie batteriche filamentose fossili nei mounds conici devoniani. Possibili analoghi di Lost City vecchi di circa 400 milioni di anni?**

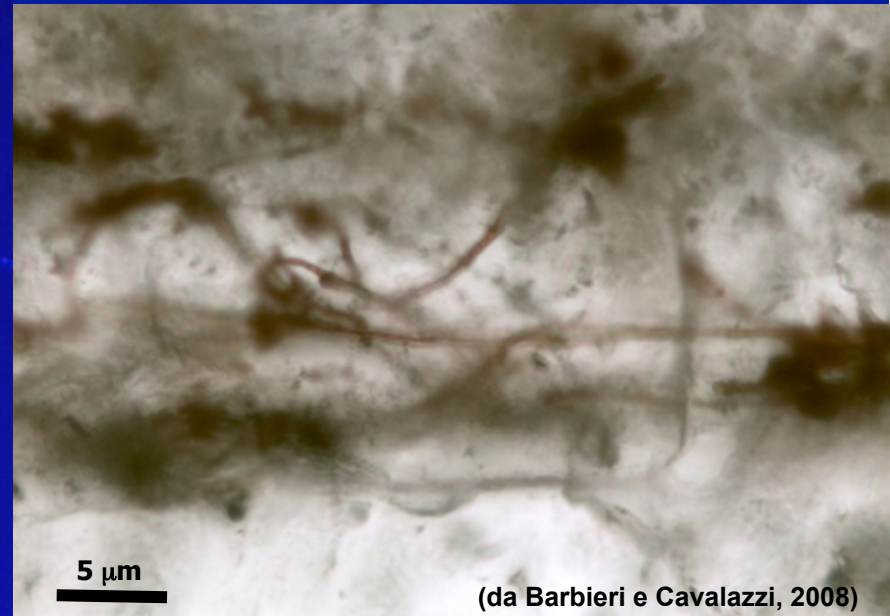
# Colonie di MOB filamentosi a confronto?



(micrografia: University of Washington)

10  $\mu\text{m}$

nei pinnacoli di Lost City

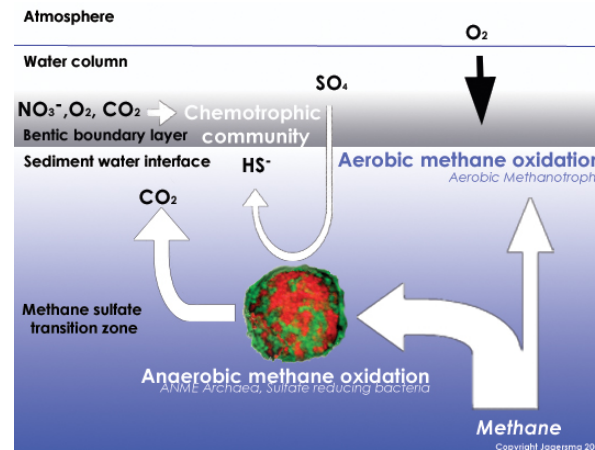
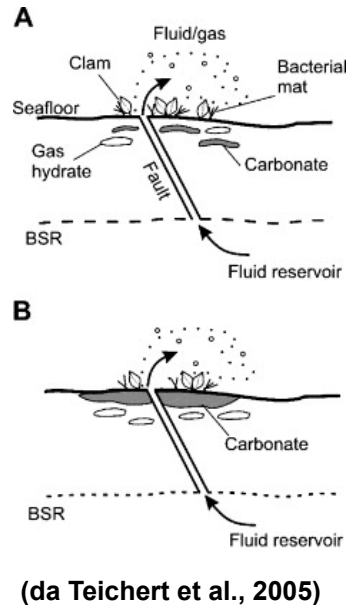


5  $\mu\text{m}$

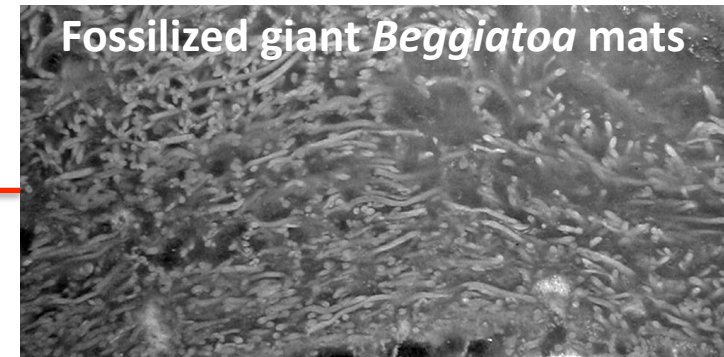
(da Barbieri e Cavalazzi, 2008)

nei mounds conici del Devoniano

# Sulfate-dependent oxidation of methane



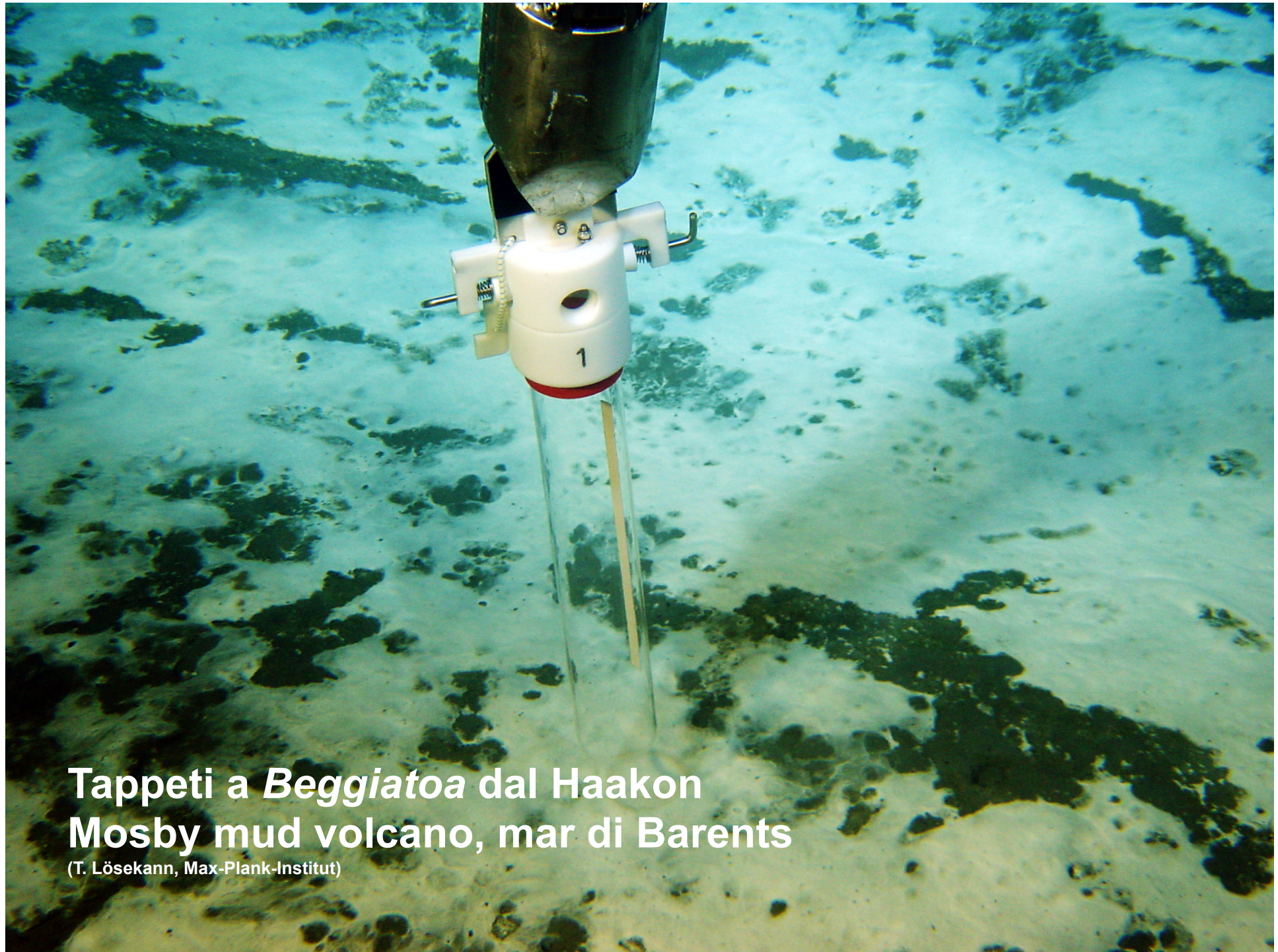
(da C. Jagersma, Max Planck Institute)



(da Barbieri e Cavalazzi, 2005)

How microbes may play a role in forming **carbonate rocks**:  

$$\text{CH}_4 \text{ (methane)} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{CaCO}_3 \text{ (rock)} + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$$



**Tappeti a *Beggiatoa* dal Haakon  
Mosby mud volcano, mar di Barents**

(T. Lösekann, Max-Planck-Institut)

# Filamenti di *Beggiatoa*



Frammento di moderno tappeto a *Beggiatoa*, offshore Scozia.  
Ampiezza immagine ca. 10 cm

*Beggiatoa* giganti (fino a 200 micrometri di diametro) in un becker

(Foto Paul Yancey, Texas A&M University)



**Crosta carbonatica di recente formazione prodotta  
dall' interazione tra metabolismo microbico e metano.**

**Hydrate Ridge, offshore Oregon**

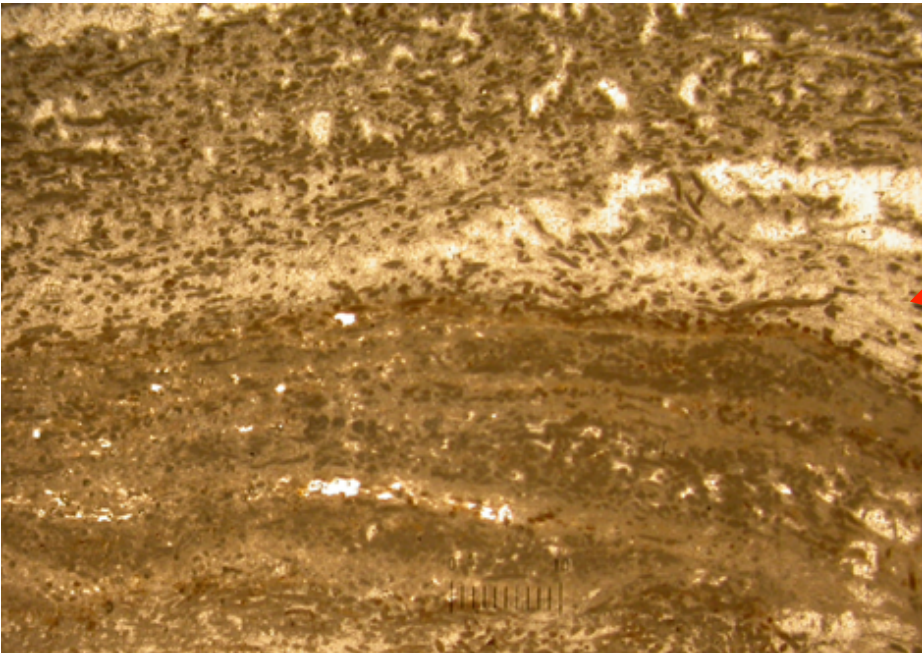
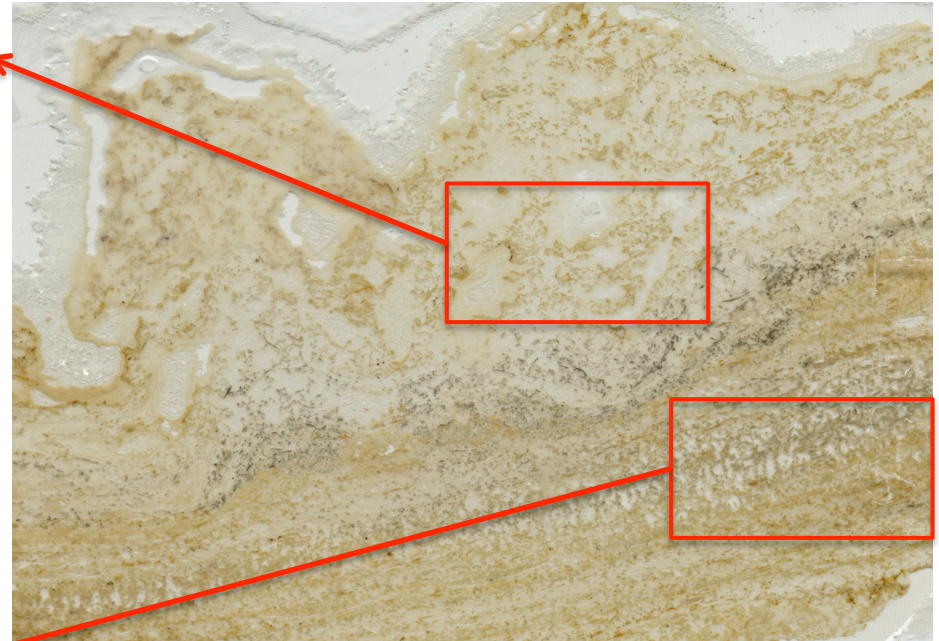
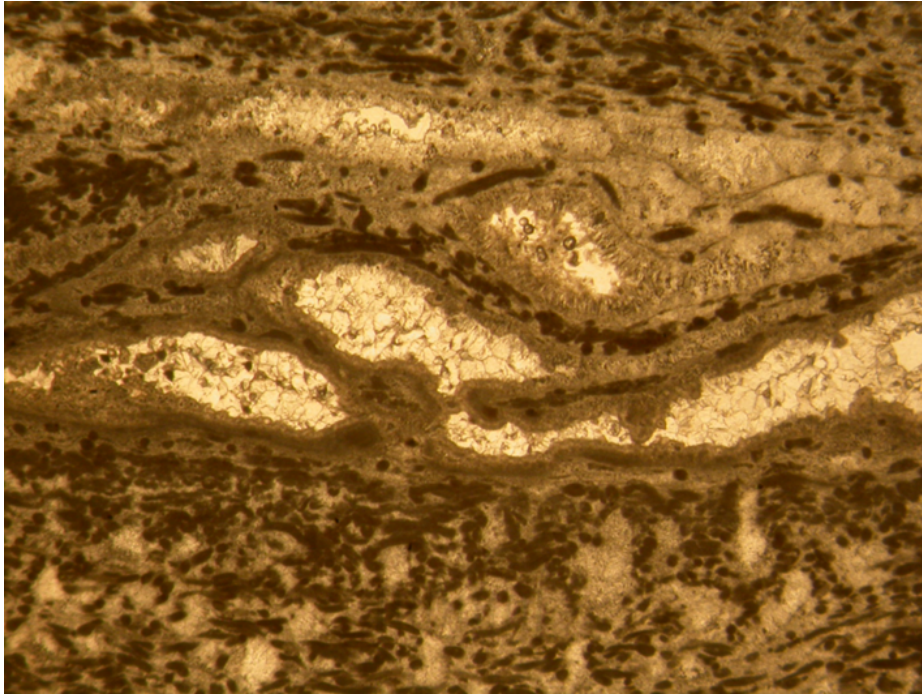
(Foto P. H. Yancey, Texas A&M University)



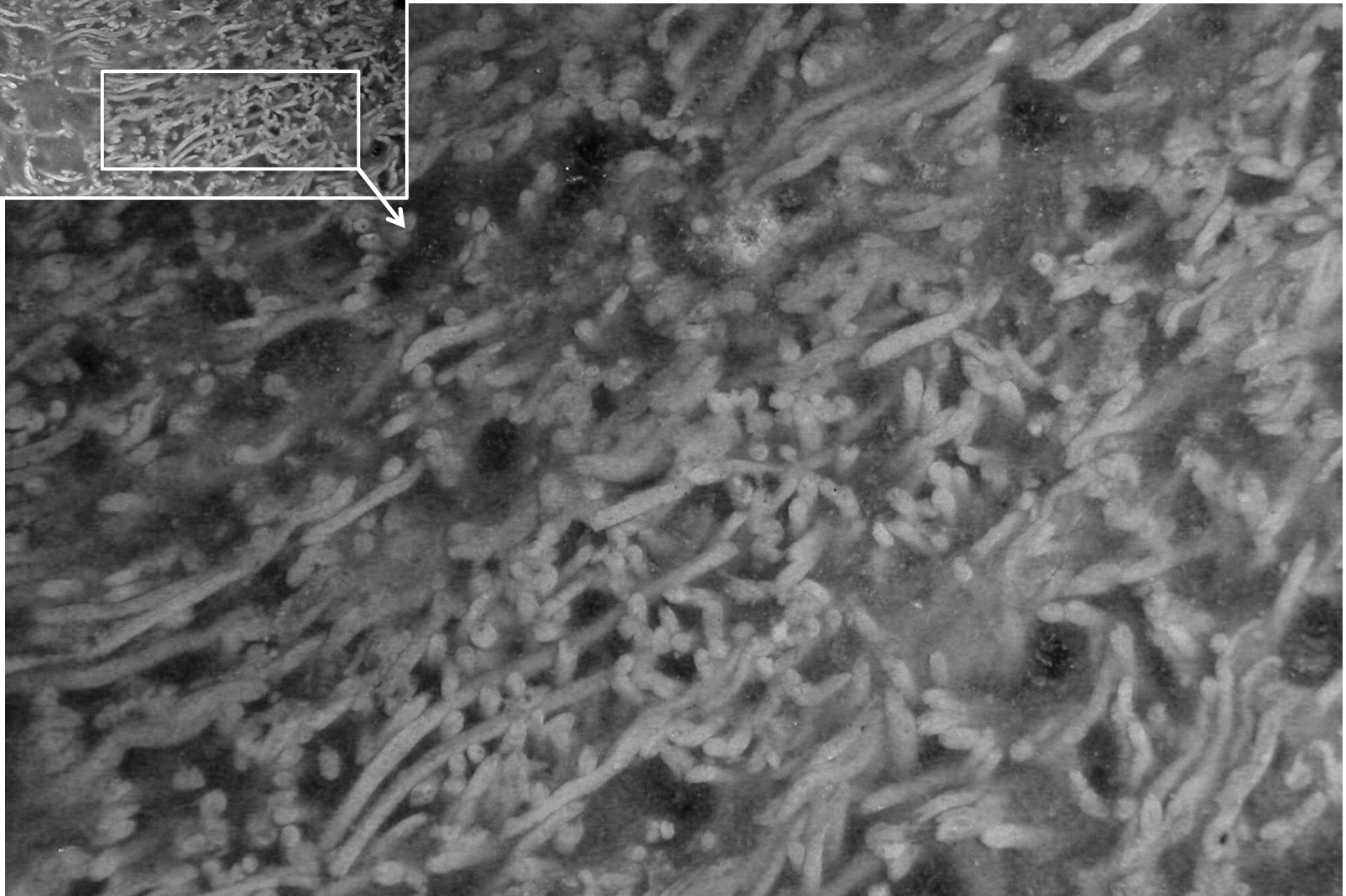
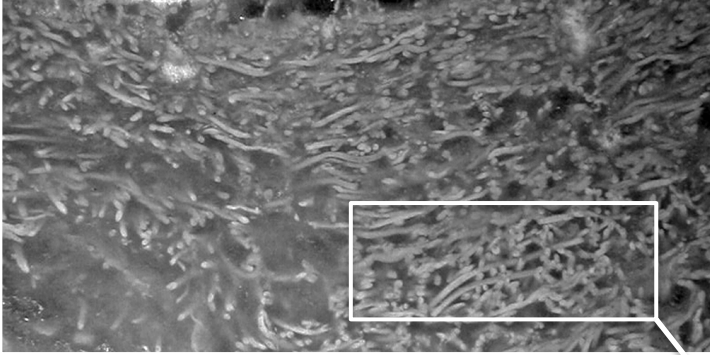
**Quello che rimaneva, nel 2002, di uno straordinario ecosistema fossile: i carbonati autigeni del Miocene superiore della valle del Sintria, Romagna**



# I tappeti microbici del Sintria

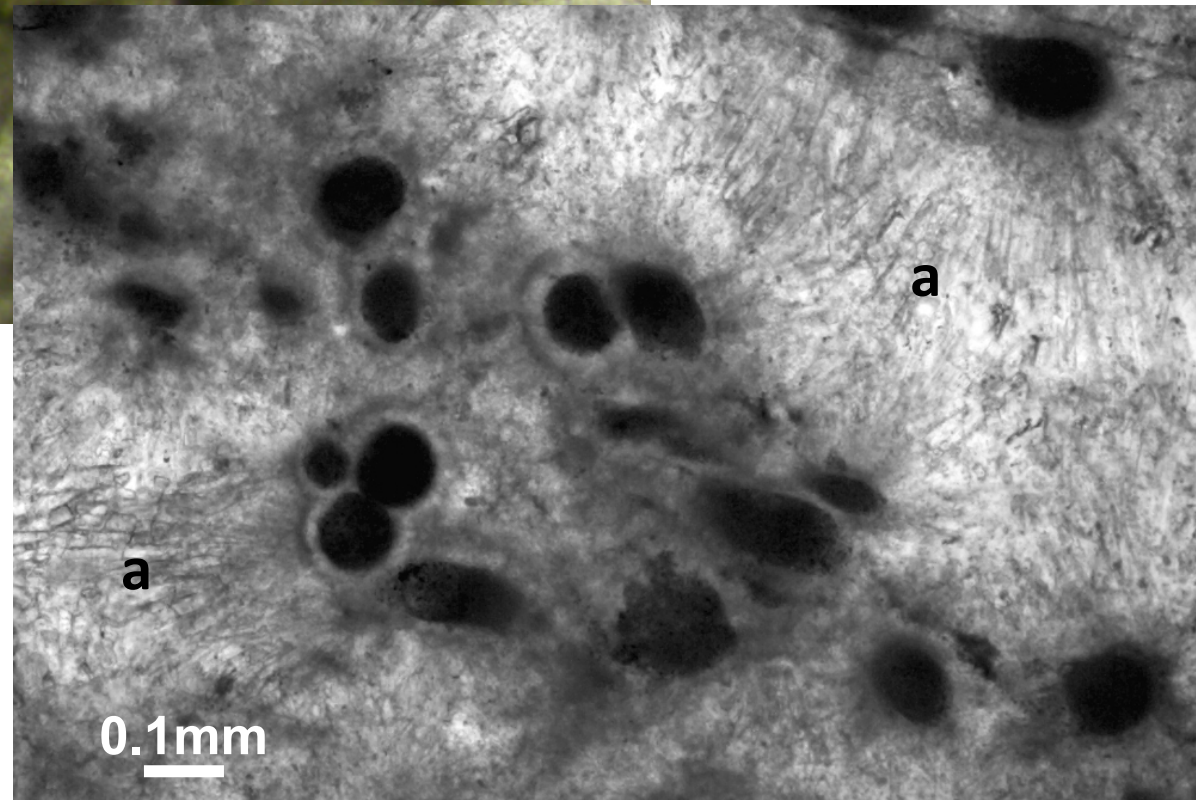
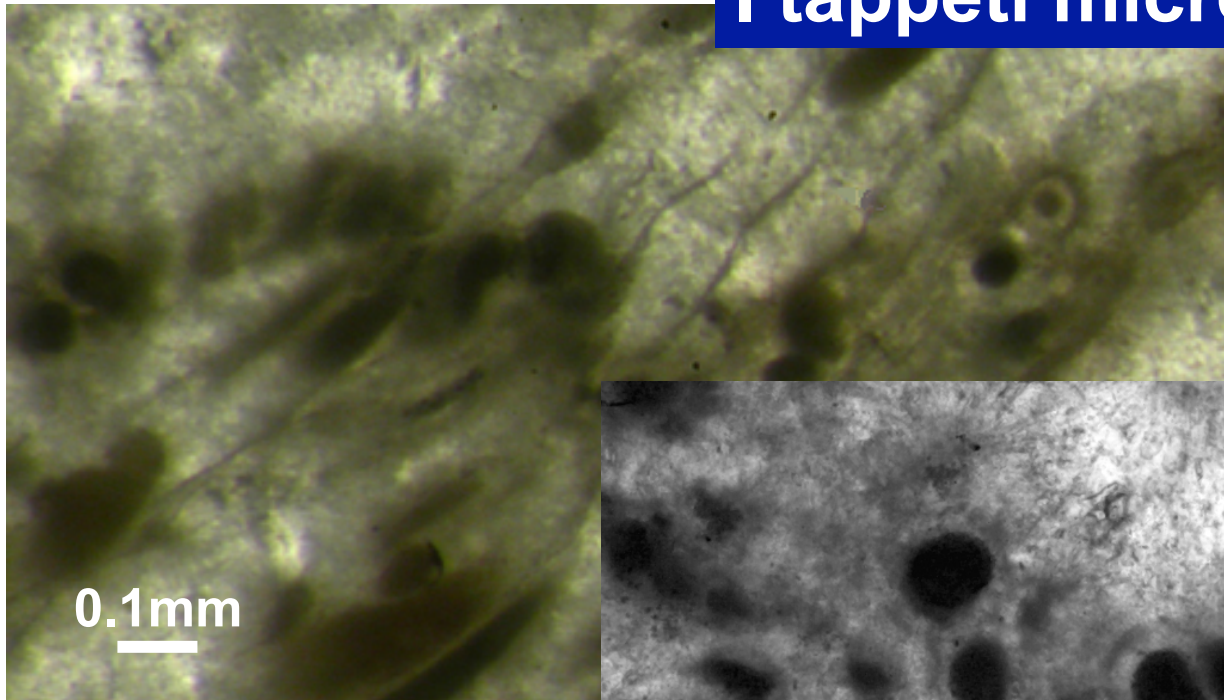


## I tappeti microbici del Sintria

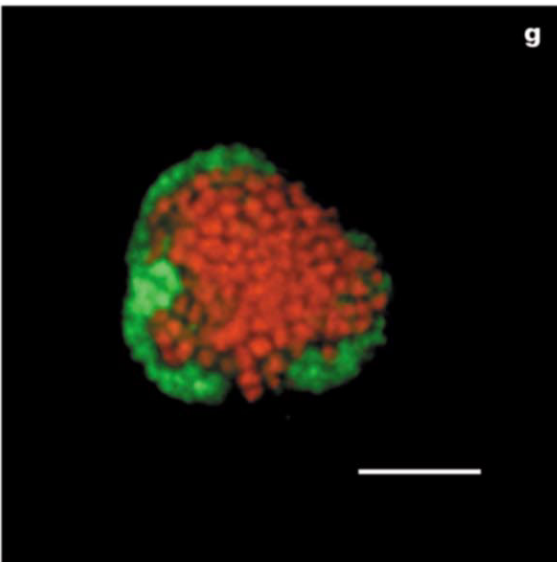
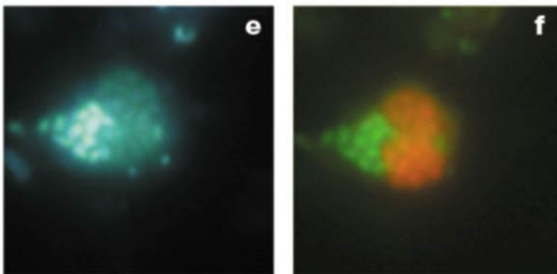
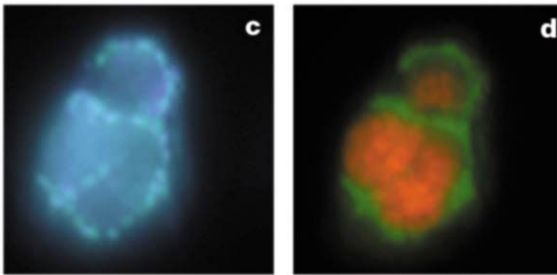
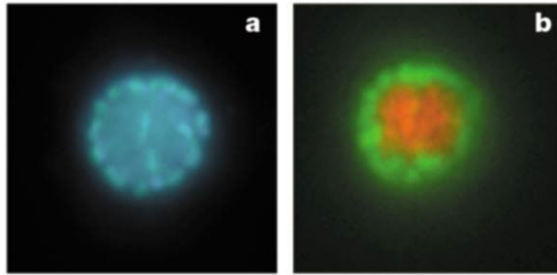


**Clusters di grandi filamenti immersi nel fondo microcristallino.**  
**Diametro medio dei filamenti: 100 micrometri; lunghezza media: 1–3 mm**  
(da Barbieri e Cavalazzi, 2005 e 2008)

# I tappeti microbici del Sintria



**Franghe di cemento aragonitico (a) attorno ai filamenti in sezione trasversale** (da Barbieri e Cavalazzi, 2005)

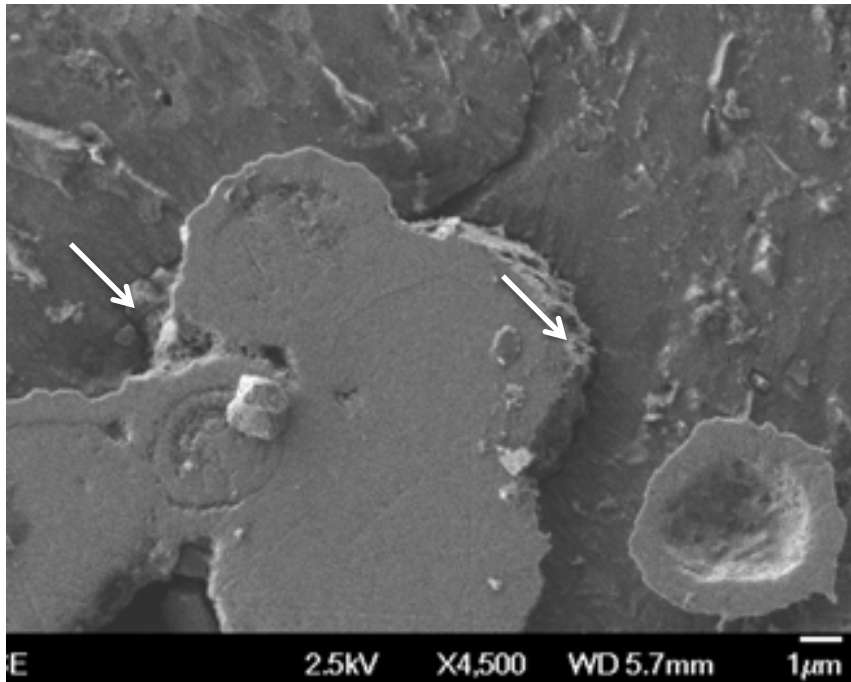


## Comunità microbiche nei sedimenti appena sotto i tappeti a *Beggiatoa*:

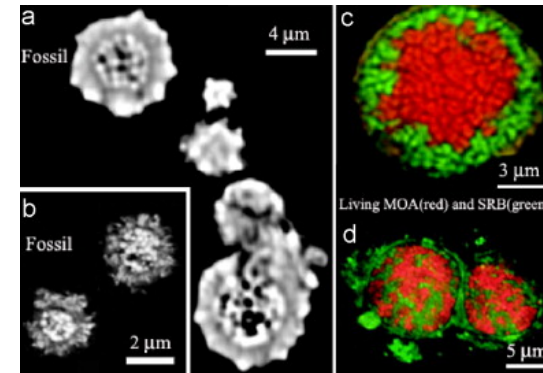
Consorzi di archei metanotrofi (MOA: che ossidano il metano) in rosso; e di batteri solforiduttori (SRB) in verde

(da Boetius et al., 2000)

# Framboidi ricchi in Fe come potenziali indicatori di interazioni microbi/minerali utili per riconoscere carbonati fossili precipitati biologicamente nei seeps di metano?

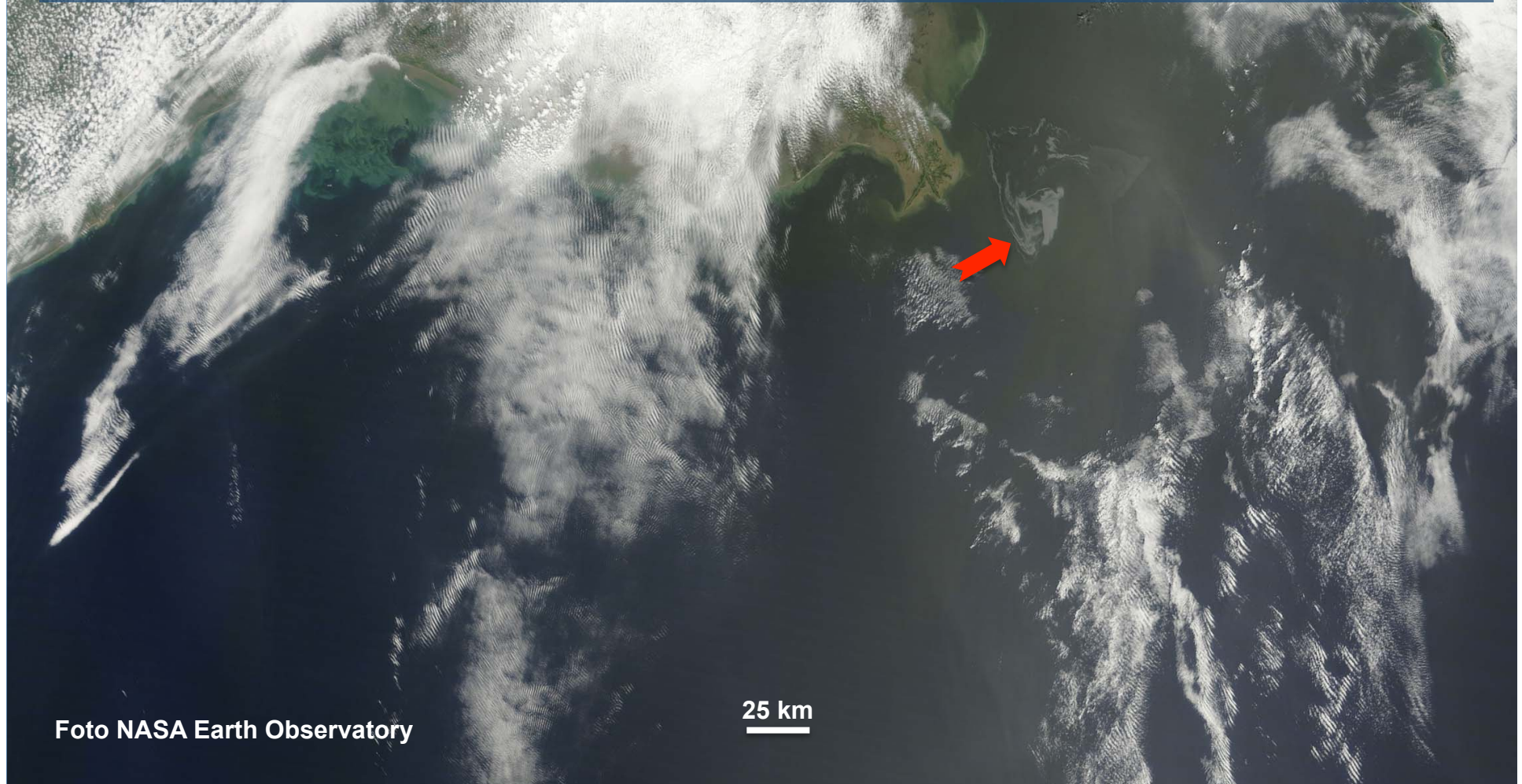


HR-SEM image showing (HC etched surface) zoned framboidal structures (arrows) that exhibit bacteriomorph structures  
(da Cavalazzi et al., in stampa)

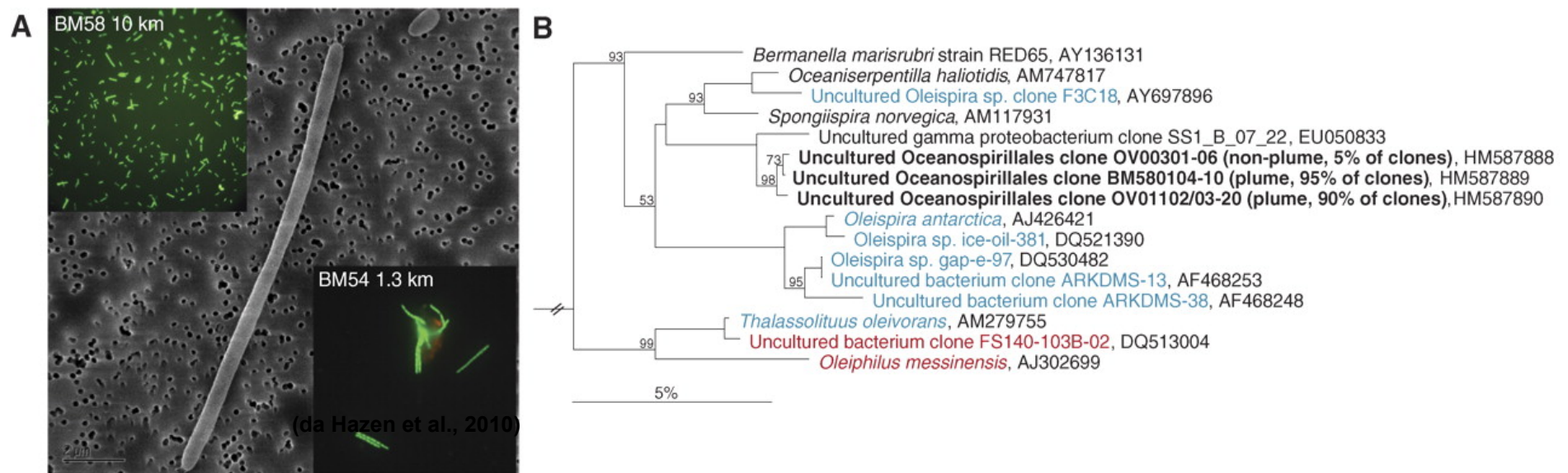


Fe-rich framboids in Fe in  $^{13}\text{C}$  depleted Ca-carbonates from fossil settings where MOA and SRB bacteria were abundant.  
(da Chen et al., 2007)

**2010 *Gulf of Mexico Deepwater Horizon oil spill***  
**Da una catastrofe ecologica uno straordinario  
esperimento: come un ecosistema “digerisce” i  
composti del C**



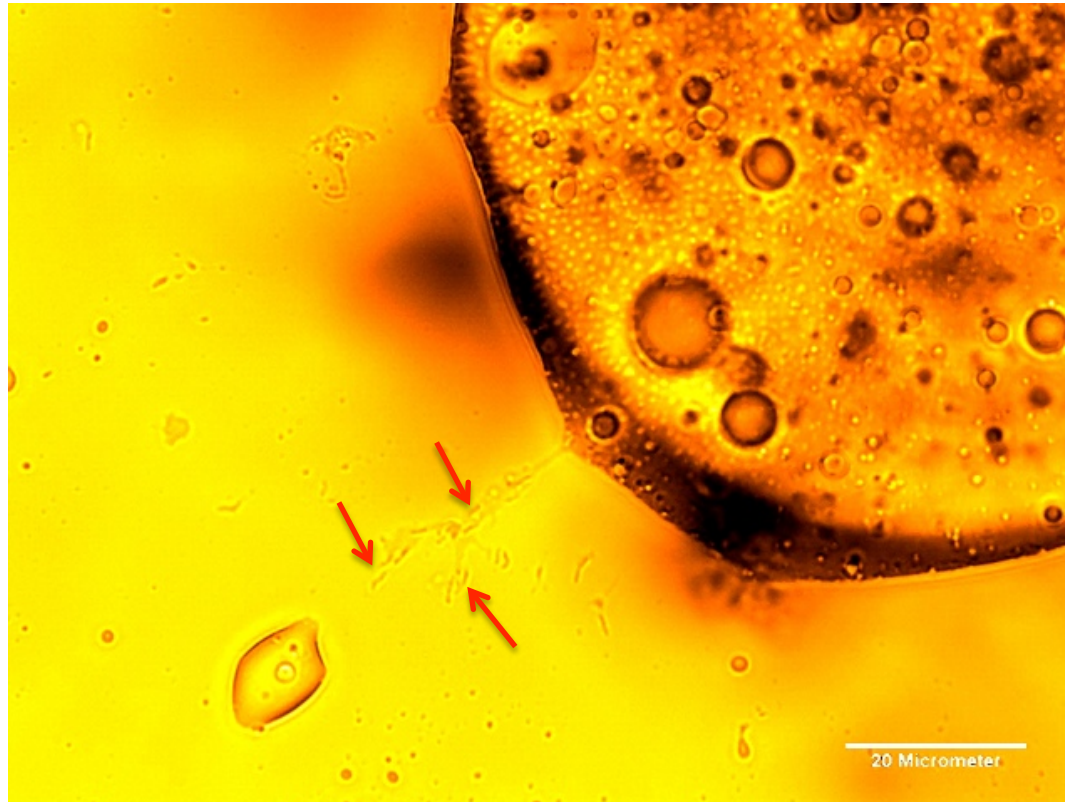
# I metanotrofi dei fondali del golfo del Messico consumano in fretta, ossidandoli, ingenti quantità di idrocarburi



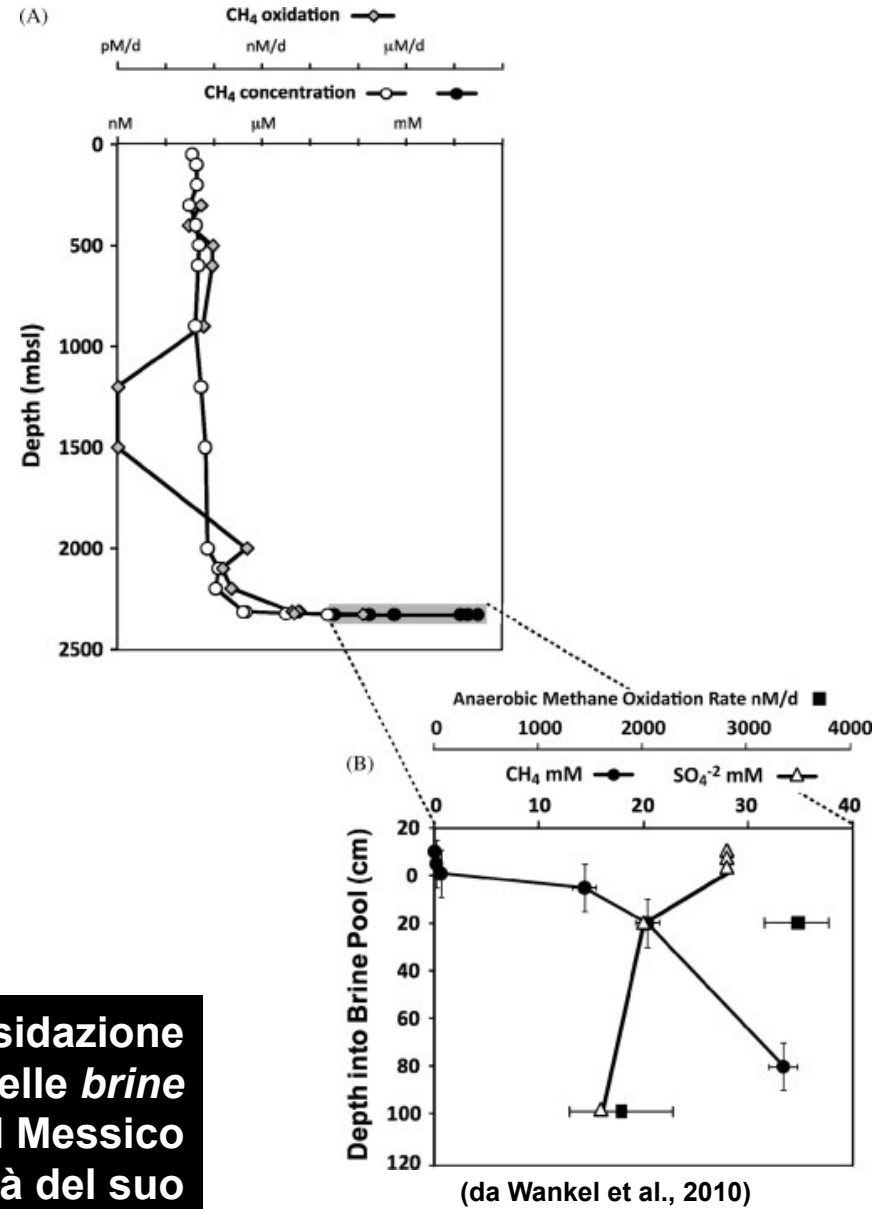
(da Hazen et al., 2010)

**A: metanotrofi visti al SEM e fluorescenza. B: relazioni filogenetiche tra le comunità batteriche dominanti. In blu (psicrofilici) e rosso sono i taxa che degradano il metano**

**Consorti di metanotrofi metabolizzano da millenni gli idrocarburi del Golfo, restituendo CO<sub>2</sub>**



**(da Atlas e Hazen, 2011)**



**Gli alti tassi di concentrazione e ossidazione anaerobica del metano (in A) nelle *brine pools* dei fondali del golfo del Messico odierno documentano la rapidità del suo consumo indotto da attività microbiologica**



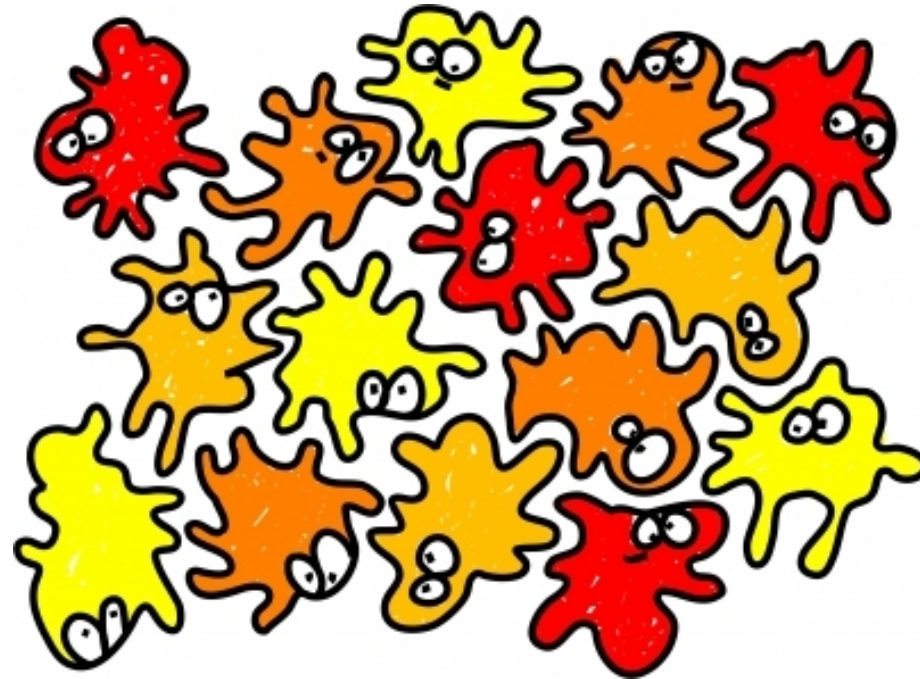
**Concrezioni tubulari (*chimney-like*) a Pobiti Kamani (Varna, mar Nero): spettacolare documento geologico del metano che entra in atmosfera**



**Concrezioni tubulari (*chimney-like*) a Pobiti Kamani (Varna, mar Nero): spettacolare documento geologico del metano che entra in atmosfera**



**Concrezioni tubulari (*chimney-like*) a Pobiti Kamani (Varna, mar Nero): spettacolare documento geologico del metano che entra in atmosfera**



**Grazie!**