

corso di
ASTROBIOLOGIA
lezione 7

Modulo prof. Paola Di Donato
paola.didonato@uniparthenope.it

AMBIENTI TERRESTRI ESTREMI

ARGOMENTI

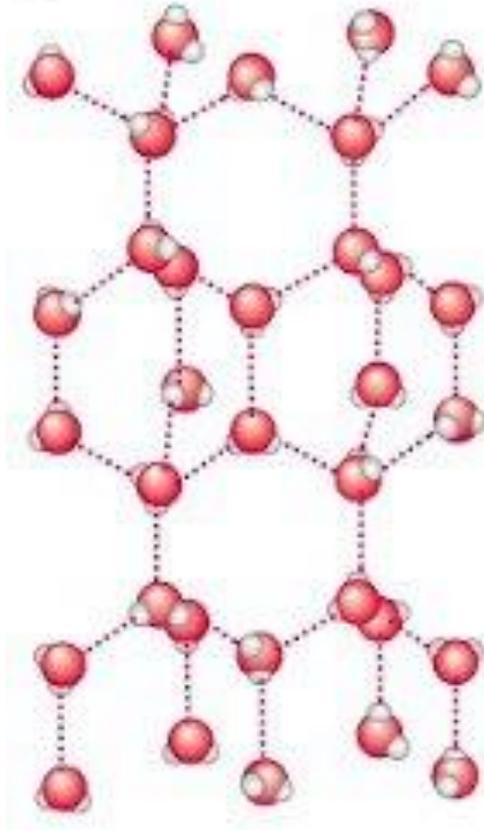
- Vita tra i clatrati oceanici
- Vita nei ghiacci
- Vita nelle grotte sulfuree

• Vita nei clatrati oceanici

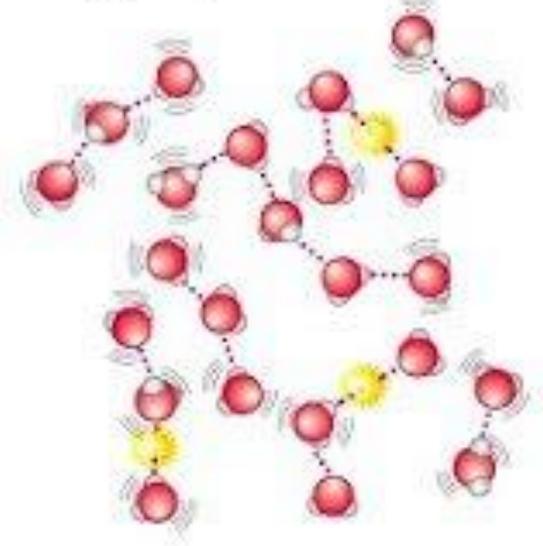
L'acqua è l'unico liquido che subisce una diminuzione della densità nel passaggio dalla fase liquida a quella solida.

Tale fenomeno dipende dai legami ad idrogeno che si instaurano tra le molecole di acqua le quali, al diminuire della temperatura e quindi della propria energia cinetica, si organizzano a dare una struttura cristallina ordinata.

(a) Solid water (ice)



(b) Liquid water



In questa disposizione lo spazio occupato dalle molecole è maggiore, come maggiore è lo spazio vuoto lasciato da esse, rispetto ad una struttura più disordinata quale quella dello stato liquido.

Gli spazi vuoti lasciati dalle molecole di acqua possono essere occupati da piccole molecole quali gas e dare luogo a strutture definite **clatrati** o **gas idrati**.

• Vita nei clatrati oceanici

I clatrati si possono formare anche in alcune zone dei fondali marini terrestri, ad una pressione di circa 50-100 volte maggiore di quella atmosferica ed una temperatura di circa 7°C.

Clatrati di metano, spessi parecchi metri, sono stati scoperti fortuitamente negli anni '80 nel golfo del Messico, ad una profondità tra 500 e 1000 metri di profondità in una regione che segna il passaggio tra le parti emerse dei continenti e la scarpata che piomba nelle profondità dell'oceano.

Tali pozze di clatrati si sono formate nel Giurassico (200-150 Ma) durante un prosciugamento della regione. Il mare evaporato ha lasciato depositi di sale, sepolti poi nel corso dei secoli da sedimenti che hanno permesso la formazione di idrocarburi. In seguito il mare risalendo ha ricoperto le pozze, relegandole di nuovo sui fondali.

Science

Thermogenic Gas Hydrates in the Gulf of Mexico

J. M. BROOKS, M. C. KENNICUTT, II, R. R. FAY, T. J. MCDONALD, AND ROGER SASSEN

SCIENCE • 27 Jul 1984 • Vol 225, Issue 4660 • pp. 409-411 • DOI: 10.1126/science.225.4660.409

Thermogenic gas hydrates were recovered from the upper few meters of bottom sediments in the northwestern Gulf of Mexico. The hydrates were associated with oil-stained cores at a water depth of 530 meters. The hydrates apparently occur sporadically in seismic "wipeout" zones of sediments in a region of the Gulf continental slope at least several hundred square kilometers in area.

• Vita nei clatrati oceanici

- Analogamente ad altri ambienti estremi, anche nei clatrati oceanici è possibile trovare diverse forme di vita sia microbiche che macroscopiche.
- I gas e le sostanze presenti nei clatrati fungono da nutrienti per le forme di vita microbiche (batteri chemiosintetici) che, a loro volta, li usano per il loro metabolismo e le trasformano in cibo per le specie che costituiscono la macrofauna locale ovvero molluschi e gamberetti, che vivono in prossimità delle pozze di ghiaccio, e vermi a tubo.
- I vermi a tubo sono l'unico tipo di animale che vive all'interno dei clatrati: essi si nutrono delle sostanze prodotte dal metabolismo dei microorganismi che vivono all'interno dei ghiacci.

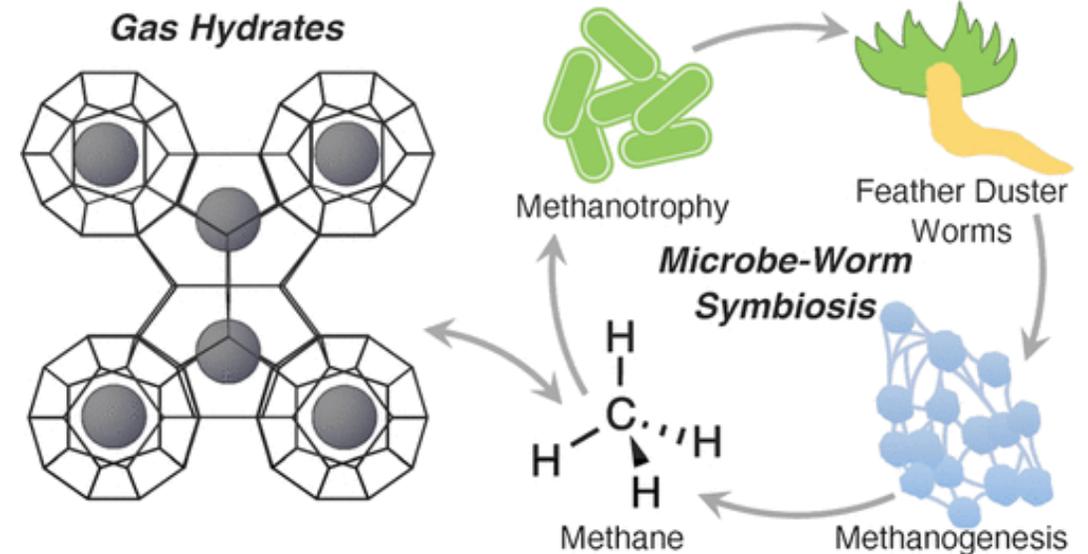
• Vita nei clatrati oceanici: i vermi del ghiaccio

La presenza del gas all'interno del reticolo cristallino dell'acqua ne abbassa la temperatura di solidificazione, permettendole di restare fluida anche a bassissime temperature.

In tal modo i clatrati presentano condizioni adatte alla vita oltre a diventare fonti di energia per alcune forme di vita quali batteri chemiosintetici che usano il metano per il proprio metabolismo.

All'interno dei clatrati rinvenuti in Messico oltre al metano è possibile rinvenire la presenza di H_2S , composti organici e carbonati.

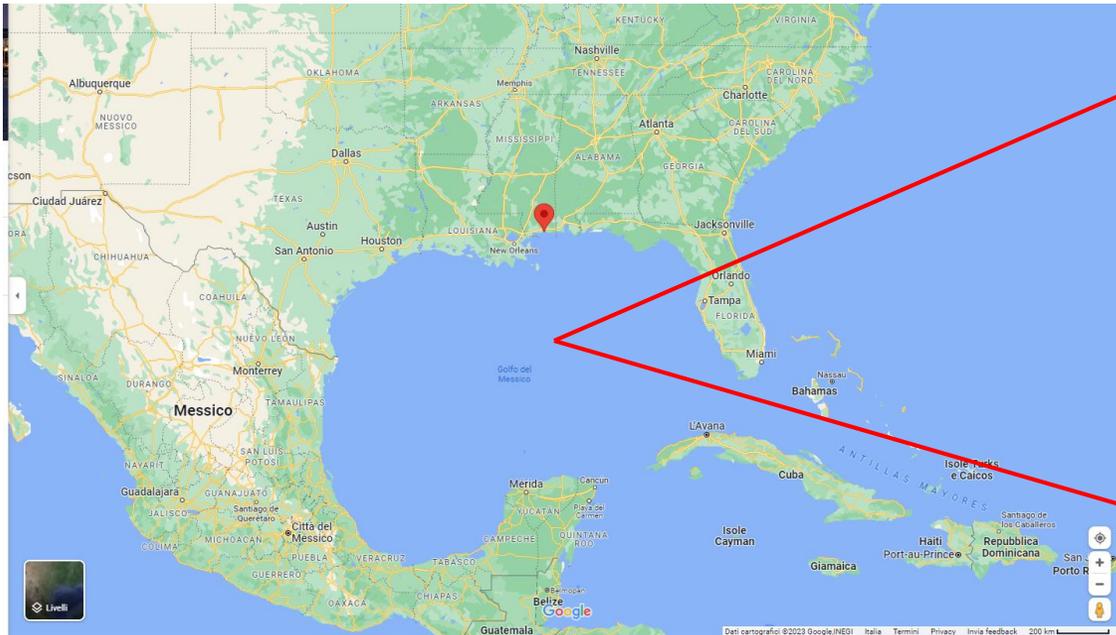
Alcuni studi suggeriscono che i vermi che vivono all'interno di questi idrati di metano si nutrono proprio dei batteri chemioautotrofi che si trovano in tale ambiente.



• Vita nei clatrati oceanici: i vermi del ghiaccio

Sito Golfo del Messico

MACROFAUNA



Vermi del ghiaccio all'interno di clatrati di metano

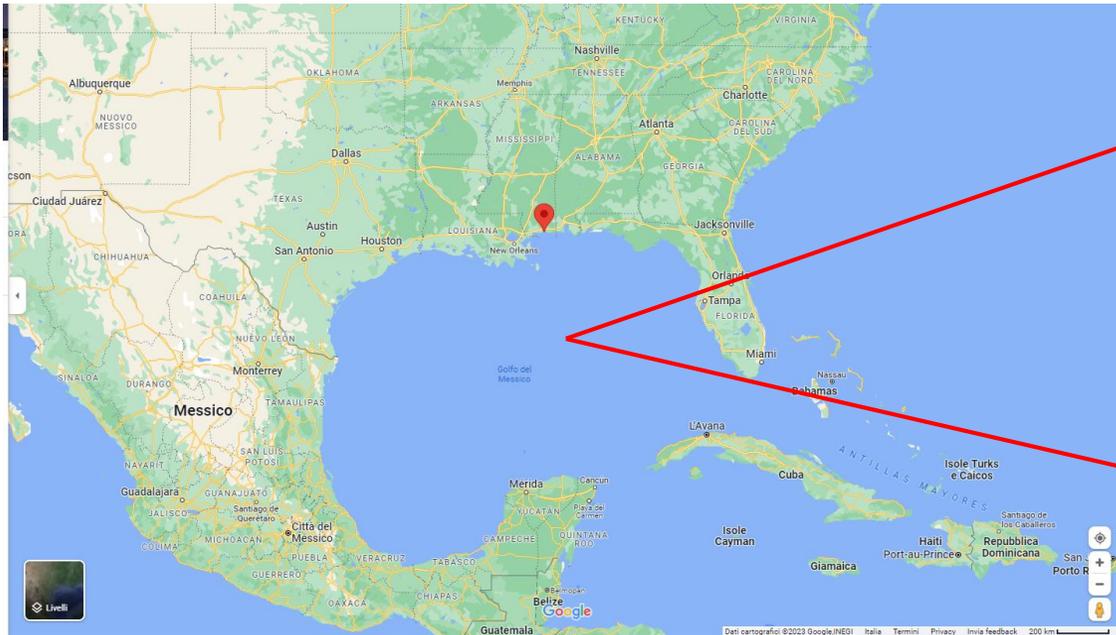


<https://www.flickr.com/photos/noaphotolib/9664182922>

• Vita nei clatrati oceanici: i vermi del ghiaccio

Sito Golfo del Messico

Forme di vita microbiche



Dominio Bacteria

- *Proteobacteria*
- *Actinobacteria*
- *Firmicutes*

Dominio Archaea

- *Methanosaeta*

Alcuni studi suggeriscono che il metabolismo dei microorganismi che si trovano in tale ambiente proceda con la ossidazione anaerobica del metano che funge da principale fonte di carbonio per tali specie.

- Vita nei ghiacci

All'interno del ghiaccio non è possibile trovare organismi metabolicamente attivi in quanto l'acqua allo stato solido non può fungere da solvente per i metaboliti le cui trasformazioni chimiche sono alla base delle funzioni essenziali di ogni forma di vita.

Tuttavia all'interno dei ghiacci che costituiscono il permafrost, lo spesso strato di ghiaccio che ricopre sia regioni dell'Antartide, dell'Artico che della Siberia, è possibile rinvenire microorganismi che sono in grado di ritornare metabolicamente attivi all'atto dello scioglimento del ghiaccio.

Tali microorganismi si trovano nel permafrost dalla superficie fino a 400 metri di profondità, a temperature fino a -27°C , ed hanno una età confrontabile a quella dello strato di ghiaccio in cui sono rinvenuti: dai ~3 milioni di anni nella regione Artica ai ~5 milioni di anni in Antartide.

• Vita nei ghiacci

Table 6.2 Summary of the bacterial diversity in Siberian and Antarctic permafrost as characterized by culture-dependent and culture-independent methods

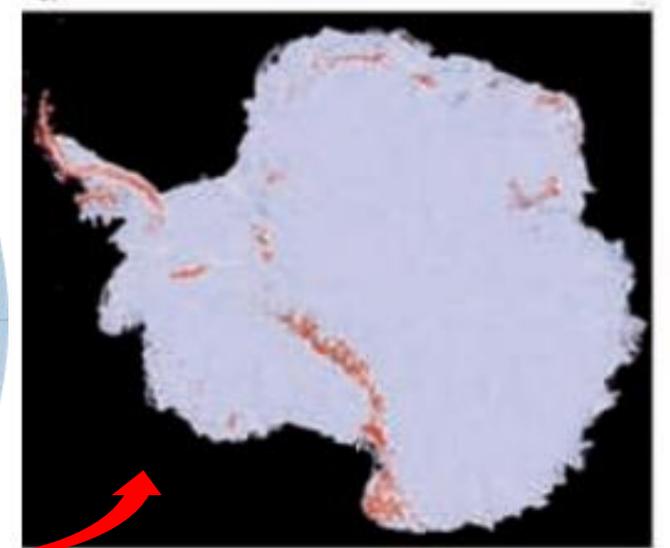
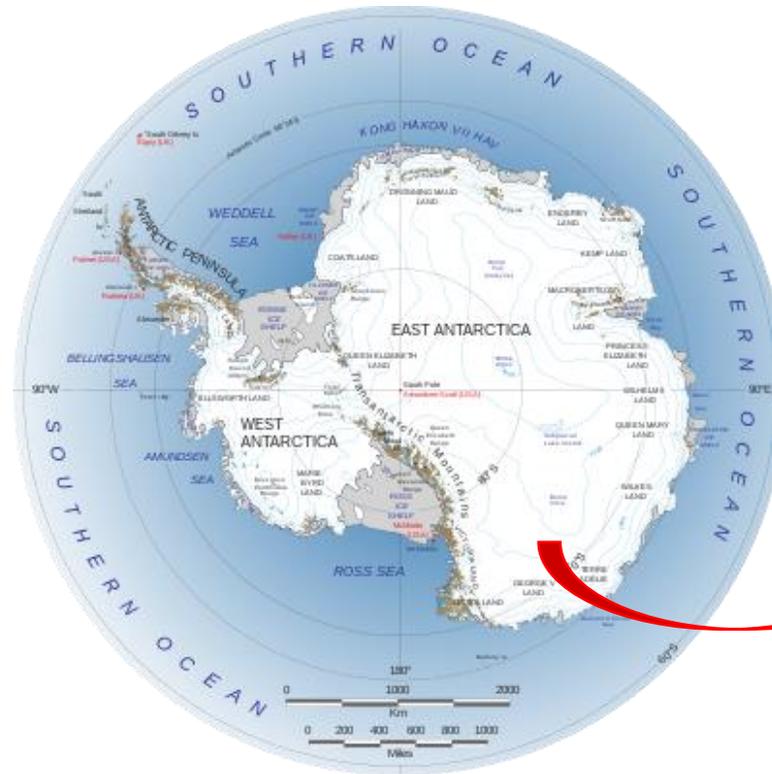
Class	Siberian		Antarctic	
	Isolates ^{a,b,c}	Clones ^a	Isolates ^{b,d}	Clones ^e
Actino-bacteria, Gram-positive, high G+C	<i>Arthrobacter, Micrococcus, Microbacterium, Rhodococcus, Mycobacteria, Cellulomonas, Streptomyces, Kocuria, Brevibacterium, Nocardioides, Propionibacterium</i>	<i>Arthrobacter, Micrococcus, Renibacterium, Clavibacter, Cryobacterium</i>	<i>Arthrobacter, Micrococcus, Rhodococcus, Cellulomonas, Promicromono-spora, Streptomyces</i>	<i>Arthrobacter, Acidimicrobium, Conexibacter, Kineosporia, Friedmanniella, Rubrobacter, Sporichthya, Nocardioides, Rhodococcus, Propionibacterium</i>
Firmicutes, Gram-positive, low G+C	<i>Bacillus, Sporosarcina, Paenibacillus, Planomicrobium, Planococcus, Exiguobacterium</i>	<i>Bacillus, Clostridium</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus, Sporosarcina, Planomicrobium</i>
Gamma-Proteobacteria	<i>Xanthomonas, Pseudomonas, Escherichia, Aeromonas, Serratia, Stenotrophomonas, Acinetobacter Psychrobacter</i>	Xanthomonadaceae, <i>Lysobacter</i> , iron-oxidizing lithotroph ES1, <i>Pseudomonas</i> , Enterobacteriaceae, <i>Aeromonas, Serratia, Yersinia, Citrobacter</i>	<i>Pseudomonas, Enterobacteriaceae, Aeromonas, Azotobacter</i>	<i>Pseudomonas, Escherichia, Stenotrophomonas, Citrobacter</i>
Alpha-Proteobacteria	<i>Sphingomonas, Nitrobacter</i>			<i>Sphingomonas, Paracraurococcus, Rhizobium, Sphingobium, Sphingopyxis, Ochrobactrum, Sinorhizobium, Methylobacterium</i>
Beta-Proteobacteria ^a	<i>Alcaligenes, Nitrosomonas, Nitrospira</i>			<i>Polaromonas, Rhodoferax</i>
Delta-Proteobacteria	<i>Myxococcus</i>			<i>Myxobacterales</i>
Bacteroidetes	<i>Flavobacterium, Sphingobacterium</i>			<i>Chitinophaga</i>
Others				<i>Acidobacterium, Vulcanithermus, Gemmatimonas, Nitrospira, Planctomyces, Thermomicrobium incertae sedis</i>

•Vita nei ghiacci: le vallate aride in Antartide (*dry valleys*)

L'Antartide è uno degli ambienti più estremi della Terra e circa lo 0.4% della sua superficie non è coperto dal ghiaccio.

Le dry Valleys sono un mosaico di ghiacciai, laghi ricoperti da strati di ghiaccio e suoli aridi.

Le dry Valleys sono tra le zone maggiormente aride della Terra a causa della presenza di catene montuose circostanti, della scarsità di precipitazioni e dei forti venti catabatici che di fatto impediscono la deposizione di acqua sul suolo.

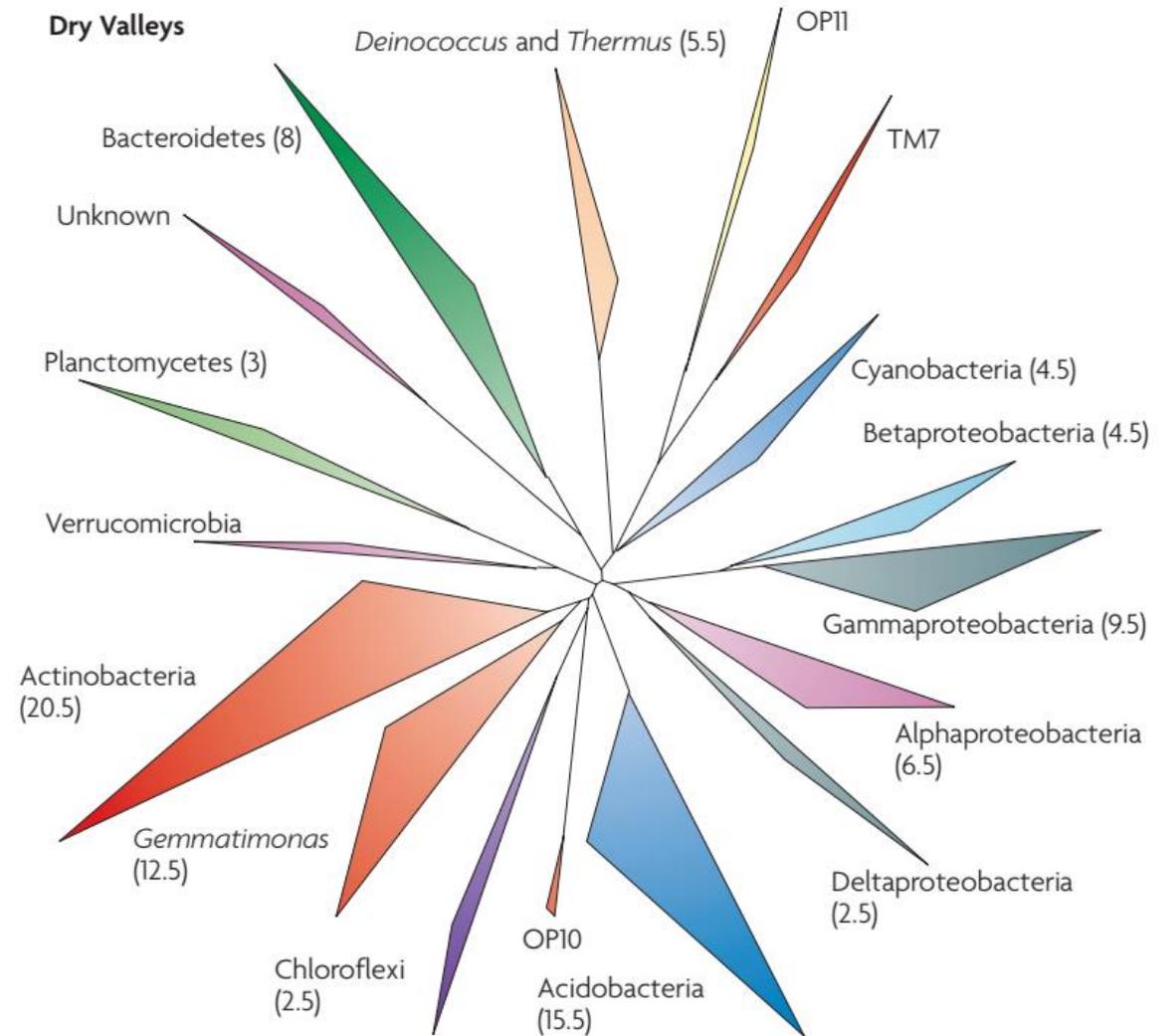


In rosso sono evidenziate le zone prive di ghiaccio in superficie

•Vita nei ghiacci: le vallate aride in *Antartide (dry valleys)*

Fino agli anni '70 le dry Valleys erano considerate ambienti sterili e privi di qualunque forma di vita.

Grazie all'avvento delle moderne tecnologie di sequenziamenti degli acidi nucleici è stato possibile verificare nei suoli di tali regioni la presenza di una abbondante comunità microbica caratterizzata da una grande biodiversità.

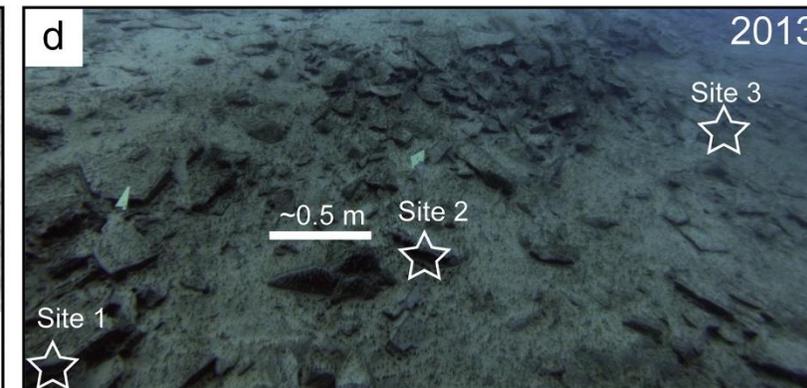
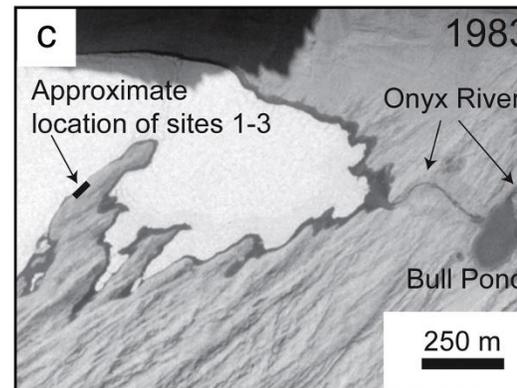
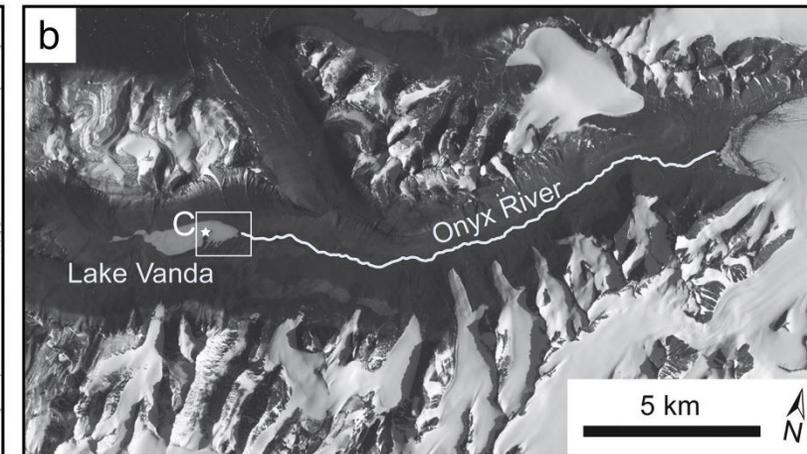
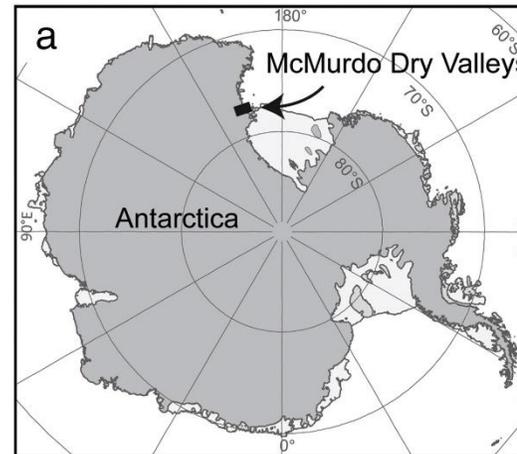


•Vita nei ghiacci: i laghi nelle *dry valleys*.

Le dry Valleys ospitano antichi laghi saturi di sale che si è depositato per effetto della evaporazione delle acque: un esempio interessante è rappresentato dal lago Vanda che si trova nella Wright Valley

Il lago Vanda ospita colonie di batteri e di fitoplancton che sono situati al di sotto dello strato di ghiaccio superficiale.

Al suo interno sono state ritrovati anche corpi di foche mummificate.



•Vita nei ghiacci: il permafrost nelle *dry valleys*.

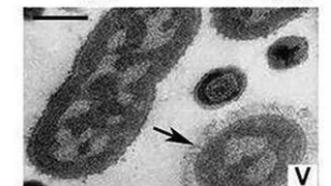
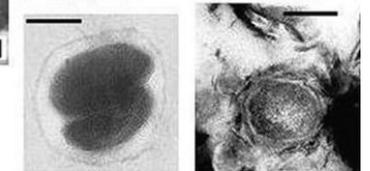
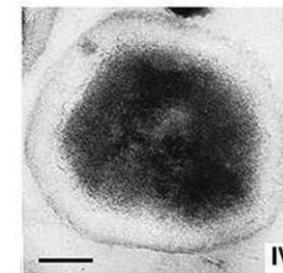
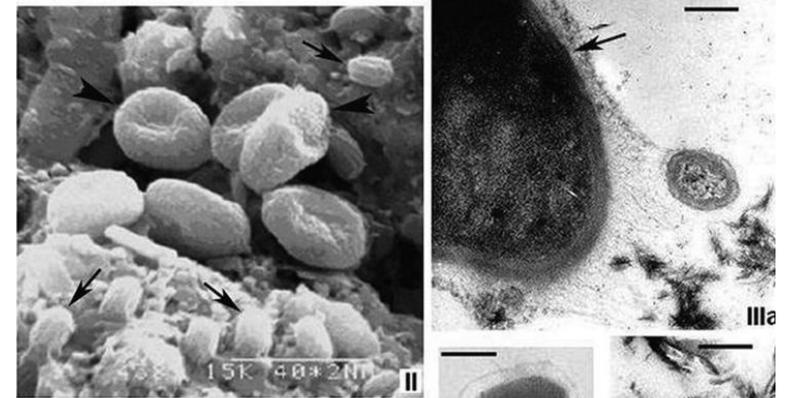
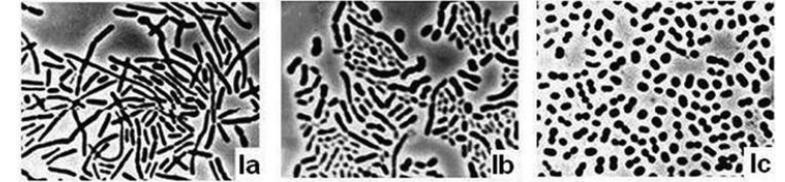
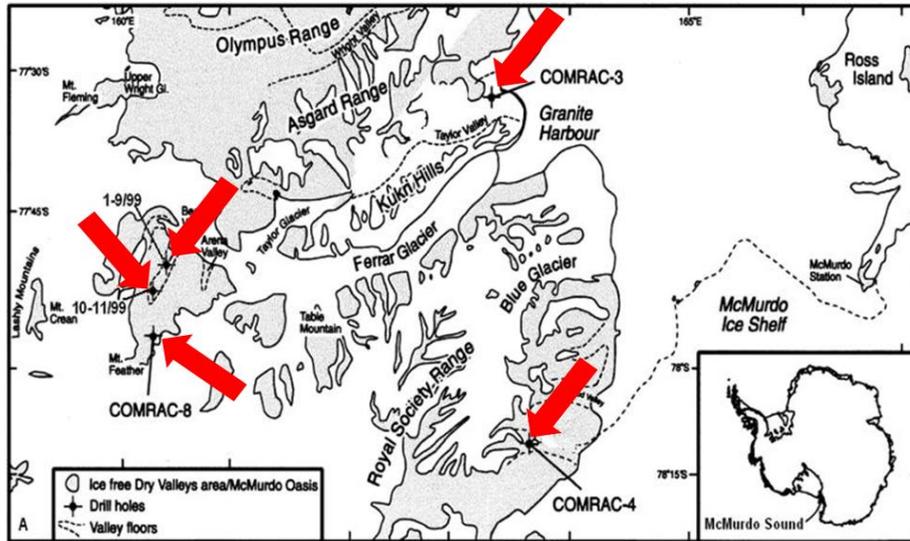
Research Paper

Microbial Populations in Antarctic Permafrost: Biodiversity, State, Age, and Implication for Astrobiology

D.A. GILICHINSKY,¹ G.S. WILSON,² E.I. FRIEDMANN,³ C.P. MCKAY,³ R.S. SLETTEN,⁴
E.M. RIVKINA,¹ T.A. VISHNIVETSKAYA,¹ L.G. EROKHINA,⁵ N.E. IVANUSHKINA,⁶
G.A. KOCHKINA,⁶ V.A. SHCHERBAKOVA,⁶ V.S. SOINA,⁷ E.V. SPIRINA,¹
E.A. VOROBYOVA,⁷ D.G. FYODOROV-DAVYDOV,¹ B. HALLET,⁴ S.M. OZERSKAYA,⁶
V.A. SOROKOVIKOV,¹ K.S. LAURINAVICHYUS,⁶ A.V. SHATILOVICH,¹ J.P. CHANTON,⁸
V.E. OSTROUMOV,¹ and J.M. TIEDJE⁹

Questo studio descrive la biodiversità microbica presente nel permafrost (sedimento permanentemente ghiacciato) Antartico e propone un possibile modello di ecosistema Marziano

• Vita nei ghiacci: il permafrost nelle *dry valleys*.



Durante le estate australi del 1995 e del 1999, sono stati raccolti campioni di permafrost in cinque diversi siti nelle Dry Valleys (indicate dalle frecce rosse)

Diverse popolazioni microbiche sono presenti nel permafrost, sia aerobiche (Gram-positive e Gram-negative, non sporigene e sporigene) che anaerobiche (metanogeni, solfo riduttori, etc.)

• Vita nei ghiacci: il permafrost nelle *dry valleys*.

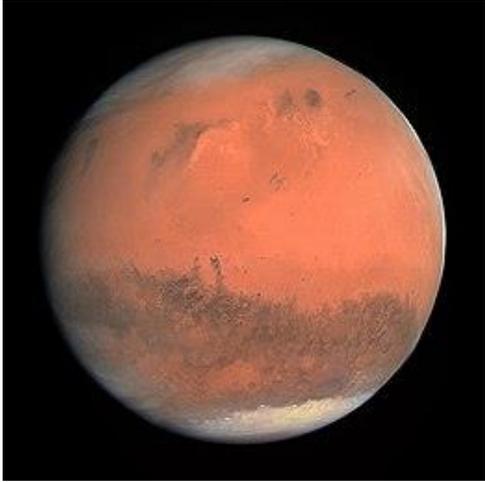
Il deserto polare delle McMurdo Dry Valleys è una delle condizioni di permafrost più estreme sulla Terra. Il suo permafrost è tuttavia una delle parti più abitate dell'Antartide.

Per le sue caratteristiche, tale permafrost può essere considerato un buon modello per possibili ecosistemi criogenici su altri pianeti, come ad esempio Marte.

Se difatti qualche forma di vita fosse comparsa durante le prime fasi dello sviluppo su Marte, allora se ne potrebbero trovare resti all'interno di materiale congelato sulla superficie di Marte e quindi protetto da condizioni ambientali sfavorevoli.

Il permafrost marziano potrebbe ipoteticamente conservare le tracce genetiche della vita preesistente, che è scomparsa da tempo.

• Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.



Marte

Una delle caratteristiche ambientali che rende la superficie di Marte particolarmente inospitale e pericolosa per la vita sono le radiazioni ionizzanti, una delle componenti più dannose dei raggi cosmici galattici che invece non raggiungono la superficie della Terra.

Marte difatti, oggi non possiede un'atmosfera o un campo elettromagnetico pertanto non è protetto dai protoni accelerati che accompagnano la radiazione solare, o dai raggi cosmici che si originano da eventi al di fuori del sistema solare attraverso le galassie.

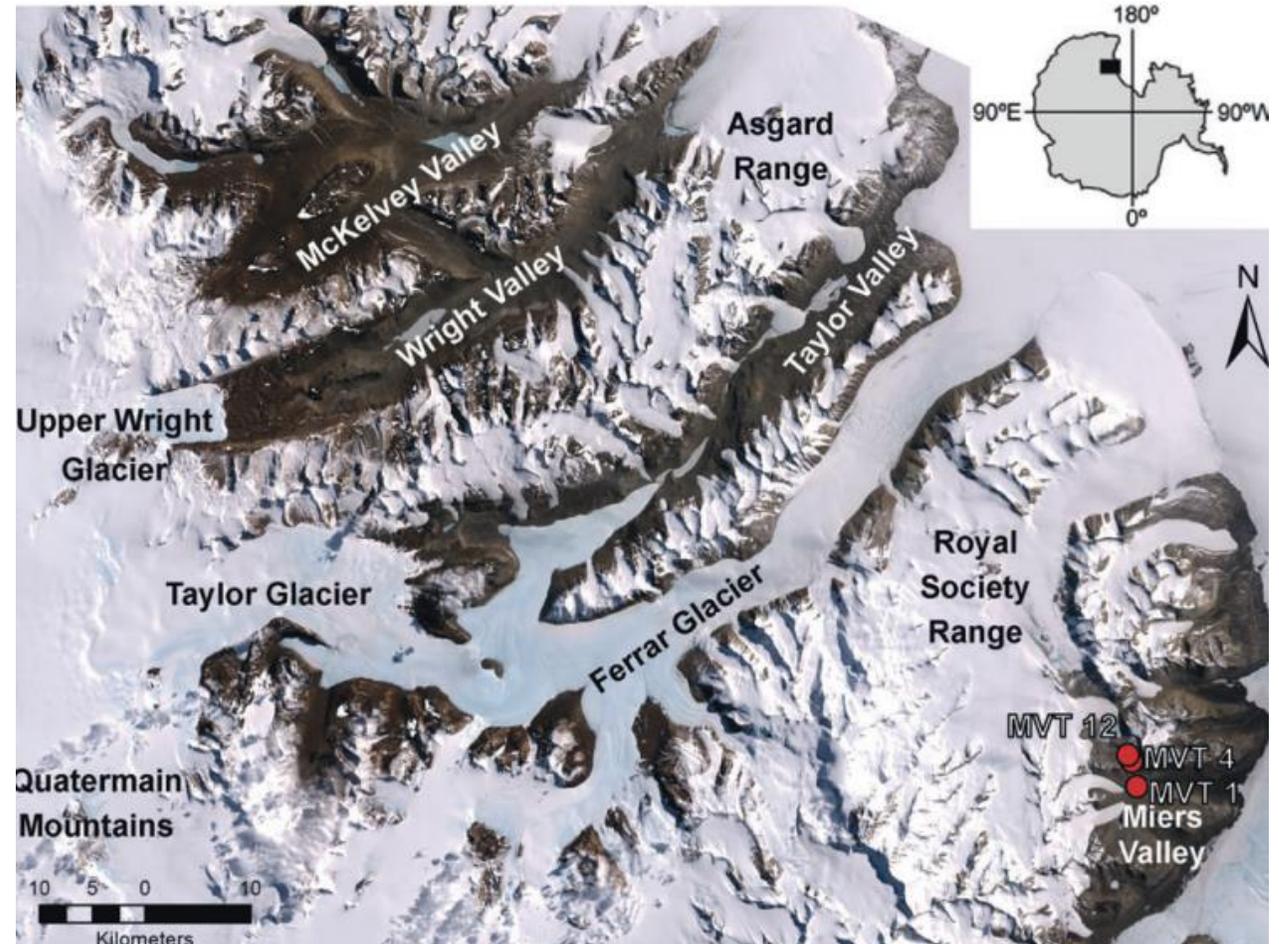
Per tali motivi le radiazioni ionizzanti rappresentano uno dei maggiori pericoli con cui eventuali forme di vita su Marte dovrebbero rapportarsi.

- Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.

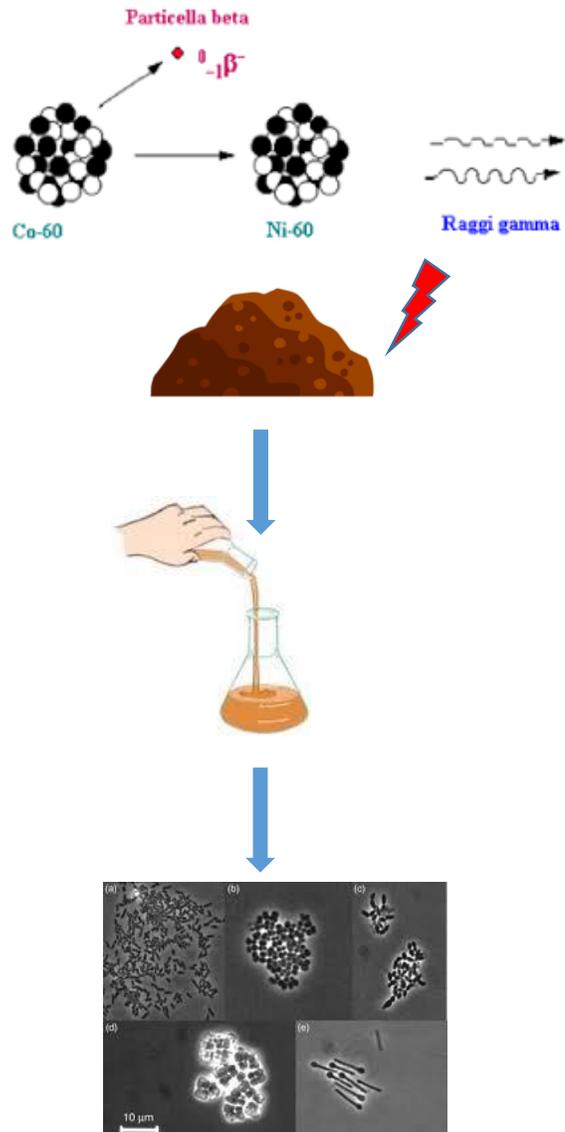


Marte

Durante l'estate australe del 2002, campioni di suolo dalla Valle di Miers, nella MacMurdo Dry Valley sono stati prelevati per lo studio di specie microbiche in grado di resistere alle radiazioni ionizzanti (siti MVT, cerchiati in rosso)



• Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.



I campioni di suolo prelevati dalle Miers Valleys sono stati pretrattati con dosi di 4- 6 kGy* di raggi gamma (prodotti da ^{60}Co) per preselezionare specie radio-resistenti.

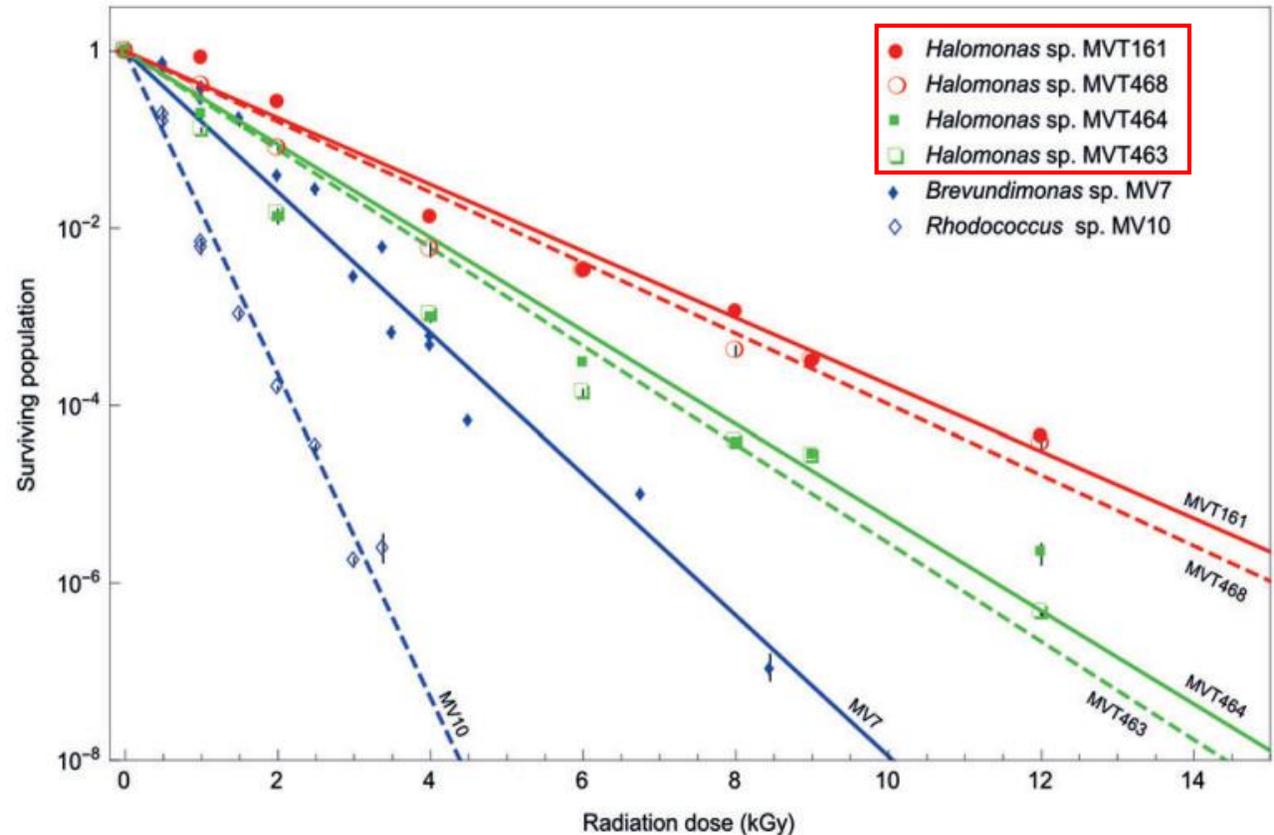
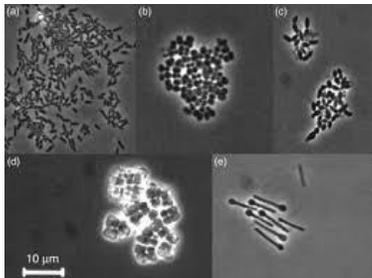
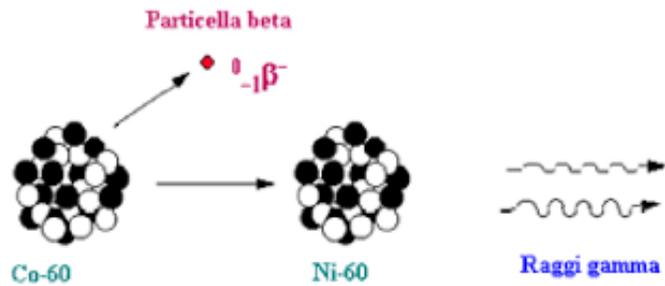
In queste condizioni, è stato possibile selezionare e isolare 4 specie appartenenti al genere *Halomonas*, un genere che comprende specie alofile.

Le specie del genere *Halomonas* così selezionate sono quindi state testate per la radioresistenza mediante trattamento a bassa temperatura (-79°C) con raggi gamma in dosi fino ai 15 kGy.

*1Gy is defined as the unit of ionizing radiation dose in the International System of Units (SI), defined as the absorption of one joule of radiation energy per kilogram of matter

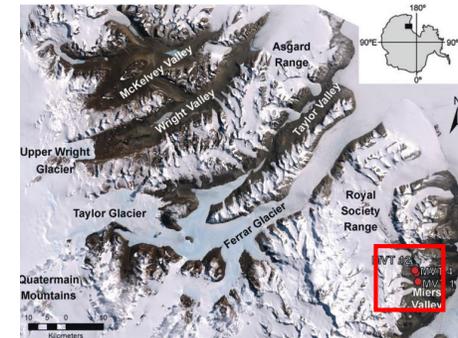
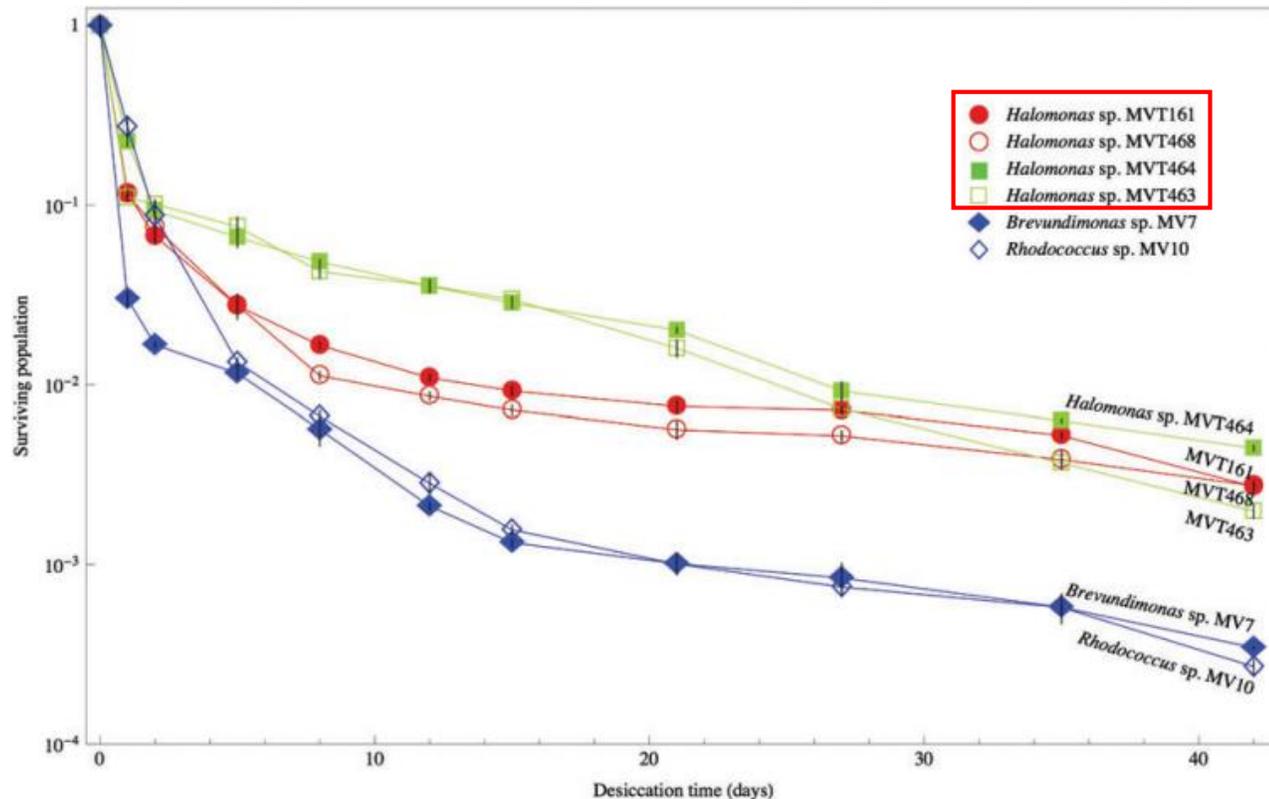
• Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.

Le specie isolate sono state irradiate a bassa temperatura (-79°C) con elevate dosi di raggi gamma a bassa ed hanno mostrato una radioresistenza significativa e maggiore di quella di altre specie anche esse presenti nel suolo ma non pre-selezionate con raggi gamma.



• Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.

Le specie del genere *Halomonas* isolate mediante pre-irraggiamento con raggi gamma, sono state testate anche per la resistenza in ambiente anidro, in confronto con le due specie non pre-isolate con radiazioni: anche in questo caso sono risultate essere le specie più resistenti.



• Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.

I microorganismi alofili, isolati dall'analogo di Marte MacMurdo Dry Valley utilizzando l'esposizione ai raggi gamma, sono stati studiati per la loro capacità di sopravvivenza a due condizioni simili a Marte, ovvero essiccazione e irradiazione.

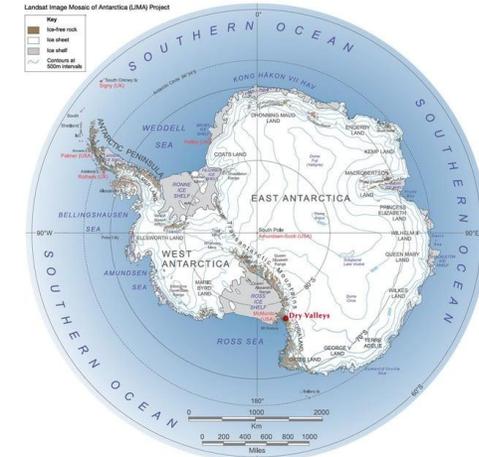
Questo studio ha suggerito per le quattro specie di Halomonas isolate dalla MacMurdo Dry Valley, l'associazione tra essiccazione e resistenza alle radiazioni che è fondamentale per comprendere la potenziale sopravvivenza della vita dormiente o crioconservata nel deserto freddo rappresentato dalla superficie marziana

•Vita nei ghiacci: il suolo delle *dry valleys*.

Low-Temperature Ionizing Radiation Resistance of *Deinococcus radiodurans* and Antarctic Dry Valley Bacteria

Lewis R. Dartnell,^{1,2} Stephanie J. Hunter,³ Keith V. Lovell,⁴ Andrew J. Coates,⁵ and John M. Ward³

The Antarctic soil sample utilized in this study was collected from the Miers Valley, within the McMurdo Dry Valleys region, during the Antarctic summer of January 2000.



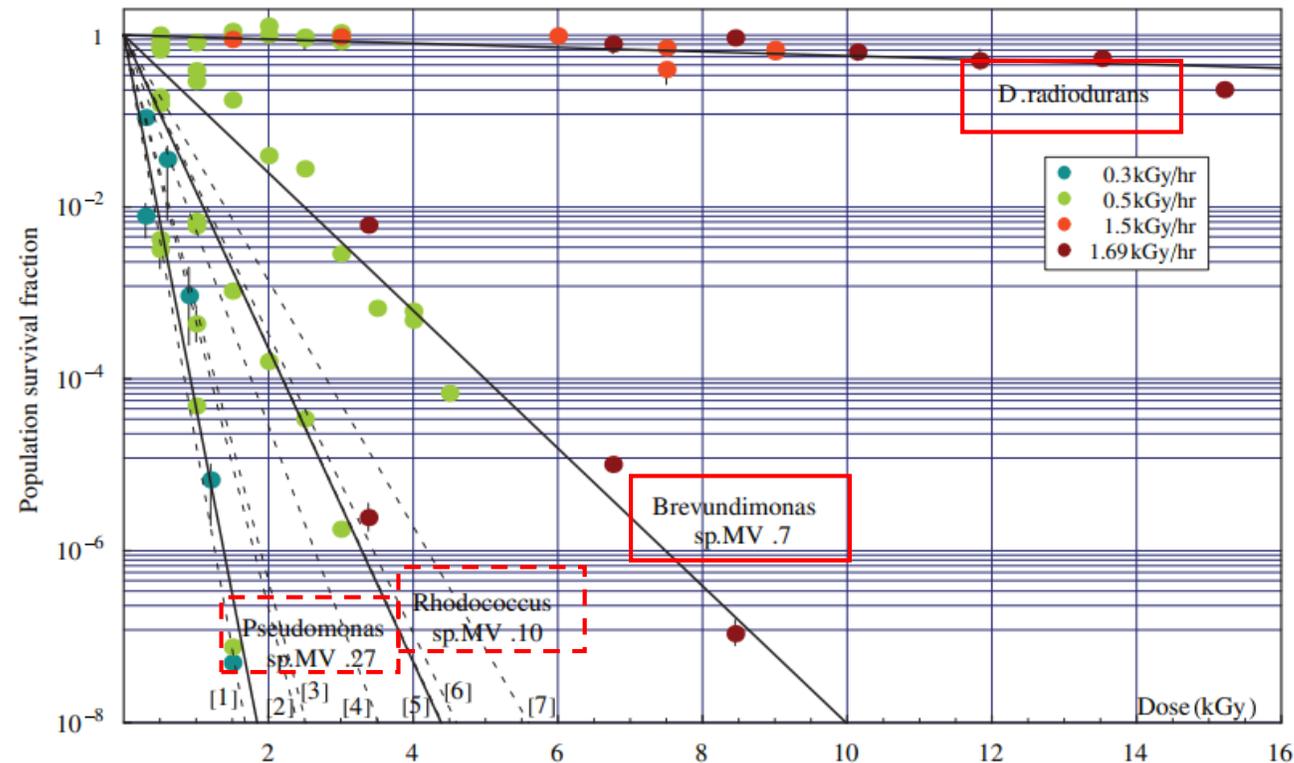
Three novel cold-tolerant strains were isolated from Antarctic soil identified by 16S rRNA gene sequencing: *Brevundimonas* sp. MV.7, *Rhodococcus* sp. MV.10 and *Pseudomonas* sp. MV.27.

The three new species were tested (in comparison with the known radioresistant species *Deinococcus radiodurans*) for their survival responses in Mars-like conditions i.e. exposure to ionizing radiation while frozen at a low temperature, characteristic of the martian near-subsurface.

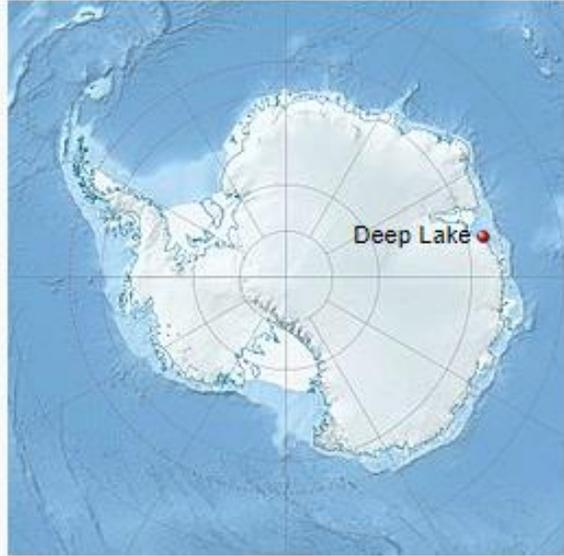
Why antarctic bacteria and archaeobacteria?

BACTERIA FROM ANTARCTIC DRY VALLEYS

Results from this study, combined with previous radiation modeling, indicated that *Brevundimonas* sp. MV.7 emplaced only 30 cm deep in martian dust could survive the cosmic radiation for up to 100,000 years before suffering 10^6 population reduction.



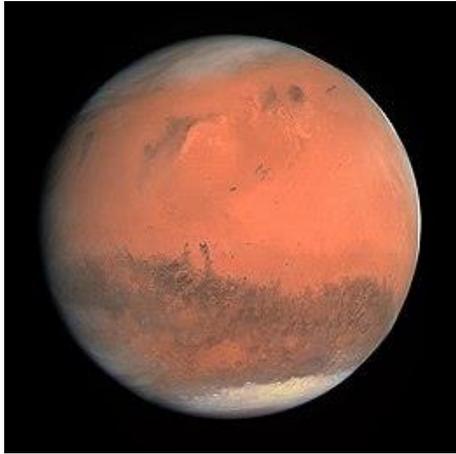
• Vita nei ghiacci: i laghi salati



Il Deep Lake nell'Antartide orientale è uno degli ecosistemi meno produttivi della terra, ma è anche uno dei più notevoli. Le sue acque sono 10 volte più salate dell'oceano, rivaleggiando persino con quelle del Mar Morto.

La sua elevata salinità ne mantiene le acque allo stato liquido, nonostante la temperatura dell'acqua raggiunga i -20°C nel punto più profondo.

• Vita nei ghiacci: i laghi salati



Marte

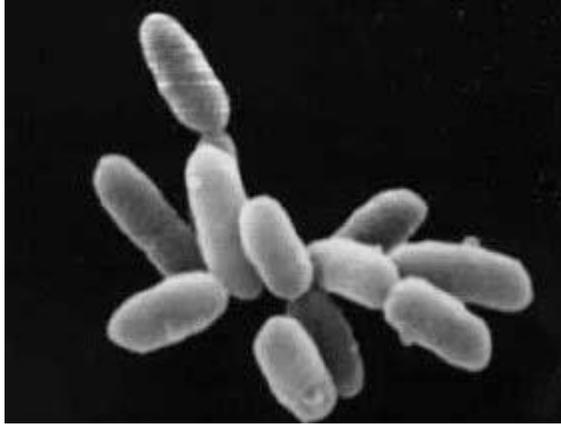
Il Deep Lake è un lago perennemente freddo e ipersalino, per tale motivo può essere considerato un buon analogo di Marte.

La presenza di elevate concentrazioni di sali nel suolo marziano è stata proposta per la prima volta durante le missioni del lander Viking della NASA degli anni '70, e poi confermata dalla missione del lander Phoenix (le concentrazioni di perclorato misurate erano 0,4–0,6% in peso, ovvero 3,3 mM Mg^{2+} , 2,4 mM ClO_4^-) e dallo strumento Sample Analysis presente sul rover Mars Curiosity.



Deep Lake

• Vita nei ghiacci: i laghi salati



Halorubrum lacusprofundi



Deep Lake

Dalle acque e sedimenti del Deep Lake vive *Halorubrum lacusprofundi* un archaeobatterio alofilo, anaerobio e che resiste anche a temperature basse, dunque un poliextremofilo.

Tale batterio è in grado di crescere anaerobicamente in presenza di perclorati di sodio (che ne inibisce la crescita del 50% a concentrazioni pari a 0.3 M) e di magnesio (che ne inibisce la crescita del 50% a concentrazioni pari a 0.1 M).

La concentrazione di perclorati disciolti nel suolo Marziano è stimata essere dell'ordine delle millimoli/L ovvero Na^+ 1.4 mM, Mg^{2+} 3.3 mM e ClO_4^- 2.4 mM, valori ben al di sotto di quelli che inibiscono al 50% la crescita dell'archaeobatterio.

La sopravvivenza di *Halorubrum lacusprofundi* su Marte non può essere esclusa...

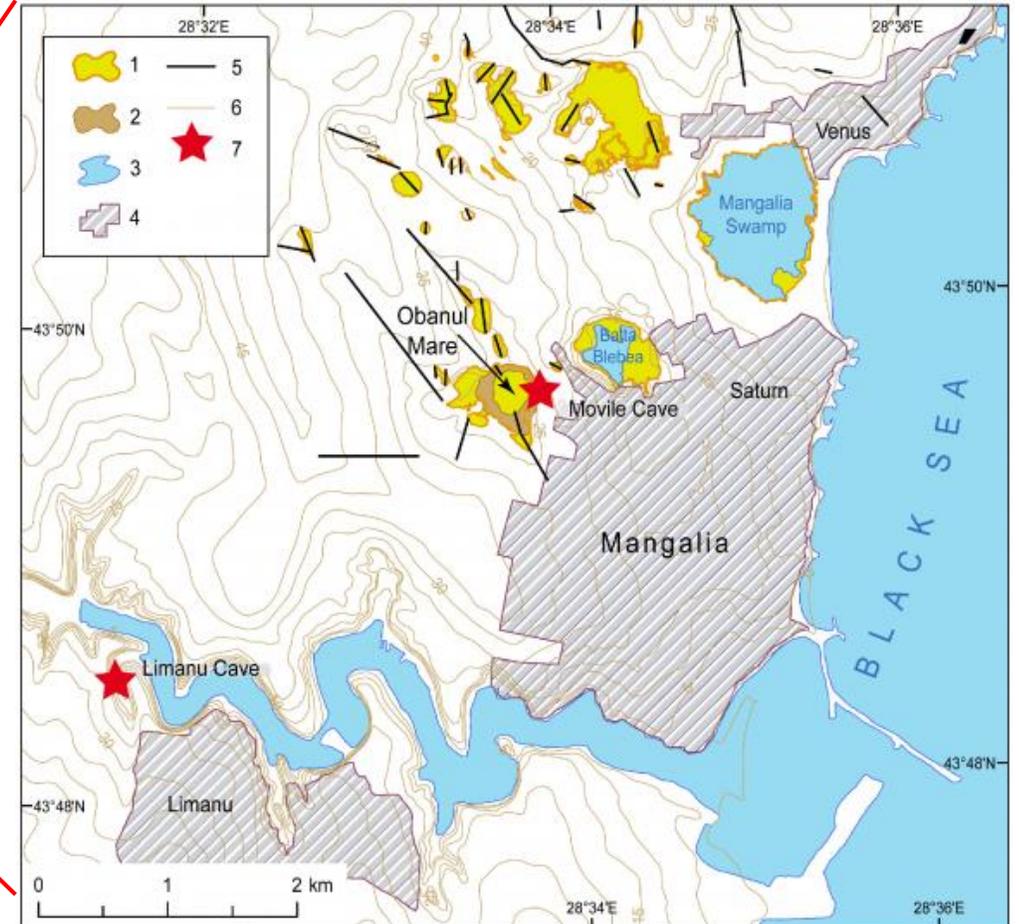
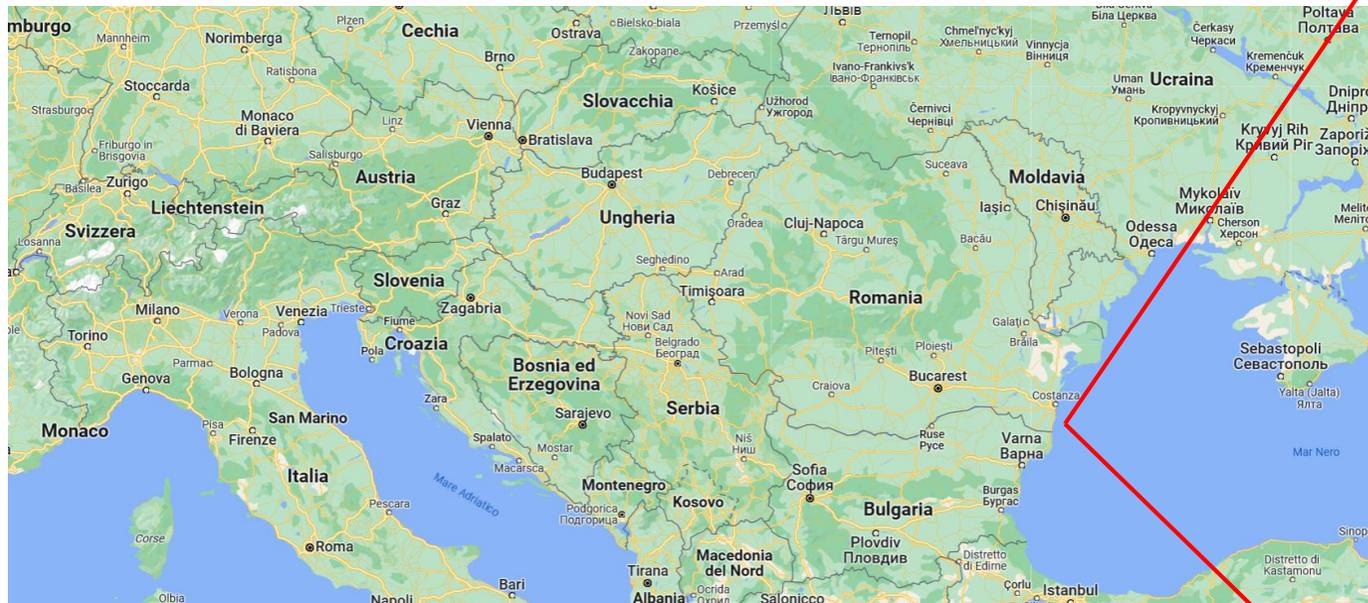
•Vita nelle grotte sulfuree

Le grotte sulfuree sono ambienti sotterranei nei quali stagnano acque vulcaniche ricche in acido solfidrico e altri composti dello zolfo, e la cui atmosfera è ricca di gas quali anidride carbonica.

In tali ambienti è possibile trovare forme di vita microbiche chemiosintetiche che vivono in associazione a diversi tipi di macrofauna.

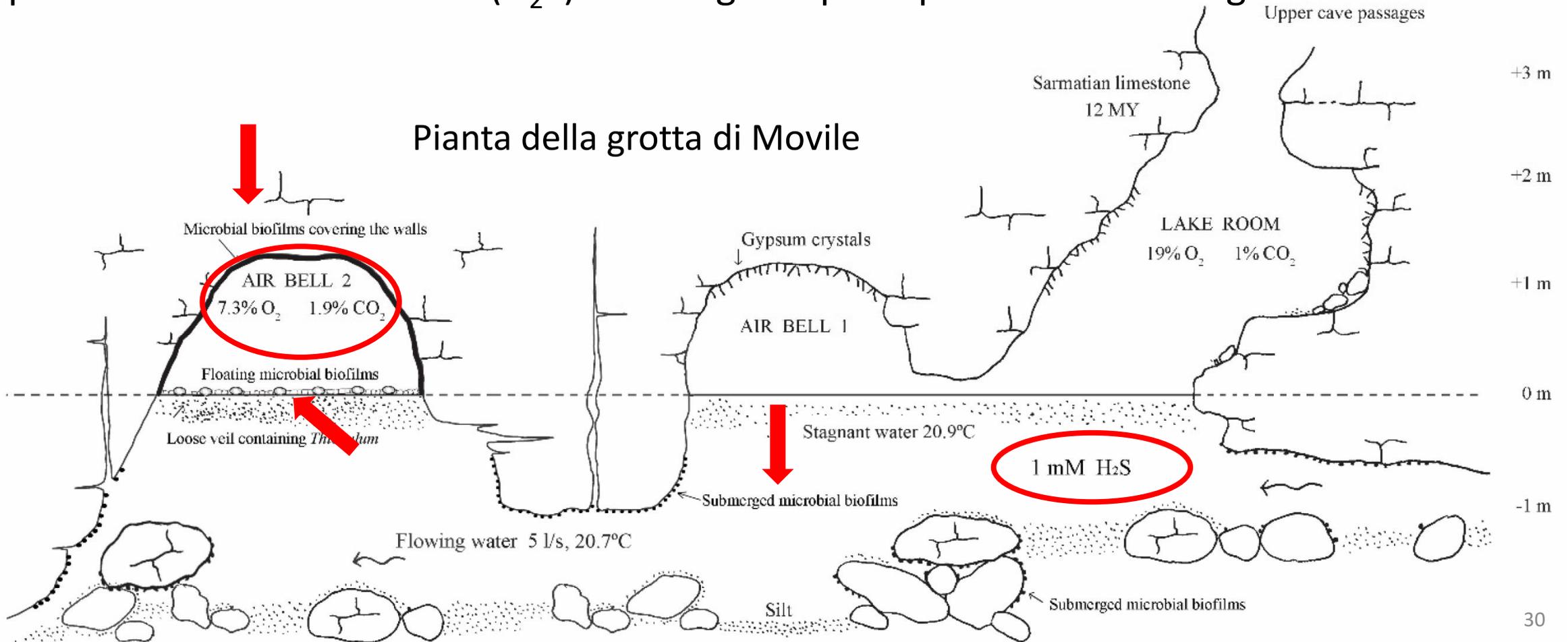
Due esempi molto interessanti sono rappresentati dalla grotta di Movile in Romania e dalla grotta di Villa Luz in Messico.

• Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Movile



•Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Movile

La grotta sulfurea di Movile presenta una ricca biodiversità microbica oltre che diverse specie macroscopiche che vivono in un ambiente caratterizzato da un pH acido e dalla presenza di acido solfidrico (H_2S) che funge da principale fonte di energia.



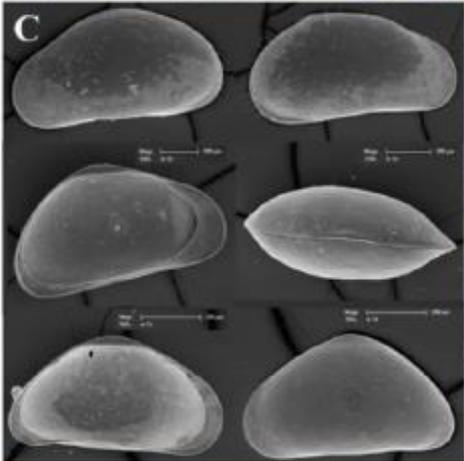
•Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Movile

Le specie microbiche che si trovano nella grotta di Movile sono presenti sia nelle acque (come batterioplancton e come biofilm galleggiante) che nelle rocce e includono vari tipi di microorganismi quali Archaea, solfobatteri, metanotrofi e batteri nitrificanti e denitrificanti.

Per quanto riguarda la macrofauna, anche essa è sia di tipo acquatico che terrestre e include diverse specie (ostracodi, gastropodi, et cetera)

•Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Movile

Esempi di macrofauna acquatica



A: sanguisuga (*Haemopsis caeca*)

B: crostacei (*Asellus aquaticus infernus*)

C: ostracodi (*Pseudocandona* sp. nov.)

D: scorpioni d'acqua (*Nepa anophthalma*)

E: gastropodi (*Heleobia dobrogica*)

•Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Movile

Esempi di macrofauna terrestre



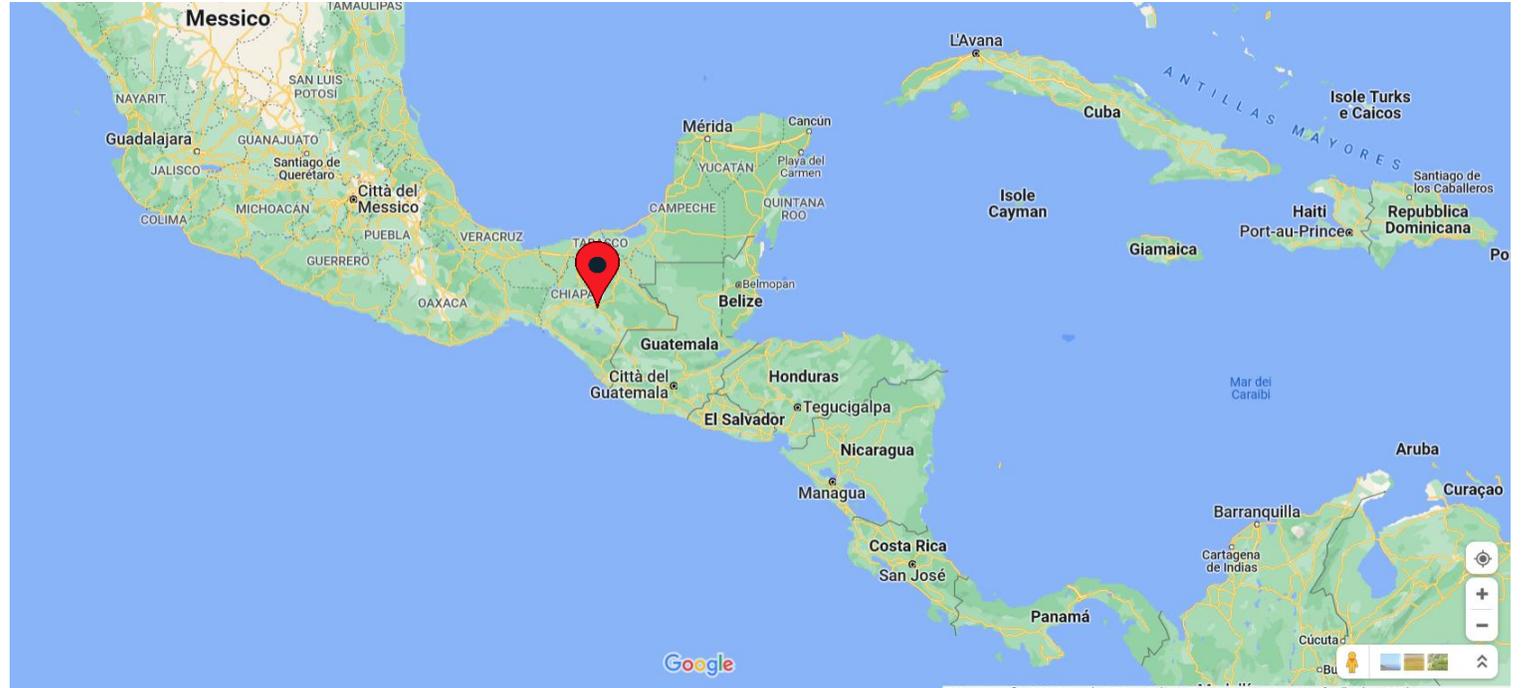
A: ragno (*Agraecina cristiani*)

B: chilopodi (*Cryptops speleorex*)

C: millepiedi (*Archiboreoiulus serbansarbui*)

D: isopodi (*Trachelis troglobius*)

- Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Villa Luz
(Chiapas, Messico)



Pianta della grotta di Villa Luz



•Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Villa Luz

La grotta di Villa Luz è caratterizzata dalla presenza di zolfo allo stato elementare all'interno delle pareti accompagnato da significative quantità di H_2S (300–500 mg L^{-1}) e basse concentrazioni di O_2 (<0.1 mg L^{-1})

Per quanto concerne l'atmosfera, essa è caratterizzata dalla presenza di H_2S in concentrazioni variabili ma comunque tossiche nella maggior parte dei casi.

All'interno della grotta è tuttavia presente una variegata comunità biologica che utilizza le acque ricche di minerali per la propria vita.

•Vita nelle grotte sulfuree: grotta di Villa Luz

Principali famiglie di proteobatteri e Firmicutes presenti nella grotta di Villa Luz

