

corso di
ASTROBIOLOGIA
lezione 6

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

AMBIENTI TERRESTRI ESTREMI

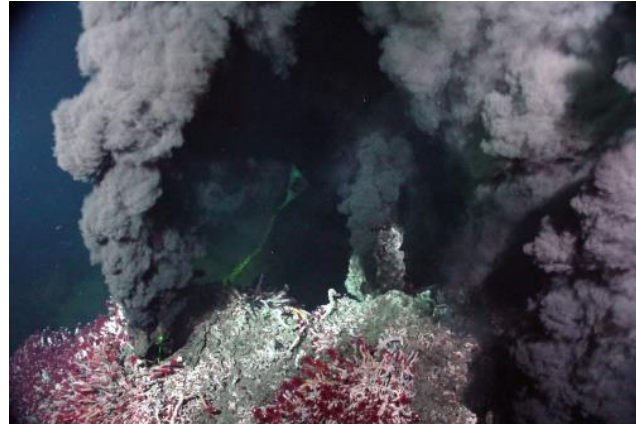
ARGOMENTI

- Gli ambienti estremi ed i loro abitanti
- Black smokers
- Regioni idrotermali subacquee

- **Gli ambienti terrestri estremi**



Sorgenti idrotermali



**Fumarole nere
(black smokers)**



Laghi salati



Vulcani

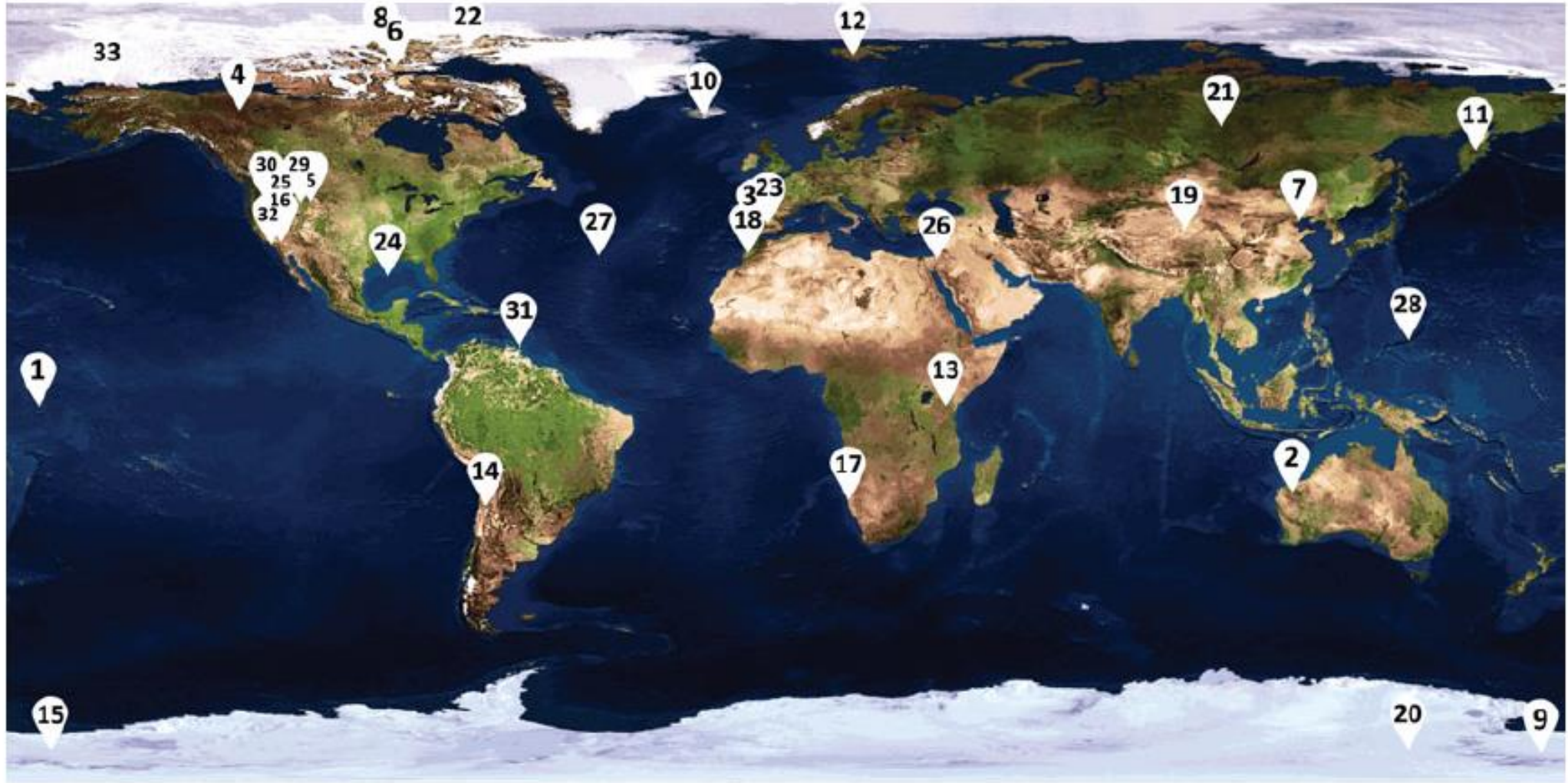


Deserti



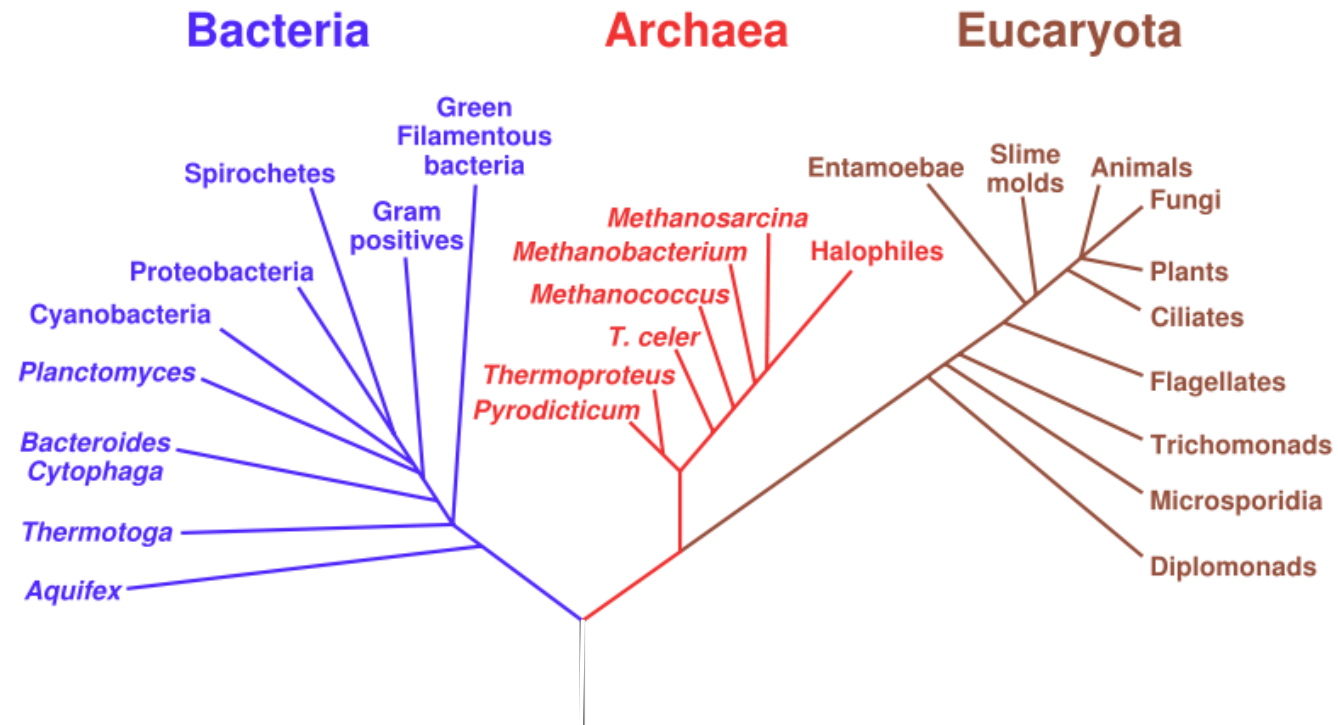
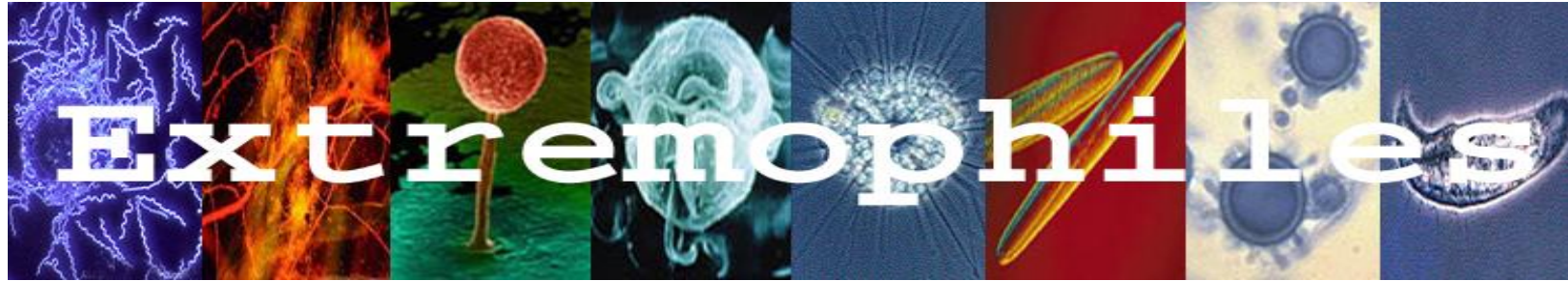
Ghiacciai

- Gli ambienti terrestri estremi



Mappa di siti estremi analoghi di altri corpi celesti. Il sito 1 rappresenta uno strato dell'atmosfera analogo di Venere.

- Gli abitanti degli ambienti estremi



- Gli abitanti degli ambienti estremi: gli estremofili

Parametro	Tipologia	Range
Temperatura	Ipertermofili	$T > 80^{\circ}\text{C}$
	Termofili	$60^{\circ}\text{C} < T < 80^{\circ}\text{C}$
	Psicrofili	$T < 15^{\circ}\text{C}$
pH	Acidofili	$\text{pH} < 3$
	Alcalofili	$\text{pH} > 9$
Concentrazione salina	Alofili	2 – 5 M NaCl
O_2	Anaerobi	Assenza di ossigeno
	Microanaerobi	Tollerano la presenza di ossigeno
Acqua	Xerofili	$a_w < 0.8$
Pressione	Barofili o piezofili	130 MPa
Radiazioni	Radioresistenti	Raggi X, raggi γ , raggi UV

- Gli estremofili ed i concetti di vita e di abitabilità

Come già detto all'inizio del corso, uno dei principali obiettivi dell'astrobiologia è formulare una definizione chiara, onnicomprensiva e condivisa, di ciò che riteniamo essere vita.

La conoscenza della diversità ambientale e dei limiti della vita sulla Terra è fondamentale per la definizione di vita soprattutto in relazione alla ricerca della vita al di fuori del nostro pianeta.

Gli estremofili sono organismi terrestri che vivono ai limiti della vita (da un punto di vista antropocentrico): studiare loro e gli ambienti in cui essi vivono è utile per circoscrivere ed ipotizzare gli ambienti extraterrestri in cui si possa ipotizzare la presenza di forme di vita.

- Gli estremofili ed i concetti di vita e di abitabilità

La ricerca della vita al di fuori della Terra è focalizzata su quei corpi celesti le cui caratteristiche ambientali rendano possibile la vita, passata o presente, ovvero che siano potenzialmente abitabili.

L'identificazione di ambienti abitabili dipende strettamente da cosa è considerato "vita," la cui definizione non è del tutto chiara e definitiva.

Molto di ciò che sappiamo circa i limiti della vita e l'abitabilità degli ambienti deriva dallo studio degli estremofili.

- Gli estremofili ed i concetti di vita e di abitabilità

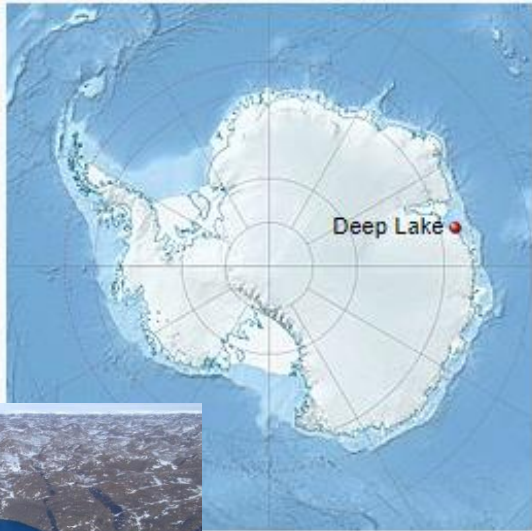
Le informazioni sugli estremofili, in particolare quelli microbici, e sui limiti della vita sulla Terra sono importanti per comprendere la comparsa e l'evoluzione della vita nella storia primordiale del nostro pianeta

Essi hanno una grande importanza in ambito astrobiologico, in quanto utili per valutare l'abitabilità degli ambienti extraterrestri e, quindi, la possibilità di vita oltre la Terra.

Attualmente i corpi planetari più promettenti per quanto concerne la ricerca della vita sono tutti ambienti caratterizzati da condizioni estreme come ad esempio Marte o le lune ghiacciate Encelado, Europa o Titano.

- **Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti**

Deep Lake, Antartide



- Salinità 10 volte maggiore di quella degli oceani, paragonabile al Mar Morto
- L'elevata salinità consente al lago di restare allo stato liquido anche quando la sua acqua raggiunge la temperatura di -20°C.

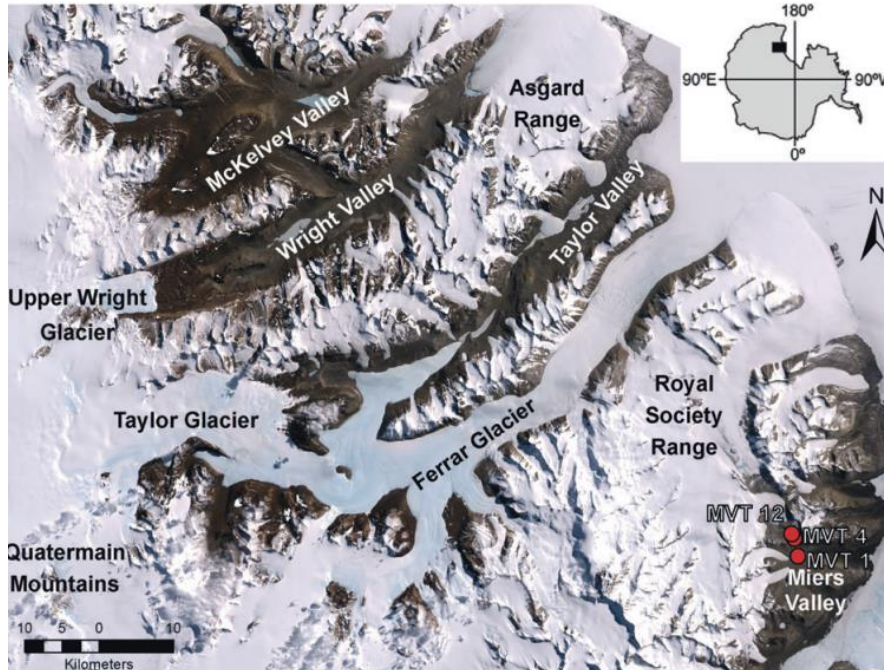
MARTE



- Temperatura: da -140 °C a -20 °C
- pH $\approx$ 7.2
- Atmosfera composta da CO₂
- Salinità molto simile a quella dei laghi salati sulla Terra
- Assenza di acqua allo stato liquido
- Alta incidenza di radiazioni

- Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti

Dry Valleys, Antartide



- Ambienti freddi ed aridi
- Suolo e permafrost con caratteristiche simili a quelle del suolo marziano

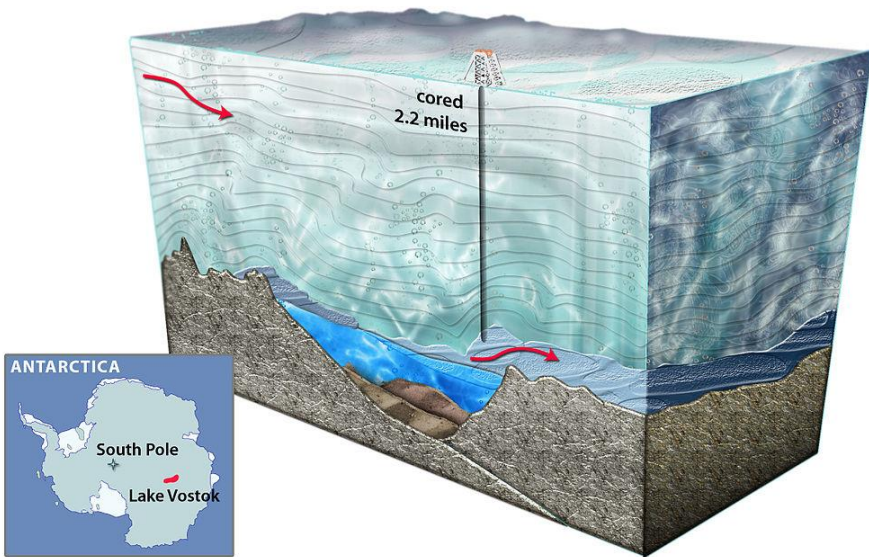
MARTE



- Temperatura: da -140 °C a -20 °C
- pH $\approx$ 7.2
- Atmosfera composta da CO₂
- Salinità molto simile a quella dei laghi salati sulla Terra
- Assenza di acqua allo stato liquido
- Alta incidenza di radiazioni

- Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti

Lago Vostok, Antartide



- Un lago al di sotto della superficie del pianeta

MARTE



'Spirit of St. Louis Crater'

- Temperatura: da -140°C a -20°C
- $\text{pH} \approx 7.2$
- Atmosfera composta da CO_2
- Salinità molto simile a quella dei laghi salati sulla Terra
- Assenza di acqua allo stato liquido
- Alta incidenza di radiazioni

- **Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti**

Rio Tinto, Spagna



- **Ambiente estremamente acido**
- **Alta concentrazione di ferro e solfati**
- **Presenza di minerali quali gesso, jarosite, goethite ed ematiti, tutti materiali che sono stati identificati in diverse regioni di Marte**

MARTE



'Spirit of St. Louis Crater'

- **Temperatura: da -140 °C a -20 °C**
- **pH $\approx$ 7.2**
- **Atmosfera composta da CO₂**
- **Salinità molto simile a quella dei laghi salati sulla Terra**
- **Assenza di acqua allo stato liquido**
- **Alta incidenza di radiazioni**

- **Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti**

Deserto di Atacama, Cile



- **Un'area estremamente desertica con alta incidenza di radiazioni solari**

MARTE



'Spirit of St. Louis Crater'

- **Temperatura: da -140 °C a -20 °C**
- **pH $\approx$ 7.2**
- **Atmosfera composta da CO₂**
- **Salinità molto simile a quella dei laghi salati sulla Terra**
- **Assenza di acqua allo stato liquido**
- **Alta incidenza di radiazioni**

- **Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti**

Columbia River, Nord America

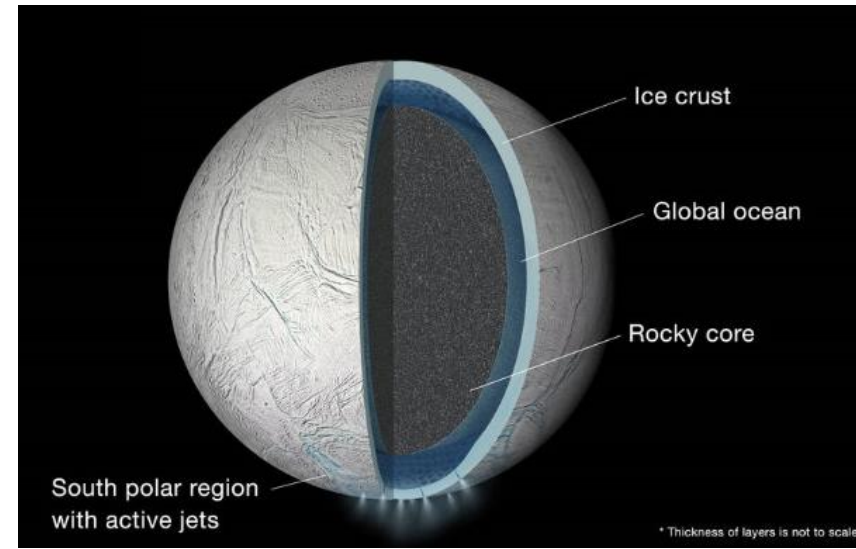


Idaho Falls, Idaho, U.S.A.



- Rocce vulcaniche che ospitano comunità batteriche in grado di vivere in assenza di luce ed ossigeno

ENCELADO: una delle lune di SATURNO



- Corpo celeste ricco di geyser
- Totale assenza di ossigeno e luce
- Evidenza di attività idrotermale
- Intensi gettiti di gas e particelle di ghiaccio eruttano in continuazione dalla regione polare meridionale contribuendo al gigantesco “pennacchio” del pianeta

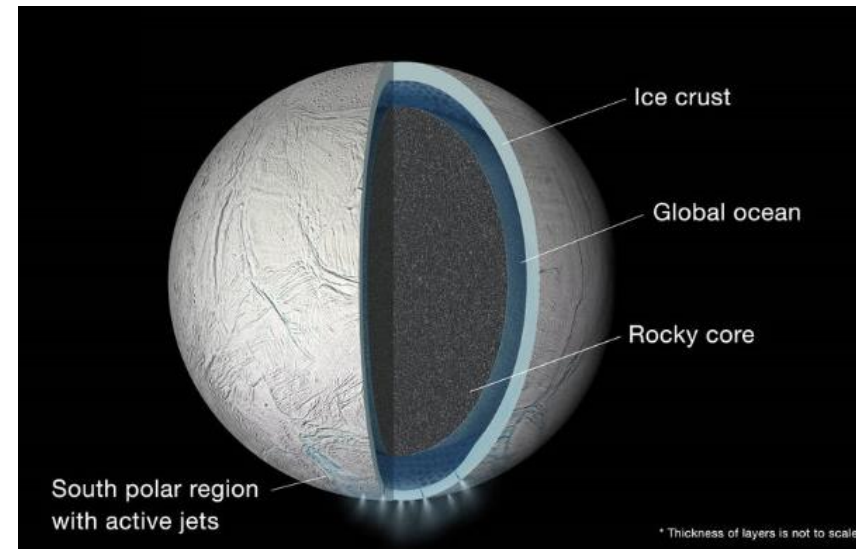
• Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti

Miniera Mponeng
Sud Africa



- Ecosistema in cui non c'è presenza di ossigeno, luce o composti organici ed in cui la sola fonte di energia è rappresentata dal decadimento di elementi radioattivi
 - Il Dr. Duane Moser e il Dr. Li-Hung Lin hanno rinvenuto in tale ambiente una specie batterica denominata *Candidatus Desulforudis audaxviator*
- (Image courtesy of Dr. Li-Hung Lin)

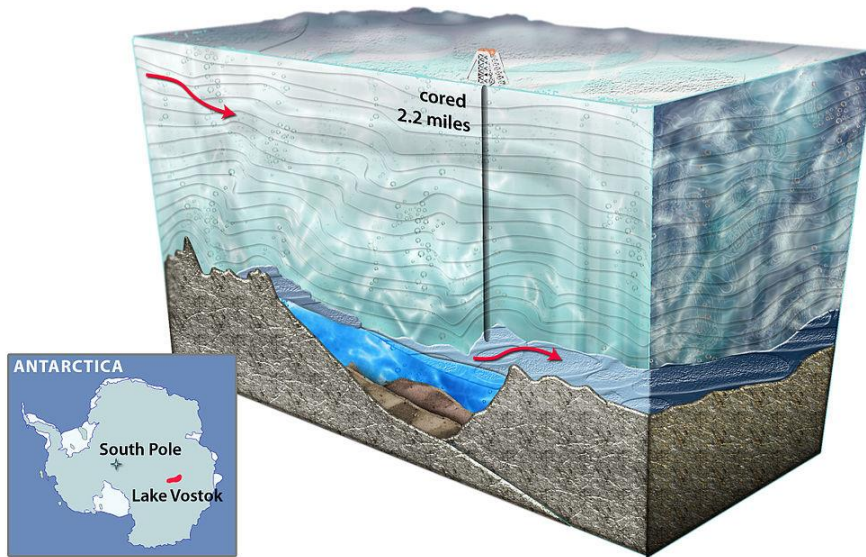
ENCELADO: una delle lune di SATURNO



- Corpo celeste ricco di geyser
- Totale assenza di ossigeno e luce
- Evidenza di attività idrotermale
- Intensi gettiti di gas e particelle di ghiaccio eruttano in continuazione dalla regione polare meridionale contribuendo al gigantesco "pennacchio" del pianeta

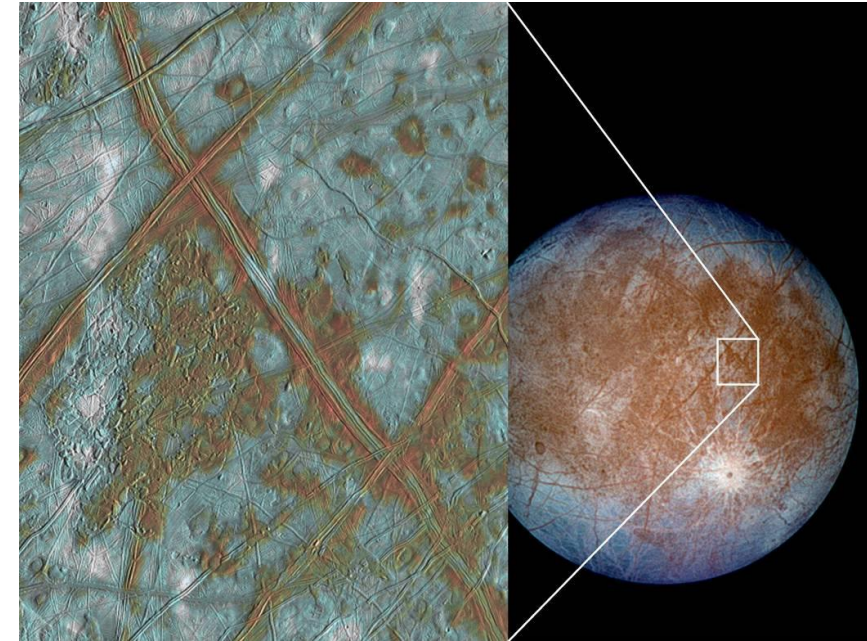
- Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti

Lake Vostok, Antarctica



- Un lago al di sotto della superficie del pianeta

EUROPA: una delle lune di GIOVE



- Temperatura $\approx -170\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Superficie completamente ricoperta dal ghiaccio
- La maggior fonte di energia è di origine atomica (elementi radioattivi), potenzialmente è l'elemento che potrebbe tenere l'acqua allo stato liquido
- Forse è ancora geologicamente attivo: il telescopio Hubble ha rivelato possibili emissioni vulcaniche di acqua nello spazio

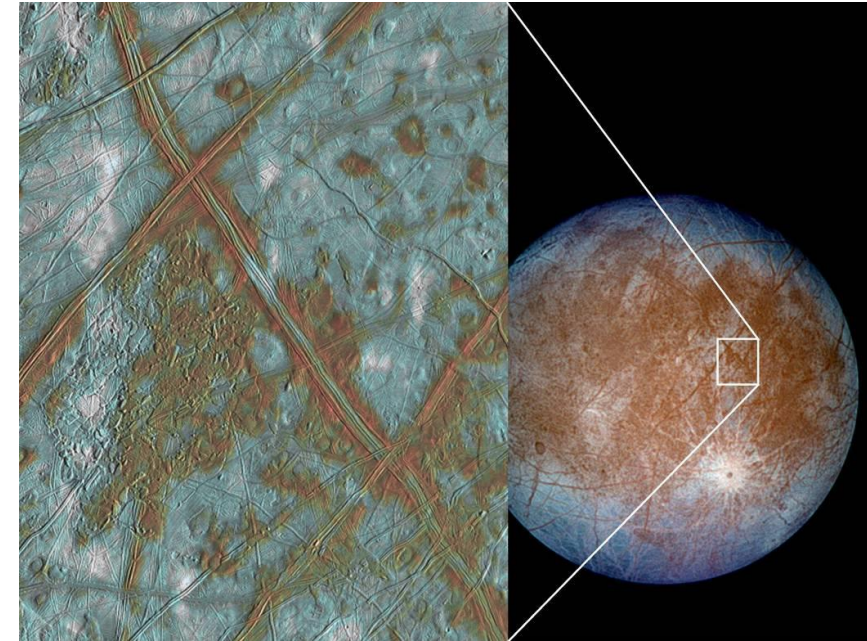
• Gli ambienti estremi e gli altri corpi celesti

Black smokers



- Camini vulcanici sul fondo del mare che eruttano ed emettono materiali a temperature al di sopra dei 400 °C
- Il colore nero dipende dalla composizione chimica dei camini stessi che sono composti da solfuri di ferro e calcio

EUROPA: una delle lune di GIOVE

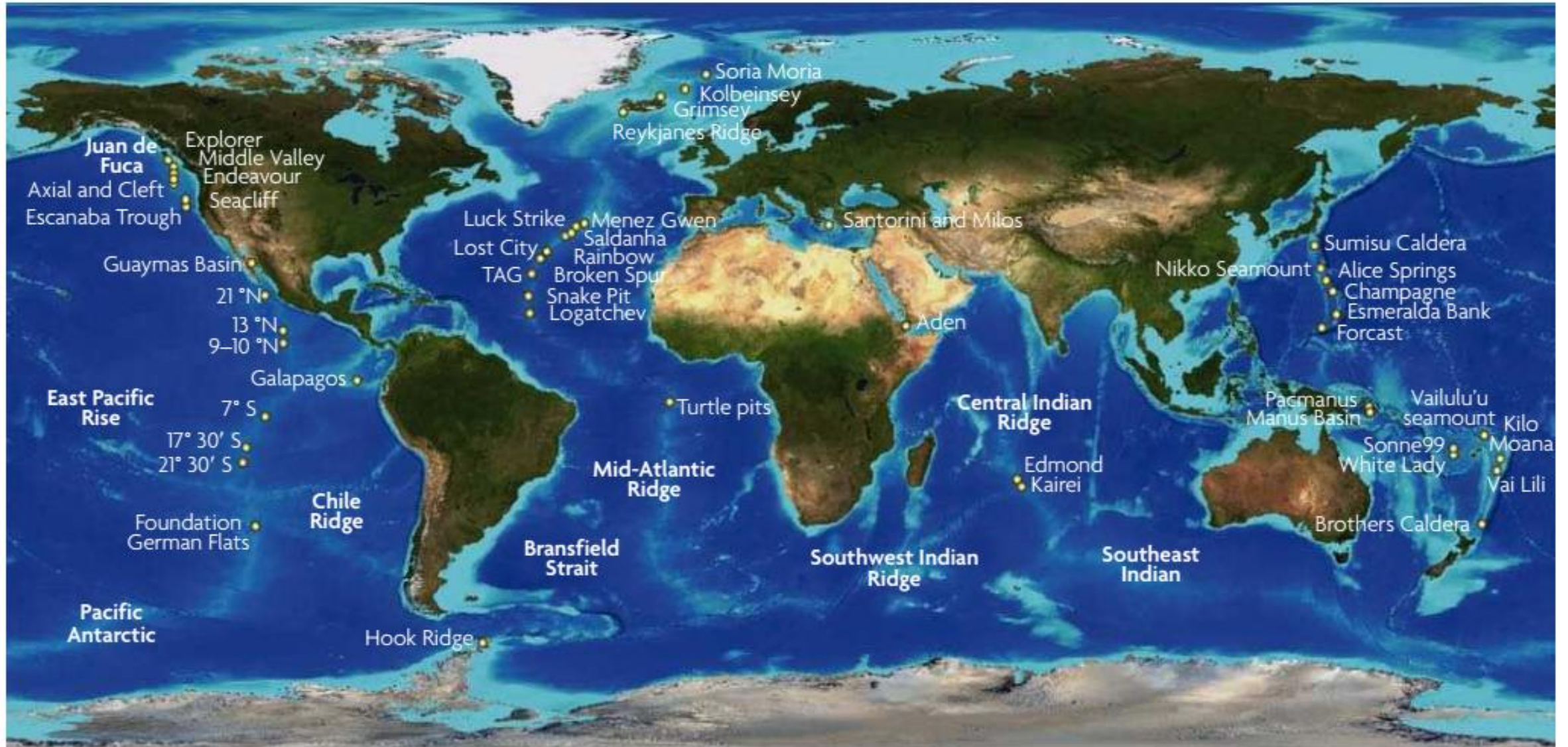


- Temperatura ≈ -170 °C
- Superficie completamente ricoperta dal ghiaccio
- La maggior fonte di energia è di origine atomica (elementi radioattivi), potenzialmente è l'elemento che potrebbe tenere l'acqua allo stato liquido
- Forse è ancora geologicamente attivo: il telescopio Hubble ha rivelato possibili emissioni vulcaniche di acqua nello spazio

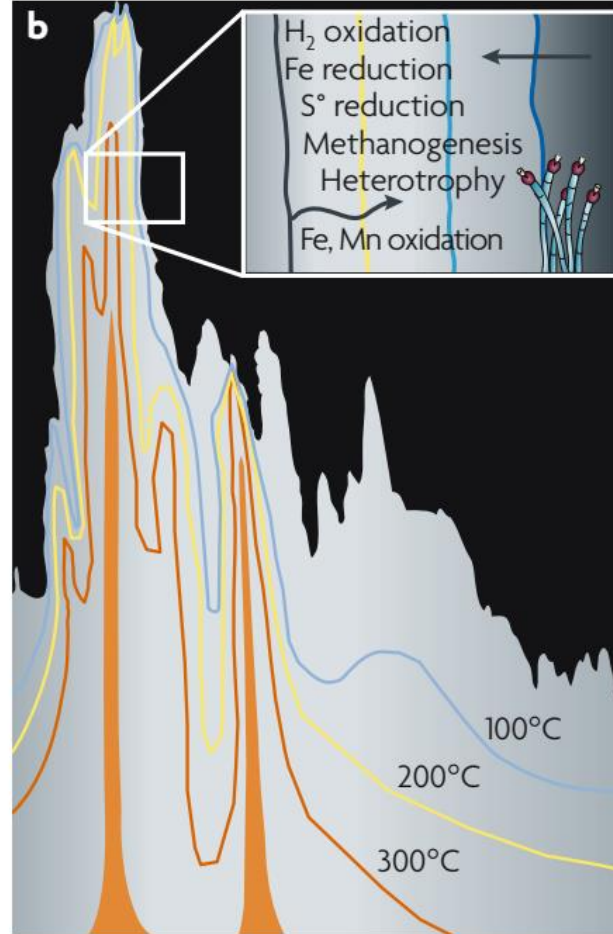
• Gli ambienti estremi e l'origine della vita

- Gli ambienti estremi terrestri sono ricchi di forme di vita sia microbiche (Archaea e Batteri) che macroscopiche (macrofauna)
- Tali ambienti oltre ad essere analoghi di altri pianeti o satelliti del Sistema Solare, sono per alcune caratteristiche, simili alla Terra primordiale.
- La vita sul nostro pianeta è emersa in ambienti estremi, da un punto di vista antropocentrico, ma che evidentemente hanno rappresentato un ambiente favorevole per la formazione dei building blocks della vita da cui, in seguito, si sono originate le macromolecole che hanno dato luogo alla formazione delle prime strutture cellulari.

- Le regioni idrotermali

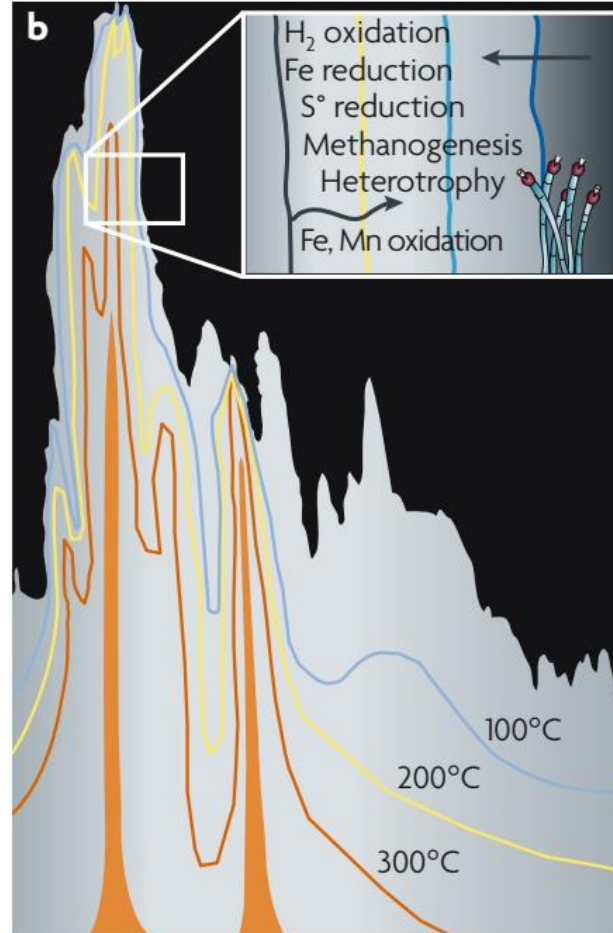


- Black smokers (fumarole nere)



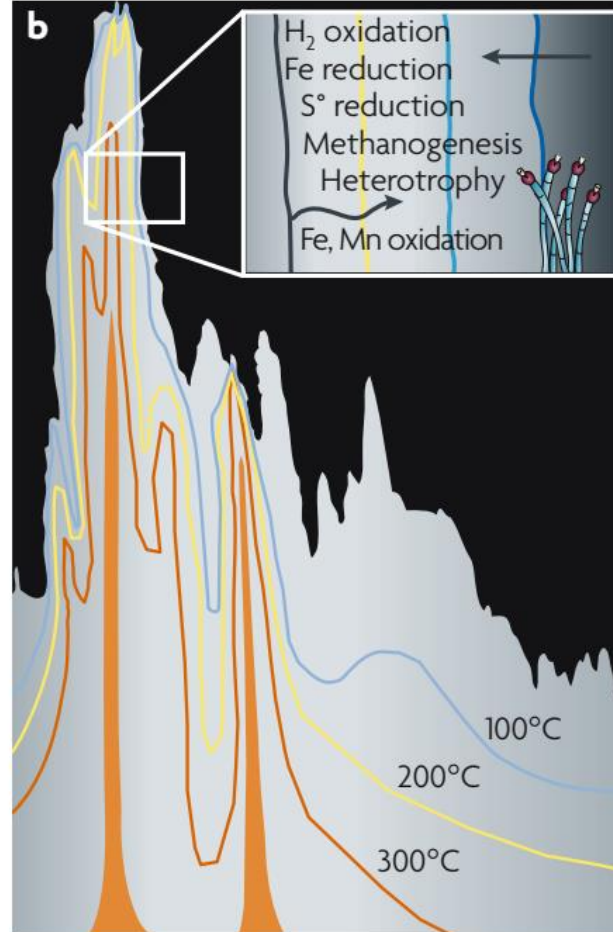
- Camini vulcanici che si trovano direttamente sopra le **camere magmatiche** a loro volta situate a 1-3 Km sotto il fondale marino
- emettono acqua di mare ad alta T (fino a 405°C) che poi grazie ai moti convettivi, può essere raffreddata fino a 2°C
- gli effluenti dei black smokers sono acidi (pH 2-3) e presentano una composizione chimica molto ricca che include metalli di transizione disciolti, come Fe(II) e Mn(II); CO₂ magmatica (4–215 mmol per kg), H₂S (3–110 mmol per kg), H₂ (0.1–50 mmol per kg), CH₄ (0.05–4.5 mmol per kg) formato sia per via biotica che abiotica.

- Black smokers (fumarole nere)



- Ambienti estremi ma ricchi di forme di vita sia microbiche (Archaea e Batteri) che macroscopiche (macrofauna), di cui solo alcune necessitano di ossigeno per le proprie funzioni.
- I gas ed i metalli disciolti nei fluidi emessi dai black smokers supportano lo sviluppo delle forme di vita microbiche che, a loro volta, rappresentano la base della catena alimentare delle altre forme di vita che si sviluppano attorno a tali formazioni.

- Black smokers (fumarole nere)



- Le forme di vita microbiche sono principalmente microorganismi ipertermofili: la maggior parte di essi sono dotati di grande motilità, ma sono anche in grado di aderire sia su superfici di natura biotica che abiotica.
- Gli ipertermofili presenti in tali siti sono in grado di sopravvivere per lungo tempo anche a basse temperature e di riprendere le proprie attività metaboliche in tempi brevi quando riportati nelle loro condizioni ottimali di T.

- **Black smokers (fumarole nere)**

La vita intorno ai black smokers ed agli sfiatatoi vulcanici in generale, è molto ricca in quanto comprende sia microbi che macrofauna (Policheti, Molluschi, Crostacei) che vivono spesso in simbiosi.

Tali forme di vita possono diffondersi verso altri sfiatatoi, grazie al movimento dell'acqua calda in risalita e delle correnti oceaniche: in tal modo ad esempio le larve dei molluschi trasportate lontano possono trovare altre bocche idrotermali possedendo già il loro corredo batterico.

La macrofauna insediata nei pressi degli sfiatatoi sottomarini non può allontanarsi molto dal luogo di nascita in quanto dipende dalla disponibilità e dal tipo di batteri per la propria sopravvivenza: per effetto di questa dipendenza, essa appare simile lungo una cresta di montagne vulcaniche, ma diversa tra una catena e un'altra.

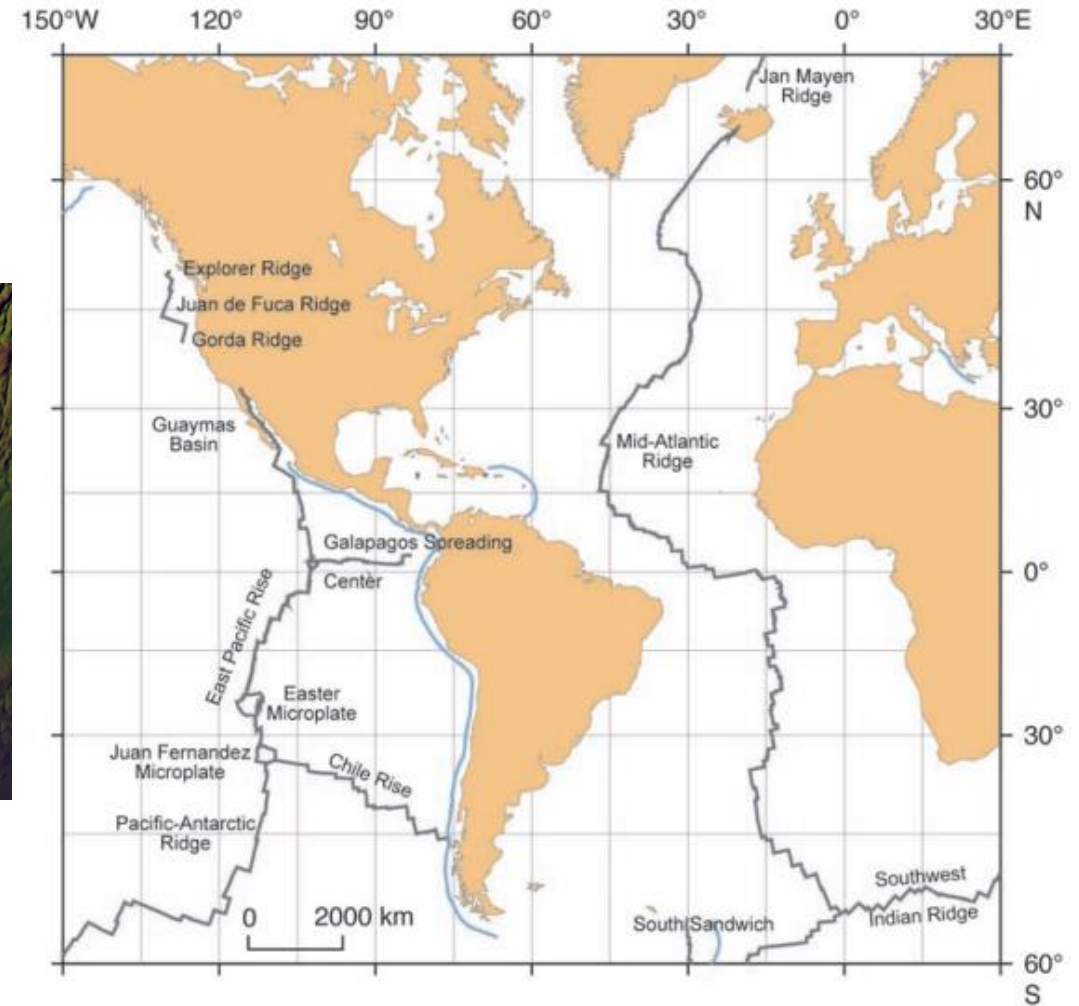
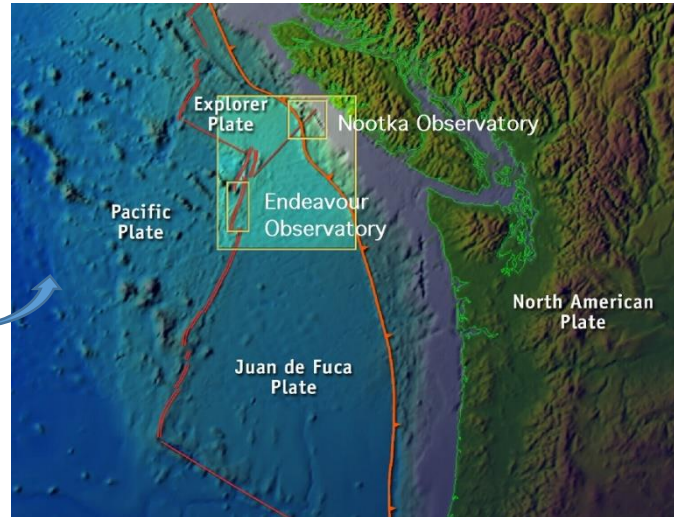
- **Black smokers (fumarole nere)**

Quando uno sfiatatoio si spegne, fatto che può avvenire in un intervallo da qualche decina a poche migliaia di anni, la fauna presente muore. Dove se ne apre un altro, per esempio lungo una dorsale vulcanica, esso può essere colonizzato in pochi anni da nuove larve che provengono dagli sfiatatoi vicini.

Lo studio delle forme di vita e della biochimica intorno agli sfiatatoi idrotermali sottomarini ha aperto la strada all'idea che non necessariamente la vita possa svilupparsi ed evolversi alla luce del Sole o sulla superficie dei pianeti.

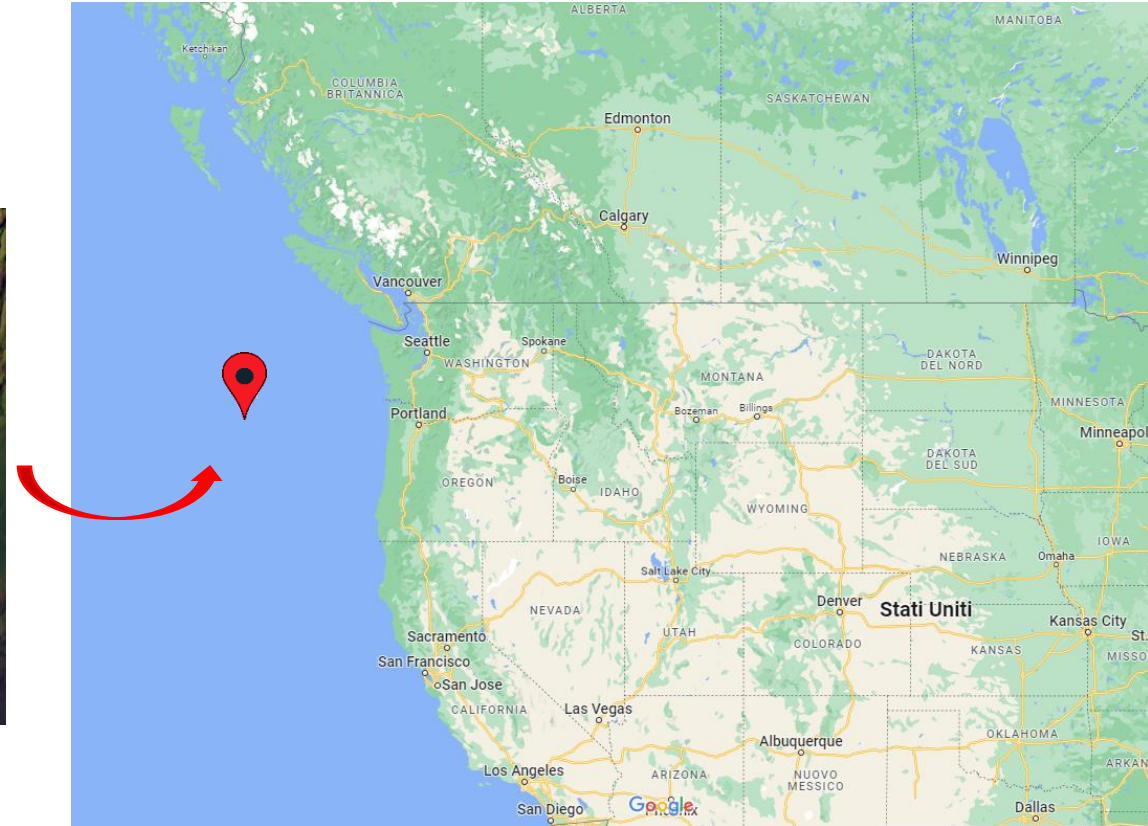
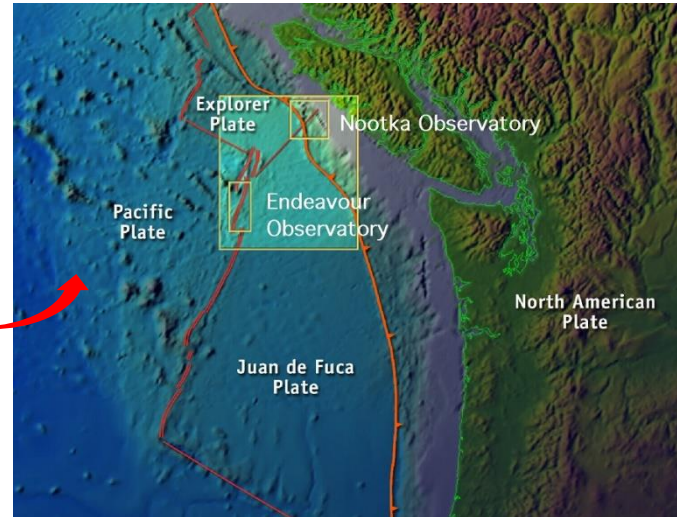
- Black smokers (fumarole nere)

Complesso delle Faulty Towers, regione idrotermale Mothra nell' Endeavour Segment, Juan de Fuca Ridge.



- Black smokers (fumarole nere)

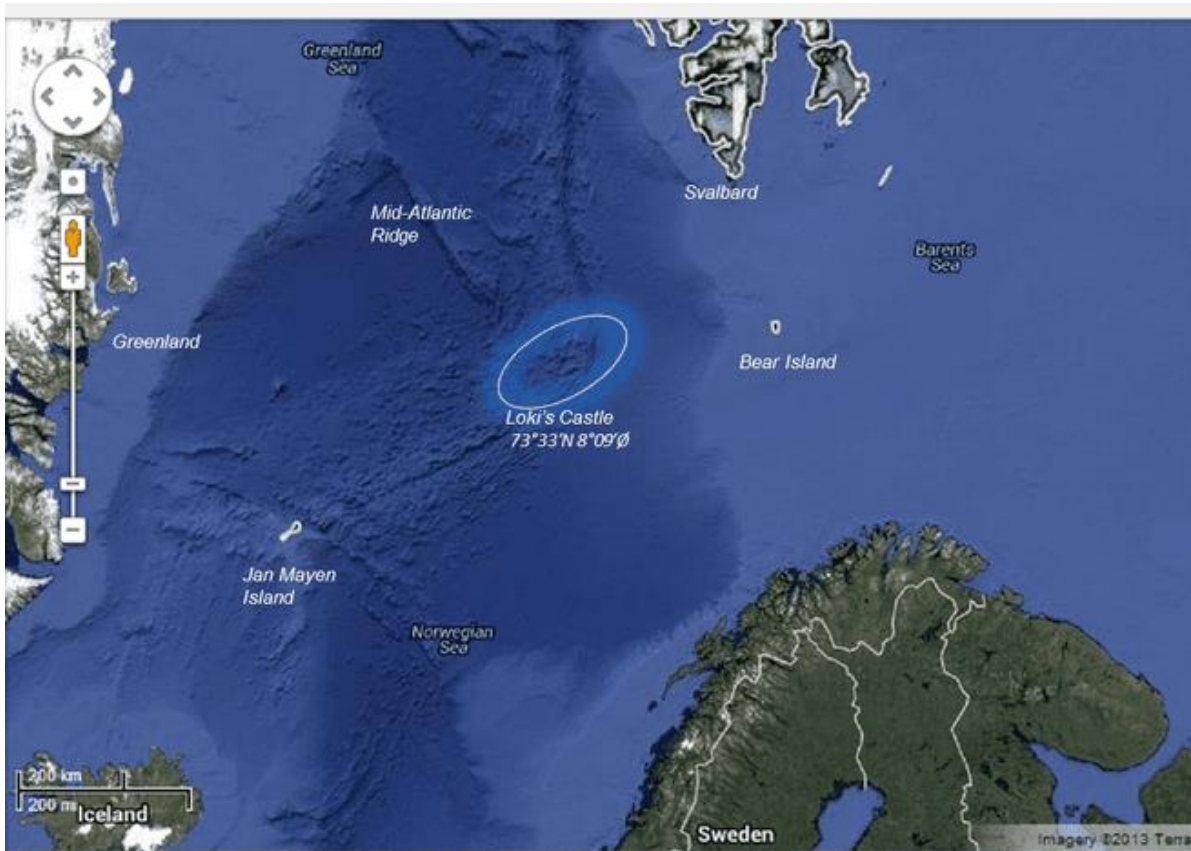
Complesso delle Faulty Towers, regione idrotermale Mothra nell' Endeavour Segment, Juan de Fuca Ridge.



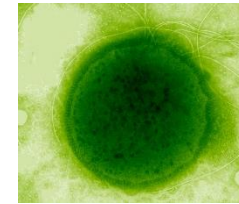
- Black smokers (fumarole nere)

Sito: Loki's Castle, tra Norvegia e Groenlandia

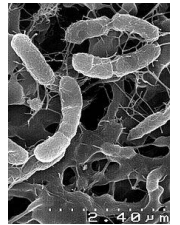
Forme di vita microbiche



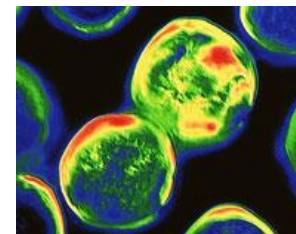
Epsilonproteobacteria
36.1%



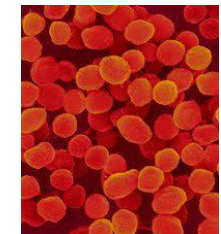
Thermococcus
28.4%



Aquificae
26.1%;



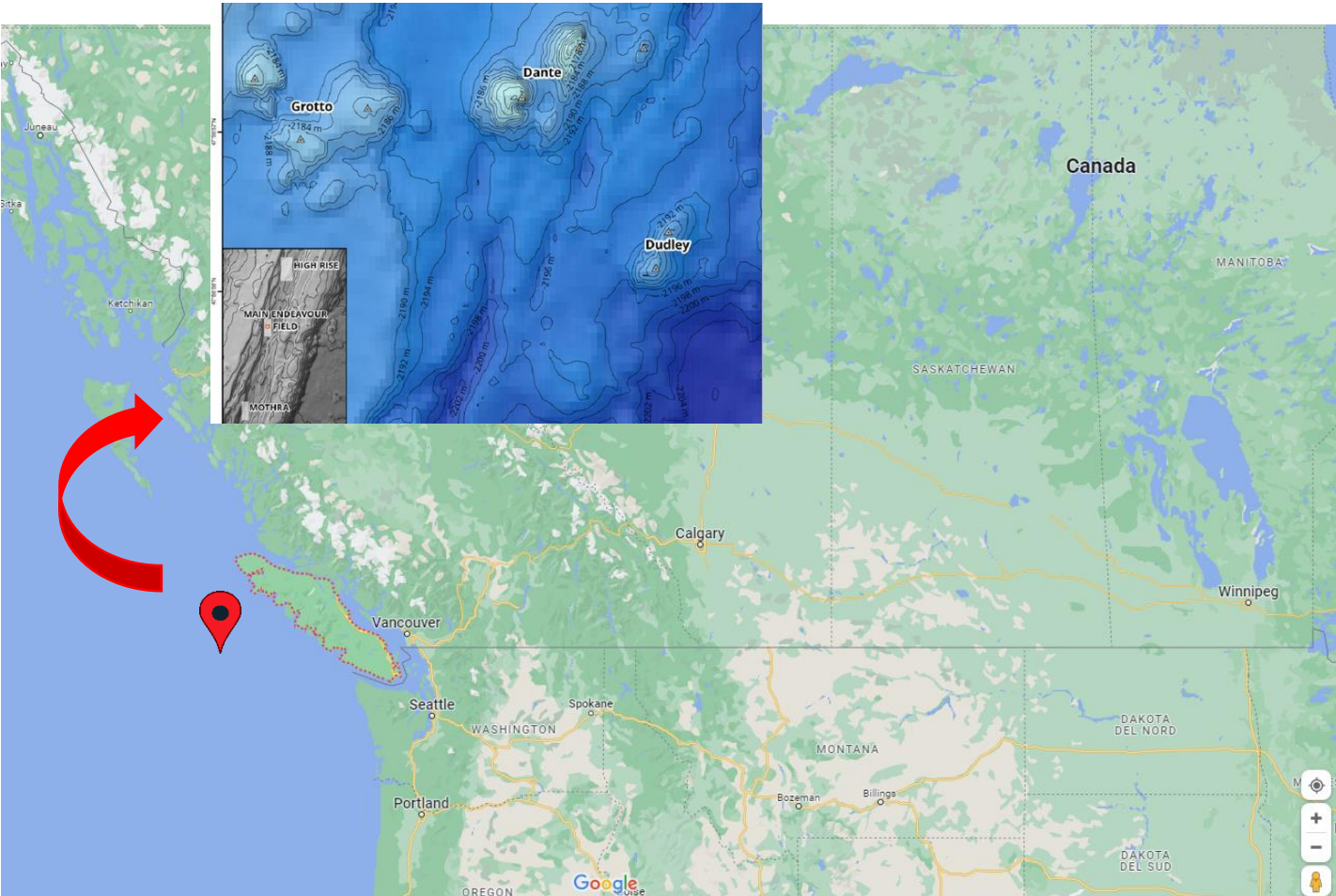
Methanococci
2.8%



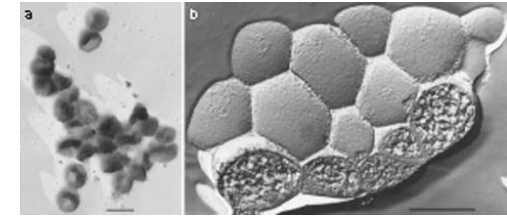
Archaeoglobi
1.8%

- Black smokers (fumarole nere)

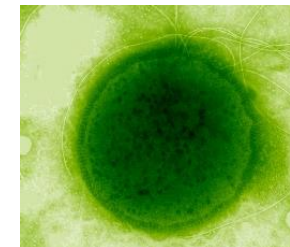
Sito: Dudley, Vancouver Island, Canada



Forme di vita microbiche



Desulfurococcales
50%



Thermococcales
20%

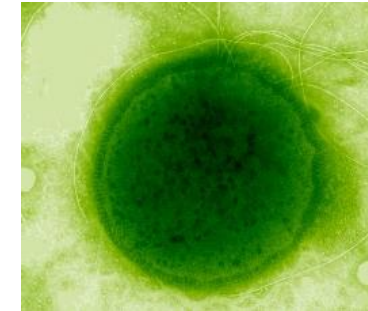
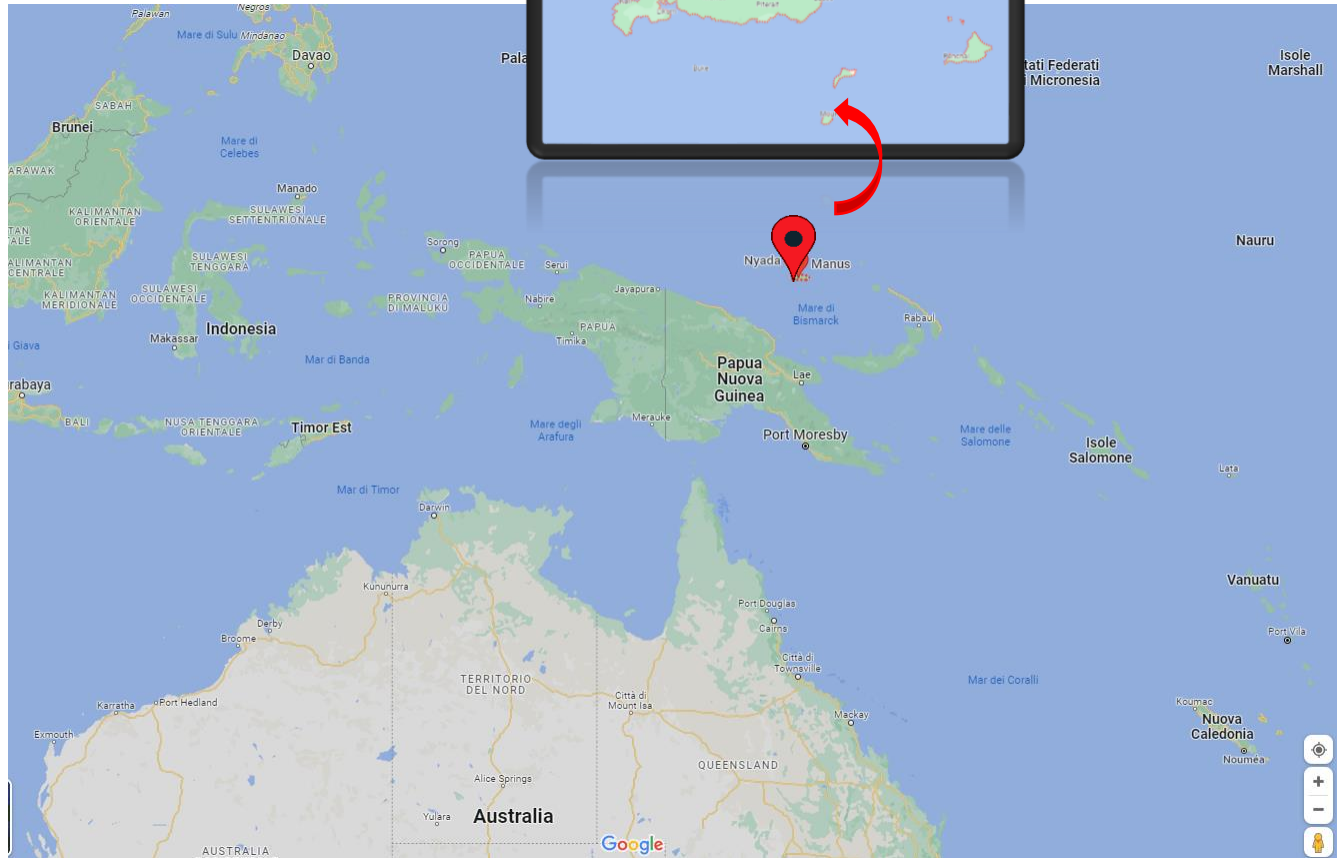


Desulfurococcales
20%

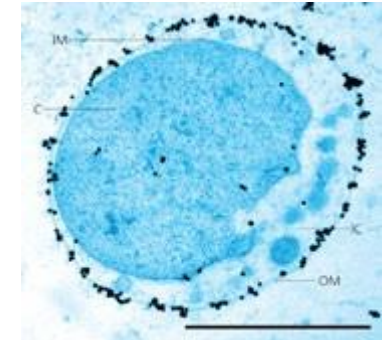
- Black smokers (fumarole nere)

Sito: PACMANUS (Bacino Manus, Papua New Guinea)

Forme di vita microbiche



Thermococcales

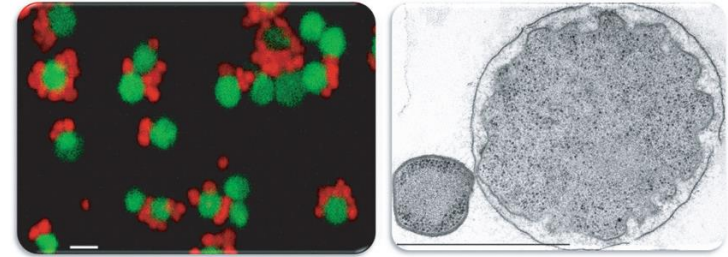


Igniobacillus

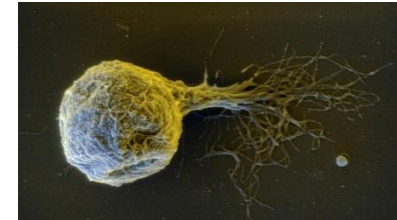
- Black smokers (fumarole nere)

Sito Bacino Guaymas

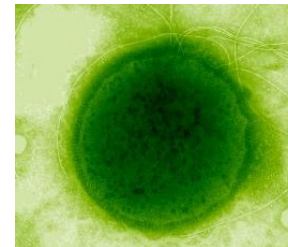
Forme di vita microbiche



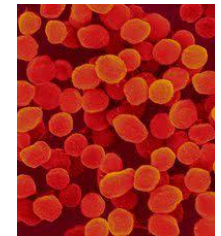
Igniococcus e Nanoarchaeota



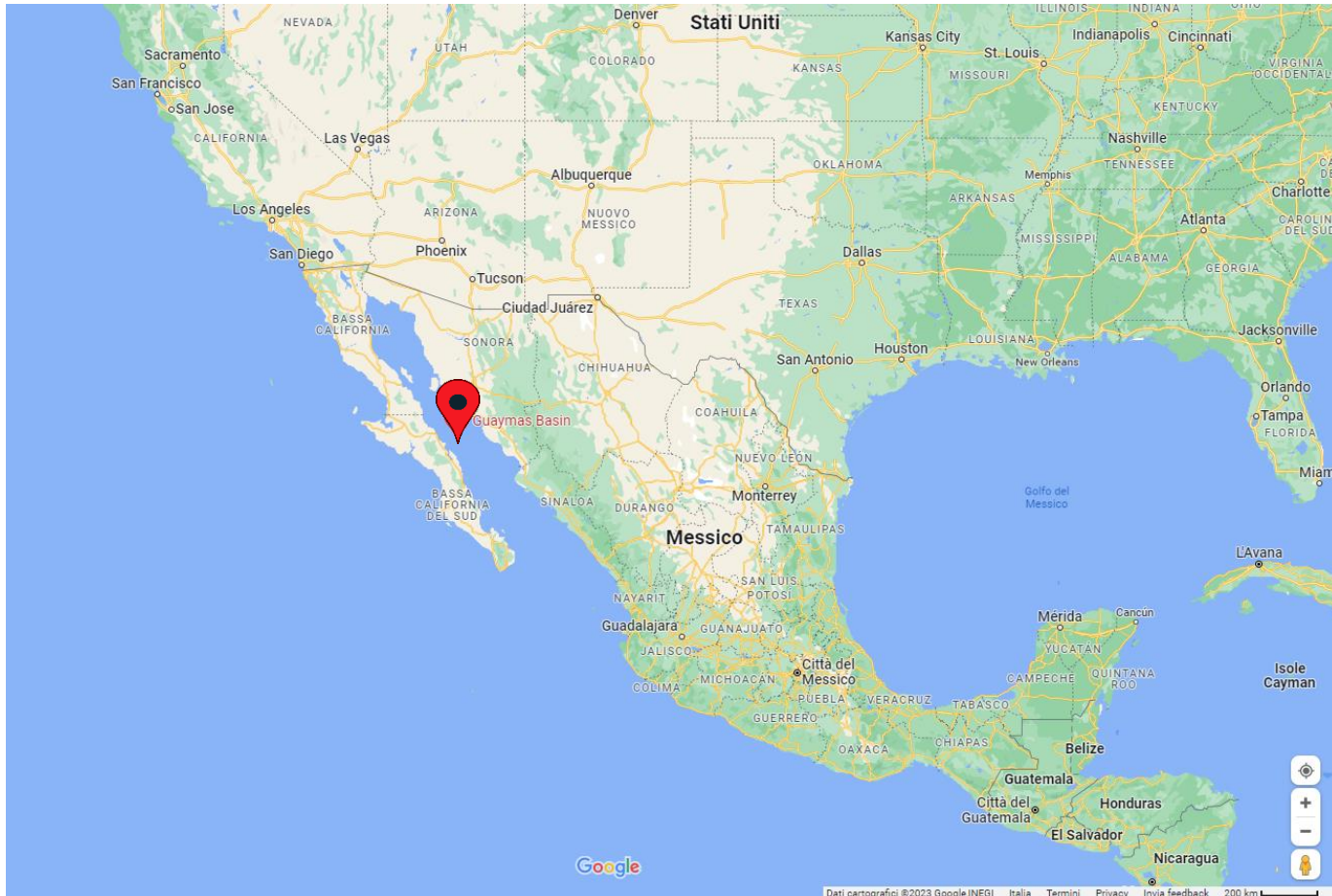
Methanocaldococcus



Thermococcales



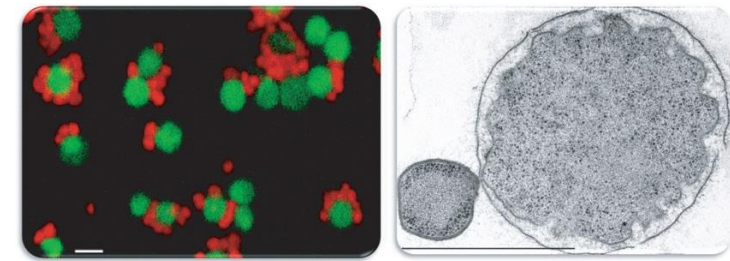
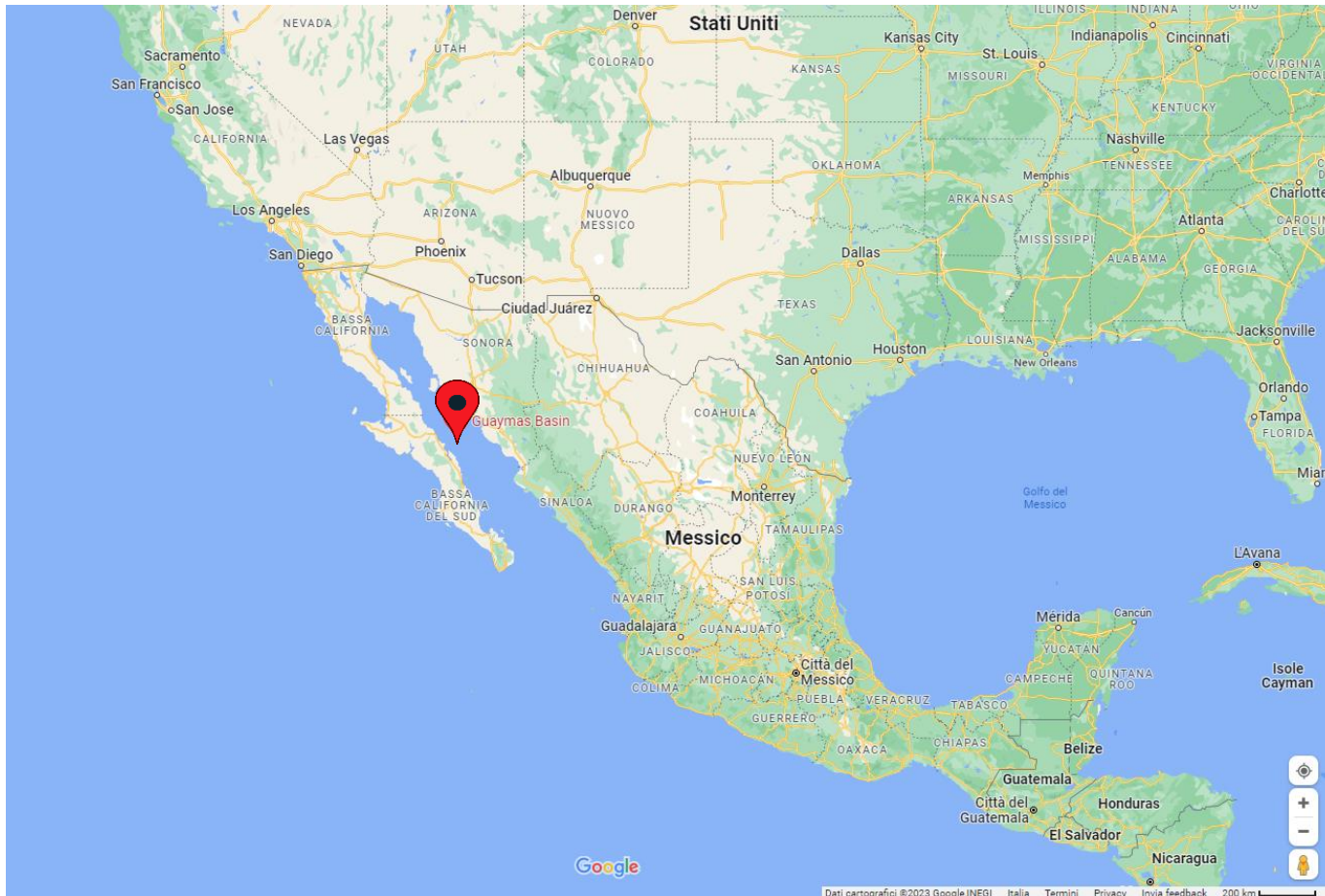
Archaeoglobales



- Black smokers (fumarole nere)

Sito Bacino Guaymas

Forme di vita microbiche

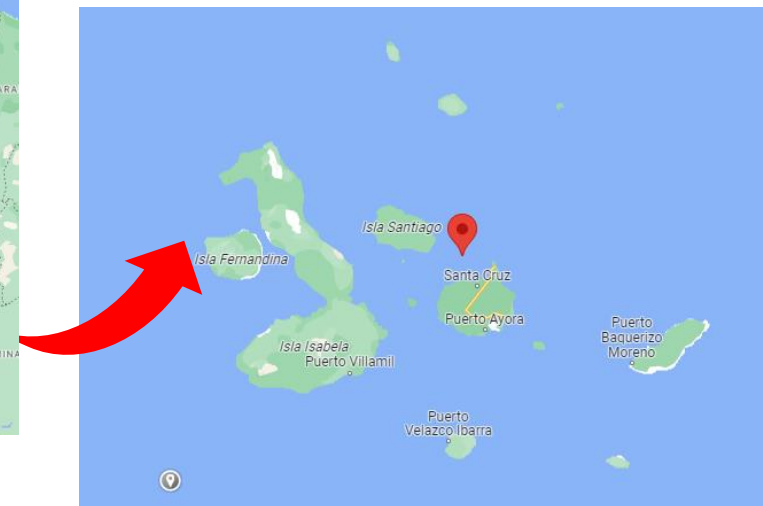
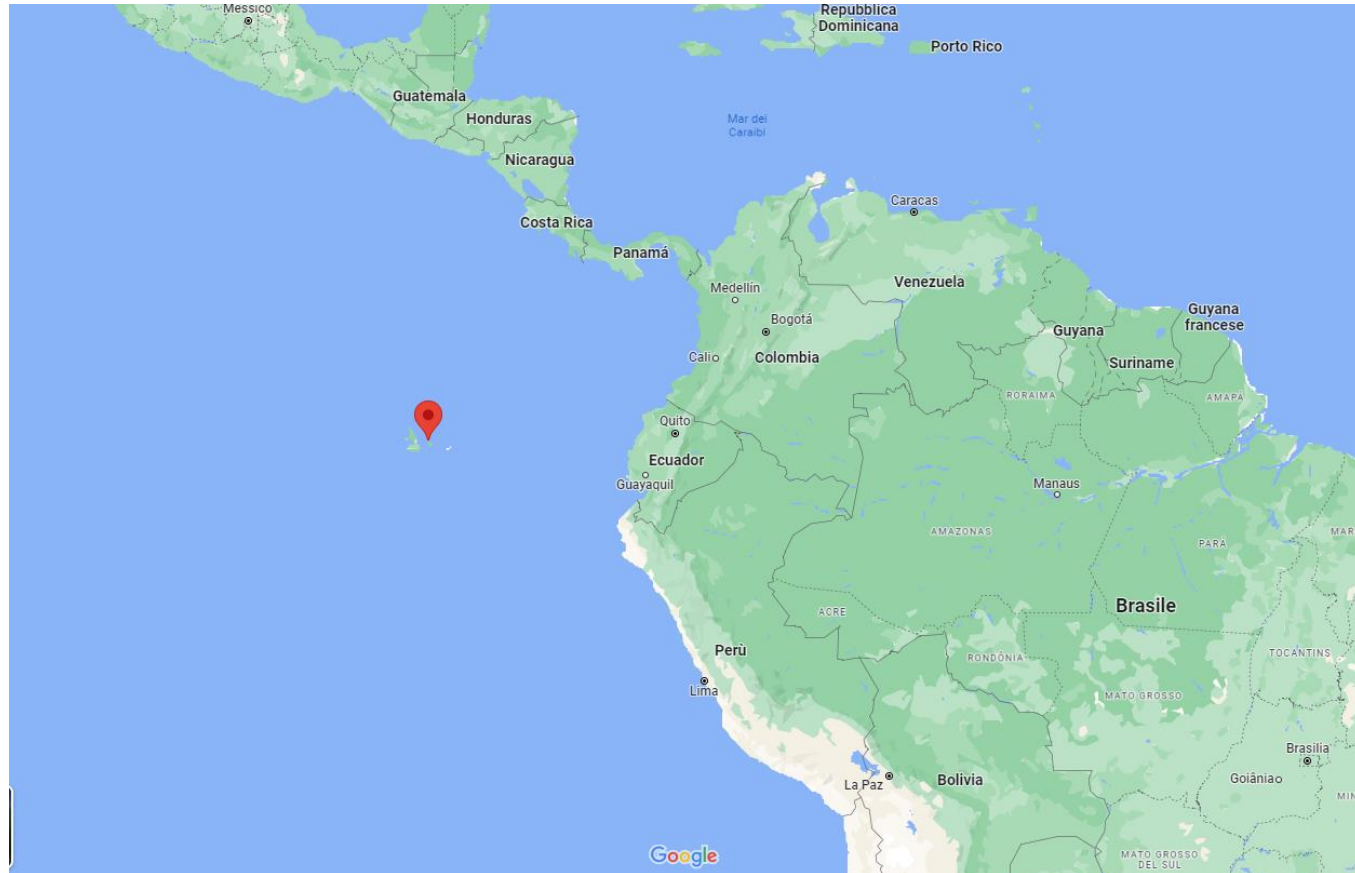


Igniococcus e Nanoarchaeota

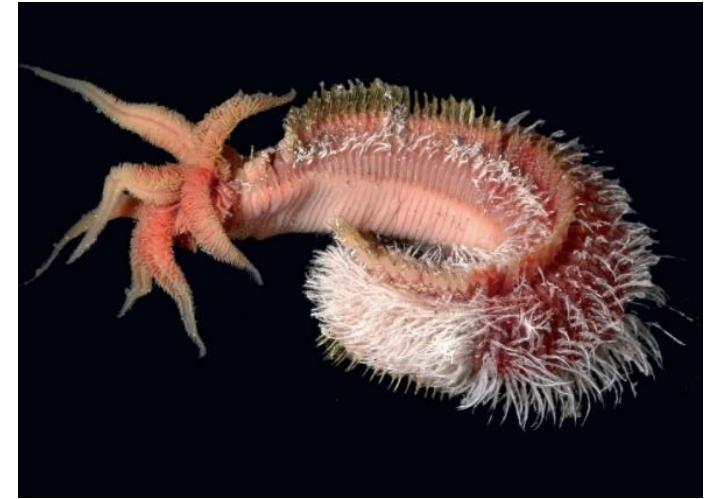
Il genere Nanoarchaeota costituisce un phylum degli Archaea descritto nel 2002, esso comprende microorganismi di dimensioni dell'ordine dei nanometri (400 nm) che vivono in simbiosi con altri Archaea ovvero Igniococcus

- Black smokers (fumarole nere)

Sito Isole Galapagos



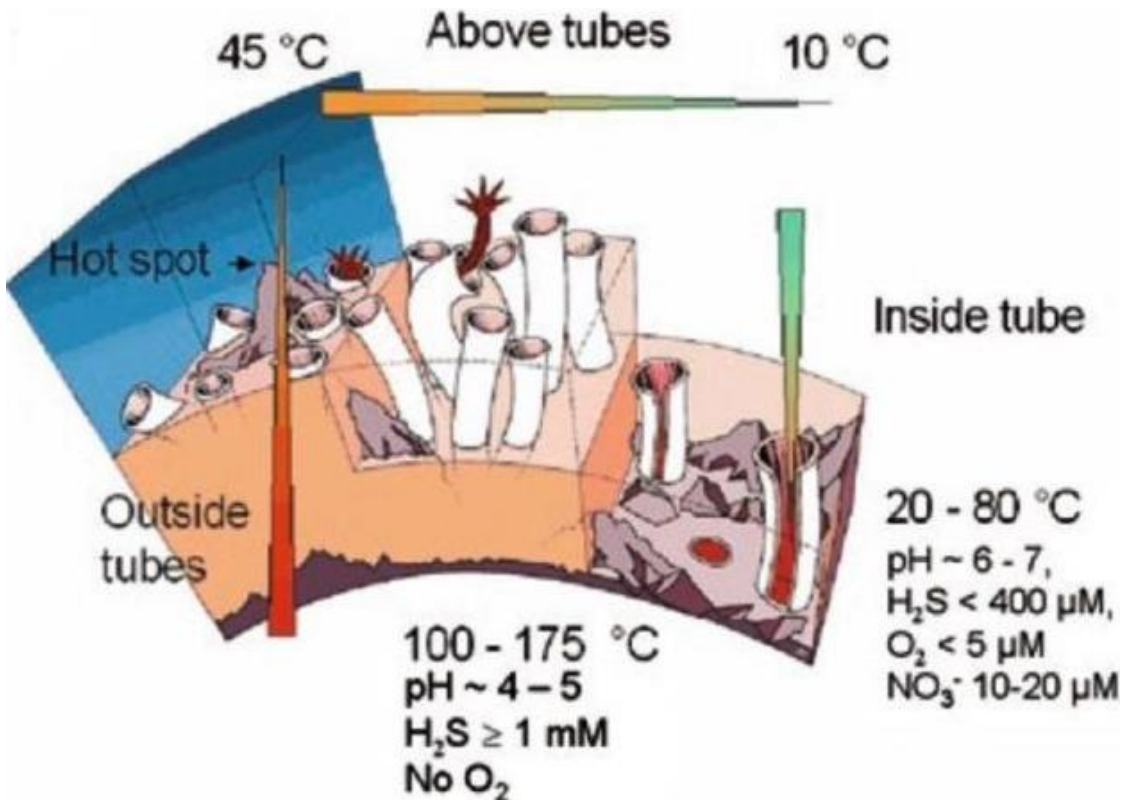
MACROFAUNA



Alvinella pompejana

- Black smokers (fumarole nere)

Sito Isole Galapagos



MACROFAUNA



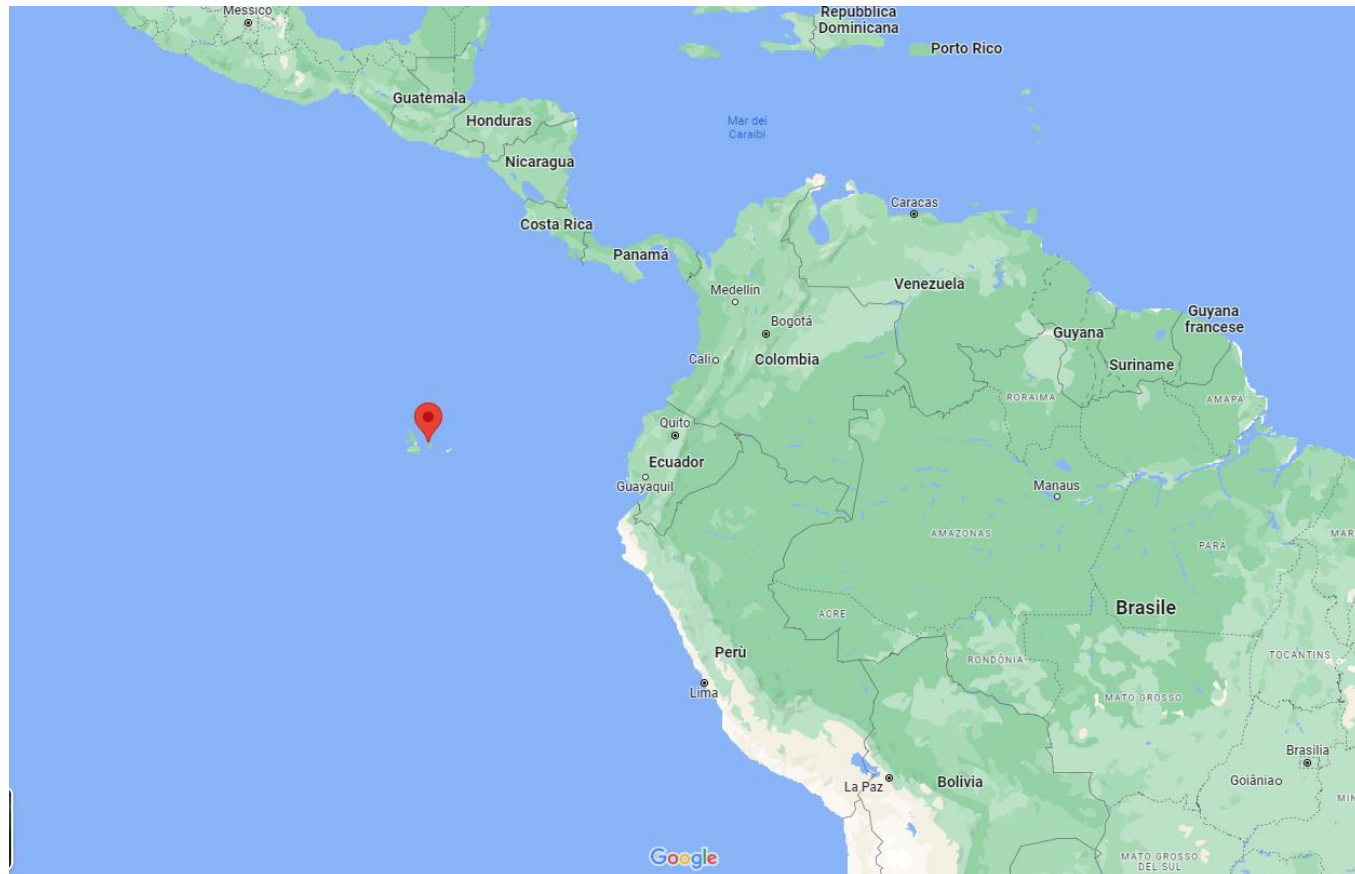
Alvinella pompejana

Scoperta nel 1979 sui fondali a largo delle isole Galapagos, è lunga circa 13 cm e chiomata con numerosissimi peduncoli; può resistere in acqua da 40 a 90 °C, la più alta temperatura sopportata da un animale.

Caratteristiche chimico-fisiche degli ambienti in cui è presente *Alvinella pompejana*

- Black smokers (fumarole nere)

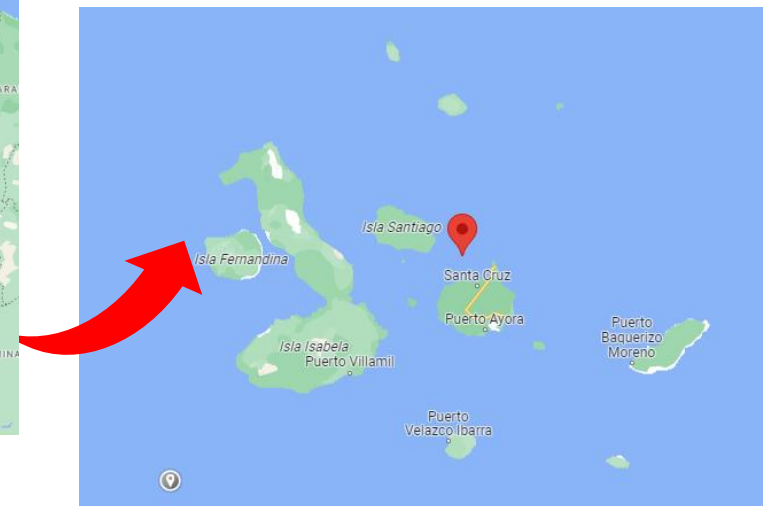
Sito Isole Galapagos



MACROFAUNA



Riftia pachyptila



- Black smokers (fumarole nere)

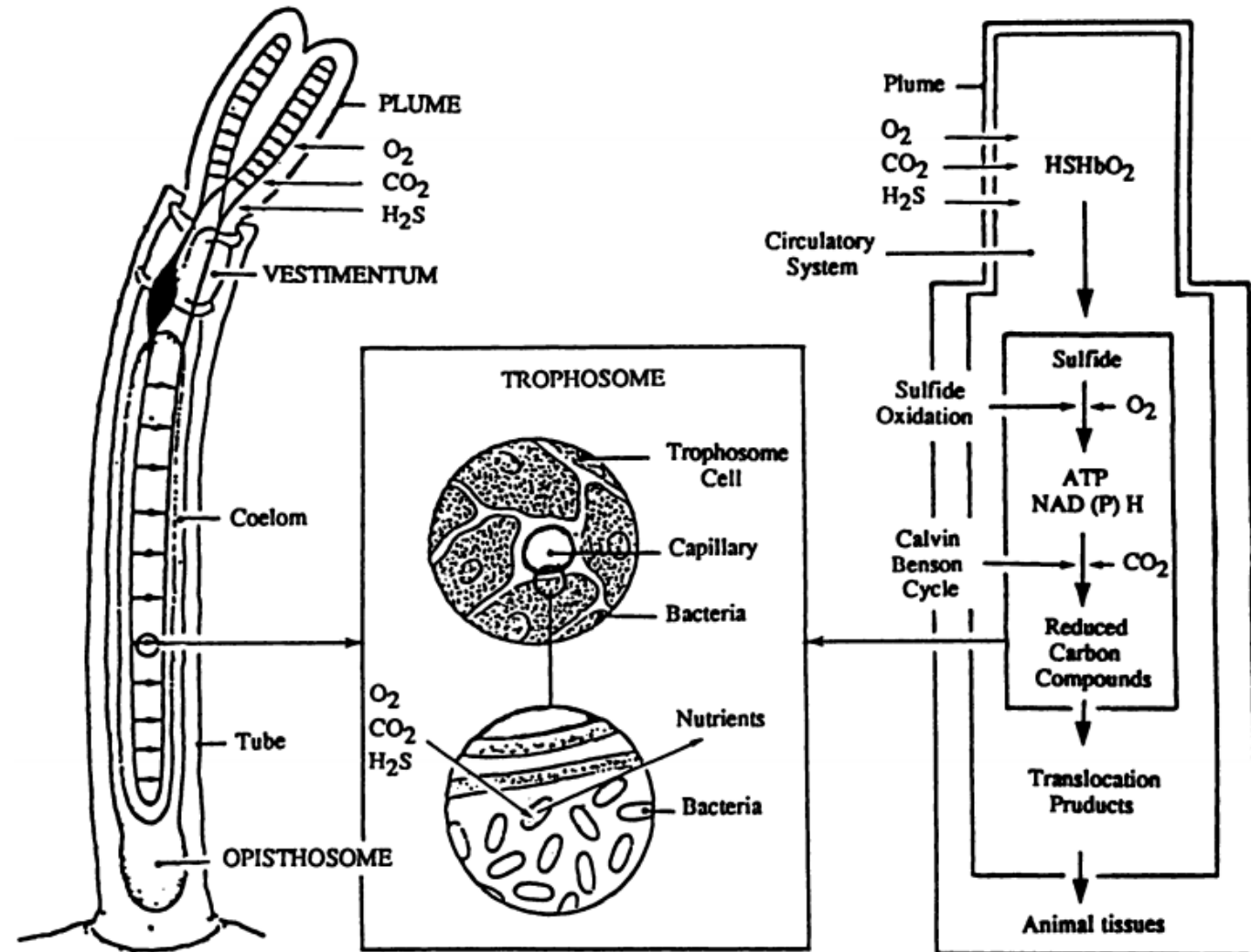
MACROFAUNA



Riftia pachyptila

All'interno del tronco della *Riftia* si trova il troposoma una struttura costituita da simbionti (batteriociti, cellule e vasi sanguigni).

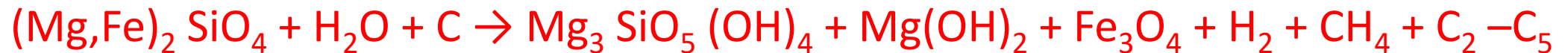
Ossigeno, zolfo e diossido di carbonio vengono assorbiti attraverso il pennacchio e trasportati nelle cellule del troposoma le quali traggono energia dalla ossidazione dello zolfo per fissare la CO_2 nel ciclo di Calvin-Benson.



- Regioni idrotermali subacquee

Regioni in cui pur non essendoci attività vulcaniche l'acqua viene riscaldata dalle rocce calde del mantello (100-300 °C), esposte sulle fratture della crosta.

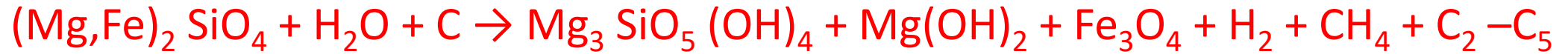
Il mantello contiene tra gli altri l'olivina, un silicato misto di magnesio e ferro (Mg_2SiO_4 , Fe_2SiO_4), che esposta all'acqua di mare ad elevate temperature subisce un processo geochimico detto **serpentinizzazione**



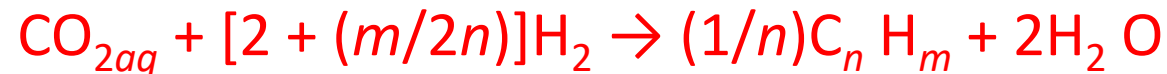
In queste condizioni il Fe^{2+} contenuto nelle rocce ricche di olivine riduce l' H_2O per produrre Fe^{3+} , H_2 e idrocarburi secondo l'equazione riportata sopra.

- Regioni idrotermali subacquee

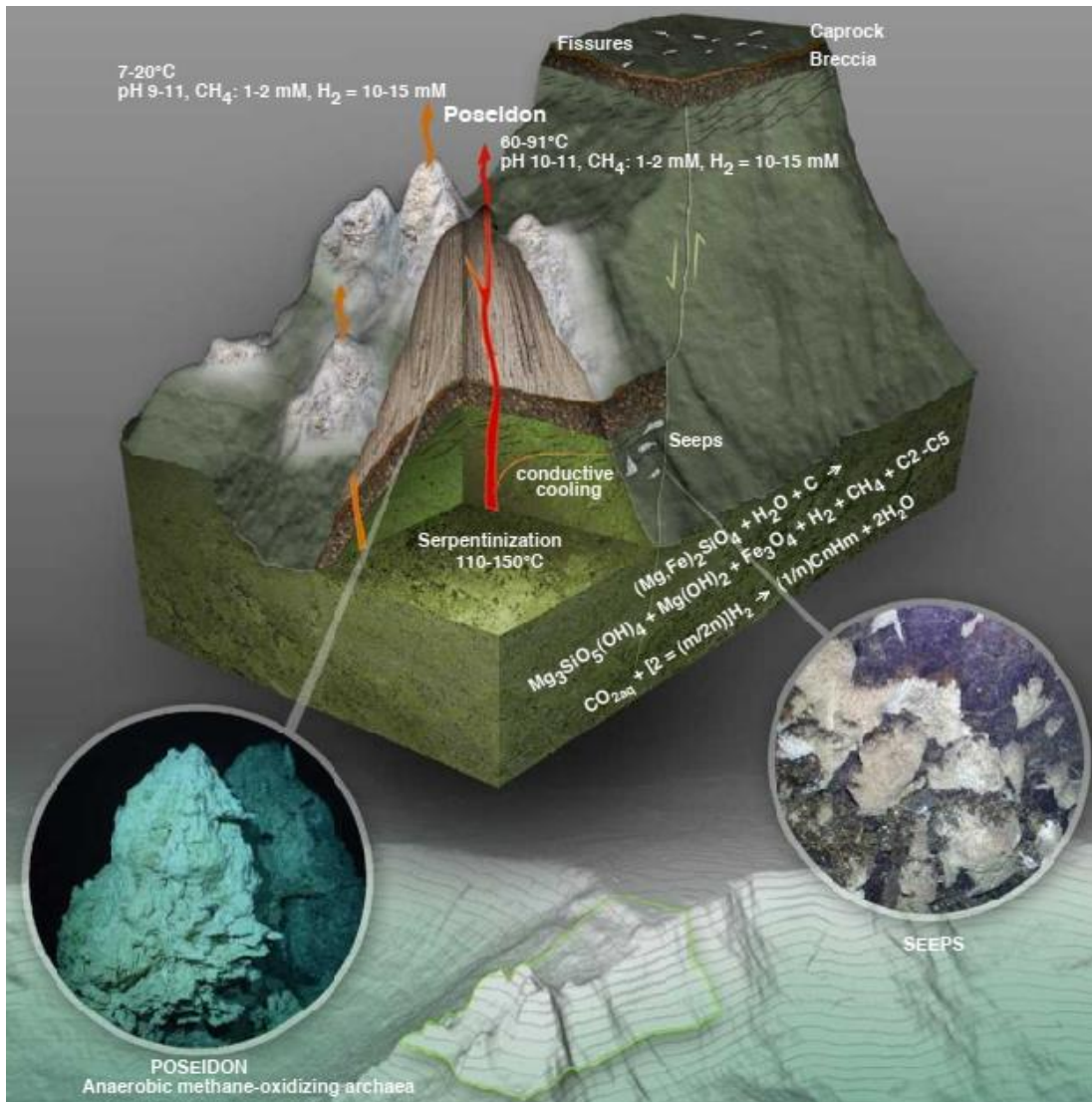
I prodotti del processo di serpentinizzazione sono la magnetite [Fe₃O], che contiene il Fe³⁺ prodotto dalla ossidazione del Fe²⁺, la brucite [Mg(OH)₂] e un silicato ossidrato misto magnesio–ferro detto appunto **serpentina** [Mg_{2.85}Fe_{0.15}Si₂O₅(OH)₄]



Il manto roccioso di tali regioni contiene vari composti del carbonio tra cui grafite, metano e CO₂: è stato dimostrato che al di sotto di regioni quale ad esempio Lost City, gli idrocarburi possono essere generati secondo l'equazione sotto indicata:



- Regioni idrotermali subacquee: l'esempio di Lost City



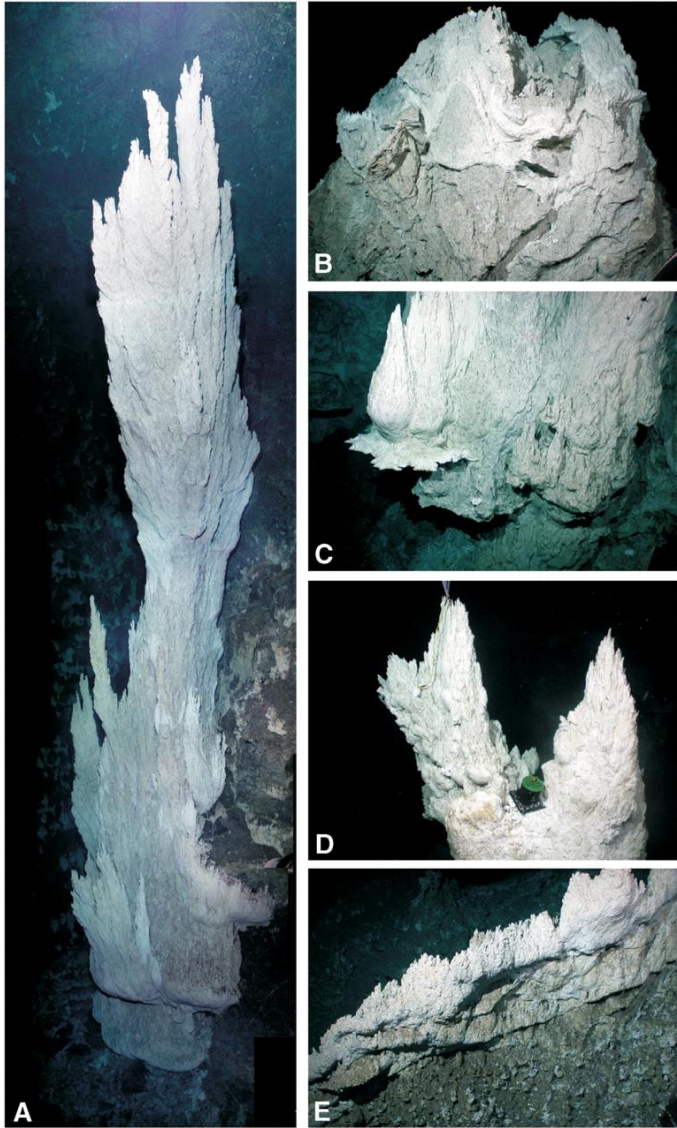
Il processo di serpentinizzazione genera getti ricchi di minerali, che tendono a risalire verso l'alto fino a incontrare l'acqua fredda del fondo dell'oceano.

Raffreddandosi a contatto con essa, i getti rilasciano i sali minerali che cristallizzano sulle rocce vicine.

Col passare del tempo i depositi costruiscono dei veri e propri **camini**, alti decine di metri e composti completamente da minerali carbonati.

Il flusso biancastro che contraddistingue i getti di queste regioni è molto diverso da quello nero del solfato di ferro emesso dai *black smokers*.

- Regioni idrotermali subacquee: l'esempio di Lost City



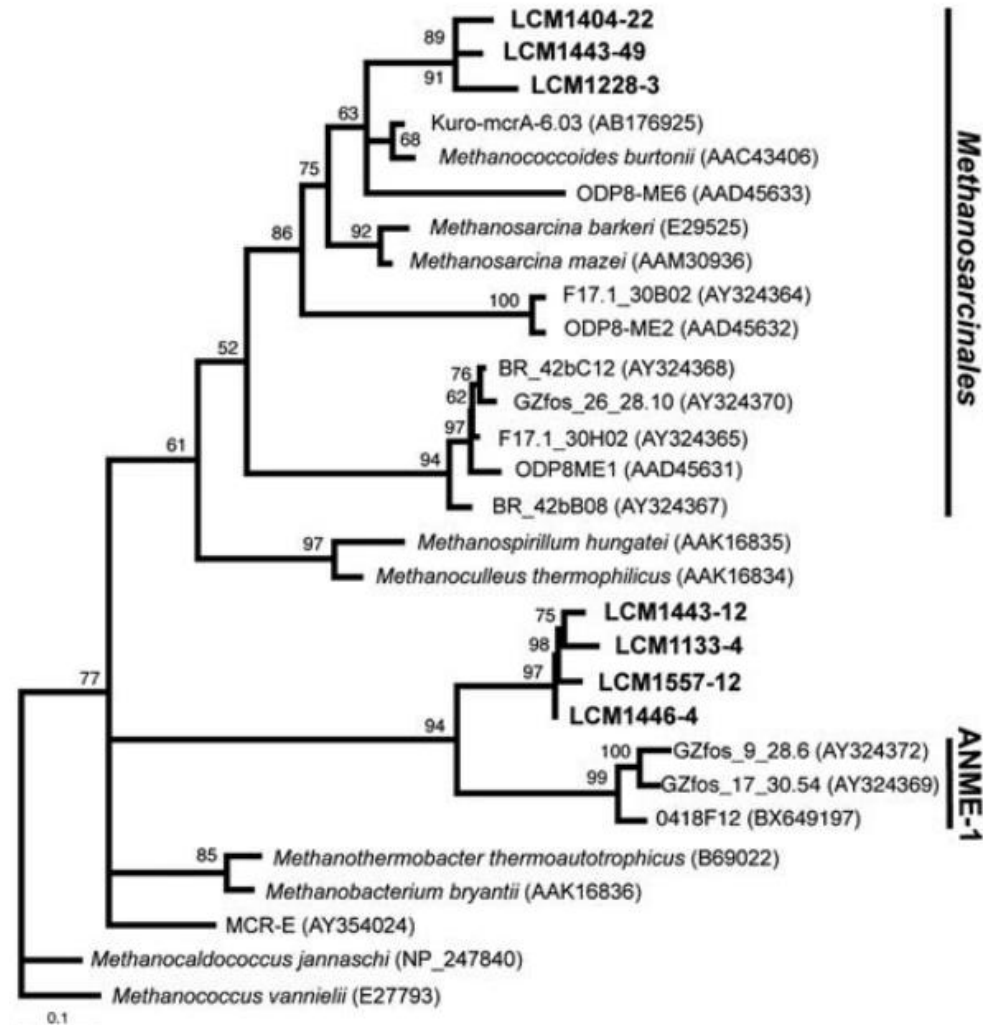
La prima regione di questo tipo è stata scoperta nel 2000 nella Dorsale Medio Atlantica (catena montuosa sottomarina), nell'Oceano Atlantico a 30° N a circa 900m sotto il livello del mare.



Questo tipo di formazione è costituita da pinnacoli di carbonati che possono innalzarsi fino a 60 metri dal fondo marino, con colori che vanno dal bianco dei carbonati depositati da poco, al bruno di quelli più antichi e alterati dall'ambiente esterno.

• Regioni idrotermali subacquee: l'esempio di Lost City

Albero filogenetico delle specie microbiche isolate presso Lost City



Fonte: Kelley et al. 2005, file "LEZ 6_LOST CITY"

Forme di vita microbiche

L'esplorazione con il ROV Hercules nel 2005 ha mostrato che la formazione denominata Lost City è ricca di forme di vita microbiche (circa $10^7 - 10^8$ cellule/g di campione umido) appartenenti al dominio Archaea.



Methanosarcinales

I fluidi che sono emessi dai camini carbonatici sono alcalini e ricchi di sostanze utili per la vita microbica quali ad esempio H_2 che costituisce la principale fonte di potere riducente da utilizzare per il metabolismo energetico.

- Regioni idrotermali subacquee: l'esempio di Lost City

MACROFAUNA

I principali esempi di macrofauna rinvenibili presso la formazione Lost City comprendono la cernia di fondale (*Polyprion americanus*), l'anguilla dai denti di freccia (*Synaphobranchus kaupi*) e grossi granchi.



Polyprion americanus



Synaphobranchus kaupi



Mother crab at Lost City on serpentized peridotite outcrop. Image courtesy of NOAA, IFE, URI-IAO, University of Washington and the Lost City science team.