



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA**

**DIPARTIMENTO DI MEDICINA CLINICA, SANITA'  
PUBBLICA, SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

---

**CORSO DI LAUREA IN SCIENZE BIOLOGICHE**

**L'AMBIENTE LIMITE DEI GHIACCIAI:  
BIODIVERSITA' E STRATEGIE  
ADATTATIVE**

Relatore  
Prof.ssa  
Diana M.P. Galassi  
180767

Laureando  
Marco Di Marcello  
matr.

## **INDICE**

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>Capitolo 1    I ghiacciai</b>	<b>8</b>
<b>Capitolo 2    Biodiversità nei ghiacciai</b>	<b>21</b>
<b>Capitolo 3    Strategie adattative</b>	<b>23</b>
<b>Conclusioni</b>	<b>34</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>37</b>

## Introduzione

Che cosa si intende per ambiente limite? Un ambiente estremo?

Spesso tale terminologia viene utilizzata per indicare condizioni estreme che rendono un ambiente poco adatto alla vita, ad esempio situazioni con forti venti, temperature particolarmente basse o particolarmente elevate, ambienti ipossici, o a pH estremi. In sintesi il concetto di ambiente “estremo” fa riferimento, quindi, a condizioni limite per la sopravvivenza. Tuttavia, contrariamente a quanto si possa pensare, questi ambienti non sono affatto privi di vita.

Gli organismi che vi si rinvenivano vengono definiti da Macelroy (1974) “estremofili”. Molti sono archeobatteri, procarioti con caratteristiche e origini diverse da quelle degli eubatteri, anch’essi, in numerosi casi, adattati agli stress ambientali. Anche i cianobatteri, procarioti che effettuano fotosintesi ossigenica, possono presentare caratteristiche estremofile.

Sebbene con il termine estremofili ci si riferisca spesso ad organismi procarioti, ad oggi sono noti anche molti organismi eucarioti, nello specifico animali invertebrati e vertebrati, che appartengono a questa categoria. Basti pensare ad alcuni organismi psicrofili che includono rane, tartarughe e serpenti che ricorrono al congelamento del liquido extracellulare come strategia di sopravvivenza durante l’inverno (Storey & Storey, 1992, 1996). Il nematode antartico, *Panagrolaimus davidi*, può sopravvivere al congelamento intracellulare e quindi crescere e riprodursi (Wharton & Ferns, 1995). Alternativamente, i pesci appartenenti alla famiglia Channichthyidae, che vivono nelle fredde acque dell’Antartico e dell’estremo Sud America, possiedono proteine “anti gelo” per proteggere le cellule dal congelamento (Bilyk & DeVries, 2010).

Molto spesso gli organismi estremofili riescono a sopravvivere in ambienti in cui si manifesta più di una condizione estrema: un esempio è rappresentato da organismi vegetali che vivono in ambienti desertici e che resistono a

condizioni di calore elevato, disponibilità limitata di acqua e, spesso, alta salinità.

Tuttavia, il concetto di condizione limite o ambiente limite viene definito in un'ottica quasi sempre antropocentrica, trascurando il fatto che moltissimi ambienti ostili all'uomo, non lo sono di fatto per molti altri organismi viventi. Per tali organismi gli ambienti, per noi "limite", rappresentano il luogo ideale e naturale per compiere l'intero o parte del loro ciclo vitale. Tali esempi, molto più numerosi di quanto si possa immaginare, sono semplicemente il prodotto della selezione naturale che ha portato in molte specie alla comparsa con successo adattativo (e conseguente incremento della fitness) di modificazioni strutturali, fisiologiche e comportamentali che consentono di vivere, e non semplicemente sopravvivere, in questi ambienti. Per questi stessi organismi quello che per noi è un ambiente "normale", assolutamente compatibile con lo svolgimento di tutte le funzioni fisiologiche dell'organismo animale, diventa per essi il vero "ambiente limite".

Per molti organismi, ad esempio, l'ossigeno, per noi elemento essenziale, risulta essere dannoso e, per questo motivo, colonizzano ambienti anossici. In un'ottica antropocentrica essi risultano essere organismi estremofili, ma possono essere realmente considerati tali?

La temperatura, la disponibilità trofica, le condizioni atmosferiche mutabili, la capacità di spostamento, la possibilità di riproduzione, sono tutti aspetti che, in un determinato contesto ambientale, possono o meno permettere la vita: alcuni organismi hanno insita l'informazione genetica per rispondere positivamente a eventi che per altre specie potrebbero determinare l'estinzione.

Ma si può quindi definire un ambiente come ambiente limite?

Per poter rispondere a questa domanda occorrerebbe innanzitutto basarsi su parametri diversi analizzati dalla prospettiva dei vari organismi che vi abitano e non solo da assunti generali basati sui parametri vitali della specie umana. In tale valutazione bisognerebbe prendere in considerazione ad esempio la biomassa, la produttività, la diversità dei processi ecosistemici e gli adattamenti specifici all'ambiente. Ad esempio, un ambiente potrebbe essere definito estremo se caratterizzato da bassa biomassa e produttività, dalla dominanza di forme di vita arcaica e assenza di forme più evolute, mancanza

di processi fotosintetici e di fissazione dell'azoto, e adattamenti morfologici e/o nel ciclo vitale. Tradizionalmente gli ambienti vengono definiti estremi sulla base dei parametri abiotici quali temperatura, disponibilità di acqua, pressione, pH, contenuto in sali. Similmente, gli estremofili vengono descritti sulla base delle condizioni in cui vivono (Tab. 1).

PARAMENTRI AMBIENTALI	ESTREMOFILII	DEFINIZIONE	ESEMPI
Temperatura	Ipertermofili	crescita >80 °C	<i>Pyrolobus fumarii</i> , 113°C (Blochl et al., 1997)
	Termofili	crescita tra 60 – 80 °C	<i>Synechococcus lividus</i> (cianobatterio; Dyer and Gafford, 1961); <i>Echinamoeba thermanum</i> (ameba; Baumgartner et al., 2003)
	Mesofili	15 – 60 °C	<i>Homo sapiens</i> (uomo)
	Psicrofili	<15°C	<i>Psychrobacter</i> , <i>Diamesa</i> sp. (Kohshima, 1984); <i>Panagrolaimus davidi</i> (rispettivamente, un batterio, un dittero chironomide, un nematode; Wharton & Ferns, 1995)
disidratazione	Xerofili	anidrobiotici	<i>Artemisia salina</i> e vari batteri, nematodi, funghi, licheni (Yancey et al., 1982)
pressione	Barofili	Tolleranti al peso	<i>Plantago lanceolata</i> (Burden & Randerson, 1972)
	Piezofili	Amanti della pressione	<i>Shewanella violacea</i> (batterio, Nakasone et al., 1998; Yamada et al. 2000)
pH	Acidofili	pH acido	Pesci (pH 4; Gonzalez & Wilson 2001); piante e insetti (pH 2-3; Ponge, 2000) <i>Cyanidium caldarium</i> (alga rossa; Doemel & Brock, 1971); <i>Ferroplasma</i> sp. (Archaeon; Golyshina et al., 2000); Funghi ( pH 0; Schleper et al., 1995)
	Alcalinofili	pH>9	<i>Methanosalsus zhilinaeae</i> (pH 11.5-12; metanogenic Archaea (Kevbrin et al, 1997); <i>Spirulina</i> spp. (pH 10.5; Cyanobacteria; Zavarzin et al, 1999); <i>Ephydra</i> (pH 10; alkali fly; Thorp &

			Covich, 2001)
salinità	Alofili	2-5 M NaCl	Halobacteriaceae (bacteria; Hartmann et al., 1980); <i>Dunaliella salina</i> (alga; Oren 2005)
	Osmofili	Aspetti osmotici: pressione di turgore, deidratazione e essiccamento cellulare	<i>Saccharomyces</i> spp (Koh, 1975)
ossigeno (O <sub>2</sub> )	Anaerobi	Non tollerano O <sub>2</sub>	<i>Methanococcus jannaschii</i> (methanogenic bacterium; Jones et al. 1983) Loricifera sp. (invertebrati; Danovaro et al., 2010)
	Microaerofili	Tollerano parzialmente O <sub>2</sub>	<i>Clostridium</i> spp. (batteri; Jhonson et al 2007)
	Aerobi	Richiedono O <sub>2</sub>	<i>Homo sapiens</i> (uomo)
Radiazioni		UV-B Tolleranti	<i>Phaeocystis pouchetti</i> (Marchant et al., 1991)
		Tolleranti agli infrarossi e alle radiazioni ionizzanti	<i>Deinococcus radiodurans</i> (Cox & Battista, 2005)

**Tabella 1: Definizione ed esempi di estremofili.**

Esempi di ambienti estremi sono quelli che si trovano perennemente o che presentano regolarmente, anche per periodi prolungati, temperature sotto i 5°C. Includono i poli, le regioni montane, le profondità oceaniche e alcuni deserti caldi, le cui temperature scendono marcatamente durante la notte. Gli organismi che vivono in matrici di ghiaccio o nel permafrost, o sotto gli strati nevosi, sia permanenti che temporanei, devono essersi adattati a più condizioni estreme che includono, oltre alle basse temperature, la disidratazione, alti livelli di radiazione e scarsità di cibo. Parallelamente agli ambienti freddi troviamo altri caratterizzati da temperature che superano, costantemente o periodicamente, i 40°C. Ne sono esempi i deserti caldi, i siti geotermici e i camini idrotermali.

Tra gli ambienti definiti estremi vengono annoverati anche quelli che presentano valori elevati di pressione idrostatica, quali le profondità oceaniche e lacustri. Condizioni ipobariche si rinvencono, invece, in ambienti di montagna e più in generale nelle regioni terrestri con elevate altitudini.

Un'altra tipologia di ambienti estremi è rappresentata da aree caratterizzate da bassi valori di pH, il più delle volte minore a 5, condizione che tra l'altro

aumenta la solubilità dei metalli (Delhaize & Ryan, 1995). Ambienti molto alcalini sono, invece, quelli con un valore di pH maggiore di 9.

Gli ambienti ipersalini sono quelli in cui la concentrazione in sali è più elevata di quella dell'acqua marina (il cui valore è maggiore del 3,5%).

Ultimi esempi, ma non meno importanti, di ambienti estremi sono quelli con un limitato, o del tutto assente, contenuto di ossigeno e quelli esposti a radiazioni soprattutto ultraviolette (UV) e infrarosse (IR). In quest'ultima categoria rientrano gli ambienti polari e quelli con elevata altitudine, sia terrestri che acquatici. Le specie esposte a raggi UV e IR si sono ben adattate a queste condizioni, è il caso dell'alga marina *Phaeocystis pouchetii*, che è in grado di produrre uno schermo solare che assorbe gli UV e gli IR proteggendo in questo modo le proprie attività cellulari (Marchant et al., 1991).

Nell'ambito della presente tesi ci si limiterà ad analizzare una tipologia di ambiente estremo: i ghiacciai, in cui sono presenti alcune delle principali condizioni ambientali tipiche dei cosiddetti ambienti estremi e cioè basse temperature, elevate intensità di radiazioni e oligotrofismo.

Obiettivo principale di questo contributo è fornire una rassegna della biodiversità, in particolare della componente a invertebrati, presente negli ambienti dei ghiacciai e descrivere le principali strategie adattative sviluppate dagli invertebrati che vivono stabilmente nei ghiacciai.

# Capitolo 1

## I GHIACCIAI

I ghiacciai si formano per compattazione della neve al di sopra del limite delle nevi permanenti. La formazione di un ghiacciaio dipende dal bilancio tra la quantità di neve che cade nel corso delle stagioni fredde e quella che si scioglie nei periodi caldi dell'anno.

Un accumulo progressivo di neve può formare un nevaio che si trasforma in ghiacciaio quando l'aria tra i cristalli di neve viene espulsa per compattazione. Raggiunto un determinato spessore, il ghiacciaio si muove per gravità dal suo punto di origine verso quote più basse.



Figura 1. Ripimo Glacier – Rolwaling Valley – Nepal.

*(foto Marco Di Marcello - Explora Team)*

La trasformazione da neve a ghiaccio è graduale: la neve che cade periodicamente non si scioglie mai completamente e si accumula sugli strati preesistenti, comprimendoli e compattandoli in seguito all'espulsione dell'aria trattenuta tra i fiocchi di neve. Man mano che la neve diviene più densa per fusione superficiale e per rigelo essa si trasforma dapprima in ghiaccio granuloso (*firn*) e poi viene compressa dagli strati sovrastanti. Negli strati più profondi i piccoli cristalli di ghiaccio che costituiscono i fiocchi si aggregano in granuli che, a causa del peso degli strati soprastanti, fondono e poi



ricristallizzano, trasformandosi in ghiaccio compatto, con un ridotto contenuto di aria intrappolata.

La posizione altimetrica del limite climatico delle nevi non è costante nello spazio e nemmeno nel tempo. Essa dipende da vari fattori; i principali sono la radiazione solare, che influisce anche sulle condizioni termiche dell'atmosfera, e le precipitazioni.

Se la temperatura media diminuisse o aumentasse l'apporto delle precipitazioni e il limite delle nevi si abbasserebbe, e viceversa. Ne consegue che il limite delle nevi si abbassa più o meno regolarmente dall'equatore verso i poli, poiché in generale la temperatura media diminuisce a parità di altezza con l'aumentare della latitudine. Nei vari gruppi alpini, che si trovano all'incirca alla medesima latitudine, l'altezza del limite delle nevi varia soprattutto in rapporto con la distribuzione geografica delle precipitazioni e con l'elevarsi delle masse montuose. Ma tali altezze non sono costanti nel tempo.

### **Tipologie di ghiacciai**

I ghiacciai hanno forme e dimensioni che dipendono essenzialmente dalle condizioni climatiche e da quelle morfologiche.

I due principali tipi di ghiacciai sono:

- calotte glaciali continentali o regionali (Fig. 2);
- ghiacciai montani o locali.



Figura 2: Visione aerea della Groenlandia orientale, particolare sulla coltre glaciale continua.  
(foto di Davide Peluzzi -Explora Team).

I ghiacciai montani, a loro volta, si possono sommariamente distinguere in:

- [alpini](#): formati da un solo bacino collettore (zona di accumulo) e da una sola lingua glaciale (Fig. 3);
- [pirenaici](#): di forma circolare o semicircolare senza una lingua glaciale evidente;
- [scandinavi](#): formati da un solo bacino collettore da cui defluiscono più lingue glaciali sui versanti opposti del rilievo su cui sono posti;
- [himalayani](#): formati da due o più bacini collettori che danno luogo a lingue glaciali distinte che confluiscono in una sola lingua generalmente di notevole estensione (fig. 4);
- [andini](#): simili a quelli pirenaici e a calotta, ma di estensione e spessori maggiori;
- [alaskani](#): derivano dalla confluenza di più lingue glaciali che percorrono valli più o meno parallele e che si saldano fra loro allo sbocco vallivo sino a formare un unico grande corpo glaciale;
- [patagonici](#): scendono spesso fino al livello del mare/oceano;
- [equatoriali](#): presenti su alcune cime delle Ande equatoriali, in [Africa](#) sui monti [Kilimangiaro](#), Kenya e [Ruvenzory](#) e in Indonesia sul Puncak Jaya;



Figura 3: Esempio di ghiacciaio alpino, Ghiacciaio del Calderone Gran Sasso D'Italia – Italia. (foto Marco Di Marcello - Explora Team).



Figura 4: Esempio di ghiacciaio Himalayano, grande lingua glaciale centrale  
(foto di Davide Peluzzi – Explora Team).

In un ghiacciaio di tipo montano si riconoscono due parti fondamentali: il bacino di alimentazione o bacino collettore, situato al di sopra del limite delle nevi persistenti dove la neve si raccoglie, spesso in una depressione semicircolare chiamata circo, e il bacino ablatore, chiamato anche lingua glaciale, dalla forma allungata terminante con un fronte glaciale dal quale fuoriesce l'acqua di fusione che alimenta un torrente glaciale e dove si può formare un piccolo lago glaciale (Fig. 5).

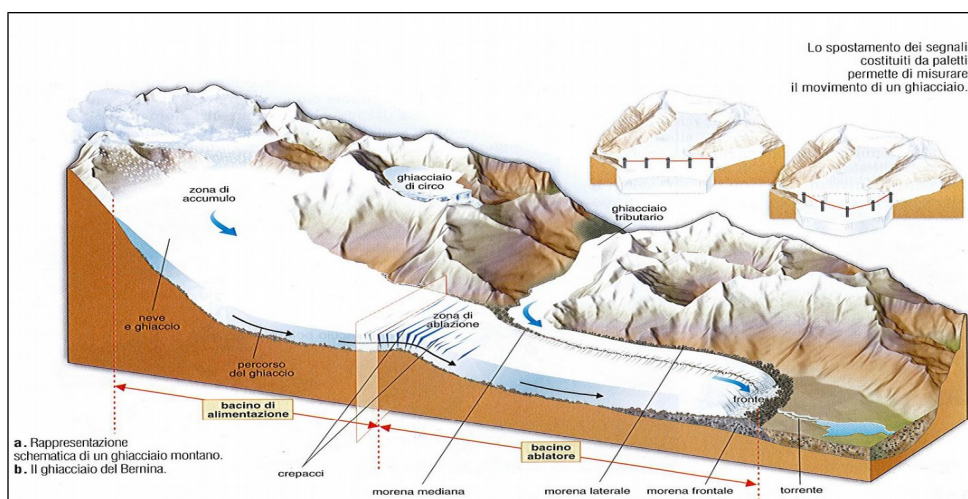


Figura 5: Schema di struttura di un ghiacciaio.

Il ghiacciaio si muove verso valle per effetto della forza di gravità, che dipende dalla pendenza e dalla spinta esercitata dalla massa di neve e



ghiaccio nel bacino di alimentazione. Ponendo dei punti di riferimento sul ghiacciaio e sulle pareti rocciose circostanti, si può facilmente misurare il movimento di un ghiacciaio: i ghiacciai alpini possono avanzare di 50 - 100 m all'anno, mentre i ghiacciai himalayani possono percorrere anche 1 km in un anno. I movimenti irregolari della massa di ghiaccio portano alla formazione di crepacci (Fig. 6), profondi solchi disposti in diverse direzioni, che spesso s'incrociano isolando guglie e torri di ghiaccio (seracchi).



Figura 6: Zona di ablazione, formazione di torri e seracchi.

A sinistra: Rasmussen Glacier - Groenlandia orientale (foto Davide Peluzzi – Explora Team).

*A destra: ghiacciaio Vatnajokull – Islanda (foto Davide Peluzzi – Explora Team).*



Figura 7: Crepacci e visione della morena laterale - Ripimo Glacier – Rolwaling Valley – Nepal. (foto Marco Di Marcello - Explora Team).

I ghiacciai con la loro azione erosiva producono detriti rocciosi che si accumulano ai lati, sul fondo e davanti alla fronte, formando morene (Fig. 7); se due lingue glaciali confluiscono in un'unica valle, le morene laterali contigue si fondono in una sola morena mediana.

Esistono ghiacciai montani privi di una lingua glaciale che occupano semplicemente una depressione, chiamati ghiacciai di circo. Prendono, invece, il nome di nevai gli accumuli di neve che durano fino a estate inoltrata, in genere posizionati sui versanti meno soleggiati delle montagne. Nei nevai, a differenza di ciò che accade nei ghiacciai, la neve, alla fine, si scioglie completamente.

Le calotte glaciali delle Groenlandia e dell'Antartide hanno una forma che ricorda una lente biconvessa e uno spessore che nelle parti centrali può superare i 3 km. Dai margini delle calotte che possono spingersi fino al mare si staccano, nei momenti di parziale disgelo, enormi blocchi di ghiaccio, gli iceberg ("montagna di ghiaccio") (Fig. 8), la cui parte emergente è appena 1/8 dell'intera massa ghiacciata; gli iceberg vanno alla deriva nelle acque oceaniche, costituendo un pericolo per la navigazione; quando giungono a latitudini più basse fondono.

I distacchi avvengono per vari motivi, la forza principale è la formazione di altro ghiaccio a monte del fronte terminale del ghiacciaio. Altre forze sono dovute alla variazione di temperatura del suolo (geotermie - vulcani), come si può notare in Islanda o in alcune aree della Groenlandia o dell'Antartide, oltre alle cicliche variazioni climatiche stagionali. Ad esempio in Antartide che la temperatura interna del continente è in media in estate di  $-30^{\circ}\text{C}$  e in inverno tocca i  $-70^{\circ}\text{C}$  ed oltre, tali distacchi sono dovuti ai motivi sopra citati (Madrigali 2013).

Nelle regioni polari il ghiaccio può anche originarsi dal congelamento dell'acqua del mare: si forma così una coltre di ghiaccio estesa, spessa fino a qualche metro, la banchisa; nell'Artide la banchisa si estende intorno al Polo nord, ricoprendo il mar Glaciale Artico.



Figura 8: Iceberg, fiordo di Sermilik Groenlandia (parte emersa alta oltre 50 mt).  
(foto Davide Peluzzi – Explora Team).

Il Pack è la formazione del ghiaccio al di sopra del mare: sull'Oceano Artico (Polo Nord) è esclusivamente pack. Lo spessore è notevolmente inferiore agli Iceberg che raggiungono centinaia di metri di ghiaccio fossile, mentre il Pack in media è di 3 metri. Logicamente il suo scioglimento e frantumazione dipende quasi totalmente dalle correnti marine e dai vulcani sottostanti in relazione alle stagioni e all'irraggiamento solare (Explora Team - Madrigali

2013). In Antartide (continente) si forma intorno alle coste. Durante l'estate la banchisa si frantuma in lastre di ghiaccio, chiamate *pack*, che vanno alla deriva (Fig. 9).



Figura 9: Karale Glacier, Groenlandia orientale, particolare sul *pack*  
(foto Davide Peluzzi – Explora Team).

### **Distribuzione geografica dei ghiacciai**

Lo sviluppo dei ghiacciai diminuisce dalle regioni polari verso l'equatore.

L'Antartide, che a differenza dell'Artico è un continente, presenta elevazioni montuose che raggiungono i 4.892 m con il monte Vinson; il polo sud geografico è posizionato ad una quota di 2.800 slm. In queste zone si possono avere spessori di ghiaccio che possono raggiungere i 3.400 m. Gli ultimi rilevamenti ci mostrano che in Antartide ci sono circa 13 milioni di km<sup>2</sup> di superficie di ghiaccio (Figg.10, 11), inoltre il limite delle nevi è pari al livello del mare.



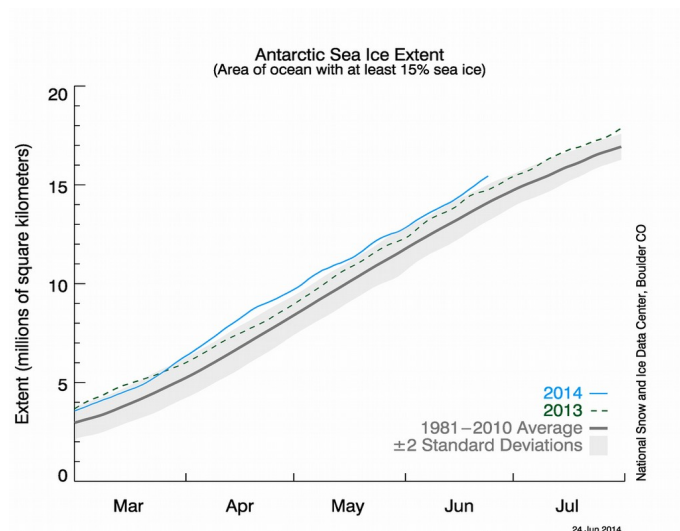


Figura 10: Grafico di crescita annuale dei ghiacci antartici  
(fonte NSDIC - National Snow & Ice Data Center).

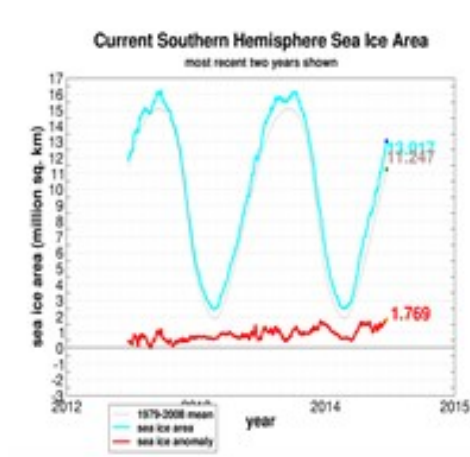


Figura 11: Grafico di espansione in un gap di 3 anni dei ghiacci antartici  
(fonte Cryosphere Today – Arctic Climate Research at the University of Illinois).

La seconda massa di ghiaccio più vasta del pianeta, seconda solo al polo Sud, coperta per nove decimi da coltre di ghiaccio è la Groenlandia. Lo spessore dell'*Inlandsis* (Fig.12), la grande calotta glaciale Groenlandese in alcuni punti è di 3200 metri. Alla latitudine di 66°N, anche in estate la terra è protetta da una cintura di ghiacci che lascia pochissimi varchi, e solo in brevi periodi (Explora Team - Madrigali 2013).





Figura 12: *Inlandsis*, fiumi di acqua dolce. Isertoq Groenlandia orientale  
(foto Davide Peluzzi – Explora Team).

Nell'arcipelago Artico Americano, nella regione canadese del Nunavut, dello Yukon, esistono zone vastissime con permafrost perenne.

Spostandoci verso ovest, in Alaska, possiamo notare che gran parte della regione è coperta da neve e ghiaccio, soprattutto nella zona delle montagne. Ad esempio nel ghiacciaio Kahiltna, sventa la montagna più alta dell'Alaska, il monte Mc Kinley 6.194 m, completamente ricoperta dai ghiacci.

L'America possiede ghiacciai principalmente nelle catene lungo il margine occidentale, nei pressi della dorsale delle Montagne Rocciose e il grande ghiacciaio di Illecillewaet spinge la sua lingua fino a 1.460 m d'altezza.

Nella parte centrale del continente americano, lo sviluppo dei ghiacciai è molto scarso, sebbene varie cime superino il limite delle nevi (tra i 4.000 e i 6.000 m s.l.m.), sconvenienti sono quasi sempre le condizioni orografiche.

Lo sviluppo glaciale diventa considerevole nelle Ande cilene, a sud del trentesimo parallelo, anche tra il 46 e il 51 di latitudine sud i ghiacciai occupano aree estese. In Perù, la Cordillera Blanca, con la sua vetta più alta il Huascarán 6768 m, presenta diversi ghiacciai di consistente grandezza, scendendo verso sud attraverso il Cile, sulla dorsale montuosa delle Ande, i ghiacciai aumentano di dimensioni. Il Perito Moreno, situato in Argentina al confine con il Cile, è un ghiacciaio continentale ed è la terza riserva al mondo d'acqua dolce. Inoltre, è uno dei 48 ghiacciai alimentati dal Campo de Hielo Sur, facente parte del sistema andino, condiviso con il Cile. ■

L'Europa ospita diverse regioni ricche di ghiacciai.

Nelle Alpi il limite delle nevi in generale si eleva verso i gruppi interni, per il diminuire delle precipitazioni e per il rialzamento delle isoterme in correlazione delle masse più elevate.

Le Alpi occidentali hanno ghiacciai numerosi, a partire dal Monte Bianco (4.810 m) lo sviluppo glaciale si fa notevole. Sul massiccio del Monte Bianco troviamo ghiacciai di consistenti dimensioni, come il Mer De Glace (formato dalla confluenza di tre lingue glaciali più piccole), il Ghiacciaio del Gigante e La Valle Blanche. Sul massiccio del Monte Rosa troviamo il Ghiacciaio del Lys.

Nelle Alpi Orientali lo sviluppo dei ghiacciai va complessivamente diminuendo verso est, col diminuire dell'altitudine delle montagne.

Va menzionato anche il ghiacciaio del Calderone, situato sul Gran Sasso d'Italia 2.912 m s.l.m., in quanto il più a sud d'Europa. La quota minima del ghiacciaio è di 2.680 m, ultimamente si stanno osservando formazioni di nuovi nuclei glaciali a quote inferiori, 2.400 m.

Nelle Alpi Svizzere si trova il gruppo montuoso più ricco di grandi ghiacciai, quello del Finsteraarhorn (4.275 m s.l.m.).

A sud dell'Islanda è situato il Ghiacciaio del Vatnajökull (Fig. 13), è il più grande d'Europa per volume e il secondo per estensione con i suoi 8100 km<sup>2</sup>. E' la quarta massa di ghiaccio al mondo dopo la calotta glaciale dell'Antartide, la calotta glaciale della Groenlandia ed il Campo de Hielo Sur in Patagonia.

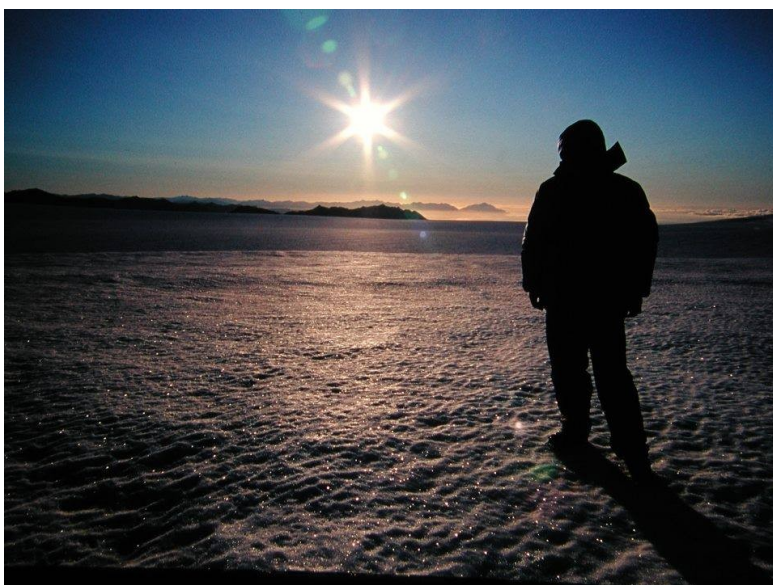


Figura 13: Ghiacciaio del Vatnajökull – Islanda (foto Davide Peluzzi – Explora Team).

Nella Scandinavia l'area occupata dai ghiacciai è di ben 5000 km<sup>2</sup>; i gruppi principali sono il Folgefonn (290 km<sup>2</sup> di ghiacciaio), lo Jostedal (940 km<sup>2</sup>). Nel continente asiatico, in particolare l'Himalaya, con cime elevatissime, (Everest 8.848 m s.l.m.) presenta ghiacciai di rilevata importanza. Le quote minime dei ghiacciai nepalesi variano dai 4.600 m circa, limite del lago glaciale Tsho Rolpa (uno dei più grandi del Nepal), ai piedi del ghiacciaio Trakarding (Valle del Rolwaling - Gaurishankar) ai 5200 m, ghiacciaio del Khumbu, nella regione dell'Everest – Sagarmatha. In Pakistan, nel gruppo montuoso del Karakorum, altro corollario di montagne altissime, è presente il ghiacciaio del Baltoro, il più grande ghiacciaio vallivo al mondo, che negli ultimi 100 anni non ha subito variazioni nelle sue dimensioni. L'Oceania si può dire priva o quasi di ghiacciai al di fuori della Nuova Zelanda; l'isola meridionale di questa ha una ricca glaciazione, non solo per le montagne elevate, possono arrivare a 3.700 metri, ma soprattutto per la bassa quota del limite delle nevi (2.000 – 2.400 m), uno dei pochi ghiacciai più importanti è il Ghiacciaio Tasman.

L'Africa è poverissima di ghiacciai; questi sono presenti soltanto nei monti più alti, posizionati in piena zona equatoriale, e specialmente nel gruppo del Ruvenzori (5.125 m s.l.m.) e sul Kilimangiaro (5.930 m s.l.m.).

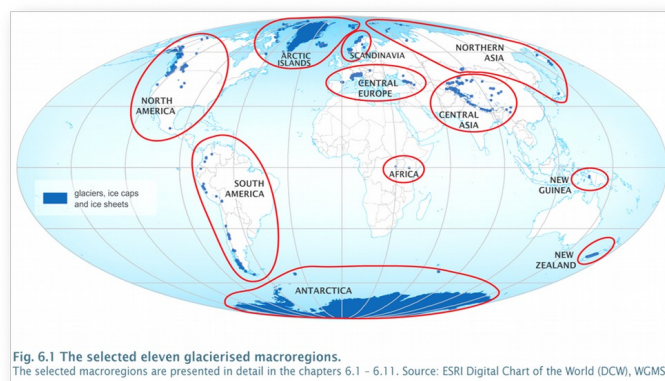
L'area totale occupata sulla Terra da ghiaccio e nevi permanenti può estimarsi in circa 16 milioni di km<sup>2</sup>, cioè a un 1/8 dell'area delle terre emerse.

I ghiacciai sono importanti per vari motivi. Neve e ghiaccio contribuiscono a modulare il bilancio energetico terrestre attraverso l'effetto albedo, riducendo cioè la quantità di energia solare assorbita. Raccolgono poi la quasi totalità dell'acqua terrestre non salata ed esercitano un ruolo chiave nel ciclo idrologico, rappresentando dei serbatoi naturali d'acqua dolce. Infine costituiscono componenti fondamentali degli ecosistemi nelle aree ad elevata latitudine dell'emisfero settentrionale e delle alte quote in generale.

Il bilancio annuale di un ghiacciaio è dato dalla differenza tra la quantità di neve accumulata nel bacino di alimentazione e la quantità di ghiaccio che viene perduta nel bacino di ablazione, sia per evaporazione dell'acqua di fusione superficiale, sia per l'allontanamento dell'acqua di fusione che si raccoglie alla base e alimenta i torrenti glaciali; se le quantità si equivalgono, il ghiacciaio si conserva in equilibrio; se la quantità di neve apportata dalle precipitazioni supera le perdite di ghiaccio, il ghiaccio avanza, in caso contrario si ritira.

Figura 14: Distribuzione dei ghiacciai maggiori a scala globale.

Negli ultimi anni si sta assistendo ad una progressiva riduzione della lunghezza e dello spessore di alcuni ghiacciai e di contro dell'espansione di altri, come ad esempio l'espansione dei ghiacci dell'Antartico. Ciò comporta effetti negativi sulle risorse idriche perché, dopo una breve fase di incremento delle portate sul lungo periodo, il rischio è che fiumi e torrenti



vedano rapidamente diminuire la loro portata. Secondo Zen et al. (2006) i ghiacciai alpini hanno perso circa il 35% della loro superficie totale tra il 1870 e il 1970 e quasi il 50% dal 2000. Questo fenomeno va spiegato in un'ottica più ampia e messo in relazione a ciò che è successo prima del 1870, in modo da giustificare il decremento da quella data in poi. Quella che prende il nome di P.E.G. (Piccola Era Glaciale) è il periodo che va dal 1500 al 1870. Verrà ricordato nella storia climatica moderna come trecentosettanta anni di stagione freddissima, periodo in cui consistenti masse d'acqua come quelle del Tamigi ghiacciavano intensamente e per molto tempo, tanto da

consentire alla popolazione locale di organizzare giochi e sfilate sul ghiaccio; nello stesso periodo anche tutta la laguna veneta era ghiacciata.

Tuttavia, non si può ad oggi escludere l'effetto più recente di riduzione dei ghiacciai Europei come conseguenza del cambiamento climatico a scala globale (Fig. 16).

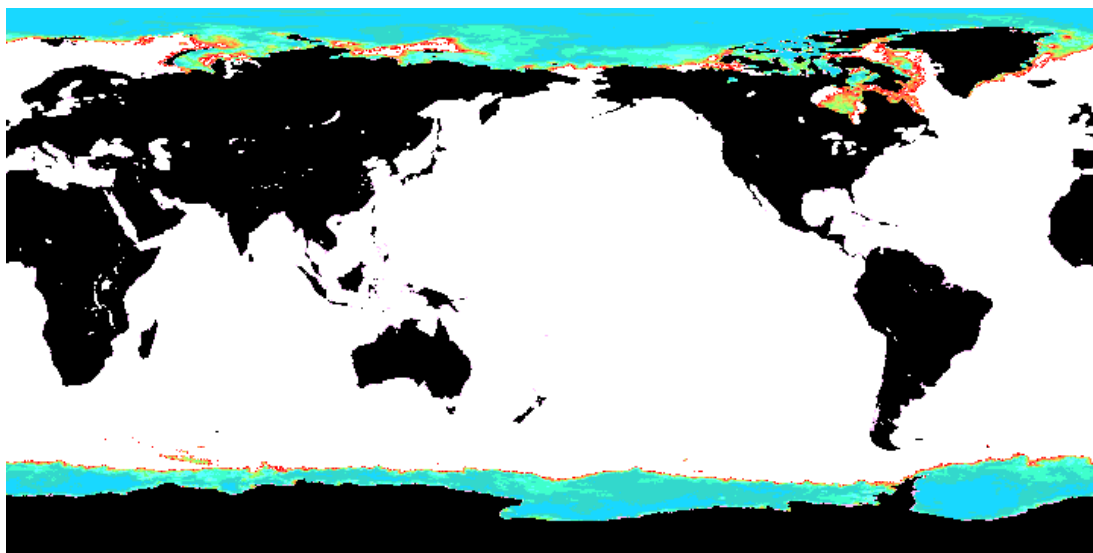


Fig.15: Estensione globale del ghiaccio marino al 29/06/2014 (National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB)).

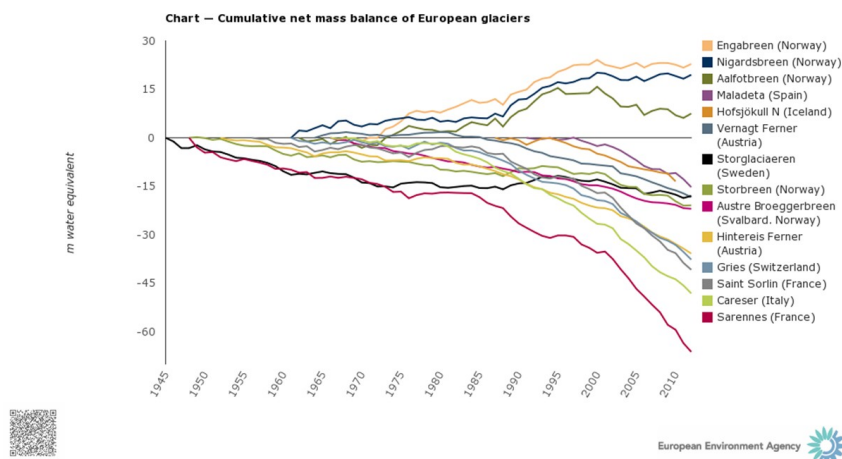


Fig. 16:  
Andamento  
dell'estensio  
ne dei  
ghiacciai  
europei  
(EEA,  
2010).

## Capitolo 2

### BIODIVERSITA' NEI GHIACCIAI

La percezione dei ghiacciai come ambienti privi di vita è sopravvissuta per più di 30 anni, fino a quando ci si è resi conto che, in realtà, sono ambienti che forniscono una grande varietà di habitat in grado di ospitare varie forme

di vita (Bagshaw et al., 2010) (Fig. 1). Questi organismi hanno colonizzato sia la parte superficiale che quella al di sotto del ghiacciaio (subglaciale) e quella interna (endoglaciale). Nello specifico, esistono molti studi che dimostrano la dominanza di organismi procarioti, sebbene siano stati rinvenuti anche molti eucarioti la cui esistenza è di fondamentale importanza in quanto intervengono in processi biogeochimici sugli strati più superficiali dei ghiacciai (Wharton et al., 1982; Yoshimura et al., 1997; Mueller et al., 2001; Anesio et al., 2007; Edwards et al., 2011; Uetake et al., 2010).

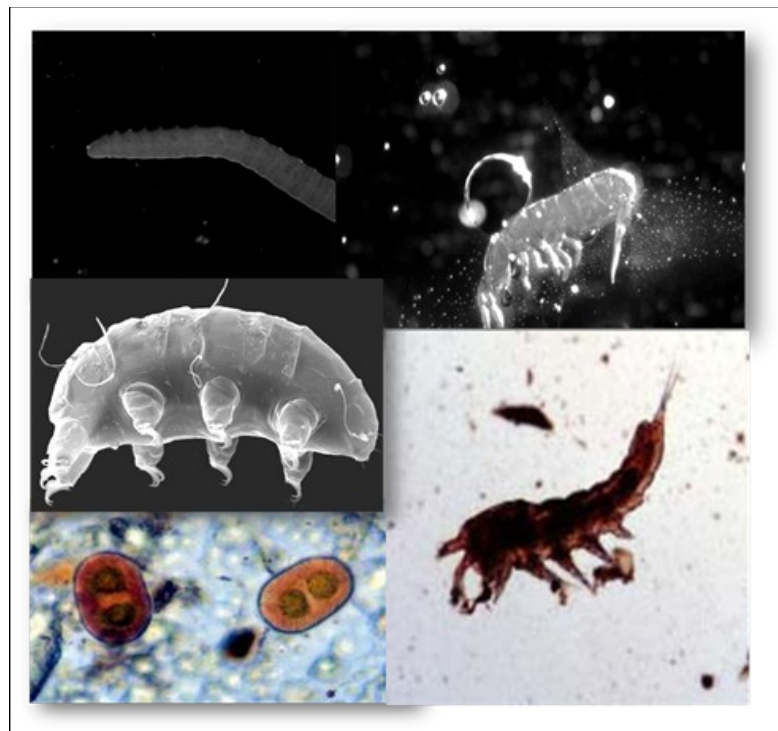


Fig. 1: Alcune forme di vita nei ghiacciai.

Questi ambienti ospitano, quindi, microrganismi, piante primitive e minuscoli invertebrati terrestri e d'acqua dolce. Le comunità microbiche costituiscono ecosistemi funzionali, autosufficienti e in un certo senso completi in quanto vi sono rappresentati sia i produttori primari che sintetizzano il carbonio, sia i primi consumatori eterotrofi. In certi suoli antartici i protozoi costituiscono da soli i tre quarti della massa organica.

Comunità più complesse sorgono nelle sacche di crioconite, il detrito sabbioso che si concentra in alcuni punti, "sporca" la superficie del ghiaccio e provoca pozze di fusione.



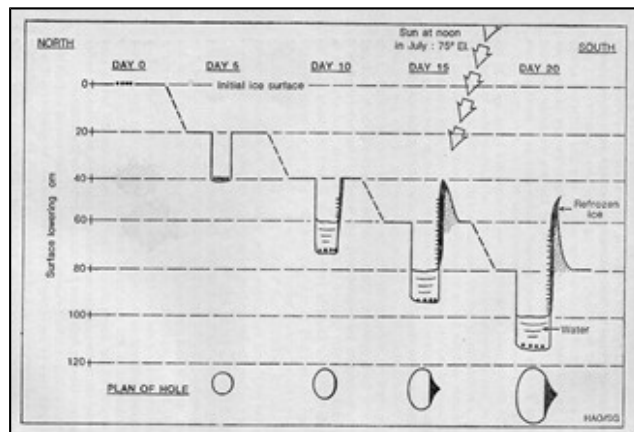


Fig. 2: Schema di progressione e formazione di un foro di crioconite.

Queste aperture contengono acqua di fusione con il fondo ricoperto da sedimento limoso nerastro (crioconite) che assorbe energia fondendo il ghiaccio adiacente. Le loro dimensioni variano da pochi centimetri ad alcuni decimetri (Figg. 2-3). Al loro interno vi si sviluppano sottili tappeti di alghe e sono abitate anche da protozoi e piccoli invertebrati, come nematodi e rotiferi.

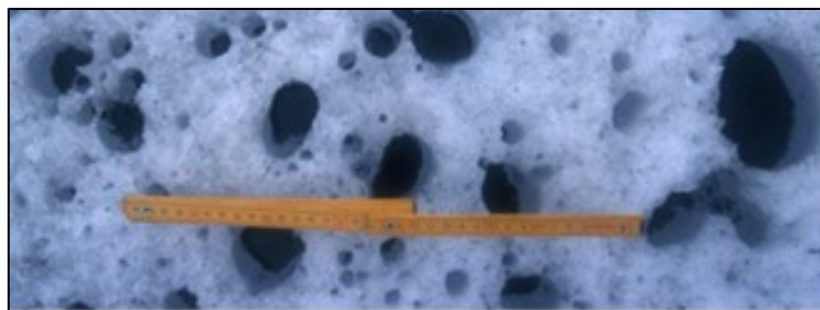


Fig. 3: Fori di crioconite (Yala Glacier, Langtang region, Nepal).

## Capitolo 3

### STRATEGIE ADATTATIVE

Le strategie per l'adattamento biologico alle condizioni ambientali tipiche dei ghiacciai sono diverse e operano a vari livelli della fisiologia degli organismi. Il maggior rischio che essi corrono è la formazione di cristalli di ghiaccio all'interno delle cellule. Lo stato liquido cellulare viene, perciò, mantenuto anche al di sotto della temperatura di congelamento, concentrando sali e sostanze anticongelanti che impediscono la cristallizzazione del ghiaccio all'interno e all'esterno della cellula.

La resistenza al freddo è un adattamento che si è sviluppato con maggiore difficoltà nel corso dell'evoluzione. La temperatura è considerata uno dei fattori che maggiormente influenza la distribuzione e l'ecologia degli organismi viventi ed in particolar modo degli invertebrati terrestri e acquatici, in quanto interferisce su: deposizione e schiusa delle uova, tassi di crescita, accoppiamento, strategie riproduttive, modelli di attività, regimi alimentari ed altro.

Gli organismi riescono a superare queste condizioni, senza spostarsi, grazie a una serie di adattamenti fisiologici, biochimici, morfologici, comportamentali ed ecologici, tra i quali rientrano la produzione di melanina, la riduzione delle dimensioni, lo sviluppo di una fitta peluria, la nutrizione e l'accoppiamento a terra anziché in volo, la riduzione o scomparsa delle ali, la costruzione di bozzoli, la quiescenza e diapausa.

Tra gli adattamenti messi a punto ci sono alcuni atti a prevenire la perdita di acqua e ad accumulare nei tessuti sostanze anticongelanti (es. acidi lichenici, carboidrati, glicerina, che impediscono la formazione di cristalli di ghiaccio). Molte specie trascorrono, inoltre, lunghi periodi di tempo in una forma di vita latente, caratterizzata dalla quasi totale assenza di acqua (anidrobiosi).



## **Melanismo**

Per melanismo si intende lo sviluppo della colorazione scura come protezione dalle radiazioni ultraviolette e dal freddo, in quanto il colore scuro facilita l'assorbimento del calore.

## **Riduzione delle dimensioni**

Gli insetti terrestri e acquatici, sia delle regioni alpine che polari, presentano generalmente dimensioni inferiori rispetto agli esemplari delle stesse specie che vivono a quote e a latitudini più basse (*Tipula arctica*, ad esempio, cambia le sue dimensioni ogni 10 gradi di latitudine). Questo adattamento ha diversi vantaggi tra i quali una minore richiesta di cibo in un habitat che è per definizione oligotrofico e una crescita e uno sviluppo più rapido.

## **Folta peluria**

La tendenza a sviluppare una folta peluria per conservare in modo più efficiente il calore prodotto è una strategia adattativa sviluppata da molti animali ed è ben visibile anche in alcuni insetti.

E' il caso di due specie di insetti imenotteri (*Bombus polaris* e *Bombus arcticus*), appartenenti al genere *Bombus*, che sono in grado di resistere a temperature molto basse e si possono trovare in zone dal clima molto freddo dove normalmente non sono presenti altri tipi di imenotteri.

## **Riduzione o scomparsa delle ali e modifiche comportamentali**

Il volo svolge diverse funzioni essenziali: ricerca di cibo e di un habitat ideale, fuga dai predatori, dispersione della specie e ricerca di compagni. Tutte queste funzioni sono soppresse, ridotte o trasferite a terra nella maggior parte degli insetti delle regioni fredde. Ne è un esempio *Belgica antarctica*, specie endemica dell'Antartide (Fig. 1) caratterizzata dall'assenza delle ali.

La riduzione o l'assenza di ali possono essere una risposta alla temperatura dell'aria, se inferiore alla soglia fisiologica di volo o a forti venti che rendono difficile mantenere una specifica direzione di volo.

Anche se sono presenti, più frequentemente, solo nei maschi, questi adattamenti possono interessare entrambi i sessi.

In particolar modo la riduzione delle dimensioni delle ali viene osservata anche nelle femmine, in quanto permette di risparmiare risorse per la crescita

o la maturazione delle uova. Lo sviluppo delle ali e della loro rispettiva muscolatura richiede, infatti, un consumo altamente energetico, che ritarderebbe l'accrescimento degli individui con il rischio di non riuscire a completare in tempo il ciclo di vita.



Figura 1: *Belgica antarctica*.

Questi adattamenti comportano sostanziali cambiamenti nelle metodologie di accoppiamento o nelle abitudini alimentari, che a loro volta determinano una serie di modificazioni morfologiche secondarie (Fig. 2). E' stato osservato, ad esempio, che l'accoppiamento a terra, piuttosto che in volo, per i ditteri artici provoca l'allargamento e la sclerotizzazione dei genitali e l'inattivazione dei recettori sessuali utilizzati per riconoscere le femmine in volo.



Figura 2: Accoppiamento vicino ad un torrente glaciale in inverno (Trichoptera).

Foto di Bruno M Maiolini.

I cambiamenti nelle abitudini alimentari comportano, infine, modifiche dell'apparato boccale.

### **Selezione di habitat meno estremi**

La maggior parte degli invertebrati per evitare il rischio di congelamento migra verso microhabitat non congelati, più protetti, dove le condizioni sono meno sfavorevoli.

Tra questi, rivestono un ruolo chiave i fori crioconitici, fori conici di fusione tipici di ghiacciai e calotte glaciali.

Anche la deposizione delle uova avviene in luoghi più protetti. Alcuni taxa, come le zanzare artiche, sono soliti deporre le uova lungo la riva sud dei laghi dove la neve e il ghiaccio si sciolgono più velocemente in primavera, permettendo un rapido sviluppo vitale (Fig. 3).



Figura 3: Uova primaverili in un ruscello di alta quota (Diptera: Chironomidae: Diamesinae) (Alpi, 46°N, 2.400 m s.l.m.) (Foto di Valeria Lencioni).

### **Costruzione di bozzoli**

In inverno, alcuni insetti acquatici (ad esempio, molti ditteri chironomidi) costruiscono bozzoli lisci, trasparenti e sottili usando la loro saliva e sospendono la crescita, lo sviluppo, il movimento e l'alimentazione. I bozzoli sono chiusi alle due estremità, racchiudono l'animale saldamente, mantengono l'umidità interna e la temperatura superiore all'ambiente esterno.

Altri tipi di strutture di protezione sono stati osservati in diversi macroinvertebrati, come la chiusura del guscio nelle lumache e lo sviluppo di cisti trasparenti (Fig. 4).

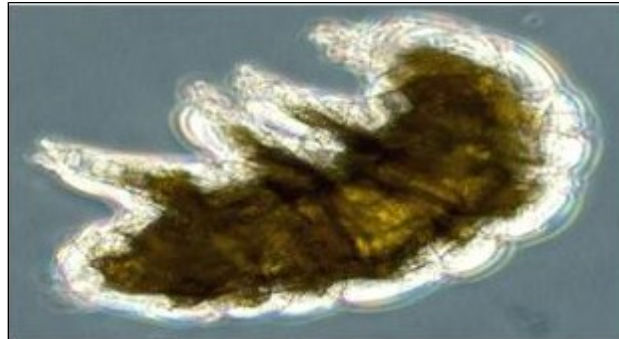


Figura 4: Tardigrado incistato.

La formazione di questo rivestimento è facilitato da un severo adattamento della cuticola esterna, nel contempo, una serie di cere vengono estruse dal corpo e vanno a coprire tutta la superficie, passaggio molto importante per ridurre la traspirazione.

La formazione del rivestimento esterno è molto importante, definirei essenziale, per la corretta preparazione all'anidrobiosi. Serve a proteggere organi interni, ma cosa non da poco, serve a proteggere la perdita di acqua attraverso la traspirazione. Il processo di formazione del rivestimento, richiede un metabolismo attivo. In linea generale, una lenta e progressiva deidratazione è l'ideale per la formazione del rivestimento protettivo nei tardigradi.

Per quanto riguarda la traspirazione, questa va via via diminuendo in parallelo con l'aumento della formazione della cuticola di rivestimento. Appena conclusa la formazione della cuticola si ha una perdita drastica dell'acqua ancora contenuta nel corpo, a questo punto si ha una riduzione del 20-60 % nel giro di pochi minuti, successivamente la traspirazione declina lentamente fino a livelli bassissimi, raggiungendo uno stato ametabolico.

## Diapausa

La diapausa rappresenta una sospensione temporanea dello sviluppo morfologico associato ad una forte riduzione del metabolismo in modo da superare le condizioni avverse.

I fattori che controllano la transizione da uno stato fisiologico all'altro sono il fotoperiodo, la temperatura e la disponibilità di cibo.

Sono descritti due tipi di diapausa: quello facoltativo (come diretta risposta a condizioni ambientali sfavorevoli) e quello obbligatorio (si verifica ogni anno per evitare un determinato periodo, che coincide con quello in cui si manifestano condizioni ambientali sfavorevoli). In ambiente artico la diapausa può durare per molti anni, finché le condizioni ambientali non diventano effettivamente favorevoli.

Negli insetti acquatici entrano in diapausa le uova o le larve mature, raramente le pupe e quasi mai l'adulto.

Molti organismi riescono a sopravvivere esposti a temperature al di sotto dello zero per un periodo prolungato (anche diversi mesi a -40/-50°C) senza subire danno grazie allo sviluppo di due strategie: l'ibernazione e il super-raffreddamento.

## Ibernazione

L'ibernazione è una modalità di sospensione vitale che comporta il congelamento dell'emolinfa e dei fluidi extracellulari ma non della matrice cellulare. Il congelamento dell'emolinfa comincia lentamente ad una temperatura sotto zero, relativamente alta (da -5 a -10°C), questo fa in modo che sia possibile il controllo della formazione di cristalli di ghiaccio. Quest'ultima è promossa da sostanze specifiche chiamate *Ice Nucleator* o *Ice Nucleator Agent* (INA), di origine interna o esterna.

Agenti interni sono generalmente proteine o lipoproteine che sono sintetizzate dagli insetti per questo scopo e depositati nell'emolinfa. Agenti esterni possono essere particelle di suolo come minerali, polvere e microrganismi, come batteri inoculati attraverso la cuticola. La crescita di

cristalli di ghiaccio inizia intorno a questi nuclei, coinvolgendo tutte le molecole d'acqua non legata.

La temperatura alla quale inizia la formazione di ghiaccio e la crescita dei relativi cristalli, è definita e controllata da sostanze specifiche sintetizzate appositamente, i crioprotettori e gli anticongelanti. Esempi di crioprotettori sono rappresentati dal glicerolo (Fig. 6) o da zuccheri come il glucosio e il fruttosio o da amminoacidi (ad esempio l'alanina).

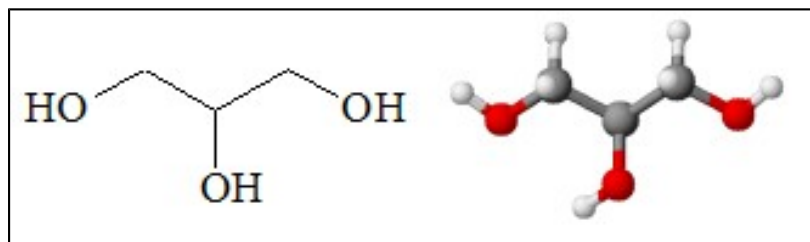


Figura 6: Glicerolo.

Queste sostanze agiscono in modo colligativo e sono altamente solubili in soluzioni acquose. Gli anticongelanti sono sostanze chimiche, quali amminoacidi e proteine complesse ad alto peso molecolare, chiamate THP (*Thermal Hysteresis Proteins*) (Fig. 7).

Nel complesso, tutte queste sostanze hanno la funzione di: abbassare di alcuni gradi il punto di congelamento di fluidi corporei, che nel caso degli insetti è all'incirca intorno a  $-10^{\circ}\text{C}$ ; proteggere da lesioni di congelamento le strutture macromolecolari; stabilizzare le proteine e gli enzimi contro la denaturazione dovuta al freddo; limitare la crescita dei cristalli di ghiaccio.

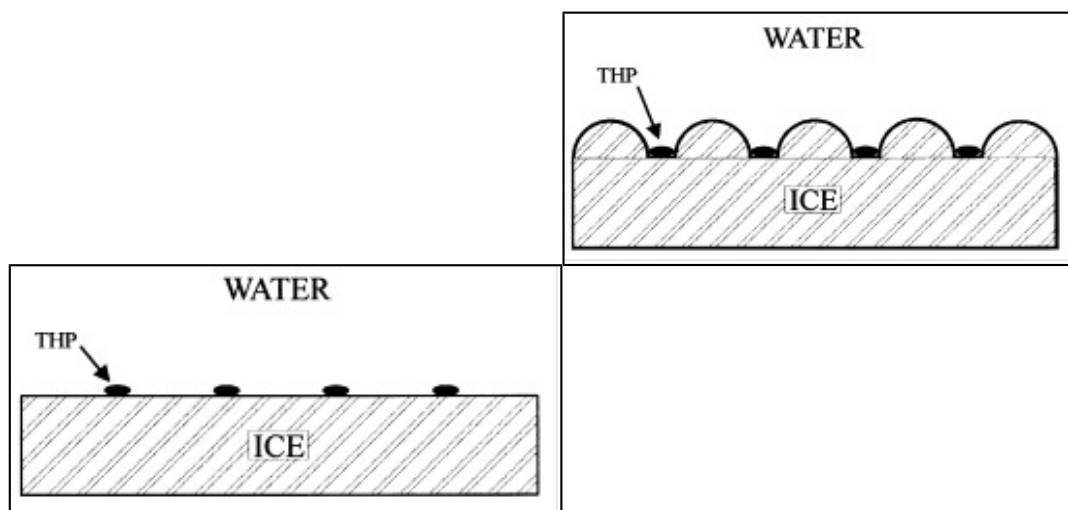


Figura 7: Dettaglio iconografico sull'azione delle THP.

## Super raffreddamento

Il super raffreddamento, più comune tra gli insetti acquatici, consente la sopravvivenza in ambienti in cui la temperatura scende al di sotto dello zero (al massimo  $-20^{\circ}\text{C}$ ) per periodi lunghi, mantenendo invece tutti i fluidi corporei allo stato liquido. In questi insetti il punto di congelamento viene spostato da  $-5/-10^{\circ}\text{C}$  (come è per la maggior parte degli insetti) a  $-20/-25^{\circ}\text{C}$  grazie all'accumulo nei fluidi corporei di anticongelanti (es. glicerolo).

Il super raffreddamento, a differenza dell'ibernazione, è dato dal mantenimento di fluidi corporei in uno stato non congelato a temperature decisamente inferiori al punto di congelamento naturale. Pur essendo osservato frequentemente nelle larve degli insetti acquatici, non mancano casi presenti nella fase adulta. Ne è un esempio la specie himalayana del dittero chironomide del genere *Diamesa*, i cui adulti sono stati trovati attivi a  $16^{\circ}\text{C}$  nei pressi di un ghiacciaio. Trattasi di organismi raccoglitori filtratori che si nutrono del particolato organico fine presente nelle acque di scioglimento del ghiacciaio.

specie		temperatura di super-raffreddamento ( $^{\circ}\text{C}$ )	soliti
aracnidi	<i>Clubiona</i>	-15,4	glicerolo (4,4%), PAC
	<i>Phylodromus</i>	-26,2	glicerolo (3,3%), PAC
insetti	<i>Xylophagus</i>	-6,0	zuccheri (5,9%), aminoacidi (0,8)
	<i>Pytho</i>	-6,6	glicerolo (4,5%), zuccheri (1,4%)
	<i>Tipula</i>	-7,0	sorbitolo (0,4 M), PN, LPN
	<i>Trichiocampus</i>	-8,6	trealosio (9%)
	<i>Pterostichus</i>	-10,0	glicerolo (25%)
	<i>Meracantha</i>	-10,3	PAC
	<i>Isia</i>	-18,2	glicerolo (4,44%), sorbitolo (0,83%)
	<i>Nemapogon</i>	-26,1	trealosio (0,2 M), alanina
	<i>Alaskozetes</i>	-30,0	glicerolo (0,5 M), polioli (3-5%)
	<i>Ips</i>	-32,4	glicole etilenico
	<i>Bracon</i>	-41,2	glicerolo (2,7 M)
	<i>Pterocomma</i>	-41,9	glicerolo (15,5%)
	<i>Rhabdophaga</i>	-49,1	glicerolo (32,4%)
	<i>Pytho</i>	-54,0	glicerolo (13,2%), zuccheri

			(5,5%)
vertebrati	<i>Hyla</i>	-2,0	glucosio (0,02 M)
	<i>Pseudacris</i>	-2,0	glucosio (0,06 M)
	<i>Hyla</i>	-2,2	glucosio (0,18 M)
	<i>Rana</i>	-3,0	glucosio (0,41 M)
	tartaruga	-3,3	glucosio (0,01 M), aminoacidi
	scoiattolo artico	-2,9	(0,074 M)
PAC: proteine anticongelanti, PN: proteine nucleanti, LPN: lipoproteine nucleanti			

Tabella 1: Super raffreddamento in vari invertebrati e vertebrati ectotermi.

### Anidrobiosi e Anossibiosi

Molti organismi sono in grado di tollerare una perdita di acqua superiore al 90% del loro contenuto corporeo, in presenza di temperature anche inferiori a -20°C per periodi prolungati di tempo.

In primavera si verifica rapidamente la reidratazione, soprattutto attraverso il rilascio di acqua legata da *cryoprotectant* (proteine anticongelanti), ma anche, negli insetti in diapausa, dal metabolismo dei lipidi; alcuni potrebbero prelevare acqua dall'ambiente (Fig. 8).

### Accumulazione di trealosio

L'anidrobiosi è un fenomeno comune di diversi organismi, il sistema che mantiene stabile le cose pare sia di carattere universale. La conclusione è basata sul fatto che hanno riscontrato una grande concentrazione di trealosio in organismi di origine diversa. L'effetto del trealosio è, in linea di massima, quello di rimpiazzare l'acqua, e di stabilizzare le membrane fosfolipidiche e altre proteine durante la deidratazione.

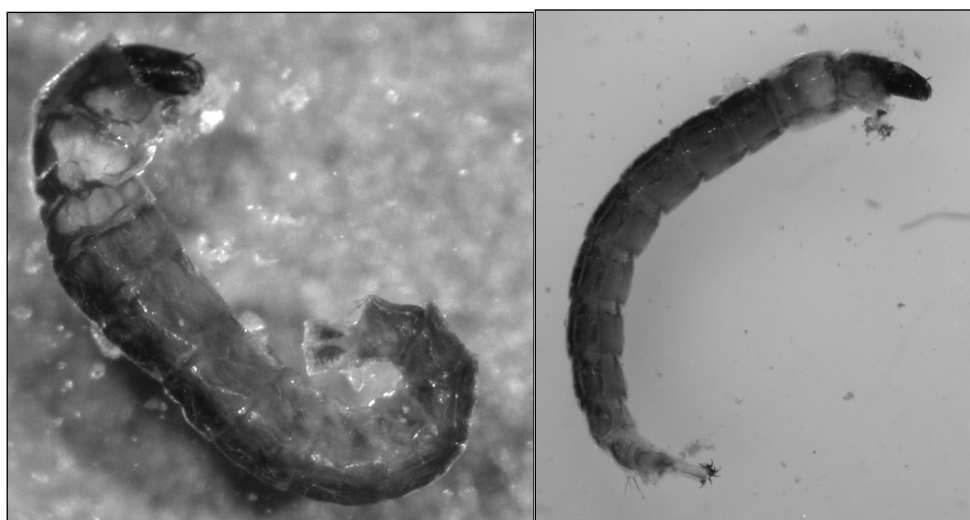




Fig. 8: *a sinistra*, chironomide in stato disidratato, trovato in un torrente glaciale a 2450 m sulle alpi italiane; *a destra*, chironomide in stato completamente reidratato dopo 45 min. in acqua a 4°. (Foto di V. Lencioni).

### ***Un esempio....i tardigradi***

I tardigradi fanno parte di una famiglia che comprende oltre 700 specie diverse. Poiché riescono a sopravvivere in condizioni estreme, si sono diffusi in tutti gli ambienti della terra (fig. 9).



Fig. 9: Foto al microscopio elettronico di un tardigrado in condizioni vitali.

Quando le condizioni ambientali diventano ostili, essi producono uno zucchero, il trealosio, che occupa il posto dell'acqua all'interno delle membrane cellulari del loro corpo.



Fig. 10: Foto al microscopio elettronico di un tardigrado in stato di dormienza.

Dopodiché il loro metabolismo si arresta e, in queste condizioni di vita sospesa, possono sopravvivere per decenni, forse anche per un secolo, per poi tornare in vita non appena l'ambiente diventa compatibile con le loro necessità (Fig. 10).

Le capacità di reazione dei tardigradi alle avversità sono molteplici; oltre al processo appena descritto, per reagire alla mancanza d'acqua, essi possono sviluppare uno stato di anossibiosi se manca l'ossigeno, uno di criobiosi per reazione ad un brusco calo di temperatura, di osmobiosi cioè un blocco degli scambi cellulari, se c'è un improvviso aumento di salinità, di incistamento, come reazione a variazioni lente del proprio ambiente.

## Conclusioni

Esiste una grande varietà di ambienti definiti estremi, nei quali le condizioni risultano essere decisamente inospitali per la maggior parte degli organismi viventi. Ciò nonostante si continuano a scoprire specie che non solo tollerano bene queste condizioni ma che addirittura le prediligono. Sono i cosiddetti organismi estremofili, letteralmente "amanti degli estremi". Molti estremofili sono così ben adattati al loro habitat che non sopravvivono se portati alle nostre condizioni di vita. La definizione di ambiente estremo dipende quindi dal punto di vista: per un microrganismo che vive unicamente a temperature glaciali, sono le nostre latitudini a essere un luogo inospitale.

In genere, i termini estremo ed estremofilo sono utilizzati in un'ottica prettamente antropocentrica: in pratica, le condizioni ambientali che non risultano essere compatibili con la vita umana vengono considerate estreme e gli organismi che vivono in ambienti caratterizzati da tali condizioni, estremofili. Inoltre, i criteri presi in considerazione nel definire un ambiente estremo non tengono conto né delle dinamiche temporali di un ambiente, considerando ad esempio eventi quali disastri naturali, né del diverso grado di tolleranza che gli organismi hanno a secondo della fase del ciclo vitale in cui si trovano (nuovi nati vs. adulti).

La crescente attenzione verso gli ambienti estremi e gli organismi estremofili, sviluppata in questi ultimi anni, è dovuta, oltre alle continue scoperte di nuove specie che vi abitano, anche al fatto che essi potrebbero spiegare l'eventuale presenza di altre forme di vita extraterrestri.

Ad oggi gli ambienti estremi principalmente studiati sono quelli caratterizzati da temperature elevate o eccessivamente basse, da un'alta pressione idrostatica, ambienti acidi o alcalini, ipossici o anossici, o estremamente salini.

Tutti questi ambienti possono ospitare una grande varietà di organismi, principalmente procarioti, ma anche eucarioti.

Gli ambienti estremi rappresentano una finestra nel passato. Si stanno sviluppando proposte circa l'origine della vita, secondo le quali essa

potrebbe esserci originata, ad esempio, da una sorgente idrotermale (Russell & Hall, 1997).

Molte informazioni sui vecchi climi in ambienti estremi e la vita sono conservate e impresse nelle rocce, queste sono la memoria storica, l'interpretazione è divenuta sempre più raffinata come la tecnologia e le tecniche applicate ad essa. I cambiamenti avuti nel flusso delle radiazioni UV-B, nella temperatura, nella concentrazione di O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> nella composizione atmosferica, ebbero origine nei passati ambienti estremi; tutto ciò è il frutto della documentazione geologica del passato, che possiamo usare per preannunciare cosa potrebbe accadere nel futuro. Nel più breve periodo di misurazioni, i due più grandi casi di estinzione di massa alla fine del Permiano e alla fine del Cretaceo possono essere considerati entrambi come periodi nei quali sono esistiti cambiamenti estremi, sebbene per cause differenti. In un mondo dove sono sempre più in aumento estremi antropici indotti, come prolungamenti del cambiamento climatico, sarebbe meglio ricordare che “il passato può essere la chiave del futuro” (Beerling, 1998). Per tale motivo può essere per noi il tempo di cominciare ad imparare qualche lezione dal passato.

In un'ottica olistica, gli ambienti estremi non possono essere considerati separatamente dal resto della biosfera. Molti estremofili rappresentano la principale fonte di cibo per altri organismi; è il caso del gambero di acqua salata *Artemia monica*. Questi ambienti esercitano, inoltre, una grande influenza sui processi ambientali a livello globale. Ne è un esempio il permafrost che agisce come serbatoio di carbonio e rappresenta un produttore di gas effetto serra, in grado di contrastare il riscaldamento globale. Tutto ciò spiega il crescente interesse scientifico, che va oltre la semplice curiosità.

Concludendo, lo studio degli ambienti estremi e delle biocenosi presenti, è un settore scientifico relativamente recente che si sta espandendo rapidamente e che porta a nuove eccitanti scoperte. I continui progressi tecnologici permettono di scavare nel passato per ricostruire come si è originata la vita fino ad arrivare ad oggi, analizzare la struttura cellulare di

questi organismi e i processi metabolici, ed estendere le ricerche anche a forme di vita extraterrestri. Questi studi possono, inoltre, essere utili anche a comprendere come potrebbe evolvere la vita sul Pianeta nel futuro e come l'uomo debba mitigare alcuni dei nuovi ambienti estremi da lui stesso generati.

## Bibliografia

- Anesio, A.M., Mindl, B., Laybourn-Parry, J., Hodson, A. and Sattler, B. (2007) Viral dynamics in cryoconite holes on a high Arctic glacier (Svalbard). *Journal of Geophysical Research* 112, G04S31.
- Bagshaw, E.A., Tranter, M., Wadham, J.L., Fountain, A.G. and Basagic, H. (2010) Dynamic behaviour of supraglacial lakes on cold polar glaciers: Canada Glacier, McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Journal of Glaciology* 56, 366-368.
- Baumgartner, M., Yapi, A., Grobner-Ferreira, R. and Stetter, K.O. (2003) Cultivation and properties of *Echinamoeba thermarum* n. sp., an extremely thermophilic amoeba thriving in hot springs. *Extremophiles* 7, 267-274.
- Beerling, D.J. (1998) The future as the key to the past for palaeobotany? *Trends in Ecology and Evolution* 13, 311-316
- Bilyk, K. and DeVries, A. (2010) Freezing avoidance of the Antarctic icefishes (Channichthyidae) across thermal gradients in the Southern Ocean. *Polar Biology* 33, 203-213.
- Blochl, E., Rachel, R., Burggraf, S., Hafenbradlm, D., Jannash, H.W. and Stetter, K.O. (1997) *Pyrolobus fumarii*, gen. and sp. nov., represents a novel group of Archaea, extending the upper temperature limit for life to 113 degrees C. *Extremophiles* 1, 14-21.
- Burden, R.F. and Randerson, P.F. (1972) Quantitative studies of the effects of human trampling on vegetation as an aid to the management of semi-natural areas. *Journal of Applied Ecology* 9, 439-457.
- Cox, M.M. and Battista, J.R. (2005) *Deinococcus radiodurans* – the consummate survivor. *Nature Reviews Microbiology* 3, 882-892.

Danovaro, R., Dell'Anno, A., Pusceddu, A., Gambi, C., Heiner, I. and Mobjerg Kristensen, R. (2010) The first metazoa living in permanently anoxic conditions. *Biomed Central, Biology* 8, 30.

Delhaize, E. and Ryan, P.R. (1995) Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology* 107, 315-321.

Doemel, W.N. and Brock, T.D. (1971) The physiological ecology of *Cyanidium caldarium*. *Journal of General Microbiology* 67, 17-32.

Dyer, D.L. and Gafford, R.D. (1961) Some characteristics of a thermophilic blue-green alga. *Science* 134, 616.

Edwards, A., Anesio, A.M., Rassner, S.M., Sattler, B., Hubbard, B.P., Perkins, W.T., Young, M. and Griffith, G.W. (2011) Possible interactions between bacterial diversity, microbial activity and supraglacial hydrology of cryoconite holes in Svalbard. *ISME* 5, 15-160.

Golyshina, O.V., Pivovarova, T.A., Karavaiko, G.I., Kondratéva, T.F., Moore, E.R. Abraham, W.R., Lunsdorf, H., Timmis, K.N., Yakimov, M.M. and Golyshin, P.N. (2000) *Ferroplasma acidiphilum* gen. nov., sp. nov., an acidophilic, autotrophic, ferrous-iron-oxidizing, cell-wall-lacking, mesophilic member of the Ferropasmaceae fam. nov., comprising a distinct lineage of the Archaea. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 50, 997-1006.

Gonzalez, R. and Wilson, R. (2001) Patterns of ion regulation in acidophilic fish native to the ion-poor, acidic Rio Negro. *Journal of Fish Biology* 58, 1680-1690.

Hartmann, R., Sickinger, H.-D. and Oesterhelt, D. (1980) Anaerobic growth of halobacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 77, 3821-3825.

Johnson, E.A., Summanen, P. and Finegold, S.M. (2007) Clostridium. In: Murray, P., Baron, E., Jorgensen, J., Landry, M. and Pfaller, M. (eds) *Manual of Clinical Microbiology*, 9<sup>th</sup> edn. American Society for Microbiology Press, Washington DC, 2256 pp.

- Jones, W.J., Leigh, J.A., Mayer, F., Woese, C.R. and Wolfe, R.S. (1983) *Methanococcus jannaschii* sp. nov., an extremely thermophilic methanogen from a submarine hydrothermal vent. *Archives of Microbiology* 136, 254-261.
- Kevbrin, V.V., Lysenko, A.M. and Zhilina, T.N. (1997) Physiology of the alkaliphilic methanogen Z-7936, a new strain of *Methanosalsus zhilinaeae* isolated from Lake Magadi. *Microbiology* 66, 261-266.
- Koh, T.Y. (1975) Studies on the “osmophilic” yeast *Saccharomyces rouxii* and an obligate osmophilic mutant. *Journal of General Microbiology* 88, 101-114.
- Kohshima, S. (1984) A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier. *Nature* 310, 225-227.
- Macelroy, R.D. (1974) Some comments on the evolution of extremophiles. *Biosystems* 6, 74-75.
- Madrigali, R., Peluzzi D. e coll. (2013) Il futuro della terra è scritto nella luna. *Meteo Mundi Project* 10, 95-124.
- Marchant, H.J., Davidson, A.T. and Kelly, G.J. (1991) UV-B protecting compounds in the marine alga *Phaeocystis pouchetti* from Antarctica. *Marine Biology* 109, 391-395.
- Mueller, D.R., Vincent, W.F., Pollard, W.H. and Fritsen, C.H. (2001) Glacial cryoconite ecosystems: a bipolar comparison of algal communities and habitats. *Nova Hedwigia* 123, 173-197.
- Nakasone, K., Ikegami, A., Kato, C., Usami, R. and Horikoshi, K. (1998) Mechanisms of gene expression controlled by pressure in deep-sea microorganisms. *Extremophiles* 2, 149-154.
- Oren, A. (2005) A hundred years of *Dunaliella* research: 1905-2005. *Saline Systems* 1, doi: 10.1186/1746-1448-1-2.
- Ponge, J.-F. (2000) Acidophilic Collembola: living fossils? *Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University* 29, 65-74.



- Russell, M.J. and Hall, A.J. (1997) The emergence of life from iron monosulphide bubbles at a submarine hydrothermal redox and pH front. *Journal of the Geological Society of London* 154, 377-402.
- Schleper, C., Piihler, G., Kuhlmoorgen, B. and Zillig, W. (1995) Life at extremely low pH. *Nature* 375, 741-742.
- Storey, K.B. and Storey, J.M. (1992) Natural freeze tolerance in ectothermic vertebrates. *Annual Review of Physiology* 54, 619-637.
- Storey, K.B. and Storey, J.M. (1996) Natural Freezing survival in animals. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27, 365-386.
- Thorp, J.H. and Covich, A.P. (2001) An overview of freshwater habitats. In: Thorp, J.H. and Covich, A.P. (eds) *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press, San Diego, California, pp. 19-42.
- Uetake, J., Naganuma, T., Hebsgaard, M.B., Kanda, H. and Koshima, S. (2010) Communities of algae and cyanobacteria on glaciers in west Greenland. *Polar Science* 4, 71-80.
- Wharton, D.A. and Ferns, D.J. (1995) Survival of intracellular freezing by the Antarctic nematode, *Panagrolaimus davidi*. *Journal of Experimental Biology* 198, 1381-1387.
- Wharton, R.A., Vinyard, W.C., Parker, B.C., Simmons, G.M. and Seaburg, K.G. (1981) Algae in cryoconite holes on Canada Glacier in Southern Victoria Land, Antarctica. *Phycologia* 20, 208-211.
- Yamada, M., Nakasone, K., Tamegai, H., Kato, C., Usami, R. and Horikoshi, K. (2000) Pressure regulation of soluble cytochromes c in a deep-sea piezophilic bacterium, *Shewanella violacea*. *Journal of Bacteriology* 182, 2945-2952.
- Yancey, P.H., Clark, M.E., Hand, S.C., Bowlus, R.D. and Somero, G.N. (1982) Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science* 217, 1214-1222.

Yoshimura, Y., Kohshima, S. and Ohtani, S. (1997) A community of snow algae on Himalayan glacier: change of algal biomass and community structure with altitude. *Arctic and Alpine Research* 29, 126-137.

Zavarzin, G.A., Zhilina, T.N. and Kevbrin, V.V. (1999) The alkaliphilic microbial community and its functional diversity. *Microbiology* 68, 503-521.

### **Sitografia**

<http://www.explorlimits.com/>

<http://wattsupwiththat.com/>

<http://arctic.atmos.uiuc.edu/>

<http://nsidc.org/>

<http://polar.ncep.noaa.gov/>