I laghi: testimoni del clima del passato

E. Lodolo, L. Baradello, M. Caffau, M. Grossi
OGS (Ist. Naz. di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale)
H. Lippai, A. Tassone Universidad de Buenos Aires
M. Menichetti Università di Urbino

Dai depositi lacustri della Tierra del Fuego e della Patagonia meridionale si possono ricostruire le variazioni climatiche e gli ambienti del passato. Recenti campagne geofisiche e geologiche rivelano come la coltre di ghiaccio che un tempo copriva buona parte di questo settore meridionale dell'America del Sud, abbia subito una serie di avanzamenti e ritiri a partire dall'Ultimo Massimo Glaciale. Queste dinamiche sono ricostruibili sia attraverso le geometrie delle sequenze sedimentarie, sia attraverso approfondite analisi geochimiche e mineralogiche condotte su carote prelevate dal fondo dei laghi.

Per ricostruire in modo affidabile le condizioni ambientali del recente passato geologico (il Tardo Quaternario e l'Olocene), uno degli archivi più utili e completi è senza dubbio rappresentato dai sedimenti, ed in particolare da quelli lacustri. I laghi sono ambienti relativamente tranquilli, e generalmente privi di importanti sistemi di correnti che possano condizionare in modo sostanziale i processi di accumulo che avvengono sul fondo. Studiando forma, geometria e spessore dei depositi, loro composizione chimica e mineralogica, ed i fossili che essi eventualmente racchiudono, si ricavano molte informazioni. Tra queste, le più preziose sono quelle che consentono di identificare gli agenti che li hanno generati, in relazione alle diverse condizioni ambientali, ed i meccanismi attraverso i quali sono stati deposti.

La posizione geografica dei laghi della Tierra del Fuego della Patagonia meridionale è ideale per questo tipo di indagini. Essi si trovano all'interno del sistema dei venti occidentali provenienti dall'Oceano Pacifico meridionale, ed immediatamente a nord del fronte polare Antartico. Qui il gradiente termico tra il Polo Sud (temperatura annuale media di -50°C) e l'Equatore, è molto più pronunciato rispetto a quello tra il Polo Nord (temperatura annuale media di -20°C) e l'Equatore, e di conseguenza i venti occidentali sono molto più intensi nella parte meridionale dell'emisfero sud. Questo condiziona pesantemente il regime meteorologico del settore meridionale del Sud America, determinandone tassi di umidità e precipitazioni. Le sue variazioni di intensità si ripercuotono quindi sul clima generale della regione.

Mappa generale del settore meridionale del Sud America, in cui sono indicati i due principali laghi su cui si sono concentrate le ricerche nel corso di queste campagne.

Durante il periodo conosciuto come Ultimo Massimo Glaciale (LGM) - collocato tra i 18000 ed i 20000 anni fa - buona parte della Patagonia e della Tierra del Fuego erano coperti da una spessa coltre glaciale, che si estendeva in maniera praticamente continua dalle latitudini 35°S a 56°S. Molti di questi ghiacciai coprivano anche le depressioni morfologiche e le valli, alcune delle quali sono oggi occupate da laghi. Ciò che attualmente rimane di questa calotta è rappresentato dal campo Hielo Patagonico, nelle Ande meridionali cilene, e nella Cordillera Darwin, situata nella parte centrale della Tierra del Fuego. Da queste zone di accumulo, vari fronti glaciali si spingono verso ovest direttamente nelle acque del Pacifico lungo le coste frastagliate del Cile (fiordi patagonici), ed in vari laghi della Patagonia meridionale.

Il periodo corrispondente all'Ultimo Massimo Glaciale è quello più studiato e noto perché ha lasciato le tracce più evidenti sia dal punto di vista morfologico che sedimentario. Ma chiare evidenze di dinamiche glaciali in questo settore meridionale del Sud America sono state documentate anche per periodi ben anteriori, il Pliocene ed il Pleistocene. Durante questi intervalli di tempo, alcune lingue glaciali arrivarono a lambire le coste Atlantiche della Patagonia meridionale, spingendosi anche sulla piattaforma continentale, in quel tempo parzialmente emersa. Sembra comunque che alcune glaciazioni avvennero anche prima, tra circa 7 e 5 milioni di anni fa, nonostante le evidenze di queste non siano sempre univocamente interpretabili. In generale, le informazioni hanno mostrato come agli eventi climatici freddi (glaciali) si siano intercalati periodi relativamente caldi e/o temperati (interglaciali). Queste alternanze climatiche ebbero una grande influenza sul paesaggio e condizionarono pesantemente la distribuzione delle specie vegetali, le migrazioni animali e quindi gli ecosistemi.

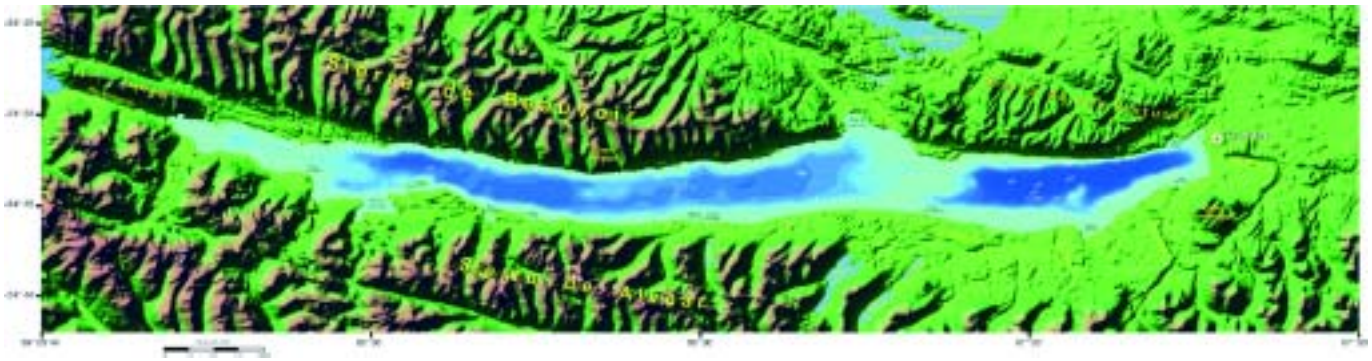
I ghiacciai sono tra i sistemi fisici più sensibili alle fluttuazioni climatiche nel corso del tempo. Essi rispondono dinamicamente a questi cambiamenti, con avanzamenti e ritiri che, in ultima analisi, riflettono le variazioni stesse del sistema dei venti occidentali. Ecco perché ricostruire i processi dinamici dei ghiacciai significa ricostruire il clima del passato. E questa analisi viene condotta in larga misura sulle forme, geometrie e distribuzione dei sedimenti deposti dai ghiacciai stessi sia sul

fondo dei laghi in cui si gettano, sia nelle aree circostanti su cui si sono spinti in passato. Un esempio universalmente noto di questi depositi è rappresentato dalle morene.

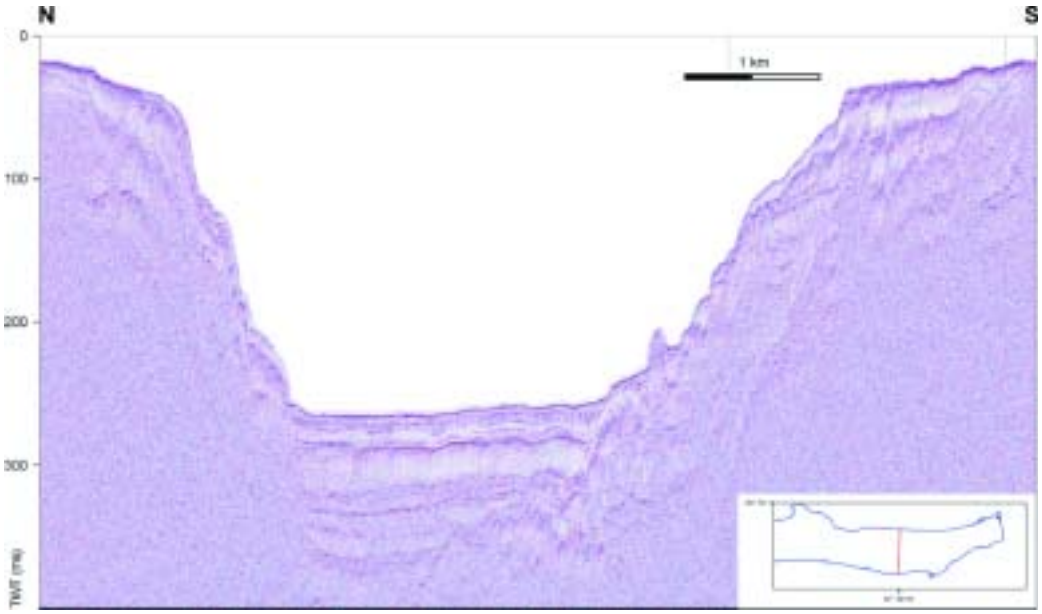
L'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) di Trieste, in collaborazione con l'Università di Buenos Aires, ha intrapreso una serie di campagne di indagine geofisica e geologica in alcuni laghi della Tierra del Fuego e della Patagonia meridionale, finanziate dal Ministero degli Esteri Italiano. Sono stati eseguiti sondaggi batimetrici, prelevati campioni di sedimento dal fondo dei laghi attraverso carotaggi a gravità ed acquisiti profili sismici ad altissima risoluzione, i quali consentono di 'radiografare' i corpi sedimentari al di sotto del fondo dei laghi. Nel corso di queste ricerche, inoltre, sono stati studiati vari affioramenti e depositi legati alle dinamiche glaciali. Si tratta di informazioni essenziali che, opportunamente integrate, ci permettono di ricostruire la storia dell'avanzamento e del ritiro dei ghiacciai che hanno depositato i sedimenti nel corso del passato geologico.

Il Lago Fagnano in Tierra del Fuego, già oggetto di approfonditi studi negli anni passati, è lo specchio d'acqua più meridionale del pianeta (se si escludono i laghi sub-glaciali dell'Antartide orientale). Esso, allungato secondo una direttrice prevalente E-W, occupa una depressione tettonica originatasi lungo il margine tra le placche del Sud America e di Scozia, in corrispondenza di una serie di faglie sub-verticali. È il movimento trascorrente lungo queste strutture che ha generato la serie di depressioni nelle quale si è sviluppato il bacino. La profondità massima (206 m) si trova nel settore orientale del lago, mentre il settore occidentale presenta una profondità media di circa 110 m. Indizi inequivocabili hanno mostrato come il solco tettonico ora riempito dal lago fosse in passato occupato da un grande ghiacciaio. Sono state identificate e mappate nel bacino una serie complessa di morene centrali e laterali, generate dalla azione del ghiacciaio, poi coperte da strati più o meno spessi di sedimenti lacustri e fluvio-lacustri. Le caratteristiche mineralogiche e sedimentarie dei campioni prelevati attraverso le carote, la loro granulometria e le geometrie deposizionali a scala macroscopica e microscopica (laminazioni più o meno regolari, intercalazioni di materiali di differente composizione, presenza di bio-indicatori quali microfossili, ecc.) permettono di ricostruire in dettaglio i tipi e gli ambienti di sedimentazione. Questi dati, affiancati alle osservazioni ed alle analisi morfologiche degli affioramenti di sequenze sedimentarie lungo i margini del lago, ci hanno mostrato come l'antico ghiacciaio Fagnano, originatosi dalla calotta principale della Cordillera Darwin, sia avanzato almeno una ventina di volte dopo il lungo periodo seguito all'Ultimo Massimo Glaciale.

Le operazioni di prelevamento di campioni dal fondo del Lago Fagnano utilizzando il sistema del carotaggio a gravità (sinistra). Sistema di acquisizione sismico ad altissima risoluzione (destra) utilizzato nel corso del rilievo nel Lago Argentino. Sullo sfondo, il fronte del ghiacciaio Perito Moreno.



Mappa batimetrica del Lago Fagnano, realizzata combinando una serie di sondaggi batimetrici e profili sismici convertiti in profondità, acquisiti nel corso di diverse campagne geofisiche.



Esempio di linea sismica ad alta risoluzione acquisita attraverso il settore orientale del Lago Fagnano, dove è massima la profondità. Si nota la presenza di una spessa sequenza ben stratificata di sedimenti glacio-lacustri, il cui spessore raggiunge oltre 100 m, ed alcuni corpi sedimentari presenti lungo i fianchi del bacino che rappresentano parti di morene laterali. Il box in basso a destra indica la posizione del profilo.

Durante il periodo corrispondente all'Ultimo Massimo Glaciale, il ghiacciaio Fagnano, così come altri ghiacciai della Tierra del Fuego, scorreva verso est, favorito dalla presenza della depressione tettonica. È stato calcolato che, nella sua massima estensione, esso copriva un'area di oltre 4000 km^2, con un volume totale di ghiaccio di $54x10^5$ m^3. Raggiunse una lunghezza totale di circa 120 km e si spinse probabilmente sino alle coste dell'Atlantico, come è testimoniato dalla presenza di depositi di till (misture di roccia, ghiaia e massi all'interno di una matrice di materiale più o meno fine), abbandonati dal fronte esterno del ghiacciaio nel corso del suo ritiro. Anche se non sono state riconosciute importanti evidenze morfologiche di morene frontali, ossia gli accumuli di materiale che il fronte più avanzato della lingua glaciale porta con sé nel corso del suo avanzamento, resti erosi di morene laterali e basali sono stati mappati a circa 30 km a est dell'attuale linea di costa orientale del Lago Fagnano.

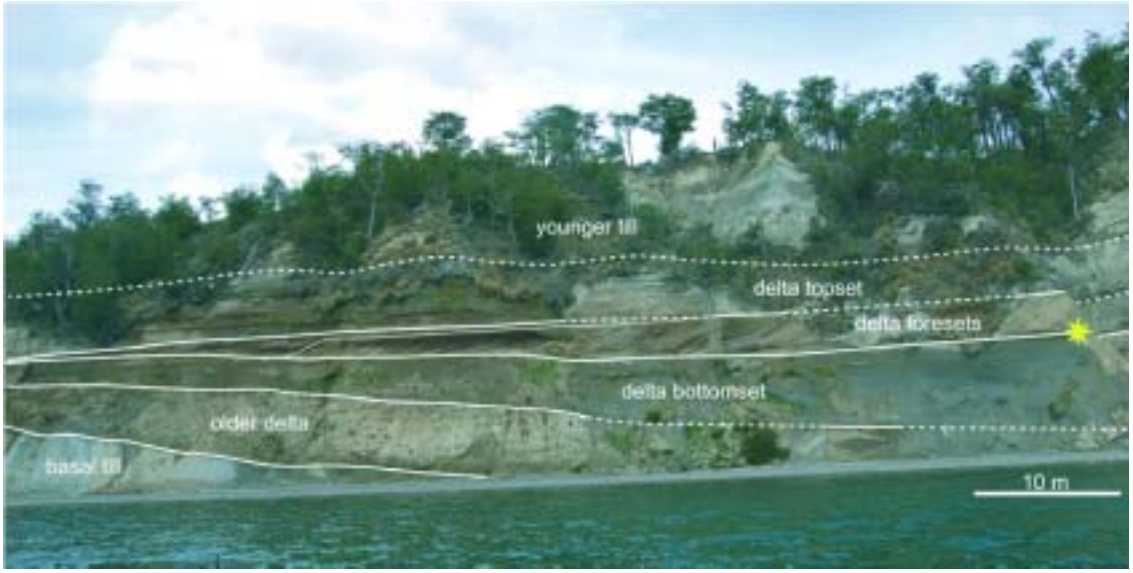
Durante il periodo post-glaciale (15000-12000 anni fa), il ghiacciaio Fagnano si ritirò, insieme con la maggior parte dei suoi equivalenti del sud della Patagonia. I dati suggeriscono che questo lungo periodo di ritiro abbia compreso anche brevi intervalli climatici con aumento dell'umidità, probabilmente generati dal sistema dei venti occidentali migrato verso latitudini più meridionali. Ciò ha causato degli avanzamenti parziali del ghiacciaio, con conseguente deposizione di distinte morene terminali. L'Olocene medio (circa 8000 anni fa), segnò l'inizio di una fase neo-glaciale, così come rilevato in altre parti della Tierra del Fuego: durante questo intervallo, il ghiacciaio avanzò di nuovo, ma la sua estensione si limitò probabilmente solo alle regioni più elevate della Cordillera Darwin ad ovest, come era ed è attualmente il caso per altri ghiacciai dell'area. Il Lago Fagnano, così come lo conosciamo oggi, probabilmente non è stato influenzato direttamente dai ghiacciai durante l'Olocene medio. I depositi tardo-Olocenici, il cui spessore varia tra i 10 ed i 40 m, e caratterizzati da una stratificazione molto fitta e regolare, sono il prodotto di processi sedimentari che riflettono un ambiente lacustre relativamente tranquillo.

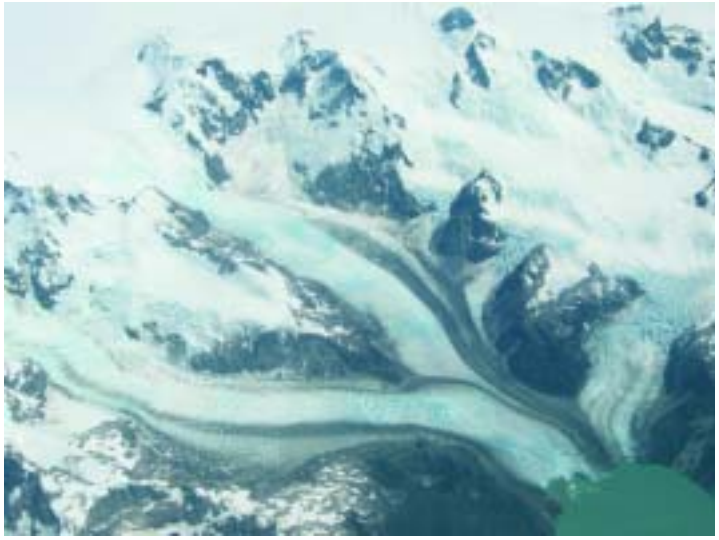
Ma come si presenta oggi un ambiente interglaciale, dove ancora persistono dei fronti glaciali? Lo possiamo vedere in alcuni laghi della Patagonia meridionale che conservano la presenza di importanti ghiacciai, in analogia a quanto avveniva in passato nell'area del Lago Fagnano. Uno di questi bacini è il Lago Argentino, situato alla latitudine di 50°15'S: esso può essere considerato come una rappresentazione attuale di ambiente glaciale nella sua fase temperata. Uno dei suoi bracci occidentali, incastonato in una stretta valle della Catena Andina meridionale, ospita, tra gli altri, il famoso ghiacciaio Perito Moreno, uno dei più spettacolari e noti a livello turistico. Esso è uno dei 48 ghiacciai alimentati dal Hielo Patagonico, la terza riserva mondiale di acqua dolce.

Nel Lago Argentino si è potuto mappare per la prima volta parte del fondo del lago e studiare i corpi sedimentari generati dal fronte del ghiacciaio Perito Moreno e di altri due importanti fronti che sboccano nel lago da valli laterali. Studi recenti hanno evidenziato come la maggior parte dei ghiacciai continentali, sia della catena Andina che di quella Alpina ed Himalayana, sono in lento declino in termini di volume e di superficie. Il Perito Moreno, invece, rappresenta una eccezione. Il suo fronte non si è sostanzialmente modificato e apparentemente è in equilibrio, in termini di volume, tra la zona di accumulo e quella che si perde in acqua al fronte esterno per scioglimento, almeno secondo i dati raccolti negli ultimi 100 anni. Le indagini in questo lago sono da poco iniziate e senza dubbio potranno contribuire alla ricostruzione delle dinamiche di avanzamento e di ritiro del fronte glaciale alle latitudini meridionali.

Questi studi confermano ancora una volta come il clima sia cambiato ciclicamente nel corso della storia geologica del nostro pianeta, alternando fasi temperate-calde a fasi più fredde. Anche le analisi sulle carote di ghiaccio recuperate sia in Antartide che in Groenlandia, dalle quali si sono potute ricostruire le condizioni termiche dell'atmosfera sino a circa 900.000 anni fa, mostrano una significativa ciclicità. L'individuazione dei meccanismi che causano queste fluttuazioni, e le modificazioni che ne conseguono sull'ambiente, sono oggetto di studio da parte di ricercatori in tutto il mondo. Nell'ultimo trentennio, il contenuto di ani-

Panoramica di un affioramento del Lago Fagnano che mette in evidenza la progradazione del delta proglaciale tra due depositi morenici alla base e al tetto. Il delta è costituito da bottomset a granulometria fine, e da foreset e topset ghiaiosi.





Il fronte del ghiacciaio Perito Moreno (a sinistra), che sbocca in uno dei rami occidentali del Lago Argentino. A destra, veduta aerea di due rami di un ghiacciaio del campo Hielo Patagonico.

dride carbonica nell'atmosfera è cresciuto esponenzialmente. Nello stesso periodo, si è registrato anche un incremento significativo della temperatura. La comunità scientifica concorda sul fatto che l'incremento della temperatura registrato a partire dall'inizio dell'era industriale sia legato all'immissione di gas serra nell'atmosfera, tra i quali l'anidride carbonica è uno dei più importanti, derivanti principalmente da un utilizzo sempre più massiccio dei combustibili fossili.

Molti ritengono quindi che la fase relativamente calda che stiamo vivendo sia in larga misura prodotta dell'attività antropica. Ma è altresì importante sottolineare che risulta ancora estremamente difficile discriminare il contributo dell'uomo sull'ambiente dalle cause naturali dei cambi climatici, poiché è ancora troppo limitato temporalmente - poco più di 150 anni - il record dei parametri meteorologici e climatici affidabili che abbiamo a disposizione.

Gli studi paleo-climatici rivestono in questo senso un ruolo di fondamentale importanza. Attraverso l'individuazione e la calibrazione della portata delle variazioni ambientali del passato, queste informazioni consentono di fare chiarezza sul significato degli eventi climatici del presente, fornendo importanti indicazioni su ciò che ci potremmo aspettare per il futuro.

Per saperne di più

Coronato, A. et al., 2009. Glacial geomorphology of the Pleistocene Lake Fagnano ice lobe, Tierra del Fuego, southern South America: alpine and lowland glacial landscape. Geomorphology, 112, 67-81.

Lodolo, E. et al., 2003. Magallanes-Fagnano continental transform fault (Tierra del Fuego, southernmost South America). Tectonics, 22 (6), 1076, doi:10.1029/2003TC001500.

Rabassa, J. (Editor), 2008. The Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Developments in Quaternary Science Series, Elsevier, 513 pp.

Waldmann, N. et al., 2010. Geophysical evidence of multiple glacier advances in Lago Fagnano (54°S), southernmost Patagonia. Quaternary Science Reviews, doi:10.1016/j.quascirev.2010.01.016.

doi: 10.1474/Geoitalia-33-08