

Il clima perduto dell'Asia Centrale

Il PROGETTO ALTAY: ricostruzioni paleoclimatiche da speleotemi nella parte russa della regione degli Altay

RENZA MIORANDI, MICHELE ZANDONATI,
YURI DUBLYANSKI, ANDREA BORSATO, SILVIA FRISIA

Museo Tridentino di Scienze Naturali

Il progetto e la sua genesi

Il "PROGETTO ALTAY", organizzato e finanziato dal Museo Tridentino Scienze Naturali, si inserisce nella linea di ricerca che si propone di ricostruire l'evoluzione dell'ambiente e del clima del passato attraverso l'analisi delle proprietà chimico-fisiche delle concrezioni di grotta (speleotemi) e che vede impegnati già da dieci anni alcuni degli scriventi. Avviato nell'estate del 2004, estende ricerche analoghe incentrate sullo studio dei cambiamenti climatici e ambientali, dal Tardiglaciale a oggi, registrati in stalagmiti e sedimenti lacustri prelevati in territorio trentino. Tali ricerche sono state finanziate dalla Provincia Autonoma di Trento attraverso il Fondo Unico per la Ricerca.

Tra queste, il progetto AQUAPAST (*Acqua e concrezioni di grotta quali strumenti per ricostruire ad alta risoluzione i cambiamenti climatici del passato in Trentino*) ha evidenziato una correlazione tra cambiamenti globali registrati nelle carote di ghiaccio della Groenlandia e cambiamenti locali archiviati nelle concrezioni delle grotte presenti sul territorio trentino.

Inoltre, la velocità con cui crescono le stalag-



Fig.1 - L'impetuoso corso di un torrente nel complesso montuoso degli Altay (foto tratta da: www.wildrussia.spb.ru).

miti è uno dei più importanti dati vicarianti del clima cioè dati indiretti legati a parametri climatici cui si può risalire conoscendo le funzioni che legano il dato al parametro di interesse. Questo parametro è determinato dalla temperatura media annua in ben tre casi molto lontani tra loro: in una stalagmite proveniente dalla Cina, in una proveniente dalla Grotta di Ernesto (Grigno, TN) e in una dalla Scozia.

Confrontando la ricostruzione delle temperature medie annue ricavate dalla velocità di crescita di queste tre stalagmiti, caratterizzate dalla presenza di livelli annuali (simili agli anelli di accrescimento degli alberi) per gli ultimi 500 anni, si nota che tutti e tre i campioni danno lo stesso risultato, cioè registrano la variabilità delle temperature nell'Emisfero Nord (CLAIRE SMITH, comunicazione personale, 2005). Infine, confrontando i nostri dati con quelli delle grotte di Israele pubblicati da BAR-MATTHEWS *et al.* (1999), è stata messa in luce una variabilità simile nell'evoluzione climatica, dal Tardiglaciale ad oggi, tra le Alpi (Nord-Est Italiano e Carso Triestino) e il Medio Oriente. Queste osservazioni sono molto importanti, in quanto pongono in evidenza che il clima del Trentino è collegato al clima globale, e cambiamenti a grande scala, sia in meglio che in peggio, si ripercuotono sulla nostra Provincia.

Il clima del Trentino e del N-E italiano sembra essere influenzato sia dal Mediterraneo orientale (analogie con Israele), sia dalle masse d'aria provenienti dall'Atlantico meridionale, che spiegano le similitudini con la Scozia, sia, infine dall'Anticiclone Siberiano, che ha la sua importanza nel controllo delle temperature invernali in Cina.

Quest'ultimo è un fenomeno poco studiato, poiché non ci sono molti archivi di dati vicarianti in ambiente continentale.

Per questo motivo abbiamo pensato fosse utile cercare stalagmiti in Asia Centrale, e estendere l'indagine paleoclimatica a un'area da cui si potessero trarre informazioni sullo spostamento nel tempo dell'Anticiclone Siberiano e sui suoi effetti sulla piovosità e la temperatura delle grandi pianure asiatiche. Siamo, quindi, andati a esplorare alcune grotte nella Repubblica degli Altay nell'ambito di un progetto di collaborazione con le Università di Novosibirsk e Gorno-Altaysk.

Quest'attività ha portato all'acquisizione di alcuni campioni attualmente in fase di studio. Allo stesso tempo i ricercatori cinesi stanno esplorando grotte dal SE della Cina verso la Mongolia per avere un quadro paleoclimatico completo dell'area orientale.

La nostra indagine negli Altay diventa, dunque, strategica anche per i colleghi cinesi del Karst Dynamic Laboratory (KDL) con cui abbiamo da poco instaurato un rapporto di collaborazione nello sforzo immane di ricostruire insieme l'evoluzione del clima nel tempo per tutto il continente Eurasiatico.



Fig. 2 - L'Eurasia; nel riquadro a sinistra, particolare dell'area di ricerca. La stella rossa indica la zona della Cina dove sono stati prelevati alcuni speleotemi sempre da parte di ricercatori di MTSN - vedi articolo FRISIA *et al.* (© ESRI, 2005 – elaborazione: M. Zandonati, MTSN 2005).

Un po' di geografia...

La Repubblica degli Altay fa parte della Federazione Russa ed è situata nella Siberia meridionale. Confina con il Kazakhstan a SW, la Cina a S, la Mongolia a SE e il Territorio degli Altay a N.

La capitale Gorno Altaysk si trova pochi chilometri all'interno del confine settentrionale. Percorrendo la regione da nord a sud, si incontra dapprima una zona collinare boscosa che si eleva dalla sterminata pianura siberiana proseguendo, i rilievi sono sempre più elevati, fino a raggiungere l'altezza massima di 4506m.s.l.m. con il monte Belukha.

La spedizione del Museo Tridentino di Scienze Naturali, per ovvi problemi logistici, di accessibilità e di tempo, si è concentrata nella zona pedemontana del paese, a pochi chilometri di distanza dalla capitale Gorno Altaysk.

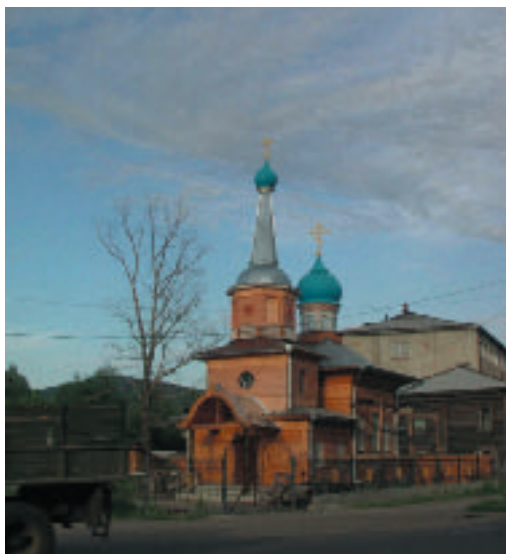


Fig. 3 - Chiesa ortodossa nel centro di Gorno Altaysk. (foto: R. Miorandi).



Fig. 4 - L'acuminato profilo del monte Belukha, 4506 m (foto: I. Scherbakov).

L'area è caratterizzata da un clima di tipo continentale temperato, con forte contrasto stagionale tra inverni molto freddi, in cui la temperatura può scendere fino a -50°C circa, e estati molto calde e piovose. Mediamente ogni anno si registrano tra 800 e 1000mm di precipitazioni sia nevose che piovose, con un massimo tra maggio e settembre.



Fig. 5 - Panorama tra le nubi nei pressi della grotta Tutkush. L'estate è un periodo molto piovoso (foto: R. Miorandi).



Figg. 6, 7, 8 - Tre paesaggi degli Altaj nei dipinti del pittore Aleksey Motorin (immagini tratte dal sito: www.paintingofrussia.com)

Le montagne d'oro

Spesso considerati un tutt'uno orografico con i limitrofi monti Sayani (che ne rappresentano la prosecuzione verso est) gli Altai sono una catena montuosa della Siberia meridionale, principalmente compresa tra Mongolia e Russia, ed in piccola parte estesa anche sul territorio del Kazakistan e della Repubblica Popolare Cinese.

Situati al limite meridionale del Bassopiano Siberiano, ad una latitudine media di 52° (quella di Varsavia, tanto per intenderci...), danno origine a due tra i più lunghi fiumi del mondo, l'Ob e lo Yenissey, che dalle pendici settentrionali di questa catena iniziano il loro infinito decorso verso il mar Glaciale Artico.

Etimologicamente, poiché in turco *al* significa "oro" e *tau* "monte", il nome *Altai* va probabilmente letto come "monti d'oro". Lo stesso significato ha l'etimo mongolo *Altain-ula*. In russo la denominazione di questi monti è Алтай (pronunciato *Altai*). La lettera finale si pronuncia come una "i" ma in cirillico è indicata con un simbolo particolare perché forma dittongo con la "a" che la precede. Questa particolarità ha indotto alcuni a translitterare l'ultima lettera con un simbolo diverso dalla "i", cioè "j" (pronunciata "i") secondo la tradizione germanica e anche italiana dell'Ottocento, oppure "y" secondo la tradizione anglofona.

Dunque *Altaj*, *Altay* o *Altai*?

Oggi anche nei paesi anglofoni e germanofoni prevale la translitterazione più semplice e più immediata, con la "i" normale.



Fig. 9 – Un ritratto dell’elusivo leopardo delle nevi, il felino meglio adattato alla vita in alta quota (foto: M. Trykar, per cortesia dello Snow Leopard Trust).

Nella parte settentrionale della regione si sviluppano i cosiddetti monti Sailughem o Silyughema, noti anche come Kolyvan Altai: i loro versanti nord-occidentali si ergono particolarmente ripidi e tra di essi si colloca la vetta più alta, il monte Belukha (Белуха), alto 4506m, ma in realtà costituito da due cime gemelle, la seconda di 4440m di altezza.

Geologicamente gli Altai rappresentano l’area più settentrionale la cui orografia mostra di aver risentito della collisione del subcontinente indiano con l’Asia: numerose faglie (Kurai, Tashanta), alcune delle quali ancora attive, decorrono attraverso il nucleo montuoso, e tra le rocce prevalgono graniti e scisti.

Una vasta zona di oltre 16.000 km², comprendente le *Altai and Katun Natural Reserves*, il *Lake Teletskoye*, e il *Mount Belukha and Ukok Plateau*, rappresenta un *World Heritage Site* a carattere naturalistico dell’UNESCO denominato *Golden Mountains of Altai*, ed istituito in quanto “la regione è la più completa sequenza di zonazione vegetale altitudinale nella Siberia centrale, dalla steppa alla steppa forestata, alla foresta mista, alla vegetazione subalpina ed alpina”. Tra le motivazioni vi è anche il suo ruolo di rilevante centro di biodiversità e l’importanza per la conservazione di specie minacciate come il leopardo delle nevi (*Panthera uncia*), la cui popolazione altaica funge da *core source* per la Siberia meridionale e l’argali degli altai (*Ovis ammon ammon*) la più grande tra le sottospecie dell’argali o pecora selvatica asiatica.

O. Negra



Fig. 10 - Una rara immagine in natura dell’argali degli Altai (foto: E. Yakovenko).

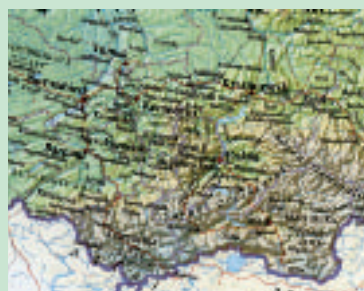


Fig. 11 - L’area corrispondente alla Repubblica degli Altai.

La temperatura media annua è di circa -1°C . I venti provengono soprattutto da SW nella stagione fredda, mentre non c'è una direzione particolare di provenienza tra primavera e estate. In pratica, il clima nella zona sembrerebbe influenzato durante il periodo invernale dall'anticiclone siberiano, e durante il periodo estivo dallo spostamento verso nord del monzone asiatico che, da mag-

gio a settembre, porta le piogge in Cina. Da ciò si capisce che il clima della regione, pur essendo in una situazione più continentale, è regolato da processi di assoluta importanza per la vita e l'ambiente in Cina (piogge monsoniche), e da altri processi che influenzano il nord-est europeo e il settentrione d'Italia (l'alta pressione invernale).

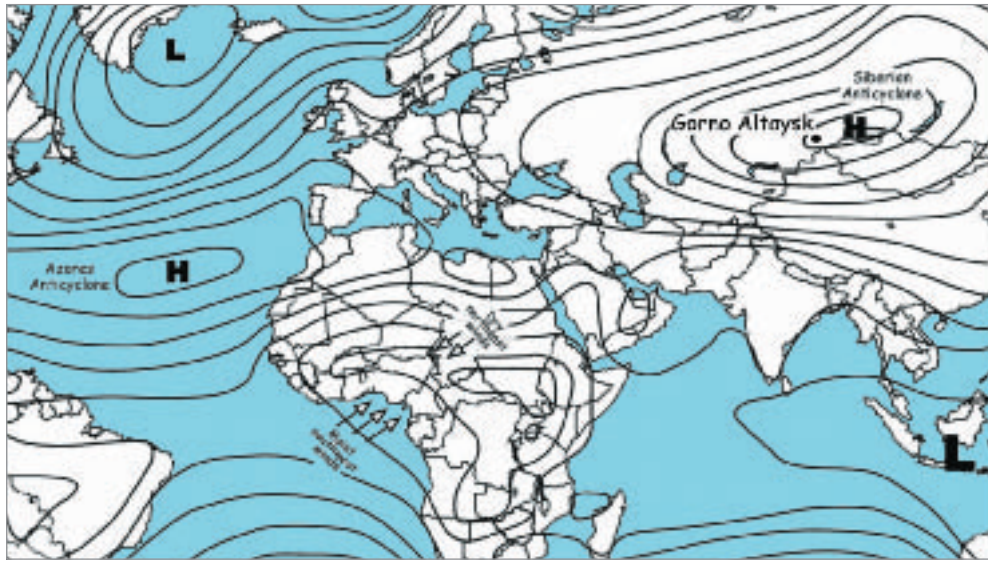


Fig: 12 - Posizione dell'anticiclone siberiano in inverno. Si può notare che questa zona di alta pressione ha il suo centro sugli Altai e sulla Mongolia. Nella carta si notano anche le basse pressioni (L) localizzata sull'Islanda e sull'Indonesia e l'anticiclone delle Azzorre. Le relazioni tra le alte e le basse pressioni regolano l'apporto di umidità nelle varie aree dell'Eurasia (fonte: NASA, 2004 – elaborazione: M. Zandonati, MTSN 2005).

Lo scopo del Progetto

Il ruolo del monzone asiatico e dell'anticiclone siberiano al centro del continente eurasiatico e sull'area mediterranea è ancora tutto da comprendere. Ci si può domandare quale importanza abbia il monzone asiatico sulle variazioni climatiche in Italia settentrionale, ma lo studio condotto su stalagmiti cinesi ci indica chiaramente che c'è un legame e che una causa probabile di questo legame sia la variabilità solare, che ha effetti a scala globale. Stalagmiti cinesi e italiane rivelano eventi climatici simili in epoca storica: un periodo caldo nel Medio Evo (tra circa il 1000 e il 1500), seguito da un raffreddamento (la Piccola Età Glaciale) tra 1500 e 1850, e il riscaldamento degli ultimi 150

anni. A questo punto si comprende che abbiamo in mano un archivio di dati climatico importantissimo per capire anche la storia dell'uomo e, in particolare se i grandi spostamenti di popolazioni dall'Asia centrale verso l'Europa da una parte (gli Sciti) e verso la Cina dall'altra (i Mongoli) sono stati in qualche modo influenzati da periodi di siccità. L'area degli Altai è ricchissima di reperti archeologici, tra cui i famosi kurgan, sepolture a tumulo che talora preservano le mummie degli individui tumulati, ed è ricca di grotte con stalagmiti da cui possiamo ricavare informazioni climatiche.

Il Museo Tridentino, con questo progetto, si propone di riconoscere possibili legami tra eventi archeologici e clima nelle steppe asiatiche, con possibili ripercussioni sulla storia europea.

La “spedizione”

La nostra spedizione aveva lo scopo di visitare, insieme a ricercatori locali, alcune cavità nei dintorni di Gorno-Altaysk in modo da raccogliere i dati ambientali preliminari, necessari ad individuare la cavità più adatta a contenere stalagmiti di interesse paleoclimatico.

Nel corso della spedizione sono state visitate quattro grotte, di cui una turistica nei pressi del fiume Katun, e altre tre nei pressi dell’abitato di Birula.



Fig. 13 - Vista del villaggio di Birula dalla strada per la grotta Tutkush (foto: R. Miorandi).

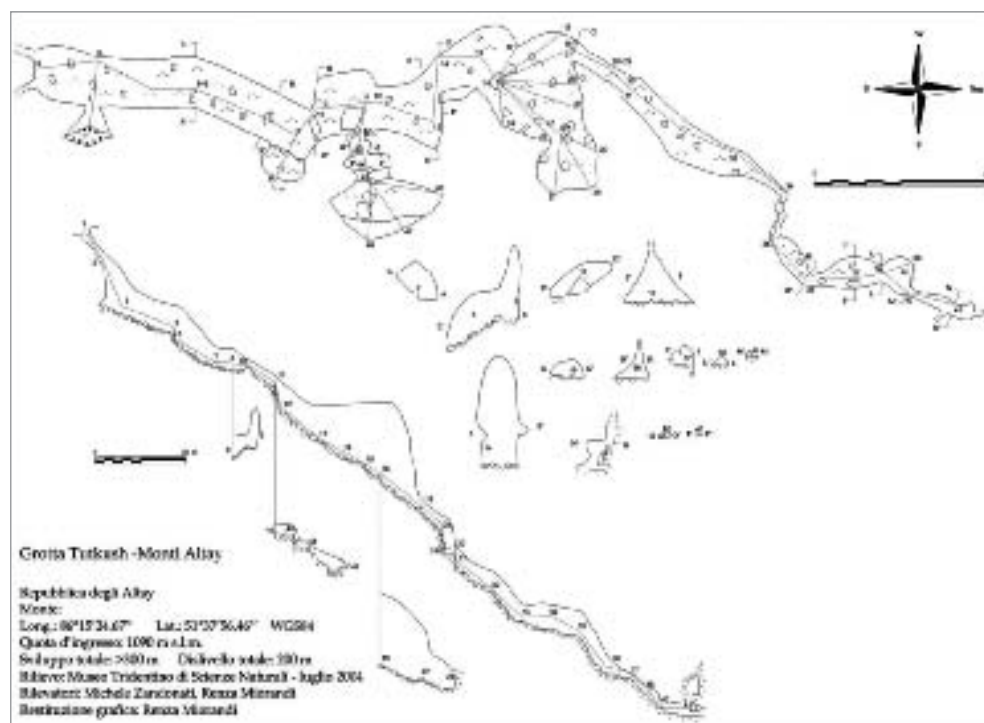


Fig. 14 - Pianta e sezione della prima parte della Grotta Tutkush.

Tra queste la scelta è caduta sulla Grotta Tutkush, una cavità a sviluppo verticale, profonda circa 200 m e con un’estensione complessiva superiore a 300 m

La Grotta Tutkush è molto conosciuta e frequentata per il suo sviluppo e per la presenza al suo interno di concrezioni. La cavità dista circa un’ora e mezzo a piedi dal villaggio di Urlaspak ed è posta su un’altura a 1050 m di quota in un’a-

rea prativa circondata da vegetazione mista di conifere e latifoglie.

Dopo il primo sopralluogo a piedi, abbiamo ritenuto necessario noleggiare un camion adatto a percorrere gli impervi tracciati che conducono nei pressi della cavità con il quale è stata trasportata tutta la strumentazione necessaria per i monitoraggio e l’occorrente per la permanenza di una settimana nei pressi della grotta.



Fig. 15 - Dal villaggio di Urlaspak verso la Grotta Tutukush (foto: M. Zandonati).



Fig. 16 - Camion utilizzato per il trasporto del legname. Questo è tra gli unici automezzi disponibili in grado di percorrere questi tracciati caratterizzati da profondi solchi (foto: M. Zandonati).

Lo sviluppo della grotta, eccettuato il pozzo iniziale profondo 20m, da scendere con corde o scalette, è prevalentemente in pendenza con qualche tratto verticale superabile in arrampicata.

Dopo il pozzo iniziale la grotta assume dimensioni considerevoli che culminano in quella che abbiamo chiamato “Sala Grande” (15m di altezza x 12m di larghezza) e che è la parte più concrezionata di tutta la grotta. Purtroppo i fenomeni di crollo prima e la frequentazione umana dopo, hanno arrecato diversi danni alle concrezioni tanto che sono evidenti dovunque segni di rottura e di martellate sulle stalagmiti.



Fig. 17 - Pozzo d'entrata alla Grotta Tutukush profondo circa 20m (foto: R. Miorandi).

La temperatura interna della grotta, misurata a luglio del 2004, si stabilizzava sul valore di circa 4.3°C già alla base del pozzo d'entrata.

Questo è però ancora un dato preliminare. Per una ricostruzione più precisa della temperatura della grotta sarà necessario attendere i dati registrati dai *datalogger*.

L'allestimento del monitoraggio e il campionamento

Una volta individuata la grotta si è impostato un monitoraggio mensile, svolto dall'Università di Gorno-Altisk, da protrarsi per almeno un anno.

Il programma di monitoraggio si suddivide essenzialmente in: studio microclimatico (misure di temperatura e umidità dell'aria) e idrogeologico della grotta e studio del suolo sovrastante. I ricercatori dell'Università di Gorno-Altaisk si stanno occupando anche di raccogliere dati pluviometrici dalla stazione meteorologica più vicina alla grotta studiata.

Uno studio dettagliato del microclima sotterraneo è importante al fine di comprendere i modi e i tempi di deposizione della calcite così come è importante conoscere le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua che dà origine alle concrezioni.

A questo scopo il Museo Tridentino di Scienze Naturali ha installato nella Grotta Tutkush strumenti alimentati da batterie che consentono la rilevazione continua dei parametri chimico-fisici di aria e acqua, tra cui 3 *datalogger* per il monitoraggio della temperatura dell'aria di grotta, 2 *datalogger* di temperatura e umidità e 1 *datalogger* di conducibilità e temperatura dell'acqua.

Oltre a questo è stato progettato il monitoraggio mensile delle acque sotterranee che prevede misure di temperatura, di pH e di conducibilità elettrica dell'acqua di stillicidi e la misurazione dei tempi di gocciolamento delle stalattiti, volti a comprendere le tipologie di circolazione dell'acqua nel sottosuolo.

Tramite il posizionamento di alcuni vetrini in corrispondenza di punti di stillicidio sarà, inoltre, possibile indagare in microscopia le morfologie dei cristalli di calcite che si depositano attualmente all'interno della cavità a seconda dei diversi tempi di gocciolamento.

Le caratteristiche del suolo sopra la grotta influenzano i parametri dell'acqua di percolazione; a tal fine è stata allestita una piccola stazione di monitoraggio sopra la cavità, comprendente 3 strumenti per la misura in continuo della temperatura del suolo e 3 tubi per la misura della concentrazione di biossido di carbonio (CO₂) sempre nel suolo.

La concentrazione di gas CO₂ presente sia nel suolo che all'interno della grotta sarà effettuata dai colleghi russi tramite un misuratore a pompa Draeger che abbiamo messo a loro disposizione.



Fig. 18 - Particolare di una stalagmite nella Sala Grande. Sono evidenti i segni delle martellate lasciate da precedenti escursionisti (foto: R. Miorandi).



Fig. 19 - Uno dei datalogger di temperatura posizionati all'interno della grotta (foto: R. Miorandi).



Fig. 20 - Tubi nel suolo per la misurazione di CO₂ (foto: M. Zandonati).



Fig. 21 - Sezione verticale della stalagmite TK3 prelevata all'interno della Grotta Tutkush. Sono evidenziati i punti di prelievo del materiale per le datazioni (foto: R. Miorandi).

Tutte le misurazioni effettuate e i monitoraggi in programma sono concentrati nei primi 300 m di grotta, in quanto è questa la zona in cui sono presenti le stalagmiti.

Dal momento che non è stato possibile reperire un rilievo sufficientemente dettagliato che potesse fare da supporto per l'allestimento del monitoraggio, abbiamo realizzato un rilievo speditivo della porzione di grotta oggetto del nostro studio. Su di esso sono stati poi segnati i punti di monitoraggio e campionamento.

Nei primi 300m di grotta sono state campionate 7 stalagmiti su cui effettuare gli studi paleoclimatici. Delle stalagmiti campionate solo 2 erano ancora in posizione originale e in fase di crescita, mentre le altre sono state tutte raccolte dal pavimento della Sala Grande dove giacevano mimetizzate dall'argilla.

Le stalagmiti siberiane sono già state sezionate lungo il loro asse di crescita verticale in modo da rendere visibili le lamine di accrescimento e verificare la presenza o meno di interruzioni nella crescita. Queste discontinuità possono essere ricondotte a variazioni dei processi di deposizione legati a cambiamenti idrologici e, forse, climatici.

Successivamente le stalagmiti saranno datate in più punti, utilizzando il metodo radiometrico dell'Uranio-Torio. Lungo l'asse di crescita si prelevano anche i campioni per effettuare le analisi isotopiche del $\delta^{18}O$ e del $\delta^{13}C$ (dati vicarianti-*proxy* - climatici) che permettono di ricavare, indirettamente, informazioni di tipo climatico e paleo-ambientale. Alcune date preliminari ci permettono di sperare di avere almeno 10.000 anni di storia del clima in Asia Centrale.

Dalle stalagmiti si ricavano anche sezioni sottili per le osservazioni in microscopia ottica a trasmissione che permettono di cogliere le differenze tra l'organizzazione spaziale (tessitura) dei cristalli di calcite. Tali differenze sono legate a diverse condizioni di formazione quali, ad esempio, il contenuto in calcio dell'acqua di gocciolamento, la regolarità o meno del gocciolamento stesso, la presenza di impurità ecc.. Una prima indagine ci permette di ipotizzare che la tessitura dei cristalli sia prevalentemente di tipo colonnare. Tale tessitura caratterizza molte stalagmiti di climi temperati e di ambiente perimontano.

Per quanto riguarda lo studio delle concrezioni siberiane, comunque, siamo ancora in una fase molto preliminare, in quanto sono state effettuate solo datazioni di riconoscimento su una delle stalagmiti prelevate alla Grotta Tutkush, mentre le altre restano ancora da datare.

Nel complesso l'installazione dei *datalogger*, il rilievo, il monitoraggio e il campionamento delle stalagmiti hanno richiesto una settimana di lavoro dopo la quale è stato possibile stilare il protocollo per la prosecuzione del monitoraggio. Tale attività è in corso sotto la direzione del Professor Marinin (Università Gorno-Altaysk).

Purtroppo le caratteristiche climatiche di questa zona della Siberia e le difficoltà logistiche hanno obbligato ad una interruzione dell'attività durante i mesi invernali, per cui dopo agosto e settembre i sopralluoghi sono stati sospesi fino a maggio.

Il monitoraggio è previsto fino alla fine dell'anno 2005, poi seguirà l'elaborazione dei dati, secondo standard già adottati per i progetti analoghi effettuati in Trentino. I dati sullo stato microclimatico e idrogeologico, ricavati dal monitoraggio, serviranno a calibrare i dati vicarianti per poi poter ricostruire l'evoluzione climatica nel passato sulla base delle analisi fisico-chimiche in corso sulle concrezioni.

Le metodologie per questo tipo di indagini sono illustrate in un volume monografico n° 80

(2003) di *Acta Geologica*, pubblicato nel 2005 dal Museo Tridentino di Scienze Naturali.

Gli studi paleoclimatici verranno svolti in collaborazione con la Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Institut für Umweltp Physik (Germania), con la quale siamo coinvolti in un progetto a scala pluriennale che prevede lo studio di stalagmiti sia dal punto di vista cristallografico che paleoclimatico in un transetto che dalla Siberia va al Cile passando per i Caraibi (Belize e Cuba).



Fig. 22 - Panorama dalla collina della Grotta Tutkush (foto: M. Zandonati).

Quali previsioni per il futuro?

Nel quadro di ricerche congiunte che coinvolgono Museo, Università di Heidelberg, il KDL di Guilin in Cina, l'Università di Gorno Altaysk, l'Università della Habana (Cuba) e altre istituzioni internazionali, speriamo di ottenere i fondi che ci permettano la ricostruzione di tempi e modi di propagazione geografica di eventi climatici globali lungo una traversa E-O a livello di emisfero nord. Questo è uno sforzo immenso ma necessario per mettere insieme le tessere di un puzzle ancora molto frammentato. Quando avremo le informazioni necessarie, sarà più facile comprendere che cosa ci aspetta nel prossimo futuro in termini di risposte dell'ambiente a eventi climatici. Inoltre si avranno chiarimenti su possibili legami tra grandi migrazioni ed eventi climatici quali, ad esempio, una serie di anni siccitosi legati alla "inattività" di ben noti meccanismi che portano la pioggia nel centro dell'Asia. Già abbiamo sotto gli occhi i risultati della combinazione tra inaridimento e società umane, come in certe parti del N e centro Africa, in cui la terra non riesce più a dare nutrimento al crescente numero di abitanti, per cui questi si spostano verso l'Europa dove le con-

dizioni sono ancora tali da garantire uno stile di vita da mondo industriale.

Ma che cosa succederà se anche gli abitanti dell'Asia Centrale desidereranno raggiungere i nostri *standard*?

Il governo Mongolo vuole costringere le popolazioni a cambiare vita e fermarsi per adattarsi alla nostra economia. Ma ne vale la pena o questo creerà dei disastri ambientali tali per cui la stessa esistenza della Mongolia sarà in forse, come sostiene Jared Diamond nel suo ultimo libro "*Collapse*"?

Noi del Museo non pretendiamo di rispondere a queste domande, ma di dare indicazioni di cui, si spera, si terrà conto in sede internazionale, ad esempio nel programma *PAGES* dell'UNESCO, utili anche per trovare risposte a problemi di sviluppo sostenibile.

Bibliografia di riferimento

BAR-MATTHEWS M., AYALON A., KAUFMAN A. & WASSERBURG G.J., 1999. *The Eastern Mediterranean palaeoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel*. Earth and Planetary Science Letters, 166, 85-95.

- DIAMOND J., (2005). *Collapse*. Penguin Allen Lane, London, 575 pp.
- FRISIA S., BORSATO A., FAIRCHILD I.J. & McDERMOTT F., 2000. *Fabrics of speleothems from temperate-humid settings: growth mechanisms and environmental parameters*. Journal of Sedimentary Research, 70, 1183-1196
- FRISIA S., BORSATO A., PRETO N. & McDERMOTT F., 2003. *Late Holocene annual growth in three Alpine stalagmites records the influence of solar activity and the North Atlantic Oscillation on winter climate*. Earth and Planetary Science Letters, 216,,411-424.
- FRISIA S., BORSATO A., SPÖTL C., VILLA I., CUCCHI F., (2005) - *Climate Variability in the South-Eastern Alps of Italy over the last 17,000 years reconstructed from a stalagmite record*. Boreas 34, 4 (in press).
- SAURO U., BORSATO A., CASTIGLIONI B., (a cura di), 2005. *Ricostruzione paleoclimatica del Tardiglaciale-Olocene da concrezioni di grotta in Italia*. Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Geologica 80 (2003): 184 pp.
- TAN M., LIU T., HOU J., QUIN X., ZHAN H., LI T., 2003. *Cyclic rapid warming on centennial scale revealed by a 2650 – year stalagmite record of warm season temperature*. Geophysical Research Letters, 1617-1621.
- WANG Y., CHENG H., EDWARDS L.R., HE Y., KONG X., AN Z., WU J., KELLY M.J., DYKOSKI C. A., LI X., 2005. *The Holocene Asian monsoon: links to solar forcing and the North Atlantic climate*. Science, 308, 854-857.