

Evoluzione climatico-ambientale in Trentino dal Tardoglaciale all'Olocene: sintesi delle conoscenze alla luce dei risultati emersi dai progetti AQUAPAST e OLOAMBIENT

Silvia FRISIA^{1,2}, Maria Letizia FILIPPI¹ & Andrea BORSATO^{1*}

¹ Sezione di Geologia, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Via Calepina 14, 38100 Trento, Italia

² School of Environmental and Life Sciences, University of Newcastle, Callaghan, NSW 2308 Australia

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: borsato@mtsn.tn.it

RIASSUNTO - *Evoluzione climatico-ambientale in Trentino dal Tardoglaciale all'Olocene: sintesi delle conoscenze alla luce dei risultati emersi dai progetti AQUAPAST e OLOAMBIENT* - I dati paleoclimatici dei progetti del Museo Tridentino di Scienze Naturali AQUAPAST e OLOAMBIENT sono qui combinati per definire l'evoluzione climatico-ambientale in Trentino tra Tardoglaciale e Olocene. Ne emerge un quadro complesso che indica risposte rapide del clima locale alle variazioni globali e una sua appartenenza al dominio mediterraneo. La deglaciazione iniziò prima di 17.000 anni fa, ma l'ambiente rimase instabile per un altro migliaio di anni. Con l'interstadiale Bølling-Allerød, le temperature estive presso il Lago di Lavarone raggiunsero valori di circa 14 °C, la linea degli alberi era già oltre i 1500 metri s.l.m, e i suoli alle medie e basse quote erano in via di stabilizzazione. Perduravano, tuttavia, condizioni al contrario di tipo glaciale con forti venti e una generale instabilità. Il deterioramento del Dryas recente si concretizzò più come una forte diminuzione di piovosità media annua che come un drammatico raffreddamento, come invece accadde in Nord Europa. Di fatto, anche il limite della foresta non discese al di sotto dei 1200-1300 metri. La transizione con l'Olocene fu marcata da un forte riscaldamento e da un aumento della piovosità media annua. Condizioni di instabilità idrologica caratterizzarono i primi 3500 anni dell'Olocene (11.500-8000 BP) per poi passare ad un regime caldo-umido nell'Atlantico. Da circa 6000 anni BP iniziò un trend verso una diminuzione della piovosità e un raffreddamento, che culminò, circa 4500 anni fa, con cessazione della crescita delle colate di tufo calcareo nelle grotte trentine. A partire da circa 4000 anni fa, inizia ad essere evidente l'impatto antropico sulla vegetazione, così come registrato nei sedimenti dei laghi di Lavarone e Cornisello.

SUMMARY - *Paleoclimate and paleoenvironmental evolution for the Lateglacial and Holocene in Trentino: a synthesis from the AQUAPAST and OLOAMBIENT projects* - Paleoclimate data from the AQUAPAST and OLOAMBIENT projects of the Museo Tridentino di Scienze Naturali are here summarized to provide the climate and environmental evolution in Trentino for the Lateglacial and Holocene. Our data indicate that Trentino has a rapid response to global changes and pertains to the Mediterranean rather than the Atlantic climatic domains. The deglaciation commenced before ca. 17,000 years BP, but environmental instability continued for another 1000 years. With the Bølling-Allerød interstadial, summer temperatures at Lago di Lavarone reached ca. 14 °C, the timberline was above 1500 m a.s.l., and soils at low and intermediate elevations were well developed. However, glacial boundary conditions still ruled the pattern of climate changes, with strong winds and instability. The Younger Dryas was characterized more by an abrupt diminution of rainfall rather than cooling as in Northern Europe. In fact, the timberline did not descend below 1200-1300 m a.s.l. The transition to the Holocene was marked by a rapid warming and increase in rainfall. Hydrological conditions, however, remained unstable until ca. 8000 years ago, when they finally stabilized in the Atlantic, which was characterized by warm and humid climate. Starting from ca. 6000 years ago, cooling and decrease in rainfall characterized the climatic trend, which culminated with the cessation of the growth of calcareous tufa in the caves of Trentino at ca. 4500 years ago. From 4000 years ago human impact has been altering the vegetation pattern as recorded in lake sediments of Lavarone and Nero di Cornisello.

Parole chiave: Tardoglaciale, Olocene, ambiente, clima, Trentino

Key words: Lateglacial, Holocene, environment, climate, Trentino

1. INTRODUZIONE

Gli effetti del riscaldamento globale sull'ambiente trentino sarebbero simulabili utilizzando modelli climatici a scala regionale, che al momento non sono stati ancora messi a punto. Tali modelli necessitano di essere validati con dati paleoclimatici locali accurati e calibrati, prima di poter essere applicati nel campo della previsione. Grazie ai risultati dei progetti OLOAMBIENT e AQUAPAST del Museo Tridentino di Scienze Naturali, finanziati dal Fondo Unico per la Ricerca della PAT, questi dati sono già pronti per essere inseriti nei futuri modelli. Le ricostruzioni relative alle variazioni della temperatura media e delle precipitazioni nel passato in funzione di forzanti naturali (solare, parametri orbitali, vulcanico) e dinamiche interne (interazione tra oceano e atmosfera) emerse dalle due ricerche sono assolutamente necessarie alla comunità scientifica per prevedere il clima futuro con maggiore affidabilità.

Il progetto AQUAPAST aveva evidenziato la variabilità del clima in Trentino durante gli ultimi 10.000 anni e gli effetti del forzante solare su fenomeni climatici quali l'oscillazione Nord Atlantica (NAO) che influenza le temperature invernali. OLOAMBIENT ha fornito dati locali per gli ultimi 17.000 anni, includendo così l'ultimo grande cambiamento climatico precedente l'attuale – la transizione tra Tardoglaciale e Olocene – avvenuta circa 11.500 anni fa con la fine del Dryas recente (Younger Dryas - YD) e l'inizio del Preboreale (PB).

La velocità e l'intensità dell'aumento delle temperature in quel periodo chiave della nostra storia climatica sono molto simili a quelli stimati dalle simulazioni dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) per i prossimi 100 anni, con la differenza che allora si partiva da temperature medie molto inferiori a quelle attuali. Nelle carote di ghiaccio della Groenlandia, rappresentative dei cambiamenti climatici nell'Emisfero Settentrionale, la fine dello YD è contrassegnata da un brusco aumento dei valori di $\delta^{18}\text{O}$, riconducibile a un aumento delle temperature stimato tra i 5 e i 10 °C. Sul versante meridionale delle Alpi, influenzato da masse d'aria provenienti dal Mediterraneo, l'entità del riscaldamento evidenziata dai dati isotopici della stalagmite SV1 dal Carso Triestino (Frisia *et al.* 2005b) sembrava molto inferiore, ma non era stata quantificata. Con il progetto OLOAMBIENT sono emersi dati quantitativi riguardo all'entità del riscaldamento in Trentino per due periodi di riscaldamento globale collocati tra Tardoglaciale e Olocene. Il primo è l'interstadio del Tardoglaciale (l'Interstadio Bølling-Allerød o B/A, cfr. Ravazzi 2007) e l'altro è il passaggio YD/PB (Tardoglaciale/Olocene). Le risposte dell'ambiente a questi cambiamenti sono state ricostruite principalmente attraverso i pollini e servendosi di un insieme di indicatori inorganici e biologici conservati nei sedimenti del fondo di laghi a medie e alte quote in Trentino.

In questo articolo si propone sinteticamente la ricostruzione dell'evoluzione climatico-ambientale in Trentino da dati proxy estratti da sedimenti lacustri e concrezioni di grotta, in parte già pubblicati (Borsato *et al.* 2005, 2007a; Frisia *et al.* 2003, 2004, 2005a, 2005b, 2005c; Smith *et al.* 2006) o inclusi nel presente volume (Angeli & Lotter 2007; Arpentini & Filippi 2007; Borsato *et al.* 2007b; Filippi *et al.* 2007a, 2007b; Frisia *et al.* 2007; Heiri *et al.* 2007).

2. EVOLUZIONE CLIMATICA E AMBIENTALE NEL TARDOGLACIALE

2.1. *Il Tardoglaciale inferiore – 18-14,5 ka cal. BP (GS-2)*

Tra 18 e 16 ka cal. BP a circa 1100 metri di altezza l'area attorno al Lago di Lavarone era da poco deglacializzata. La presenza di ritmiti, torbiditi, un alto tasso di sedimentazione e scarsi nutrienti nei sedimenti lacustri testimoniano una forte stagionalità, un ambiente di deposizione a energia elevata e la mancanza di una vegetazione che stabilizzasse il terreno (Filippi *et al.* 2007a). In pratica, i suoli non erano ancora sviluppati e prevaleva il sedimento sciolto che veniva rimobilizzato dalle piogge. L'ambiente era ancora di tipo periglaciale, prevalentemente arido con rada vegetazione tipo steppa fredda (Xerofite e Gramineae) (Fig. 1). La concentrazione di polline riscontrata è bassissima: il polline presente è probabilmente legato al trasporto da lunga distanza (*Pinus sylvestris/mugo*) e in parte rimaneggiato (polline mesozoico). Il quadro ambientale per l'Altopiano di Lavarone non è, ovviamente, estendibile a tutto il Trentino, in quanto l'area risentiva maggiormente dell'influenza del Mediterraneo a sud, rispetto a zone più interne o elevate della provincia. Il record climatico dalla Grotta Savi (Frisia *et al.* 2005b) al margine sud orientale della catena alpina indica che suoli stabili non si erano ancora formati prima di 17.000 anni fa alle quote medio-basse (circa 500 m s.l.m.).

Tra 16 e 14,5 ka cal. BP iniziò a espandersi la vegetazione e si svilupparono suoli sull'altipiano e intorno al lago. La copertura vegetazionale era costituita soprattutto da piante erbacee, i cui pollini prevalevano in percentuale su quelli trasportati da lunga distanza. La concentrazione in polline era ancora bassa, ma in aumento (Filippi *et al.* 2007a). A partire da 15.250 ±200 anni cal. BP fino all'inizio dell'Olocene si registra la presenza di materiale di origine eolica nel sedimento, probabilmente legata all'azione di trasporto di forti venti in un contesto climatico con condizioni al contorno ancora di tipo periglaciale. Tra 14.900 e 14.700 ±200 anni cal. BP le tracce di un iniziale tentativo di espansione dei taxa legnosi (*Pinus sylvestris/mugo*), seguito da una ripresa delle xerofite, sembra precedere

l'Interstadio B/A e coincidere con un piccolo picco positivo del $\delta^{18}\text{O}$ GRIP (Grootes *et al.* 1993; Johnsen *et al.* 2001) (Fig. 1), indicativo di un riscaldamento nell'Emisfero Settentrionale. Tra 16 e 15 ka BP il record del $\delta^{18}\text{O}$ della stalagmite SV1 della Grotta Savi indica la progressiva espansione della vegetazione e la presenza di un suolo stabile (Frisia *et al.* 2005b). La curva della linea degli alberi (Tinner & Vescovi) ricostruisce tra 16,5 e 16 ka cal. BP l'innalzamento da 500 (quota della Grotta Savi) fino a 1000 metri s.l.m. (all'incirca la quota del Lago di Lavarone). Tra 14,9 e 14,7 la curva del $\delta^{18}\text{O}$ della stalagmite SV1 sembra indicare un periodo più umido rispetto al precedente e al seguente. A 14,7 ka cal. BP iniziarono a formarsi concrezioni anche in altre zone dell'Europa, come nella Francia sud-occidentale (Genty *et al.* 2006) e, probabilmente, anche nelle aree prealpine (Borsato *et al.* 2005). In questo periodo, quindi, le condizioni clima-

tiche dovevano essere relativamente miti. Tra 14.700 e 14.500 \pm 200 anni cal. BP la comunità dei chironomidi indica un lago oligo-mesotrofico con acque profonde e temperature medie di luglio intorno a 11 °C (Heiri *et al.* 2007).

2.2. *L'intervallo 14,5-12,6 ka cal. BP (Interstadio Bølling-Allerød s.l., GI-1)*

A 14,5 ka cal. BP il $\delta^{18}\text{O}$ della carota di ghiaccio del GRIP ha un brusco spostamento verso valori più alti (circa +5‰), indicativi di un rapido e intenso riscaldamento nell'Emisfero Settentrionale. I sedimenti del Lago di Lavarone registrano una prima forte riforestazione dell'area (Pinaceae, *Betula*, latifoglie termofile) (Fig. 1 e Fig. 4 in Filippi *et al.* 2007a); contemporaneamente vi è una riduzione dell'apporto detritico ed un aumento dei nutrienti e dunque della produttività

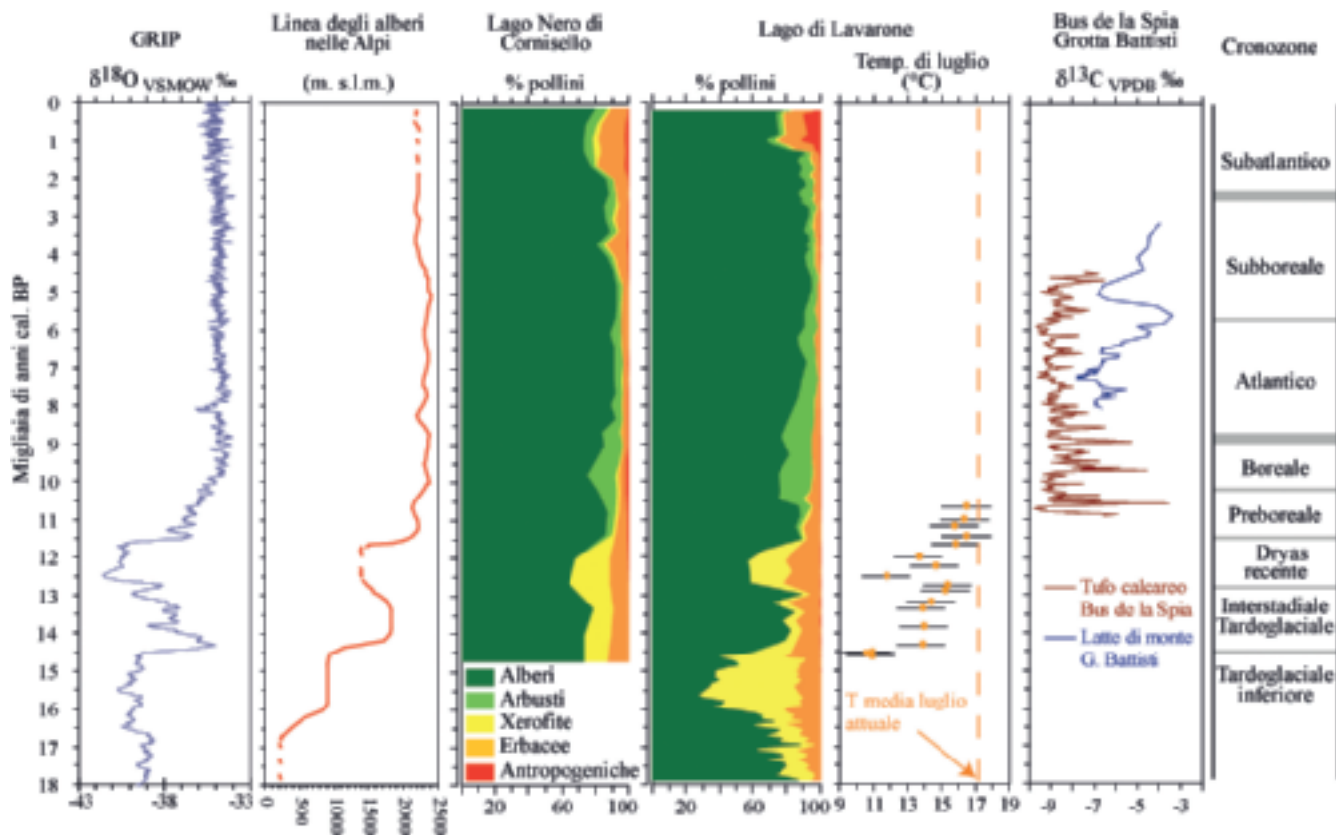


Fig. 1 - Confronto tra le serie di $\delta^{18}\text{O}$ delle carote di ghiaccio groenlandese GRIP (Grootes *et al.* 1993; Johnsen *et al.* 2001), la linea degli alberi nelle Alpi meridionali (Tinner & Vescovi 2007), le sintesi dei diagrammi pollinici dei laghi di Nero di Cornisello e Lavarone (Filippi *et al.* 2007b, 2007a rispettivamente), la temperatura media di luglio ricostruita dalla comunità di chironomidi rinvenuta nei sedimenti di Lavarone (Heiri *et al.* 2007) e il $\delta^{13}\text{C}$ della sequenze di tufo calcareo del Bus de la Spia e di latte di monte dalla Grotta C. Battisti (Borsato *et al.* 2007b). Cronozone riportate da Ravazzi (2003).

Fig. 1 - Comparison between the time series of the $\delta^{18}\text{O}$ of the Greenland GRIP ice core (Grootes *et al.* 1993; Johnsen *et al.* 2001), the treeline position in the southern Alps (Tinner & Vescovi 2007), the pollen diagrams from Nero di Cornisello and Lavarone lakes (Filippi *et al.* 2007b, 2007a respectively), the July mean annual temperature as reconstructed from chironomids assemblage in Lake Lavarone sediments (Heiri *et al.* 2007) and the $\delta^{13}\text{C}$ of Bus de la Spia calcareous tufa and Grotta C. Battisti moonmilk (Borsato *et al.* 2007b). Chronozones as reported in Ravazzi (2003).

algale (materia organica, diatomee). Il lago si stratifica maggiormente dal punto di vista termico e cominciano a manifestarsi condizioni di anossia sul fondo (Filippi *et al.* 2007a). I chironomidi indicano temperature medie di luglio che passano da 11 a 14 °C per superare i 15 °C verso la fine dell'Interstadio B/A (12.900-12.600 ±180 anni cal. BP) (Heiri *et al.* 2007). Il quadro ambientale che emerge è quello di un ambiente montano caratterizzato da estati relativamente calde con foreste di conifere almeno fino a 1100 metri e suoli già ben sviluppati. I dati dalle grotte del Sud della Francia dimostrano che in questo periodo di tempo la foresta stava rapidamente espandendosi in Europa (Genty *et al.* 2006), mentre la bassa velocità di crescita della stalagmite SV1 potrebbe indicare la persistenza di neve al suolo per un lungo periodo dell'anno durante la stagione fredda. Le intercalazioni detritiche con materiale di origine eolica nei sedimenti lacustri dimostrano il persistere di forti venti; il fatto che non vi sia quasi concrezionamento nelle grotte del Trentino alla stessa quota del Lago di Lavarone sembrerebbe dovuto alla presenza di acque di percolazione mediamente sottosature, legate a inverni nevosi ed estati relativamente secche (cfr. Borsato *et al.* 2007c).

Durante il B/A cominciamo ad avere informazioni anche per le alte quote, sopra i 2000 metri s.l.m. A circa 14.200 cal BP il bacino di alimentazione del Lago Nero di Cornisello doveva essere già deglaciato, almeno parzialmente. La presenza di sporadici granuli di taxa termofili nel record pollinico segna il primo riscaldamento legato al B/A, con condizioni di clima tipiche per un periodo interstadiale più a valle (Filippi *et al.* 2007b).

2.3. *Il Dryas Recente (YD) - 12,6-11,5 ka cal. BP (GS-1)*

Il YD è caratterizzato sull'Altopiano di Lavarone da un ritorno delle specie tipiche dell'ambiente di steppa fredda, dalla scomparsa quasi totale delle latifoglie e da una contrazione delle Pinaceae, che però rimangono in posto (Filippi *et al.* 2007a), come in molti altri siti di media quota del settore meridionale delle Alpi (Tinner & Vescovi 2007). La comunità dei chironomidi suggerisce temperature variabili e mediamente più basse di quelle del B/A (Heiri *et al.* 2007). Sono ancora presenti passate detritiche e materiale di origine eolica. Aumenta il contenuto di carbonio organico (Total Organic Carbon) che indica un lago produttivo con fondo temporaneamente anossico. Alle quote elevate del Lago Nero di Cornisello (2233 m s.l.m.), l'evento del YD è marcato da un aumento significativo delle xerofite (clima più secco) e da un aumento in percentuale di minerali legati al trasporto eolico (muscovite) (Filippi *et al.* 2007b). Dal record del $\delta^{18}\text{O}$ della SV1 emerge un quadro segnato soprattutto da condizioni di inaridimento (Frisia *et al.* 2005b), piuttosto che dal

forte abbassamento delle temperature che caratterizzò il Nord Europa, come si può osservare anche dai valori negativi del $\delta^{18}\text{O}$ nella carota di ghiaccio GRIP (Fig. 1). Nella Francia sud occidentale, che risentiva dell'influenza dell'Atlantico Settentrionale, il YD è segnato dalla cessazione del concrezionamento per quasi 1000 anni, quindi da condizioni particolarmente rigide (Genty *et al.* 2006). In Israele e Marocco, invece, il YD è caratterizzato da uno spostamento verso valori positivi del $\delta^{13}\text{C}$ e covarianza con il $\delta^{18}\text{O}$, come nella stalagmite SV1, interpretati come inaridimento (aumento dell'evapotraspirazione e precipitazione di calcite nel suolo). Questo indica che il YD in Trentino ebbe variazioni di temperatura (non molto marcate) e piovosità (probabilmente significative) simili a quelle dell'area mediterranea.

3. EVOLUZIONE CLIMATICA E AMBIENTALE DURANTE L'OLOCENE

3.1. *L'Olocene inferiore: 11,5-8 ka cal. BP¹*

L'inizio dell'Olocene è segnato nei sedimenti del Lago di Lavarone da una vera e propria esplosione della vegetazione, connessa al riscaldamento globale molto ben visibile nella carota di ghiaccio GRIP (Fig. 1) e all'aumento della piovosità (spostamento verso valori negativi del $\delta^{13}\text{C}$ nella SV1 e altre stalagmiti del Mediterraneo, significative di una maggiore attività batterica nel suolo). Le condizioni del lago sono simili a quelle dell'Interstadio B/A, con temperature estive che risalgono da 14 fino a 16 °C (Heiri *et al.* 2007), ma scompare completamente la componente detritica legata all'apporto eolico e al dilavamento di un bacino allargato. Quindi, non solo il suolo è stabilizzato, ma scompare progressivamente l'influenza delle condizioni climatiche di tipo periglaciale sul clima del Trentino.

La transizione YD/PB alle alte quote del Lago Nero di Cornisello è contrassegnata da un cambiamento molto marcato nella tipologia di sedimento, che da detritico diventa organogeno e ricco di diatomee, chironomidi e successivamente muschi. Alcuni taxa "freddi" dei chironomidi scompaiono; tuttavia altri permangono, segno di una variazione di temperatura non così drastica. Il diagramma pollinico segna la ripresa delle specie arboree, dopo la crisi legata al YD (Filippi *et al.* 2007b).

Il rapido riscaldamento del PB è accompagnato dall'aumento della linea degli alberi al di sopra dei

¹ Si precisa che i limiti cronologici della suddivisione qui utilizzata per l'Olocene (inferiore, medio e superiore) sono informali e legati alla successione degli eventi locali.

2000 metri (Tinner & Vescovi 2007), dalla ripresa di concrezionamento nella Francia sud occidentale (Genty *et al.* 2006) e dall'aumento della velocità di crescita della SV1 (Frisia *et al.* 2005b). I dati delle stalagmiti sembrano indicare che la transizione YD/PB fu anche marcata da un incremento della piovosità media annua, come evidenziato nel record dalla grotta Soreq, in Israele (Bar-Matthews *et al.* 1999).

All'inizio del PB iniziarono a depositarsi le grandi colate di tufo calcareo alle quote più basse. Tra 11.000 e 8000 cal. anni BP picchi positivi di $\delta^{13}\text{C}$ nella concrezione di tufo calcareo della grotta Bus de la Spia (Fig. 1), che ha escursioni nei valori fino a +5,5‰, indicano una forte instabilità idrologica a scala da decennale a secolare (Borsato *et al.* 2007b). Le condizioni climaticamente stabili ipotizzate per l'Olocene, quindi, non si ebbero nella prima parte, fino a circa 8000 anni fa. Tuttavia, la stabilizzazione dei suoli da parte della vegetazione probabilmente maschera parte della variabilità degli ultimi 11.000 anni. Le condizioni ambientali-climatiche dell'Olocene inferiore, infatti, sembrano essere relativamente stabili dai dati estratti per il Lago di Lavarone e il Lago Nero di Cornisello. I diagrammi pollinici registrano le variazioni vegetazionali già note a scala regionale (Vescovi *et al.* 2007).

3.2. L'Olocene medio: 8-4 ka cal. BP

A partire da circa 8000 anni cal BP inizia a formarsi il latte di monte nella Grotta C. Battisti (1880 m s.l.m.) (Borsato *et al.* 2007b), mentre si stabilizza la serie del $\delta^{13}\text{C}$ nel tufo calcareo del Bus de la Spia, a testimonianza di una diminuzione nel contrasto idrologico, possibilmente a favore di un regime complessivamente più piovoso come sembrerebbero indicare i diagrammi pollinici dei laghi di Lavarone e Cornisello e i dati del Mediterraneo (Bar-Matthews *et al.* 1999). Pertanto, il quadro climatico-ambientale dell'Atlantico in Trentino è di un periodo caldo e umido, relativamente stabile. Il declino della variabilità idrologica a partire da 8000 BP potrebbe avere influenzato la comparsa e successiva espansione di tecniche di sostentamento legate all'agricoltura stanziale a partire da circa 7500 anni fa.

Circa 6,0 ka cal. BP si registra in molti archivi del Mediterraneo la riduzione della piovosità media annua, con un crollo di oltre 200 mm anno⁻¹ in Medio Oriente (Bar-Matthews *et al.* 1999). Tra 6 e 5 ka cal. BP i ghiacciai svizzeri registrano un'avanzata (cfr. Vollweiler *et al.* 2006) e a circa 5,3 ka cal. BP la SV1 mostra un deterioramento climatico (Magny & Haas 2004; Frisia *et al.* 2005). Nei sedimenti lacustri di Lavarone e Nero di Cornisello non si notano grandi cambiamenti. La grande colata di tufo calcareo della Spia, tuttavia, cessa di crescere intorno a 4,5 ka cal. BP per una sensibile riduzione nell'apporto idrico, mentre la colata di latte di monte riduce drasticamente il suo tasso di crescita fino ad arrestarsi intorno a 3090 ±300 cal. anni BP a

causa dell'abbassamento delle temperature (Borsato *et al.* 2007b). Il deterioramento del clima, in questo caso, è registrato molto più sensibilmente dagli speleotemi che da altri archivi del Trentino.

3.3. L'Olocene superiore: 4-0 ka cal. BP

L'Olocene superiore è caratterizzato sull'Altopiano di Lavarone da un crescente impatto antropico che, iniziato già con la prima età del Bronzo, aumentò progressivamente per culminare nell'Alto Medioevo (periodo della prima invasione dei Longobardi, cfr. Arpentini & Filippi 2007). Il livello del lago era più basso di quello attuale, con fondo permanentemente anossico e una marcata tendenza all'eutrofizzazione. Per quanto riguarda il Lago Nero di Cornisello, i primi segni di presenza antropica in valle registrati dal diagramma pollinico risalgono a circa 4000 anni BP. Tuttavia l'impatto antropico maggiore, con disboscamento e sviluppo di pascoli d'alta quota, corrisponde al periodo medievale (Filippi *et al.* 2007b). L'impatto antropico è riscontrabile anche negli ultimi decenni nella stalagmite ER76 della Grotta di Ernesto (Borsato *et al.* 2007a) e sotto forma di fenomeno di eutrofizzazione nei sedimenti più recenti del Lago di Lavarone (Angeli & Lotter 2007).

Infine, le stalagmiti delle grotte Savi (Frisia *et al.* 2005), Ernesto (McDermott *et al.* 1999; Frisia *et al.* 2003, 2005; Smith *et al.* 2006) e Cogola di Giazzera (Frisia *et al.* 2007) registrano inequivocabilmente l'aumento delle temperature medie annue negli ultimi 1000 anni, con una forte risalita dalla fine della Piccola Età Glaciale (ca. 1850 AD).

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è parte delle ricerche OLOAMBIENT e AQUAPAST finanziate dal Servizio Università e Ricerca della Provincia Autonoma di Trento.

BIBLIOGRAFIA

- Angeli N. & Lotter A.F., 2007 - La ricostruzione del trofismo del Lago di Lavarone dalle diatomee. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 309-316.
- Arpentini E. & Filippi M.L., 2007 - Evoluzione della vegetazione nei pressi del Lago di Lavarone (TN) negli ultimi 2200 anni. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 317-324.
- 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 Plan. Sci. Lett.*, 166: 85-95.
- Borsato A., Quinif Y., Bini A. & Dublyansky Y., 2005 - Open-system alpine speleothems: implications for

- U-series dating and paleoclimate reconstructions. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 80 (2003): 71-83.
- Borsato A., Frisia S., Fairchild I.J., Somogyi A. & Susini J., 2007a - Trace element distribution in annual stalagmite laminae mapped by micrometer-resolution X-ray fluorescence: implications for incorporation of environmentally significant species. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71 (2007): 1494-1512.
- Borsato A., Frisia S., Miorandi R., van der Borg K., Spötl C. & Corradini F., 2007b - Ricostruzioni climatico-ambientali per l'Olocene da tufo calcareo e latte di monte in grotte del Trentino. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 239-259.
- Borsato A., Miorandi R., Corradini F. & Frisia S., 2007c - Idrochimica delle acque ipogee in Trentino: specie, variabilità stagionale, gradiente altitudinale e implicazioni per gli studi climatico-ambientali da speleotemi. *Studi Trent. Sc. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 123-150.
- Filippi M.L., Heiri O., Arpentì E., Angeli N., Bortolotti M., Lotter A.F. & van der Borg K., 2007a - Evoluzione paleoambientale dal Tardoglaciale ad oggi ricostruita attraverso lo studio dei sedimenti del Lago di Lavarone (Altopiano di Folgaria e Lavarone, Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 279-298.
- Filippi M.L., Heiri O., Arpentì E., Angeli N., Bortolotti M., Lotter A.F. & van der Borg K., 2007b - Studio paleolimnologico del Lago Nero di Cornisello (Parco Naturale Adamello-Brenta, Trentino). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 261-278.
- 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 Plan. Sci. Lett.*, 216: 411-424.
- Frisia S., Borsato A., Fairchild I.J., Susini J., 2004 - Variations of atmospheric sulphate recorded in stalagmites. *ESRF Highlights*: 109-110.
- Frisia S., Borsato A., Fairchild I.J. & Susini J., 2005a - Variations in atmospheric sulphate recorded in stalagmites by synchrotron micro XRF and XANES analyses. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 235: 729-740.
- Frisia S., Borsato A., Spötl C., Villa I. & Cucchi F., 2005b - Climate Variability in the South-Eastern Alps of Italy over the last 17,000 years reconstructed from a stalagmite record. *Boreas*, 34: 445-455.
- Frisia S., Borsato A., Susini J. & Somogyi A., 2005c - Climate forcings and their influence on Alpine history as reconstructed through the application of synchrotron based X-ray microfluorescence on layered stalagmites: *Archaeometry* 47, 2: 209-219.
- Frisia S., Borsato A., Richards D.A., Miorandi R., & Davanzo S., 2007 - Variazioni climatiche ed eventi sismici negli ultimi 4500 anni nel Trentino meridionale da una stalagmite della Cogola Grande di Giazzera. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 205-223.
- Genty D., Blamart D., Ghaleb B., Plagnes V., Causse C., Bakalowicz M., Zouari K., Chkir N., Hellstrom J., Wainer K. & Bourges F., 2006 - Timing and dynamics of the last deglaciation from European and North African delta13C stalagmite profiles in comparison with Chinese and South hemisphere stalagmites. *Quat. Sci. Rev.*, 25: 2118-2142.
- Grootes P.M., Stuiver M., White J.W.C., Johnsen S. & Jouzel J.J., 1993 - Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, 366: 552-554.
- Heiri O., Filippi M.L. & Lotter A.F., 2007 - Lateglacial summer temperature in the Trentino Area (Northern Italy) as reconstructed by fossil chironomid assemblages in Lago di Lavarone (1100 m.a.s.l.). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 52 (2005): 299-308.
- IPCC, 2007 - *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, D. Qin, Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. & Miller H.L., (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Johnsen S.J., Dahl-Jensen D., Gundestrup N., Steffensen J.P., Clausen H.B., Miller H., Masson-Delmotte V., Sveinbjörnsdóttir A.E. & White J., 2001 - Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *J. Quat. Sci.*, 16: 299-307.
- Magny M. & Haas J.N., 2004 - A major widespread climatic change around 5300 cal. yr BP at the time of the Alpine Iceman, *J. Quat. Sci.*, 19: 423-430.
- McDermott F., Frisia S., Yiming H., Longinelli A., Spiro B., Heaton T.H.E., Hawkesworth C.J., Borsato A., Keppens E., Fairchild I.J., Van Der Borg K., Verheyden S. & Selmo E., 1999 - Holocene climate variability in Europe: evidence from d18O, textural and extension-rate variations in three speleothems. *Quat. Sci. Rev.*, 18 (1999): 1021-38.
- Ravazzi C., 2003 - An Overview Of The Quaternary Continental Stratigraphic Units Based On Biological And Climatic Events In Italy. *Il Quaternario*, 16: 11-8.
- Ravazzi C., 2007 - Il Tardoglaciale nelle Alpi e in Pianura Padana. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 17-29.
- Smith C.L., Baker A., Fairchild I.J., Frisia S. & Borsato A., 2006 - Reconstructing Hemispheric-scale Climates from Multiple Stalagmite Records. *Int. Journal of Climatology*, 26: 1417-1424.
- Tinner W. & Vescovi E., 2007 - Ecologia e oscillazioni del limite degli alberi nelle Alpi dal Pleniglaciale al presente. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 7-15.
- Vescovi E., Ravazzi C., Arpentì E., Finsinger W., Pini R., Valsecchi V., Wick L., Ammann B. & Tinner W., 2007 - Interactions between climate and vegetation during the Lateglacial period as recorded by lake and mire sediment archives in Northern Italy and Southern Switzerland. *Quat. Sci. Rev.*, 26: 1650-69.
- Vollweiler N., Scholz D., Mühlinghaus C., Mangini A. & Spötl C., 2006 - A precisely dated climate record for the last 9kyr from three high alpine stalagmites, Spannagel Cave, Austria. *Geophysical Research Letters*, 33, L20703 doi: 10.1029/2006GL027662, 2006.