

CHRISTIAN CASAROTTO

Dendrocronologia e dendrogeomorfologia in Val Roseg (Svizzera – Grigioni)

Metodi per la datazione di depositi quaternari, di eventi geomorfologici e per il calcolo del tempo di risposta dei ghiacciai.

Introduzione

Lo studio svolto tra il 2000 e il 2001 in alta Val Roseg (Svizzera – Grigioni) ha evidenziato l'affidabilità del metodo dendrocronologico e dendrogeomorfologico ai fini di ottenere l'età minima dei depositi quaternari in aree proglaciali, per la datazione di morene formate dai ghiacciai durante la Piccola Età Glaciale, per datare eventi geomorfologici come i *debris flow* e per il calcolo del tempo di risposta degli apparati glaciali più estesi della valle (il Vadret da Tschierva e il Vadret da Roseg).

Sono stati carotati 45 larici e 11 pini cembri, tutti viventi e occupanti la piana proglaciale compresa tra i 2050 e i 2100 m di quota. Dall'analisi delle carote utilizzando il programma *Windendro* e dallo studio relativo alle datazioni delle morene glaciali è stato determinato il tempo medio di colonizzazione dell'area proglaciale da parte di queste conifere; sono state inoltre create le rispettive curve dendrocronologiche. Le curve ottenute sono state poi indicizzate, filtrate ed elaborate statisticamente con il programma *Tsap* eliminando così disturbi interni od esterni alle dinamiche di crescita delle piante e che potrebbero confondere il segnale climatico – ambientale registrato dalla sequenza degli anelli. È stata quindi costruita una curva dendrocronologica estesa fino al 1899 ed eseguite operazioni di

correlazione tra lo spessore degli anelli di crescita annuale con i dati meteorologici, di temperature e precipitazioni, e con le variazioni delle fronti glaciali.

Inquadramento geografico – fisico

La Val Roseg è situata nel cantone dei Grigioni (Graubünden) della Confederazione Elvetica. Si estende in direzione SSE, per circa 15 km, dai 1774 m dell'abitato di Pontresina ai 4048 m della cima del Piz Bernina, e confina con le sue creste spartiacque a Sud con l'italiana Valmalenco (SO), a Est con il Comune di St. Moritz e con la Valle di Fex e a Ovest con la Val Morteratsch.

Nel suo lungo sviluppo la Val Roseg si presenta eterogenea; in modo particolare è possibile suddividerla, procedendo da Nord a Sud, in tre parti con caratteristiche proprie e distinte (fig. 1). La porzione settentrionale, che occupa il primo terzo di valle, è stretta, con versanti ripidi e rocciosi che si addolciscono soltanto ad una quota di circa 2500–2600 m. Il fondovalle, percorso dall'Ova da Roseg (Ova è un termine ladino che significa acqua) alla quale è affiancata la strada carrozzabile, è raccordato abbastanza bruscamente con i versanti attraverso falde e coni detritici, *debris flow*, depositi glaciali e terrazzi fluviali. Alla quota di 2000 m

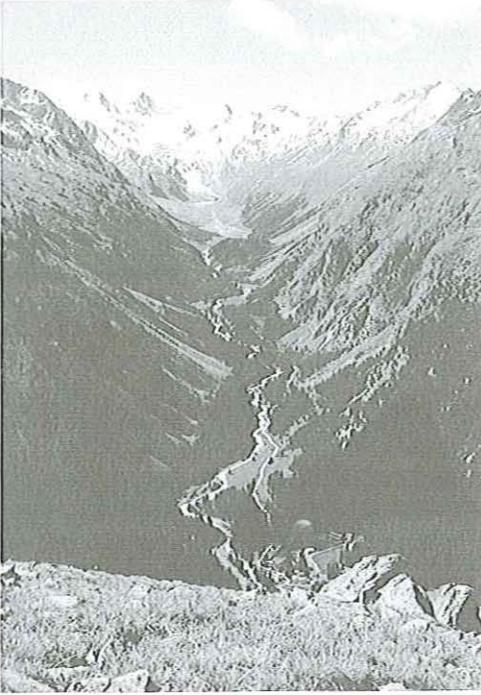


Fig. 1 - La Val Roseg da nord. In primo piano l'Ova da Roseg. Sullo sfondo il Vadret da Roseg.

circa, una collina dal profilo arrotondato, il Muot da Crasta (fig. 2), interpretata come un'antica e grossa frana, sbarra quasi completamente la valle.

Superato il Muot da Crasta i successivi due terzi di fondovalle sono occupati da una vasta piana fluvio-glaciale (fig. 3). Con una larghezza compresa tra 200 e 500 m circa, la piana fluvio-glaciale è percorsa da torrenti con un numero elevato di canali (*braided*),



Fig. 2 - Il Muot da Crasta.



Fig. 3 - L'alta Val Roseg dal Muot da Crasta. Le cime sullo sfondo costituiscono il confine italo - svizzero. In basso l'Hotel Rosegletscher e la vasta piana fluvio-glaciale.

bassa sinuosità e pronunciate variazioni stagionali di regime.

Il versante idrografico sinistro di questo tratto di valle si raccorda bruscamente con la piana fluvio-glaciale (fig. 4); i coni detritici, i *debris flow* e i depositi da valanga che si osservano lungo questo versante sono di dimensioni contenute se confrontate con il



Fig. 4 - Il versante idrografico sinistro (a sinistra nella foto) si raccorda bruscamente con la piana fluvio-glaciale. Lungo il versante destro si osservano i più estesi coni detritici, *debris flow* e depositi da valanga della valle.

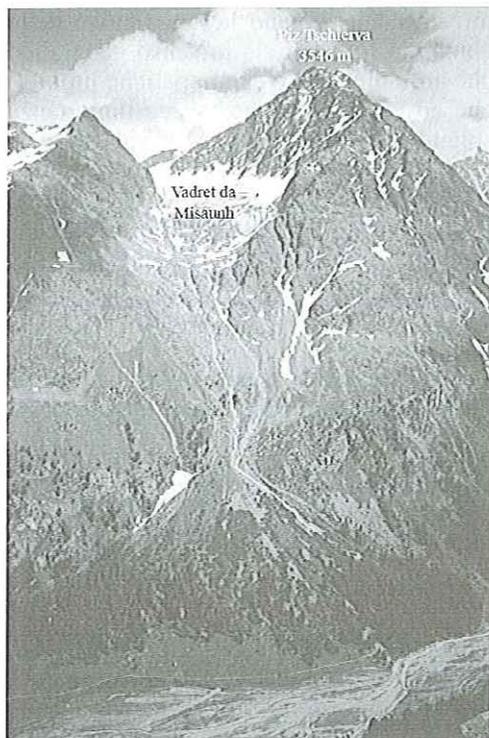


Fig. 5 - Il *debris flow* più esteso dell'alta Val Roseg. I detriti sono distribuiti dalle precipitazioni atmosferiche e dalle acque di fusione del sovrastante Vadret da Misaun.

grosso *debris flow* dell'Alp Misaun, in destra idrografica (fig. 5).

Superati i 2300 - 2400 m di quota, dove i pini cembri lasciano il posto alle praterie alpine, e fino a 2600 m, la pendenza del versante sinistro della valle diminuisce, formando una spalla glaciale; più in alto, affioramenti rocciosi e cime che non superano i 3400 m circondano numerosi ghiacciai ("Vadret" secondo la toponomastica locale. Vadret deriva dall'italico *nix veterata*, cioè neve vecchia). Il versante destro, invece, sempre nella porzione centrale della valle è costituito dalle propaggini occidentali di importanti cime quali il Piz Tschierva (3546 m) primo fra tutti, il Piz Boval (3353 m) e il Piz Misaun (3249 m). Queste cime coronano il Vadret da Tschierva, il Vadret da Misaun e il Vadrettin da Misaun (fig. 6). Dalle pareti di questi monti cade per gravità una elevata quantità di materiale che, trasportato anche dall'acqua meteorica e di fusione dei ghiac-



Fig. 6 - Il Piz Tschierva a destra con il sottostante Vadret da Misaun e, a sinistra, il Vadrettin da Misaun.

ciai; una volta depositatosi va a costituire caratteristici *debris flow* e coni di detrito che si raccordano, più o meno dolcemente, con la piana fluvio-glaciale.

L'ultima porzione di valle è quella meridionale, ed è occupata da importanti ed estesi ghiacciai: il Vadret da Tschierva con una superficie di 6,35 km² (fig. 7) e i con-

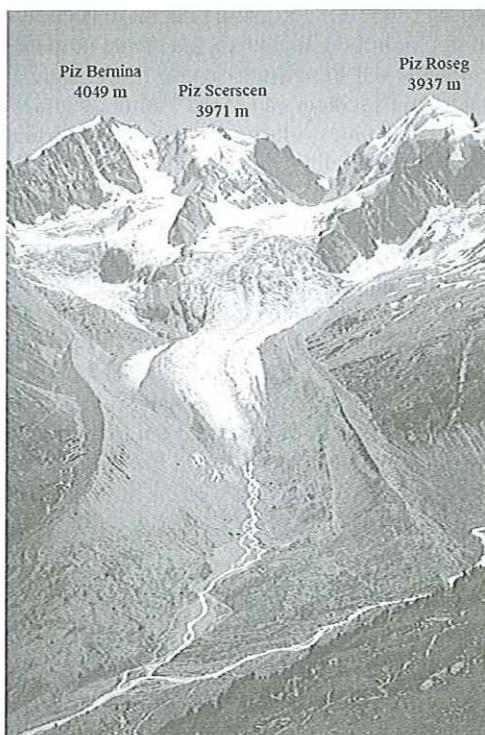


Fig. 7 - Il Vadret da Tschierva è il secondo ghiacciaio più grande della Val Roseg.



Fig. 8 - La testata della Val Roseg con il Lej da Roseg e la catena di monti che costituisce il confine italo - svizzero.

fluenti Vadret da la Sella e Vadret da Roseg (fig. 8) complessivamente di 8,25 km². Questi ultimi due ghiacciai terminano con una lingua comune in un lago terminoglaciale di sbarramento morenico, il Lej da Roseg. Il lago, che si trova ad una quota di 2160 m, è lungo circa 1,3 km e largo circa 250 m.

Il Piz Morteratsch (3751 m), il Piz Bernina (4048,6 m), il Piz Scerscen (3971 m), ed il Piz Roseg (3937 m) coronano i bacini di accumulo del Vadret da Tschierva. La cresta nord occidentale del Piz Roseg separa fisicamente il Vadret da Tschierva a Est dal Vadret da la Sella a Ovest. Quest'ultimo ghiacciaio è chiuso a Sud dal Piz Sella (3511 m), dagli Dschimels (3477 e 3501 m), e dalla punta de La Sella (3584 m). Il Vadret da la Sella con, a occidente, il contiguo Vadret da Roseg, costituiscono un unico apparato glaciale, che risulta essere di 1,9 km² più esteso del Vadret da Tschierva. La punta de La Sella (3584 m), il Piz Glüschaint (3594 m), La Muongia (3415 m) e Il Chapütschin (3386,1 m) coronano il Vadret da Roseg. La catena di cime che dal Piz Bernina arriva, verso occidente, fino al Piz Glüschaint, passando per il Piz Scerscen, il Piz Roseg, il Piz Sella, i Dschimels, e La Sella, individua il confine italo - svizzero e in modo particolare con l'italiana Valmalenco.

Inquadramento vegetazionale

Il macroclima e soprattutto l'andamento stagionale delle precipitazioni sono i fat-

tori che determinano la ripartizione delle comunità forestali sia in senso geografico che altitudinale. Le caratteristiche litologiche ed edafiche hanno invece importanza soltanto a livello locale. La Val Roseg è caratterizzata da un substrato roccioso cristallino e quindi da un chimismo del suolo acido. Questo fattore risulta essere determinante soprattutto per le specie arbustive, mentre le specie arboree non incontrano difficoltà a vegetare sia su substrati basici quanto acidi.

In Val Roseg possiamo distinguere la seguente successione di piani altitudinali:

- piano montano;
- orizzonte montano superiore, fino a 1900 m;
- piano culminale;
- orizzonte subalpino, da 1900 a 2300 m;
- orizzonte alpino, oltre i 2300 m.

L'orizzonte montano superiore e quello subalpino inferiore sono caratterizzati dalla presenza dell'abete rosso (*Picea abies*), pianta molto sensibile al disseccamento da gelo e che, infatti, a quote più elevate e nell'orizzonte alpino, lascia il posto a larici (*Larix decidua*) e pini cembri (*Pinus cembra*), conifere più adattate a condizioni climatiche estreme. Nell'area oggetto del presente studio si è riscontrata una peculiare distribuzione dei pini cembri e dei larici: questi ultimi si osservano soltanto sui coni di *debris flow*, sul deposito glaciale messo in posto nella Piccola Età Glaciale e, in sinistra idrografica, sul deposito glaciale relativo all'Ultimo Massimo Glaciale (LGM) accanto all'Hotel Roseggletschier. I pini cembri sono presenti invece nel resto dell'alta valle.

Il limite superiore del bosco, che in Val Roseg si colloca intorno a 2250 m, è costituito quasi esclusivamente da pini cembri, presenti come individui isolati al di sopra di questa quota; l'insediamento dei pini cembri in luoghi isolati dal resto del bosco è determinato dalla disseminazione ad opera delle nocciolaie (*Nucifraga caryocatactes*) che si cibano dei pesanti semi della pianta. Al contrario del pino cembro, il larice è in grado di occupare in breve tempo un'area maggiore grazie alla leggerezza dei suoi

semi che facilmente vengono dispersi dal vento. Tuttavia, a causa del lento processo dinamico (può richiedere centinaia di anni) che porta alla costituzione di un bosco chiuso, il larice, specie eliofila, viene gradualmente soppiantato dal pino cembro mano a mano che la copertura si fa più fitta.

Il sottobosco dei boschi radi di larici e pini cembri è caratterizzato da rilevanti coperture di rododendro rosso (*Rhododendron ferrugineum*), nota specie acidofila, che sostituisce il *Rhododendron hirsutum* che, al contrario, è una specie basifila.

Sono inoltre presenti ontani verdi o minori (*Alnus viridis*) che coprono in formazioni quasi impenetrabili i *debris flow* disponendosi a raggiera proprio in corrispondenza delle colate di acqua e detriti; l'*Alnus viridis* è infatti una pianta amante dei luoghi umidi. Nonostante sia considerata una pianta infestante non ne viene messa in dubbio l'utilità, visto che le sue radici trattengono il terreno che altrimenti verrebbe eroso dall'azione dell'acqua e delle valanghe.

Per quel che riguarda le piante erbacee è stata rilevata la presenza di elementi artici, come ad esempio il *Ranunculus glacialis* e la *Saxifraga aizoides*, mentre mancano specie particolarmente significative o endemismi.

I ghiacciai della val Roseg. Dalla Piccola Età Glaciale ad oggi

Col termine "Piccola Età Glaciale" (PEG, *Little Ice Age*) si definisce un arco di tempo, compreso tra la metà del Cinquecento e la metà dell'Ottocento, durante il quale in Europa, come in gran parte del mondo, l'estensione dei ghiacciai ha raggiunto i valori più alti che si siano mai avuti dopo la fine del Pleistocene. Basandosi sullo studio dei ghiacciai alpini e scandinavi, sulle date delle vendemmie e sui risultati della dendroclimatologia, Le Roy Ladurie e alcuni paleoclimatologi hanno ritenuto di poter fissare i limiti temporali della PEG tra il 1540-1550 e il 1850-1855, limiti adottati

anche per questo lavoro di ricerca. Tali limiti sono inoltre in accordo con le date delle vendemmie; l'utilità delle serie delle date delle vendemmie diviene evidente se si considerano, negli anni passati, le date di inizio della raccolta dell'uva che è in relazione con la maturazione del frutto, la quale a sua volta dipende dall'andamento climatico dell'anno e in particolare del semestre aprile - settembre.

Nonostante durante la PEG i periodi più freddi nelle diverse parti della Terra, seppur con diversa intensità, sono stati globalmente sincroni, il massimo glaciale non è stato contemporaneo in tutte le regioni.

Per quel che riguarda la Val Roseg la massima estensione dei ghiacciai durante la PEG si è avuta nel 1855 (SCHOLLENBERGER, 1976). A questo anno si fanno quindi risalire le imponenti morene laterali del Vadret da Tschierva, che appaiono alte decine di metri e con il classico profilo asimmetrico: più ripido e inciso da solchi di ruscellamento all'interno, più dolce e ricoperto da vegetazione pioniera all'esterno.

Il Vadret da Tschierva e il Vadret da Roseg confluivano in un'unica lingua glaciale che terminava circa 1550 m più avanti dell'attuale posizione della fronte del Vadret da Tschierva (figg. 9, 10 e 11).



Fig. 9 - Die Eisgebirge des Schweizerlandes di Gruner, 1760. Mostra la confluenza del Vadret da Tschierva (a sinistra) col Vadret da Roseg (a destra). Il rilievo rotondeggiante al centro dell'immagine è il Piz Aguagliouls.



Fig. 10 - Il Vadret da Tschierva a sinistra e il Vadret da Roseg a destra uniti in una lingua glaciale comune in una stampa antica del 1900.

Con il 1855 in Val Roseg termina la Piccola Età Glaciale e con essa un periodo non propizio all'attività umana. Infatti il clima della PEG ha influito sull'uomo non solo direttamente, ma anche e soprattutto condizionando le sue attività agricole. Nelle alte valli si è registrato così un abbandono della

montagna, già in atto nel 1700, e la ricerca alle quote più basse di terre produttive negate a quelle più alte.

Per comprendere l'attuale situazione dei ghiacciai della Val Roseg, si riportano le caratteristiche principali di ciascuno di essi (tab.1):

	Vadret da Tschierva	Vadret da Roseg
Superficie	6,35 km ²	8,25 km ²
Lunghezza	4200 m	4000 m
Larghezza media	800 m	2000 m
Quota massima	4040 m	3594 m
Quota minima	2240 m	2220 m
Esposizione	NW	N

Tab. 1 - Caratteristiche dei principali ghiacciai della Val Roseg.



Fig. 11 - In alto da sinistra: il Vadrettin da Misaun, il Vadret da Misaun, il Vadret da Tschierva e il Vadret da Roseg. Il Vadret da Misaun raggiungeva l'apice del sottostante grosso cono di debris flow (freccia bianca). Con le frecce rosse sono indicate le morene laterali e latero-frontali formate dal Vadret da Tschierva nel momento di massima espansione della Piccola Età Glaciale.

Metodi

Dendrocronologia

La dendrocronologia è la scienza che studia gli anelli di accrescimento nel legno degli alberi, sulla base delle loro caratteristiche chimiche, fisiche, morfologiche e densitometriche. Queste caratteristiche sono funzione, oltre che del genere, della specie e della fisiologia della pianta, delle condizioni ecologiche in cui crescono i singoli individui, e sono pertanto controllate da fattori climatici, geologici, antropici e ambientali in genere.

La dendrocronologia si fonda sui principi dell'accrescimento secondario del fusto legnoso delle Gimnosperme e delle Dicotiledoni. Questo è dovuto all'attività del cambio, uno strato di cellule meristematiche secondarie (cioè cellule adulte che riacquistano la capacità di dividersi) che danno origine ai raggi midollari e agli elementi del libro e del legno. L'iniziale fusiforme (il tipo di cellula cambiale che dà origine al libro e al legno) si divide, secondo un piano tangenziale longitudinale, in due cellule: una di queste due cellule rimane iniziale fusiforme e può quindi dividersi nuovamente, mentre l'altra dà origine a un elemento del libro o del legno. Se la cellula che resterà cambiale è la più interna delle due, l'altra si differenzierà in un elemento del libro; se è la più esterna, l'altra si differenzierà in un elemento del legno (fig. 12).

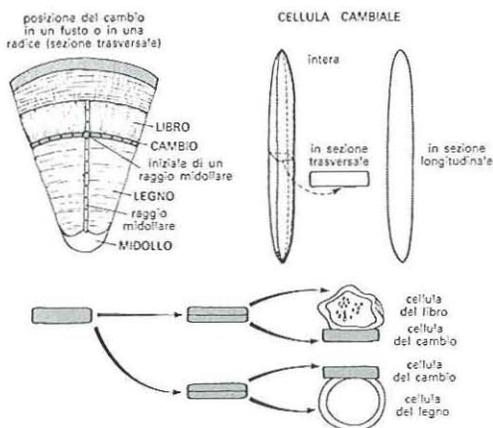


Fig. 12 - Le cellule del cambio si dividono secondo un piano longitudinale tangenziale per dare origine a cellule del libro o del legno (DA LONGO C., 1997, *Biologia Vegetale*).

Il legno (detto anche xilema) trasporta verso l'alto acqua e ioni assorbiti dall'apparato radicale; il libro (detto anche floema) trasporta a tutta la pianta le sostanze organiche sintetizzate a livello delle foglie con il processo di fotosintesi clorofilliana.

Il fatto che la differenziazione delle cellule cambiali in un elemento del legno è più frequente della differenziazione in un elemento del libro, e che il libro secondario viene man mano eliminato mentre il legno secondario si conserva indefinitamente, giustificano la presenza, in un fusto secondario, di molto legno e poco libro. Inoltre, alle medie e alte latitudini, dove il clima è caratterizzato da una più o meno forte stagionalità, l'accrescimento non avviene in continuazione, ma è sospeso durante l'inverno. Si individuano così due periodi: quello vegetativo in cui la pianta produce legno e quello di riposo che vede l'attività del cambio sospesa.

In una sezione trasversale del tronco di una Gimnosperma si possono pertanto osservare gli anelli di accrescimento, corrispondenti ciascuno ad un periodo annuale di attività del cambio. All'inizio della stagione favorevole (tarda primavera - inizio estate) il cambio differenzia internamente il legno caratterizzato da fibrotracheidi (elementi costituenti del legno con funzione di conduzione e di sostegno) con un lume più grande e pareti sottili; questa struttura cellulare permette una più facile conduzione dell'acqua e degli ioni necessari per la ripresa dello sviluppo. Con l'approssimarsi poi della stagione sfavorevole (tarda estate - autunno) la pianta produce invece un legno caratterizzato da fibrotracheidi con lume stretto e pareti più spesse che svolgono prevalentemente la funzione di sostegno.

Ogni anello risulta quindi costituito da due porzioni concentriche: una interna chiara con struttura più larga e meno densa chiamata legno primaverile e una esterna scura e più densa chiamata legno tardivo (fig. 13). Nelle Conifere il passaggio dal legno primaverile a quello tardivo è in parte controllato geneticamente e si presenta quindi più o meno netto a seconda della specie; anche fattori ambientali possono però influire

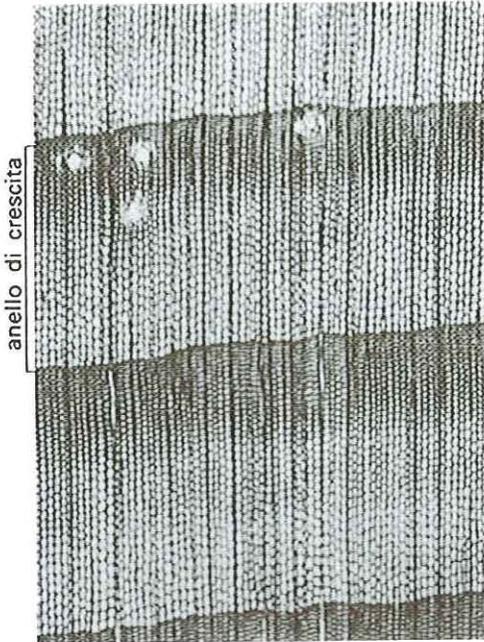


Fig. 13 - Sezioni trasversali di un tronco di larice (25 x). Si osservi nell'anello di crescita annuale il legno primaverile (chiaro) e il legno tardivo (scuro) (DA LONGO C., 1997, *Biologia Vegetale*).

sul passaggio, che comunque è graduale in molte specie. Decisamente marcato è invece il passaggio tra il legno tardivo di un anello e il legno primaverile dell'anello successivo poiché questo passaggio rappresenta il periodo di arresto dell'attività vegetativa del cambio.

Un albero è un essere vivente stazionario, che risponde alle variazioni ambientali con una maggiore o minore crescita, che si esprime in una differenza nello spessore e nella densità degli anelli di accrescimento: dal primo anno di vita, testimoniato dall'anello centrale, all'ultimo, rappresentato dall'anello più esterno, l'albero si comporta quindi come un registratore delle condizioni presenti nell'ambiente circostante. Le caratteristiche fisiche degli anelli sono in stretta relazione con i fattori climatici (temperatura, precipitazioni, umidità, pressione e velocità del vento), ma anche con fattori ecologici e geologico – geomorfologici (altitudine, esposizione, luce, inclinazione del terreno, substrato e suolo). Anche fattori fisiologici

come l'età influenzano le dimensioni degli anelli: il tasso di accrescimento (e quindi lo spessore) è maggiore nei primi anni di vita e diminuisce con la vecchiaia, con una variazione maggiore nel legno primaverile piuttosto che in quello tardivo (fig. 14).

Il fatto che clima, ecologia, geologia, geomorfologia e fisiologia regolino assieme la produzione annuale di legno, fa sì che risulta difficile l'estrapolazione e quindi l'analisi dell'andamento di uno solo di essi. Di conseguenza i valori di correlazione che si ottengono confrontando lo spessore degli anelli di crescita con i fattori ambientali sono indicativi e impuri da errori a causa del disturbo provocato da numerosi altri fattori. Nonostante tutto gli alberi rappresentano degli ottimi archivi naturali dei parametri che controllano la loro crescita. Attraverso la ricerca dendrocronologica è possibile ottenere moltissime informazioni sulle variazioni ambientali, ciò che ha portato a suddividere la dendrocronologia in diverse branche: analisi degli eventi geomorfici, geologici e glaciologici (dendrogeomorfologia), ricostruzione delle variazioni climatiche (dendroclimatologia) e delle variazioni nella portata dei fiumi (dendroidrologia), studio dell'ecologia delle comunità biotiche del passato (dendroecologia).



Fig. 14 - Gli anelli variano di spessore a seconda delle condizioni ambientali e dei fattori climatici, ecologici, geologico – geomorfologici e fisiologici.

Dendrogeomorfologia

La dendrogeomorfologia, le cui tecniche di ricerca sono state applicate in questo lavoro, si occupa dello studio degli eventi geomorfologici, geologici e glaciologici attraverso l'influsso che questi hanno sull'accrescimento degli alberi.

L'azione degli agenti geomorfologici sulla vegetazione può essere diretta, come nel caso di alluvioni, frane, *debris flow* (fig. 15), valanghe, avanzate glaciali, o può essere una conseguenza degli stessi fattori che influiscono sulla crescita delle piante, come nel caso delle variazioni climatiche. Ogni evento che altera le condizioni di vita dell'albero si riflette sulla sua crescita e pertanto sulle caratteristiche fisiche degli anelli annuali: l'evento può danneggiare i tessuti meristemati, cioè quei tessuti in grado di dividersi e differenziarsi come il cambio, il fellogeno, i germogli apicali o l'apice delle radici; può cambiare la posizione del fusto; può, ancora, cambiare la disponibilità di acqua, nutrienti od ossigeno nel suolo agevolando o rallentando così l'accrescimento.

Questi eventi saranno quindi registrati nella sequenza degli anelli dell'albero sotto forma di cicatrici o di variazioni nelle caratteristiche o negli spessori degli anelli.

Estremamente comune è ad esempio la presenza di legno di compressione nelle sezioni trasversali degli alberi che vivono sui versanti con accentuata pendenza: i fusti di questi individui vengono ad essere inclinati verso valle per effetto della neve e del creep del suolo; la pianta percepisce, sotto lo stimolo della gravità, di non essere orientata lungo la propria verticale e reagisce producendo un tessuto, che appare più scuro e lignificato, lungo il lato del tronco rivolto verso il basso; inoltre, l'accrescimento avviene maggiormente proprio verso valle. Il risultato è un anello asimmetrico, non più concentrico ma di spessore maggiore verso valle: questa differenza di spessore consente all'albero di riacquistare e mantenere la posizione eretta. Il legno di compressione rappresenta quindi la risposta della pianta ad un fattore esterno che impedisce la crescita verticale: questo fattore può essere costitui-

to, oltre che dal creep del suolo (che è un agente costante e protratto nel tempo) anche da eventi istantanei, "catastrofici", come una frana o una valanga, purché questi non determinino la morte dell'albero.

Le tracce di variazioni dei parametri ambientali possono essere rappresentate anche da sequenze di anelli più stretti o più larghi: un improvviso calo nella dimensione degli anelli, in assenza di altre motivazioni locali, può essere ad esempio ricondotto ad un episodio di recrudescenza climatica, così come un successivo aumento dello spessore medio può rappresentare il passaggio a condizioni di temperature e precipitazioni più favorevoli alla crescita della pianta. La curva dendrocronologica, con le opportune indicizzazioni ed elaborazioni, può quindi essere trasformata in una cronologia climatica, da cui trarre informazioni in particolare sulle variazioni glaciali oloceniche, che rappresentano uno dei principali attori



Fig. 15 - Azione diretta degli agenti geomorfologici sulla crescita di larici.

nella storia del paesaggio delle vallate alpine d'alta quota. Questo è possibile grazie al fatto che gli alberi hanno un tempo di risposta nullo nei confronti delle variazioni climatiche, risentendo immediatamente del variare di temperatura, precipitazione e insolazione nel luogo di vita della pianta anno dopo anno.

Grazie al confronto grafico e matematico tra curve ottenute da diversi esemplari, con il metodo del cross-dating da un lato si possono ricostruire serie dendrocronologiche che vanno indietro nel tempo fino ad alcune centinaia, talvolta migliaia d'anni, dall'altro si possono datare eventi geomorfologici grazie al posizionamento di porzioni di curve "fluttuanti" all'indietro di questa serie. È possibile ad esempio datare un episodio alluvionale o un'avanzata glaciale i cui depositi contengano tronchi sepolti di alberi uccisi da questi eventi: mediante il confronto con una curva esistente, datata con certezza (ad esempio con i metodi radiometrici) o riferita al presente (albero vivente), si ottiene la data di morte del tronco sepolto, ottenendo così la data dell'evento geomorfologico. E anche possibile ottenere delle età minime, ad esempio per terreni lasciati liberi da un arretramento glaciale, mediante la datazione dell'albero più vecchio presente e tenendo conto dei tempi di colonizzazione, variabili da specie a specie. Al contrario, si possono fare delle considerazioni sui tempi di colonizzazione conoscendo la data di messa in posto del deposito.

In questo studio l'analisi dendrogeomorfologica ha tre obiettivi principali:

- ottenere l'età minima dei depositi;
- ottenere i tempi di colonizzazione dei depositi glaciali relativi alla Piccola Età Glaciale da parte dei larici e dei pini cembri;
- determinare il tempo di risposta delle masse glaciali alle variazioni che si registrano annualmente nei valori delle temperature e delle precipitazioni nevose.

A riguardo sono state analizzate 56 carote di larici e pini cembri così distribuite: 45 carote di larici e 11 di pini cembri. Tutte le piante erano viventi e occupanti la piana proglaciale compresa fra le quote 2050 e 2100 m. Per ambiente proglaciale si intende tutta l'area non a diretto contatto con il ghiacciaio ma in cui se ne risente direttamente l'influenza; in questa accezione il sandur, dalla fronte del ghiacciaio all'inizio di un fiume con alveo determinato, fa parte dell'ambiente proglaciale (BRODZIKOWSKI, VAN LOON, 1991).

Fra tutti gli esemplari sono stati carotati soltanto i più vecchi, osservando l'altezza della pianta e il diametro del tronco. Le piante sono state carotate mediante un carotiere a mano ad un metro di altezza; immediatamente le carote estratte dal carotiere con una speciale gronda sono state fissate con nastro adesivo su un portacarote costituito da un listello di legno scanalato, e siglate (fig. 16).

Ogni sigla è costituita da: iniziali del cognome e del nome dell'operatore (CC), periodo di deposizione del substrato colonizzato dalla pianta (PEG), numero progressivo delle carote (1, 2, 3...) e iniziale volgare della specie (L o C). Su di una carta che di seguito si riporta schematicamente (fig. 17) è stata inoltre indicata la posizione dell'albero carotato e il suo numero progressivo.

In seguito, dopo asciugatura, i campioni sono stati incollati sullo stesso supporto e levigati a mano con carta abrasiva progressivamente più fine. Le carote si presentavano a volte frammentarie, ma nel complesso il materiale raccolto era tutto di buona se non di ottima qualità per lunghezza, integrità e qualità del legno.

La raccolta del materiale necessario per gli studi dendrogeomorfologici è stata completata con il taglio alla base di un larice e di due cembri viventi alti 1 metro, ottenendo tre "rotelle", cioè dei cilindri di tronco



Fig. 16 - Carota eseguita in un larice che mostra lo spessore diverso degli anelli di crescita.

alti qualche centimetro. In questo modo è stato possibile conoscere gli anni necessari alla pianta per raggiungere l'altezza di un metro, ossia l'altezza alla quale è stato effettuato il carotaggio; la somma di questi anni con il numero degli anelli di una carota ha come risultato l'età della pianta a cui la carota appartiene.

Per raggiungere gli obiettivi del presente studio i campioni sono stati esaminati e interpretati con modi e strumenti diversi presso il laboratorio di dendrogeomorfologia del Dipartimento della Terra dell'Università degli Studi di Milano.

Risultati

Determinazione dell'età minima dei depositi

Gimnosperme e angiosperme sono piante che si riproducono attraverso la produzione di semi. Dei semi che una pianta produce soltanto una parte germinerà attorno al suo piede, perché la natura provvede in modi diversi a diffonderli su un'area possibilmente vasta. Gli agenti utilizzati dalle piante per la dispersione dei loro semi sono il vento (disseminazione anemocora), l'acqua (disseminazione idrocora), gli animali (disseminazione zoocora) ed infine, in qualche pianta, la dispersione dei semi avviene con un meccanismo di scoppio dei frutti (disseminazione bolocora), con il lancio dei semi a distanza di qualche metro.

Quando il seme abbandona la pianta, entra in un periodo di vita latente, chiamato quiescenza, che può avere lunghezza variabile a seconda della specie vegetale. Durante la quiescenza il seme è fortemente disidratato; quindi, il seme quiescente, oltre a rappresentare un mezzo per assicurare la conservazione della specie, costituisce anche l'unica fase mobile della pianta alla quale è affidata la dispersione della specie.

Con la quiescenza non deve essere confusa la dormienza, che appare strettamente legata alle condizioni ambientali, quali temperatura, luce e disponibilità di acqua. La dormienza dei semi costituisce un fenome-

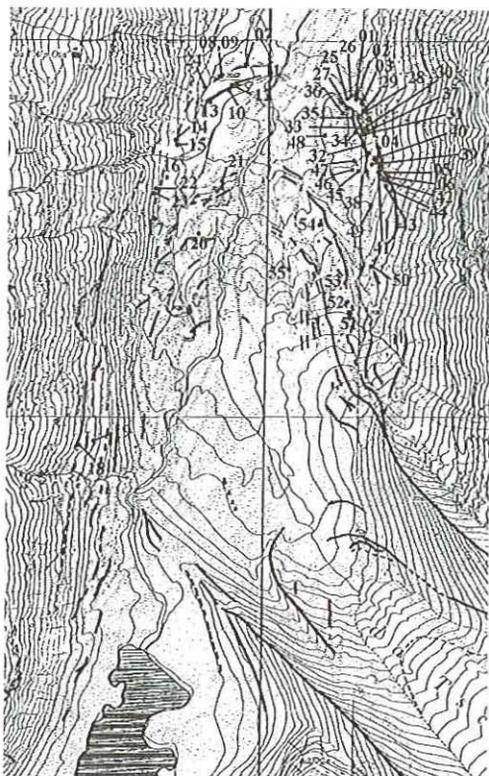


Fig. 17 - Numero e posizione degli alberi carotati. In grassetto le morene del Vadret da Tschierva e del Vadret da Roseg.

no ecologico di grande rilevanza adattativa in quanto esso consente ai semi di germinare solo in periodi e in condizioni favorevoli allo sviluppo delle piante.

Quando si determina con il conteggio degli anelli l'età di una pianta e quindi il suo anno di germinazione, si ottiene anche l'età minima del deposito su cui essa cresce: il deposito infatti è stato messo in posto in anni precedenti a quelli in cui la pianta ha germinato.

Se si volesse determinare l'età assoluta di un deposito all'età della pianta vanno aggiunti i periodi di colonizzazione del deposito, di quiescenza e di dormienza del seme.

Delle morene della Piccola Età Glaciale e di quelle formate nelle fasi successive dal Vadret da Tschierva e dal Vadret da Roseg sono note le datazioni assolute (SCHOLLENBERGER, 1976). Si è voluto dapprima con-

LARICI			
Carota	N° anelli a un metro	Carota	N° anelli a un metro
ccpeg01L	100	ccpeg34L	98
ccpeg02L	83	ccpeg35L	95
ccpeg03L	103	ccpeg36L	91
ccpeg04L	60	ccpeg37L	97
ccpeg05L	95	ccpeg38L	96
ccpeg10L	58	ccpeg39L	97
ccpeg11L	39	ccpeg40L	93
ccpeg12L	51	ccpeg41L	67
ccpeg15L	75	ccpeg42L	73
ccpeg19L	59	ccpeg43L	59
ccpeg20L	55	ccpeg44L	61
ccpeg21L	63	ccpeg45L	92
ccpeg24L	64	ccpeg46L	82
ccpeg25L	63	ccpeg47L	93
ccpeg26L	78	ccpeg48L	81
ccpeg27L	101	ccpeg49L	79
ccpeg28L	94	ccpeg50L	43
ccpeg29L	100	ccpeg51L	66
ccpeg30L	93	ccpeg52L	47
ccpeg31L	93	ccpeg53L	63
ccpeg32L	94	ccpeg54L	70
ccpeg33L	91	ccpeg55L	33

CEMBRI	
Carota	N° anelli a un metro
ccpeg06C	64
ccpeg07C	49
ccpeg08C	41
ccpeg09C	48
ccpeg13C	43
ccpeg14C	42
ccpeg16C	67
ccpeg17C	38
ccpeg18C	61
ccpeg22C	63
ccpeg23C	53

Tab. 2 - Anelli di accrescimento contati sulle carote di larici e cembri eseguite ad un metro di altezza.

Rotella	Numero anelli
Pinus cembra 1	44
Pinus cembra 2	13
Larix decidua	34

Tab. 3 - Anelli di accrescimento contati sulle rotelle ottenute tagliando alla base due cembri e un larice.

trollare la veridicità di queste date, che dovevano risultare inferiori all'età minima del deposito.

Per determinare l'età minima del deposito, utilizzando una lente con ingrandimento 10x, sono stati contati gli anelli di accrescimento (tab. 2). In alcuni campioni mancavano uno o più anelli centrali che sono stati stimati osservando la curvatura degli anelli.

Si è proceduto poi a contare gli anelli delle tre rotelle ottenendo i risultati evidenziati nella tabella 3.

Il numero esiguo di rotelle ha permesso soltanto una valutazione di massima ma indicativa: i cembri e i larici che crescono sulla piana proglaciale impiegano circa 30 anni per raggiungere l'altezza di un metro. Le età delle piante carotate risultano quindi essere pari al numero degli anelli ad un metro di altezza aumentato di 30 anni.

Le morene colonizzate dalle conifere carotate e indicate con le sigle R16/T29-30, T24-25 e T21 (fig. 18) sono state così datate da Schollenberger (1976):

R16/T29-30:	1855
T24-25:	1855
T21:	1898.

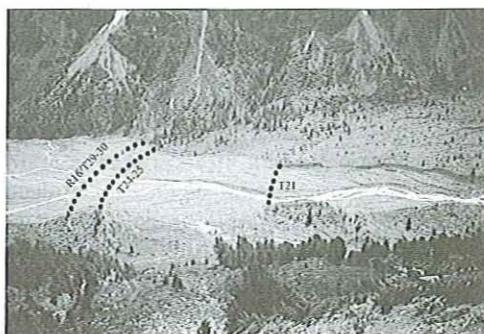


Fig. 18 - Con i punti neri sono indicati i settori frontali delle morene sulle quali crescono le piante carotate.

Morene	Anno di formazione	Albero più vecchio e anno di germinazione
R16/T29-30	1855	ccpeg03L: 1898
tra R16/T29-30 e T24-25	1855	ccpeg37L e ccpeg39L: 1904
T24-25	1855	ccpeg27L: 1900
tra T24-25 e T21	1855-1898	ccpeg32L: 1907
T21	1898	ccpeg54L: 1931
depositi interni a T21	>1898	ccpeg20L: 1946

Tab. 4 - Confronto tra l'età della morena e l'età della pianta più vecchia che su essa cresce.

Prendendo ora in esame l'anno di formazione delle morene e di messa in posto dei depositi glaciali e fluvioglaciali e l'anno di germinazione delle piante più vecchie che crescono su di loro, si ottengono i risultati illustrati nella tabella 4.

Le piante più vecchie che crescono sui depositi considerati sono larici, e in tutti i casi l'anno di messa in posto del deposito risulta essere precedente all'anno di germinazione. Quindi, dal momento che le morene sono più vecchie delle piante che su esse crescono le loro età assolute riportate da Schollenberger possono essere considerate valide.

Con questo risultato mettiamo in evidenza come, dopo aver individuato su depositi diversi le piante più vecchie appartenenti tutte alla medesima specie, il conteggio degli anelli di crescita, possa essere utilizzato come metodo di datazione, se non assoluta, almeno relativa.

Determinazione dei tempi di colonizzazione dei depositi glaciali relativi alla piccola età glaciale da parte dei larici e dei cembri

Si sono prese in esame le morene R16/T29-30, T24-25 e T21 e le piante che su esse crescono considerando dapprima i larici poi i pini cembri (tab. 5).

Nella precedente tabella sono state riportate, per ciascuna carota, la morena colonizzata con la sua età assoluta, l'anno di germinazione della pianta e il periodo di colonizzazione; quest'ultimo è stato ottenuto per differenza tra l'età della morena e l'anno di germinazione.

Per periodo di colonizzazione si intende l'intervallo di tempo durante il quale avviene la dispersione, la quiescenza e la dormienza del seme. Come detto precedentemente, mentre la quiescenza è variabile da specie a specie, il periodo di dormienza dipende dalle condizioni ambientali. Inoltre, mentre la distanza tra R16/T29-30 e T24-25 è al massimo di 25 m, quella tra T24-25 e T21 varia da 100 a 225 m.

Alla luce di questo, considerando separatamente i larici e i pini cembri, si interpretano i dati e i risultati della tabella 5.

Larici:

- i periodi di colonizzazione di R16/T29-30 e di T24-25 sono tra loro confrontabili ed entrambi si stimano sui 15 anni;
- il periodo di colonizzazione di T21, rispetto alle 2 morene precedenti che sono più esterne e quindi più vecchie, è decisamente inferiore e si valuta sui 5 anni.

Pini cembri:

- i pini cembri sono presenti soltanto solo su R16/T29-30 e su T24-25;
- il numero di esemplari carotati, nonché quelli presenti, si considera insufficiente per poter affrontare correttamente lo studio anche se sembrerebbe che il tempo di colonizzazione sia dell'ordine dei 50 anni.

La dormienza del seme può spiegare il perché della diminuzione del tempo di colonizzazione quando si passa da T24-25 a T21. T21 è un deposito glaciale messo in posto 43 anni dopo la massima fase della Piccola Età glaciale, cioè quando le temperature erano sicuramente più miti rispetto a quelle della metà del 1800. Dal momento che la dormienza dipende dalle condizioni

LARICI				
Carota	Deposito colonizzato	Età morena	Anno di germinazione	Periodo colonizzazione
ccpeg03L			1867	12
ccpeg01L			1870	15
ccpeg29L			1870	15
ccpeg05L			1875	20
ccpeg02L	R16/T29-30	1855	1887	32
ccpeg26L			1892	37
ccpeg24L			1906	51
ccpeg44L			1909	54
ccpeg04L			1910	55
ccpeg27L			1869	14
ccpeg34L			1872	17
ccpeg28L			1876	21
ccpeg38L			1874	19
ccpeg35L			1875	20
ccpeg33L	T24-25	1855	1879	24
ccpeg49L			1891	36
ccpeg15L			1895	40
ccpeg10L			1912	57
ccpeg12L			1919	64
ccpeg11L			1931	76
ccpeg54L			1900	2
ccpeg51L			1904	6
ccpeg21L	T21	1898	1907	9
ccpeg53L			1907	9
ccpeg52L			1923	25

CEMBRI				
Carota	Deposito colonizzato	Età morena	Anno di germinazione	Periodo colonizzazione
ccpeg06C			1906	51
ccpeg18C			1909	54
ccpeg07C	R16/T29-30	1855	1921	66
ccpeg09C			1922	67
ccpeg08C			1929	74
ccpeg13C			1927	72
ccpeg14C	T24-25	1855	1928	73
ccpeg17C			1932	77

Tab. 5 - Periodo di colonizzazione delle piante, ottenuto per differenza tra l'età del deposito glaciale e l'età delle piante che su di esso crescono.

climatiche, fra le quali si annovera appunto la temperatura, è chiaro che nel seme lo stimolo alla germinazione avvenga più precocemente ora che non in una fase climatica con temperature più rigide. Inoltre bisogna tenere in considerazione anche la velocità con cui il ghiacciaio, una volta formata la morena, è arretrato: maggiore è la velocità di arretramento, inferiore risulta il periodo di colonizzazione dei depositi glaciali.

L'elevata differenza tra i periodi di colonizzazione delle due conifere viene ammessa tenendo presente che i semi dei larici sono più leggeri di quelli dei pini cembri, e quindi possono essere dispersi dal vento con più facilità occupando in minor tempo un'areale maggiore.

In conclusione, i larici che crescono sulla piana proglaciale della Val Roseg sono caratterizzati da un tempo di colonizzazione che varia da 5 a 15 anni. Volendo considerare 10 anni come tempo medio di colonizzazione dei depositi proglaciali dell'alta Val Roseg da parte dei larici, ed essendo in possesso di tutti gli elementi per poter determinare l'età della pianta, siamo ora in grado di ricavare, dopo il carotaggio della pianta più vecchia ad un metro di altezza, un'età presunta del deposito: l'età presunta del deposito sarà infatti pari al numero degli anelli presenti sulla carota ottenuta sul larice ad un metro di altezza aumentato di 30 anni (tempo necessario alla pianta per raggiungere l'altezza di un metro) e di 5 - 15 anni (tempo di colonizzazione del deposito).

Costruzione della curva dendrocronologica

La curva dendrocronologica ottenuta corrisponde a quella del *Larix decidua* e del *Pinus cembra* che crescono sui depositi glaciali e fluvio-glaciali della piana proglaciale. Possiamo quindi parlare di curva dendrocronologica della piana proglaciale.

Considerando soltanto i larici sono state costruite 6 cronologie diverse esaminando piante viventi su altrettante aree con diversa età del substrato. Ossia, si sono presi in esame gli esemplari che vegetavano su R16/

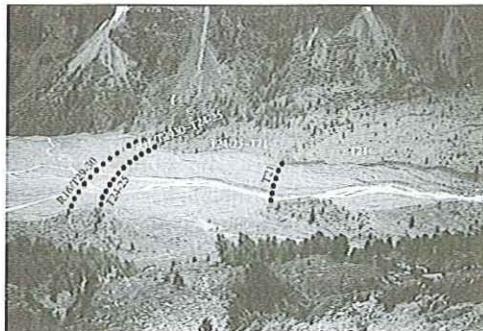


Fig. 19 - In nero le sigle utilizzate per identificare le morene PEG; in bianco le sigle dei depositi glaciali fra le stesse morene.

T29-30, T24-25, T21 e sui depositi compresi tra queste morene, e indicati con le sigle R16/T2930~T24-25, T24-25~T21 e T21~ (fig. 19).

Le carote, ben levigate, sono state acquisite come immagine bitmap utilizzando uno scanner piano. Il programma Windendro, una volta aperta l'immagine, automaticamente suddivide la carota in segmenti corrispondenti agli anelli della pianta riconoscendo i cambiamenti dell'intensità del colore (fig. 20); infatti, il passaggio tra il legno tardivo di un anello e il legno primaverile dell'anello successivo è decisamente marcato poiché questo passaggio rappresenta il periodo di arresto dell'attività vegetativa del cambio.

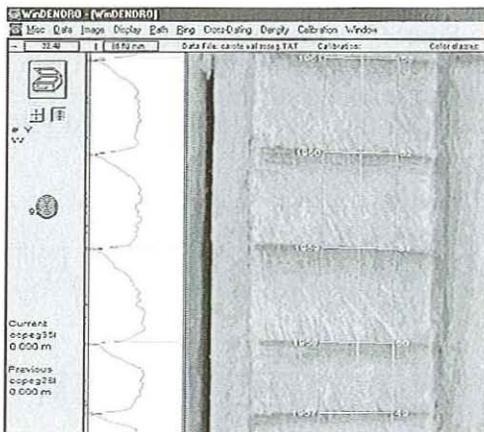


Fig. 20 - Il programma Windendro riconosce nell'immagine scannerizzata le variazioni di colore e automaticamente colloca il limite tra due anelli successivi.

Il programma provvede poi a misurare con precisione la distanza tra i vari segmenti, ovvero tra gli anelli. Le informazioni vengono poi salvate e convertite in un formato leggibile dal programma Tsap, più completo per quanto riguarda l'elaborazione statistica delle curve e che permette di costruire, per ogni carota, semplici grafici che riportano le variazioni nello spessore degli anelli in funzione degli anni. Successivamente, tenendo sempre distinte le diverse specie, tutte le curve sono state indicizzate, filtrate e elaborate statisticamente, al fine di eliminare tutti quei disturbi, interni od esterni alle dinamiche di crescita della pianta, che possono confondere il segnale climatico – ambientale registrato dalla sequenza degli anelli.

I dati attraverso i quali il programma Tsap costruisce le diverse curve, possono poi essere convertiti in un formato leggibile dal programma Excel con il quale sono stati elaborati i grafici.

Si sono dapprima confrontate le curve dendrocronologiche dei larici e dei cembri (fig. 21) e ci si è resi subito conto di come i larici rispondano alle diverse condizioni climatico – ambientali attraverso cospicue variazioni nella produzione di legno; i cembri, invece, avendo una curva dendrocronologia più prossima all'indice 100, rispondono con meno evidenza. Tuttavia, nel complesso, l'andamento delle variazioni dello spessore degli anelli risulta essere confrontabile in entrambe le conifere.

Successivamente sono state costruite 6 distinte curve dendrocronologiche di larici viventi su altrettante aree con diversa età del substrato (fig. 22): *R16/T29-30*, *R16/T29-*

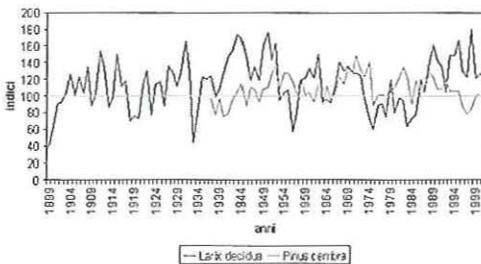


Fig. 21 - Curva dendrocronologica indicizzata del *Larix decidua* e del *Pinus cembra*.

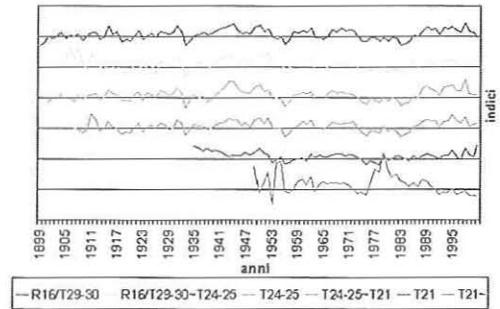


Fig. 22 - Confronto tra sei curve dendrocronologiche ottenute con larici viventi su altrettante aree con diversa età del substrato.

30-T24-25, *T24-25*, *T24-25~T21*, *T21* e *T21~*, che si sono unite in unico grafico per meglio confrontarle e commentarle. Lo studio dendrogeomorfologico eseguito mostra come in tutte e sei le aree si abbiano curve dendrocronologiche con il medesimo andamento; si escludendo così la presenza di fattori biologici esterni che avrebbero potuto alterare la crescita di alcune piante e non di altre. Infatti, un fattore biologico da tenere in considerazione quando si svolgono lavori di questo tipo in Alta Engadina è la Tortrice del larice (*Zeiraphera diniana*) (fig. 23), un lepidottero che con ritorni decennali provoca la caduta degli aghi delle conifere che parassita durante la stagione vegetativa; ne deriva, in quell'anno e a volte anche in quello successivo, una scarsa produzione di legno in alcuni gruppi di piante e non in

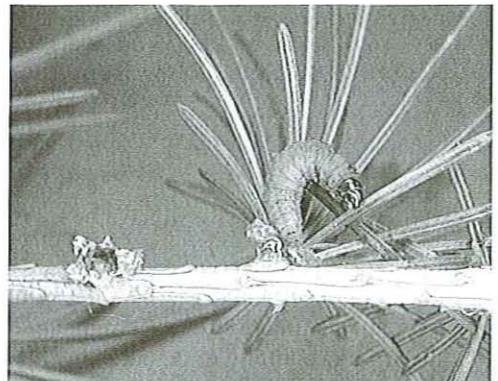


Fig. 23 - La Tortrice del larice (*Zeiraphera diniana*).

altri, e quindi anelli molto ravvicinati che portano ad una curva dendrocronologica anomala nella quale si individuano distinti picchi negativi.

Nell'Alta Engadina, zone classica di sviluppo della Tortrice, si attende dal 1980 una diffusione estesa dell'insetto. Nei versanti esposti a Sud della zona del lago di Sils, nel luglio 1998 sono state osservate delle chio-me imbrunite e defogliate; anche presso Bever è stato notato un aumento delle popolazioni. In questi anni nell'Alta Engadina si prevedono danni estesi e appariscenti sempre che non subentrino fattori meteorologici inabituali ad interrompere la gradazione.

L'assenza in alcune curve di picchi negativi ci permette però di escludere, almeno nell'alta Val Roseg, l'avvenuto parassitismo della Tortrice del larice.

Dendroclimatologia. Correlazioni con temperature e precipitazioni

Le piante hanno una risposta immediata alle fluttuazioni climatiche (SCHWEINGRUBER, 1988) e questa risposta rappresenta la sintesi delle variazioni ambientali e climatiche che avvengono nei luoghi o, in questo caso nella valle in cui le piante crescono.

Le curve dendrocronologiche ottenute con i larici e con i pini cembri sono state correlate con due parametri climatici: la media delle temperature e delle precipitazioni nei mesi da maggio a settembre, trascurando i rimanenti mesi dove, a causa delle temperature più rigide, non si ha produzione di legno e quindi nessuna registrazione delle condizioni climatiche e ambientali.

In modo particolare, per conoscere quali sono i mesi compresi tra maggio e settembre che più influenzano la crescita delle piante sono stati distinti 4 diversi periodi:

- 1) maggio - agosto;
- 2) maggio - settembre;
- 3) giugno - settembre;
- 4) luglio - settembre.

La media annuale delle temperature e delle precipitazioni per ciascuno dei quattro periodi, disponibili a partire dal 1900 con delle interruzioni nelle registrazioni nel triennio

'29-'30-'31, è stata confrontata con la curva dendrocronologica dei larici e dei pini cembri. Il confronto è stato fatto sia con un ritardo pari a 0, ossia con la variazione climatica che influisce sulla crescita della pianta nello stesso anno in cui si verifica, e sia ipotizzando un ritardo di 1, ossia con la variazione climatica che influisce sulla crescita della pianta soltanto l'anno successivo.

Una misura che ci informa di quanto le grandezze di una variabile (ad esempio temperature o precipitazioni) siano associate a grandezze dell'altra variabile (ad esempio la curva dendrocronologica dei larici o dei cembri), è il coefficiente di correlazione di Pearson. La formula fondamentale del coefficiente di correlazione è la seguente:

$$r_{xy} = (\sum xzy) / N$$

in cui r_{xy} è il simbolo usato per designare il coefficiente di correlazione di Pearson e indica che si tratta della correlazione tra due variabili x e y ; $\sum xzy$, indica la somma algebrica dei prodotti delle unità delle distribuzioni delle x e delle y ; N rappresenta il numero degli individui ossia di coppie di osservazioni nella distribuzione di due variabili.

Il coefficiente di correlazione ha la proprietà di assumere ogni valore tra +1,0 e -1,0. Un valore r_{xy} uguale a +1,0 indica correlazione positiva perfetta, mentre se è uguale a -1,0 indica una correlazione negativa perfetta; se è uguale a zero indica assenza di correlazione tra le due variabili. Quanto più è elevato il valore assoluto dell'indice di correlazione, tanto più soddisfacente e significativa è la corrispondenza tra due variabili.

A livello indicativo può essere interessante considerare la seguente tabella (tab. 6):

Valore assoluto di r	Giudizio sulla correlazione
0.00 - 0.20	Bassissima
0.20 - 0.40	Bassa
0.40 - 0.60	Media
0.60 - 0.80	Alta
0.80 - 1.00	Molto alta

Tab. 6 - Valore assoluto del coefficiente di correlazione r e scala di giudizio.

LARICI	Ritardo 0	Ritardo 1	CEMBRI	Ritardo 0	Ritardo 1
Maggio-agosto	0,420	0,245	Maggio-agosto	0,018	-0,135
Maggio-settembre	0,329	0,222	Maggio-settembre	0,012	-0,160
Giugno-settembre	0,255	0,199	Giugno-settembre	-0,008	-0,182

Tab. 7 - Correlazione temperatura – spessore degli anelli. Si considerano diversi periodi fotosintetici e la possibilità che le variazioni di temperatura possano registrarsi nel legno nello stesso anno in cui si verificano (ritardo 0) o l'anno successivo (ritardo 1). In grassetto i valori più significativi.

I risultati ottenuti confrontando la curva dendrocronologica dei larici e dei pini cembri con l'andamento della temperatura sono riassunti nella tabella e nei grafici seguenti. In grassetto sono indicati i valori di correlazione più significativi (tab. 7).

La correlazione fra lo spessore degli anelli di crescita delle piante e la temperatura è una correlazione positiva, dal momento che all'aumentare della temperatura la velocità di fotosintesi, e quindi di produzione di sostanza organica, aumenta progressivamente fino a raggiungere un valore ottimale. Se la temperatura sale oltre il valore ottimale la velocità della fotosintesi diminuisce rapidamente e alla fine si annulla del tutto a una temperatura intorno ai 50°.

Con l'unica eccezione dei larici nel periodo luglio – settembre i valori di correlazione alti corrispondenti ad un ritardo 0 confermano che nei larici e nei pini cembri le variazioni di temperatura vengono registrate negli anelli di crescita nello stesso anno in cui si verificano. Tuttavia, possiamo concludere che solo i larici durante l'intervallo maggio – agosto registrano il massimo valore di correlazione (0,420) che possiamo ritenere medio.

I valori di correlazione confrontando la curva dendrocronologica dei pini cembri

con l'andamento della temperatura sono, per tutti i periodi considerati, inferiori a 0,089, pertanto bassissimi. In virtù di questo risultato le variazioni annuali dello spessore degli anelli di crescita dei pini cembri non sembrano o comunque sono poco correlabili con quelle della temperatura. Bisogna tuttavia tenere in considerazione il basso numero di esemplari di pino cembro analizzati (11 piante) che può portare a generalizzazioni errate.

Si confronta ora la curva dendrocronologica dei larici e dei pini cembri con la quantità di precipitazione atmosferica registrata negli stessi 4 periodi. I risultati sono riassunti nella tabella e nei grafici della tabella 8.

I valori di correlazione ottenuti confrontando le precipitazioni con le curve dendrocronologiche dei larici e dei pini cembri sono tutti intorno al valore zero, quindi bassissimi. Si può allora concludere che non esiste per nessuna delle due specie una correlazione tra lo spessore degli anelli di crescita e le precipitazioni. Questo può essere spiegato con il fatto che in alta montagna la quantità di acqua presente, grazie alle precipitazioni nevose e alla fusione glaciale, è in genere sempre sufficiente e di conseguenza l'attività fotosintetica non viene quasi mai limitata per carenza idrica.

LARICI	Ritardo 0	Ritardo 1	CEMBRI	Ritardo 0	Ritardo 1
Maggio-agosto	-0,196	-0,026	Maggio-agosto	0,058	-0,063
Maggio-settembre	-0,162	-0,067	Maggio-settembre	-0,007	-0,091
Giugno-settembre	-0,073	-0,026	Giugno-settembre	-0,037	-0,150
Luglio-settembre	0,012	-0,064	Luglio-settembre	0,060	-0,158

Tab. 8 - Correlazione precipitazioni – spessore degli anelli. Si considerano diversi periodi fotosintetici e la possibilità che le precipitazioni possano registrarsi nel legno nello stesso anno in cui si verificano (ritardo 0) o l'anno successivo (ritardo 1).

Correlazione con le temperature estive		Correlazione con le precipitazioni invernali		Correlazione con la curva dendrocronologica dei larici	
0	-0,136	0	-0,013	0	-0,093
1	-0,166	1	0,190	1	-0,034
2	-0,201	2	0,012	2	-0,031
3	-0,221	3	0,066	3	-0,190
4	-0,273	4	0,205	4	-0,118
5	-0,211	5	0,117	5	-0,162
6	-0,193	6	0,146	6	-0,143
7	-0,240	7	0,120	7	-0,207
8	-0,222	8	0,256	8	-0,196
9	-0,086	9	0,195	9	-0,088
10	-0,069	10	0,239	10	-0,178

Tab. 9 - Variazioni di temperatura, precipitazioni invernali e spessore degli anelli a confronto con le variazioni frontali del Vadret da Tschierva. Si considera la possibilità che le variazioni climatiche possano manifestarsi con variazioni alla fronte del ghiacciaio nello stesso anno in cui si verificano (ritardo 0) o in uno dei 10 anni successivi (ritardo da 1 a 10). In grassetto i valori più significativi.

Determinazione del tempo di risposta dei ghiacciai

Un elemento importante per la dinamica dei ghiacciai è il tempo di risposta, ossia il tempo, espresso in anni, che intercorre tra l'evento climatico che può causare il movimento del ghiacciaio e il movimento del ghiacciaio stesso.

Il tempo di risposta è stato calcolato solo per i due ghiacciai più importanti della Val Roseg, vale a dire il Vadret da Tschierva e il Vadret da Roseg. Le variazioni della fronte di questi ghiacciai sono state correlate, sfasandole da 1 a 10 anni, con la media delle temperature estive (bimestre luglio – agosto), con la quantità di precipitazioni atmosferiche (nevose) misurate durante il periodo di accumulo (ottobre – febbraio) e con la curva dendrocronologica dei larici. Per il Vadret da Tschierva si sono ottenuti i risultati illustrati in tabella 9, indicando in grassetto i valori più significativi.

Si può concludere, quindi, che per il Vadret da Tschierva ci sia un tempo di risposta

pari a 8 anni. I valori molto bassi di correlazione lasciano però un margine di errore non trascurabile che si aggiunge alla difficoltà del calcolo. Di conseguenza il dato rimane soltanto indicativo e in attesa di conferme o dati migliori.

Per il Vadret da Roseg, invece, si sono ottenuti i dati riassunti nella tabella 10.

In questo caso, a differenza del precedente, i valori di correlazione sono molto più alti e si può affermare con più sicurezza che il tempo di risposta del Vadret da Roseg è di 6 anni.

Il Vadret da Roseg ha un tempo di risposta di 6 anni e copre una superficie di 8,25 km²; il Vadret da Tschierva che è inferiore a questo di 1,90 km², dovrebbe quindi avere un tempo di risposta minore. Se ipotizziamo che la media delle temperature estive risulti essere il fattore più importante e decisivo nel determinare un'avanzata o un arretramento della fronte dei ghiacciai, per il Vadret da Tschierva è ammissibile un tempo di risposta di 4 anni, per il quale appunto si ottiene il valore di correlazione più alto (-0,273).

Correlazione con le temperature estive		Correlazione con le precipitazioni invernali		Correlazione con la curva dendrocronologica dei larici	
0	-0,095	0	-0,238	0	-0,089
1	-0,131	1	0,142	1	-0,062
2	0,136	2	-0,007	2	-0,063
3	-0,390	3	0,159	3	-0,320
4	-0,281	4	-0,134	4	-0,274
5	-0,430	5	0,068	5	-0,528
6	-0,308	6	0,263	6	-0,514
7	-0,033	7	-0,060	7	-0,351
8	-0,299	8	0,332	8	-0,256
9	-0,051	9	0,184	9	-0,121
10	-0,260	10	0,176	10	-0,178

Tab. 10 - Variazioni di temperatura, precipitazioni invernali e spessore degli anelli a confronto con le variazioni frontali del Vadret da Roseg. Si considera la possibilità che le variazioni climatiche possano manifestarsi con variazioni alla fronte del ghiacciaio nello stesso anno in cui si verificano (ritardo 0) o in uno dei 10 anni successivi (ritardo da 1 a 10). In grassetto i valori più significativi.

dott. Christian Casarotto

Glaciologo
Museo Tridentino di Scienze Naturali
Via Calepina, 14
38100 Trento
casarotto@mtsn.tn.it

BIBLIOGRAFIA

- ARZUFFI L., 1998/99 - *Geomorfologia e geologia del Quaternario della Val Solda (Alto Adige)*.
- BRODZKOWSKI K. AND VAN LOON A. J., 1991 - *Glacigenic sediments*. Developments in sedimentology.
- CANETTA, MIOTTI - *Guida dei monti d'Italia. Bernina*.
- CARTON, PELFINI, 1988 - *Forme del paesaggio d'alta montagna*.
- CASTIGLIONI, 2000G. B - *Geomorfologia*.
- ETH ZURICH, 1998 - *Glaziologische Karte Julier - Bernina (Oberengadin)*. Massstab 1:60.000.
- GEOGRAPHISCHES INSTITUT DER UNIVERSITÄT ZÜRICH, GEMEINDE PONTRESINA, 1999 - *Lebendiges gletschervorfeld. Gletscherlehrpfad Morteratsch*.
- GEROLA F. M., 1998 - *Biologia vegetale. Sistematica filogenetica*.
- GWINNER - *Geologie der Alpen*.
- KILGER B., 1979 - *Die sedimente am eisrand des Rosegletschers (Graubünden, Schweiz)*.
- LONGO C., 1997 - *Biologia vegetale. Forme e funzioni*.
- MAISCH MAX *et al.*, 2000 - *Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850. Aktuelle Vergletscherung Gletscherschwund - Szenarien*.
- NAVARRA, PINCHERA, 2000 - *Il clima*.
- PELFENI M., 1999 - *Dendrogeomorphological study of glacier fluctuations in the Italian Alps during the Little Ice Age*.
- PELFENI, BELLONI, ROSSI, STRUMIA, 1997 - *Response time of the Lys Glacier. An example of a dendrogeomorphological and environmental study*.
- PINNA M., 1996 - *Le variazioni del clima. Dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI secolo*.
- REISIGL H., KELLER R., 1989 - *Guida al bosco di montagna. Alberi, arbusti e vegetazione del sottobosco*.
- ROTHENBÜHLER C., 2000 - *Erfassung und Darstellung der Geomorphologie im Gebiet Bernina (GR) mit Hilfe von GIS*.
- SCHOLLENBERGER B., 1976 - *Moraenenwaele im hinteren Rosegtal*.
- SMIRAGLIA C., 1992 - *Guida ai ghiacciai e alla glaciologia*.
- STAUB R. - *Carta geologica 1:50.000 "Bernina Gruppe"*.
- STRUMIA G., SCHWEINGRUBER F. H. - *Colonization and tree-ring growth in the forefield of Lys glacier since the little age*.

Riassunto

Lo studio svolto in alta Val Roseg ha evidenziato le potenzialità del metodo dendrocronologico e dendrogeomorfologico per la datazione di depositi quaternari in aree proglaciali, per la datazione di morene formate dai

ghiacciai durante la Piccola Età Glaciale, di eventi geomorfologici come i debris flow e per il calcolo dei tempi di risposta delle masse glaciali. I larici che crescono sulla piana proglaciale tra i 2050 e i 2100 m di quota sono caratterizzati da un tempo di colonizzazione medio di 10 anni. Tale dato, sommato al conteggio degli anelli di una carota effettuata ad un metro di altezza e al tempo necessario alla pianta per arrivare a tale altezza (30 anni) ha permesso di datare con un'ottima approssimazione i depositi quaternari dell'area proglaciale. L'analisi dei carotaggi eseguiti sui larici e sui cembri ha permesso inoltre di costruire una curva dendrocronologica estesa al 1899, curva che con il metodo del cross-dating permette di datare eventi geomorfologici. Correlando i dati meteorologici delle temperature e delle precipitazioni con lo spessore degli anelli di larici e cembri si è osservato come, soprattutto per i larici, si hanno elevati valori di correlazione tra crescita della pianta e andamento delle temperature. La bassa correlazione con le precipitazioni viene spiegata ammettendo che grazie alle precipitazioni nevose e alla fusione glaciale la carenza idrica non è mai tale da limitare l'attività fotosintetica. Infine, le curve dendrocronologiche hanno permesso di calcolare il tempo di risposta dei ghiacciai più estesi della Val Roseg, il Vadret da Tschierva e il Vadret da Roseg, pari a 4 e 6 anni rispettivamente.

Summary

The studies in high Val Roseg have showed the potentiality of the dendrochronology and dendrogeomorphology in dating mineral deposits of the Quaternary Period in proglacial area, in dating moraines of glaciers of the Little Ice Age and in dating geomorphologic events like debris flow, and in calculating the response times of glacial mass. The larches, that grow on the proglacial area between 2050 and 2100 m, have a mean colonizing time of 10 years. This data, if we add the counting of the rings of a stock coring at 1 m of high and the time that a plant needs to arrive at that high (almost 30 years), has enabled to date the mineral deposit of the Quaternary period in the proglacial area. Moreover the analysis of coring on larches and swiss pines enabled to develop a dendrochronologic curve since the 1899 year, that allows to date geomorphologic events with the cross-dating methods.

Making a correlation of meteorologic data of temperatures and precipitations with the tickness of the rings of larches and swiss pines, it was possible to observe how, predominantly for larches, there are high values of correlation between the growth of a plant and the trend of temperatures.

The low correlation with precipitations can be explain because the water lack does not limit the photosynthesis activity because of the snow and the glacial fusion.

Finally the dendrochronology curves allow to calculate the response time of two largest glaciers in Val Roseg Valley, the Tschierva Glacier and Roseg Glacier, of 4 and 6 years respectively.