

La foresta sommersa del “Lago Rosso”

Un decennio di ricerche
sugli alberi presenti
sul fondo del lago di Tovel

*TIZIANO CAMAGNA, ALESSANDRO BEZZI, LUCA BEZZI,
MAURO BERNABELI, CARLO OETHEIMER, ANDREA FORTI*
varie affiliazioni

© Virginia Salzedo

Il tronco reclinato dell'abete bianco n°1 (foto: V. Salzedo).

Il lago di Tovel

Il lago di Tovel, uno dei più bei laghi dell'intero arco alpino, rimane incastonato in una valle facente parte del Gruppo di Brenta, ed è delimitato a sud dalla valle di Santa Maria della Flavona che si inerpica fino al passo del Grostè, mentre a occidente è dominato dall'incombente e severo tritico costituito dalle cime della Pietra Grande, di Vagliana e dal massiccio del Gran de Formenton adagiati sulle ghiaie e sul verde intenso dei sottostanti pascoli che si estendono dalla Malga Flavona alla Malga Tuena.

Soprattutto noto come Lago Rosso, Tovel

deve la sua fama al suo arrossamento causato da un complesso di specie composto da tre alghe in grado di tingere le acque di un rosso intenso: la *Baldinia anauniensis* (una forma verde), la *Borghiella dodgei* (una forma marrone) e la *Tovellia sanguinea* (la forma rossa). Alghe ancora presenti ma che per una serie di concause e molteplici fattori non riescono più a favorire lo sviluppo di una fioritura dal 1964 come documentato dal più recente progetto SALTO (Studio sul mancato Arrossamento del Lago di Tovel, 2001 - 2004).

Appena giunti al cospetto della sponda più a nord, in prossimità dell'emissario torrente Tresenga, dove lo sguardo abbraccia l'intero lago, l'emozione che pervade l'osservatore è simile a quanto si può provare davanti a un dipinto del paesaggista inglese J. Constable: un vero e autentico caleidoscopico concentrato di suggestioni costituito da un insieme di colori e forme che infondono un clima di spiritualità e un senso di pace senza pari.

Come per altre esperienze della vita, un solo incontro non è sufficiente, Tovel merita più visite che meglio consentano di cogliere le molteplici sfaccettature dei suoi meravigliosi colori: dalla predominanza dei verdi, tipici del periodo estivo, alla tavolozza impressionista della stagione autunnale accompagnata dalla trasparenza verde – azzurra delle sue acque che, come uno specchio, riflettono le imponenti cime circostanti.

Quando Douglas Freshfield, reduce dalla conquista della cima Presanella, giunse in prossimità delle rive del lago di Tovel (1875), disse:

“By the shores of this solitary lake the old Saturn might have been sitting... The water is dark blue like the Egyptian nights.”

“Sulle rive di questo lago solitario anche il dio Saturno si sarebbe potuto sedere a rimirare un paesaggio così affascinante”. Scriveva, inoltre: “l'acqua è di un blu profondo come le notti egiziane”. A quel tempo il celebre esploratore inglese, conquistatore delle Alpi, di certo non poteva immaginare cosa si celasse al di sotto della superficie del lago.

Le origini

Varie e più accreditate teorie affermano che il bacino lacustre abbia origine da uno sbarramento di frana, come riportano numerose pubblicazioni, non ultimi gli studi di Carlo Oetheimer. Il geomorfologo francese ha i primi contatti con Tovel nel 1984 e già nel 1985 pubblica *“Etude géomorphologique des éboulements remaniés de la Vallée de Tovel”* mentre nel 1992 *“La foresta sommersa del lago di Tovel: reinterpretazione e datazione dendrocronologica”* sotto l'egida del Museo Tridentino di Scienze Naturali. Suddette teorie trovano conferma grazie, anche, al supporto delle indagini dendrocronologiche effettuate fino al 2017. Datazioni che vanno a corroborare quanto scrive Oetheimer riguardo alle dinamiche relative alla genesi del lago, nello specifico:

- un primo lago frutto del ristagno di una massa di ghiaccio di cospicue dimensioni che ha dato luogo ad un invaso profondo circa diciotto/venti metri databile intorno all'11.000 a.C.;

- un secondo lago che coincide con la morte per asfissia delle piante situate nel golfo nord-est per via dell'innalzamento delle acque, databile alla fine del XVI secolo e che portò il lago ad un livello di ben tre metri superiore a quello attuale, ancora visibile dalla presenza dei Lapis Lacustri limitrofi alle sponde del lago e che presentano evidenti solchi vermicolari;



Ricostruzione (seppur congetturale), della genesi del lago di Tovel, che mostra il noto bacino lacustre nel 1597, data desunta dalle analisi dendrocronologiche degli esemplari radicati. Si nota, infatti, un primo invaso profondo più o meno 20 metri e di forma piuttosto contenuta rispetto a quello attuale. Si intravedono, inoltre, le attuali rive del lago che si attestano a quota 1178 metri s.l.m. (disegno: T. Camagna).

- infine un terzo lago, quello di oggi, con i suoi 38,5 m di profondità e l'attuale quota altimetrica di 1178,5 metri s.l.m. ottenuto da un naturale assestamento dell'emissario Tresenga. Cambiamento, va detto, che ha modificato il livello e il volume del lago che da 2,1 è passato a 8,5 milioni di metri cubi con la relativa sommersione di 23 ettari di biocenosi forestale, dando luogo a sostanziali cambiamenti che hanno contribuito alla creazione di un nuovo equilibrio ecologico.

La foresta sommersa: dai primi avvistamenti agli studi

I primi avvistamenti risalgono al XIX secolo. Il documentarista Evaldo, nel 1845, scriveva: *"Noi avevamo notato fin dalla riva un non so che in mezzo al lago, che spuntava dalle acque e pareva come il risecchito capo di un tronco [...] ma diamine! Un tronco in mezzo al lago e diritto! [...]"* tronco di cui parla anche il fondatore della S.A.T. Nepomuceno Bolognini nel 1875 e che possiamo notare in una fotografia dei primi del Novecento del fotografo G. Pavanello di Cles pubblicata da Gino Tomasi su *"I trecento laghi del Trentino"*. Sempre grazie a Tomasi, le indagini riguardo la

foresta sommersa prendono corpo e destano notevole interesse nell'ambiente scientifico, prima nel 1980 e poi con Biondi e Pedrotti nel 1981.

Muovendo dagli studi di chi lo ha preceduto, e grazie all'intervento dei subacquei E. Cova e G. Mazzoleni, che per primi nel 1985 hanno individuato la presenza di alcuni esemplari radicati sul fondale del lago nel settore nord - est, Carlo Oetheimer, dal 1984 all'ultimo decennio del secolo, si occupa della foresta sommersa e della genesi del lago.

Nel 2013 si formerà una vera e propria *task force* composta da: l'architetto e subacqueo Tiziano Camagna, che oltre ad essere il responsabile del *team*, dal 2005 conduce i lavori di mappatura e rilievo degli esemplari radicati della foresta sommersa insieme ai subacquei Andrea Forti, Nicola Maganzini, Tobia Uccelli, il geomorfologo Carlo Oetheimer e dagli archeologi Alessandro e Luca Bezzi dell'*Arc-Team* di Cles, che elaborano un primo GIS archeologico, con relativo database, orientato alla mappatura e alla descrizione dei tronchi, radicati e coricati, rinvenuti sul fondo del lago.

Il gruppo, inoltre, si avvale della preziosa consulenza del laboratorio di dendrocronologia diretto dal dott. Mauro Bernabei del C.N.R. IBE di S. Michele all'Adige.

Fotografia risalente
al primo decennio
del Novecento:
al centro si nota
un tronco affiorare
in superficie.



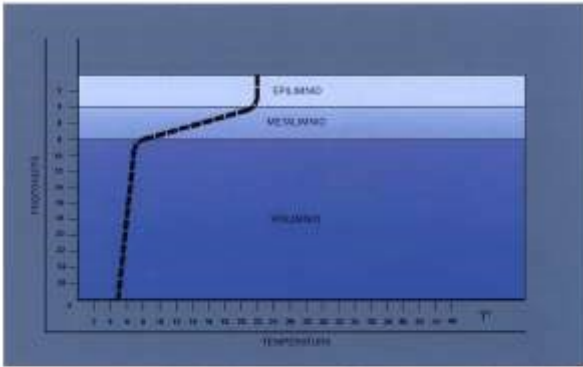


Figura 1 - Stratificazione termica lacustre in estate.

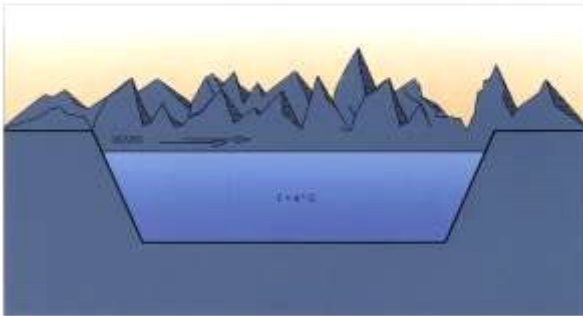


Figura 2 - Autunno: la totalità dell'acqua del bacino ha la stessa temperatura, quindi vengono favoriti la riossigenazione e il ricambio.

Immergersi a Tovel

Dobbiamo pensare che nel corso delle prime esplorazioni le tecnologie e l'equipaggiamento subacqueo non consentivano i necessari margini di sicurezza e tempi di fondo tali da poter svolgere le attività di ricerca finalizzate allo studio della foresta sommersa. Negli anni ottanta ci s'immergeva con delle mute umide in neoprene e bombole di capienza non superiore ai quindici litri, senza avere, inoltre, le competenze adeguate per poter affrontare un'immersione nelle acque fredde di un lago alpino e in quota. Un'immersione, a quell'epoca, poteva durare una quindicina di minuti circa, con tempi superiori si rischiava l'ipotermia.

Risulta doveroso, ai fini di una maggior comprensione, riassumere brevemente, in cosa consiste un'immersione in un contesto come il lago di Tovel:

I laghi alpini, situati generalmente a quote rilevanti e in contesti altrettanto severi, nel corso della stagione estiva si caratterizzano per i loro tre strati d'acqua così chiamati in corretta sequenza dalla superficie al fondo del lago: *epilimnio*, *metalimnio* e *ipolimnio*.

L'*epilimnio* è la sottile strato d'acqua di superficie non più spessa di due metri. Questo primo strato è quello che rivela una temperatura nettamente superiore rispetto agli altri due. Nel corso delle giornate più calde della stagione estiva, questo strato può consentire la balneazione ai più temerari e arrivare a temperature, generalmente, anche di 20° centigradi.

Il *metalimnio* è lo strato intermedio. Presenta uno spessore di maggior rilievo rispetto all'*epilimnio* e una temperatura dell'acqua decisamente più bassa arrivando anche a meno della metà dello strato che lo sovrasta. Da 20° centigradi possiamo scendere repentinamente a 8° centigradi e il suo spessore può risultare sei volte superiore all'*epilimnio*.

L'*ipolimnio* è lo strato a ridosso del fondale, ha una sezione decisamente maggiore rispetto agli altri due e una temperatura molto bassa che generalmente si attesta attorno ai 4° centigradi che è la massima densità dell'acqua. La temperatura dell'*ipolimnio* non varia mai durante l'anno ma il suo spessore, andando verso l'inverno, si modifica occupando lo spazio anche degli altri due strati sovrastanti portando la temperatura dell'intero invaso a 4° centigradi.

Di fondamentale importanza, inoltre, diventa l'aspetto relativo alla pressione barometrica: a livello del mare abbiamo una pressione di 1 atm pari a 763 mm/Hg (millimetri di mercurio). Più saliamo in quota più la pressione diminuisce. A 3000 metri, ad esempio, avremo una pressione pari a 0,7 atm con 700 mm/Hg.

Quando saliamo in quota una parte dei gas comincia a liberarsi nell'ambiente ma un'altra resta per un certo tempo in sovrassaturazione.

Per raggiungere il nuovo equilibrio il nostro organismo impiega circa 48 ore.

Alzandoci di quota, infatti, la nostra condizione di equilibrio di saturazione iniziale cambierà in una condizione di sovrasaturazione, in un certo senso immergersi prima che siano trascorse 48 ore sarà come effettuare un'immersione ripetitiva.

La diminuzione di pressione influenzerà i tempi di saturazione e desaturazione dei nostri tessuti. Questo succede perché i gas sciolti nel nostro organismo risultano in condizione di saturazione equilibrata alla quota in cui viviamo.

Se, ad esempio, ci immergiamo a livello del mare a - 40 metri (una profondità pari a quella del lago di Tovel) avremo:

- Pressione di superficie a livello del mare = 1 atm
- Pressione assoluta = 5 atm (4 atm di pressione idrostatica + 1 di superficie)
- Rapporto tra pressione assoluta e pressione di superficie = 5:1 = 5

Nella sostanza possiamo definire 5 come fattore di pericolo.

Se ci immergiamo a 3000 s.l.m. a - 40 m avremo:

- Pressione di superficie a 3000 m = 0,7 atm
- Pressione assoluta = 4 + 0,7 = 4,7 atm
- Rapporto tra pressione assoluta e pressione di superficie = 4,7:0,7 = 6,7

6,7 sarà il nuovo fattore di pericolo, una situazione che troveremo al mare ma ad una profondità di - 57 m!

Attualmente i subacquei oltre ad essere stati addestrati alle immersioni in quota e a possedere le specifiche competenze, si avvalgono di equipaggiamenti come mute stagne, sottomuta isolante in *Thinsulate* da 400 gr /mq, riscaldati grazie ad un pacco batterie, guanti stagni riscaldati, torce e illuminatori a *led* di ultima generazione, D.P.V. (*Diver Propulsion Vehicle*) che consentono di raggiungere in breve tempo i punti in cui vengono svolte le attività di ricerca e di evitare consumi eccessivi di gas.

Edgardo Baldi (1899 – 1951)

Biologo direttore dell'Istituto italiano di idrobiologia "Dott. Marco De Marchi". Le ricerche personali del Baldi si riferiscono alla fisiologia del sistema nervoso degli insetti e soprattutto alla limnologia biologica.

Erogatori progettati appositamente per acque particolarmente fredde, con sistema a camera secca e muniti di un sistema di bloccaggio manuale in caso di malfunzionamento (soprattutto auto-erogazione per irrigidimento della membrana a causa delle basse temperature).

Vengono impiegate, inoltre, miscele iperossigenate che oltre a consentire tempi di fondo più lunghi e abbreviare le tappe decompressive durante la risalita favoriscono una maggiore pulizia del sangue e dei tessuti dalle micro-bolle di azoto che vengono ad accumularsi durante l'immersione.

Le nuove tecnologie, le conoscenze riguardanti la programmazione di immersioni in quota e l'addestramento specifico hanno, senza dubbio, consentito il recupero di dati molto preziosi e importanti ai fini della ricerca e gli studi sulla foresta relitta di Tovel.

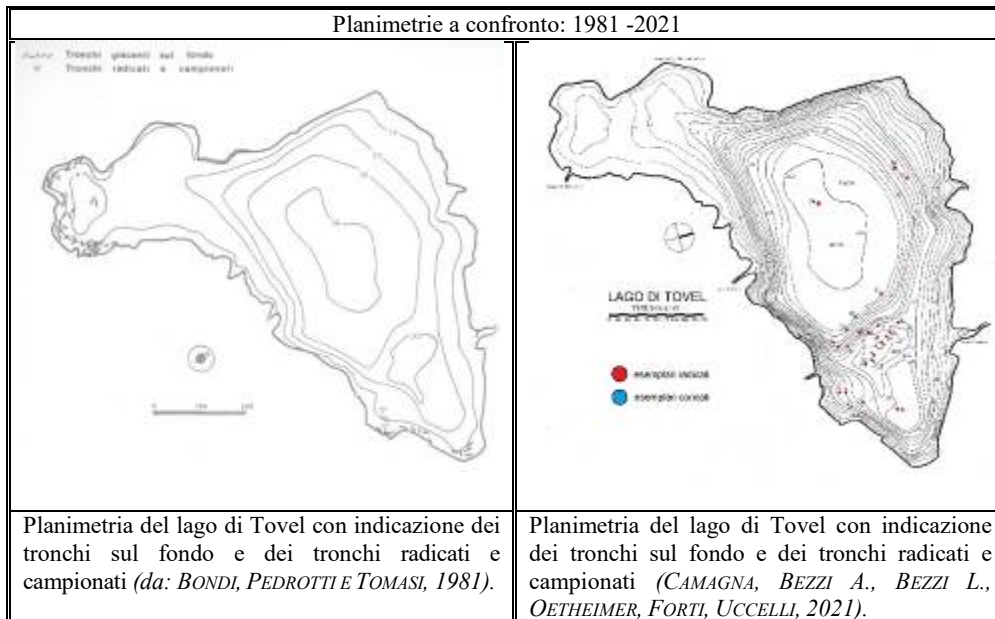
Un prezioso contributo è stato dato dalla straordinaria planimetria delle batimetriche del lago, realizzata da Edgardo Baldi nel corso della spedizione a Tovel alla fine degli anni trenta.

La planimetria è servita come base su cui costruire i nuovi rilievi e l'attuale cartografia.

E. BALDI, 1938: Rilievo delle batimetriche del lago di Tovel.



Planimetrie a confronto: 1981 -2021



Le attività subacquee: georeferenzazione, censimento e indagine dendrocronologica della foresta sommersa

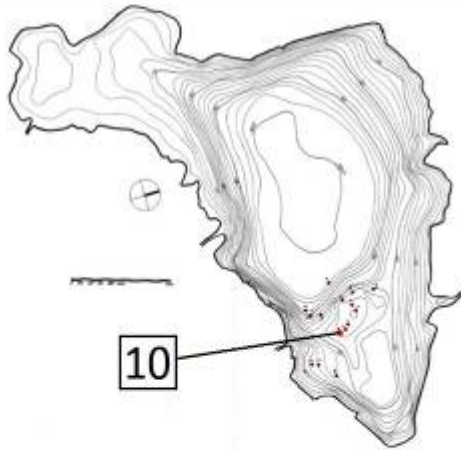
Sulla scorta delle notizie e da quanto è emerso dagli studi mossi dagli anni ottanta in poi e, soprattutto, considerando che l'innalzamento delle acque è accaduto alla fine del XVI secolo, le immersioni, a cominciare dal 2008 hanno privilegiato il settore nord – est del bacino lacustre ad una profondità non superiore ai venti metri. In questa zona del lago si è riscontrata la presenza di un certo qual numero di esemplari radicati saldamente sul fondale. Le analisi dendrocronologiche, inoltre, confermavano la data della sommersione della foresta relitta.

Per far fronte alle attività subacquee si è dovuto “sagolare” ovvero legare le varie specie arboree trovate sul fondo con un filo guida, sia per motivi di sicurezza che per facilitare il lavoro dei sub. A quella profondità, specie in alcuni periodi dell'anno a causa della sospensione e dei movimenti algali la visibilità risulta pressoché nulla. Attualmente sono stati collocati circa 1500 metri di sagola. Tutte le piante fino ad oggi censite e campionate sono state identificate con una piastrina recante un numero che rimanda alla scheda dell'esemplare.

FORESTA SOMMERSA LAGO DI TOVEL

10

Scheda di rilevamento esemplare radicato

Analisi dendrocronologica		Planimetria generale
Classificazione	Abete Bianco	
Data carotaggio	17-08-2014	
Data rilievo	19-10-2013	
Profondità max	14 m	
Profondità minima	6.40 m	
Sezione	117 cm	
Start	1275	
Finish	1596	
Anelli	322	

Rilievo fotografico

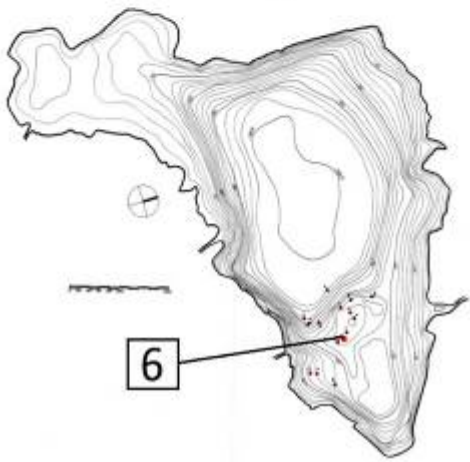


Nota: l'esemplare, ben saldo al fondale, presenta un'inclinazione di circa 65° e un taglio prodotto da lama a -9 dalla superficie.

FORESTA SOMMERSA LAGO DI TOVEL

6

Scheda di rilevamento esemplare radicato

Analisi dendrocronologica		Planimetria generale
Classificazione	Faggio	
Data carotaggio	09-08-2014	
Data rilievo	19-10-2013	
Profondità max	14.7 m	
Profondità minima		
Sezione	28 cm	
Start	1380	
Finish	1587	
Anelli	208	

Rilievo fotografico



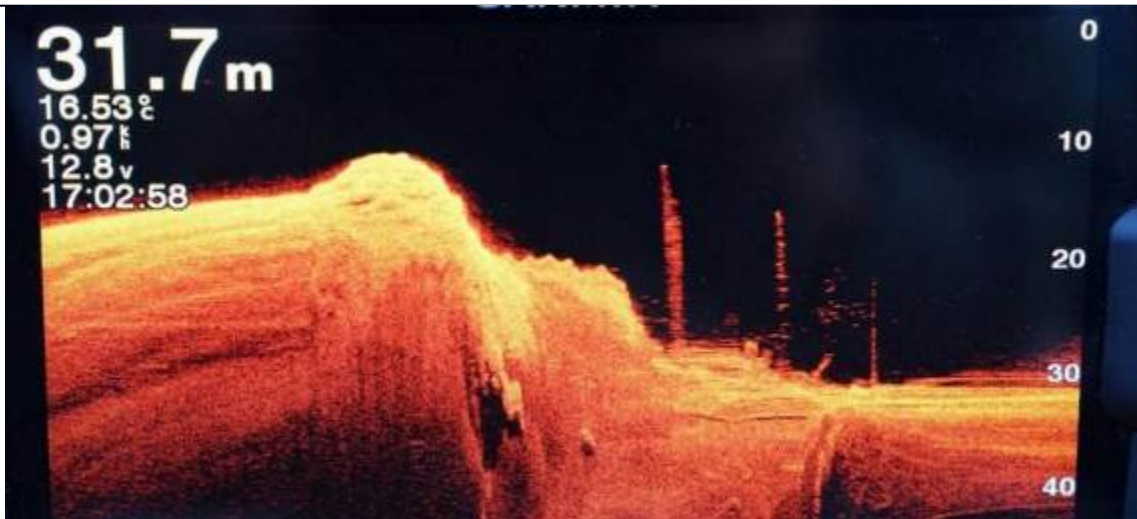


Immagine da ecoscandaglio dotato di tecnologia CHIRP.

Dal 2016, grazie all'utilizzo di ecoscandagli di ultima generazione dotati di tecnologia C.H.I.R.P. (*Compressed High-Intensity Radiated Pulse*) si è potuto esplorare, oltre al golfo nord – est, nuovi settori del lago scoprendo piante radicate ad una profondità che si spingeva ben oltre i – 20 metri.

Sono stati trovati, tra il 2016 e il 2019, ad una profondità compresa tra i -30 e -36 metri, tre esemplari radicati ma è solo il 6 giugno 2021, grazie alla collaborazione con l'agenzia subacquea IANTD di Marina di Pisa e *Nautica Mare* di Verona, che viene trovato e campionato un abete bianco (*Abies alba*), ancora perfettamente radicato, ad una profondità di 39 metri: albero del diametro di 95 centimetri e di 218 anelli che con la data 1596 e un TBP di 12,40 (il minimo per la certezza della validità del risultato è 3,8) non solo va a corroborare i dati già in nostro possesso, confermando l'avvenuta sommersione dell'intera foresta, ma fornisce nuovi spunti di riflessione sulle origini del lago di Tovel.

La georeferenziazione avviene, una volta localizzata la pianta, mandando in superficie un *pedagno* (una boa di segnalazione) in modo da permettere agli archeologi di rilevarne le coordinate con una stazione totale posizionata presso la sponda nord del lago e realizzare la mappa.



Operazioni di rilievo condotte dagli archeologi Luca e Alessandro Bezzi (foto: T. Camagna).

Esemplari radicati oltre i 30 metri di profondità		
Scheda	Specie arborea	Profondità in m
4	Larice	30
24	Abete bianco	39
25	Faggio	33
33	Abete bianco	36

I campionamenti e le indagini dendrocronologiche

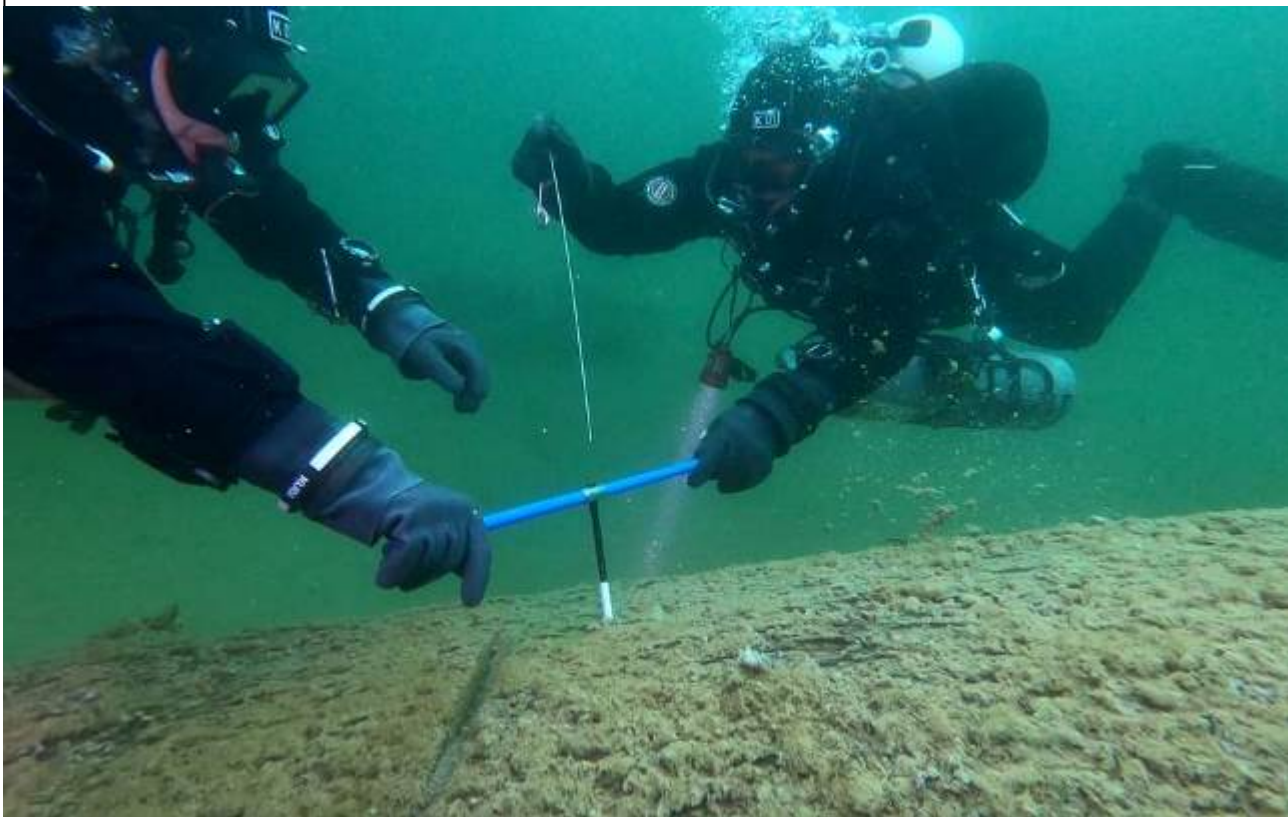
Le trivellazioni sono condotte dai subacquei utilizzando un succhiello di Pressler. Si tratta, con tutta probabilità, della prima volta che si eseguono operazioni di questo tipo al di sotto della superficie dell'acqua. Operazioni sostanzialmente semplici, se condotte in superficie, ma che sott'acqua richiedono un addestramento e un rigido protocollo da seguire.

Lo sforzo richiesto durante i carotaggi è doverosamente ripartito dalla coppia di sub che si alternano ogni tre minuti onde evitare situazioni di affanno respiratorio che potrebbero favorire l'insorgenza di malattie da decompressione. Generalmente suddette operazioni richiedono una tempistica di circa 15-20 minuti che, inevitabilmente, a certe profondità portano ad adottare un piano decompressivo di risalita (soste obbligatorie per la decompressione).



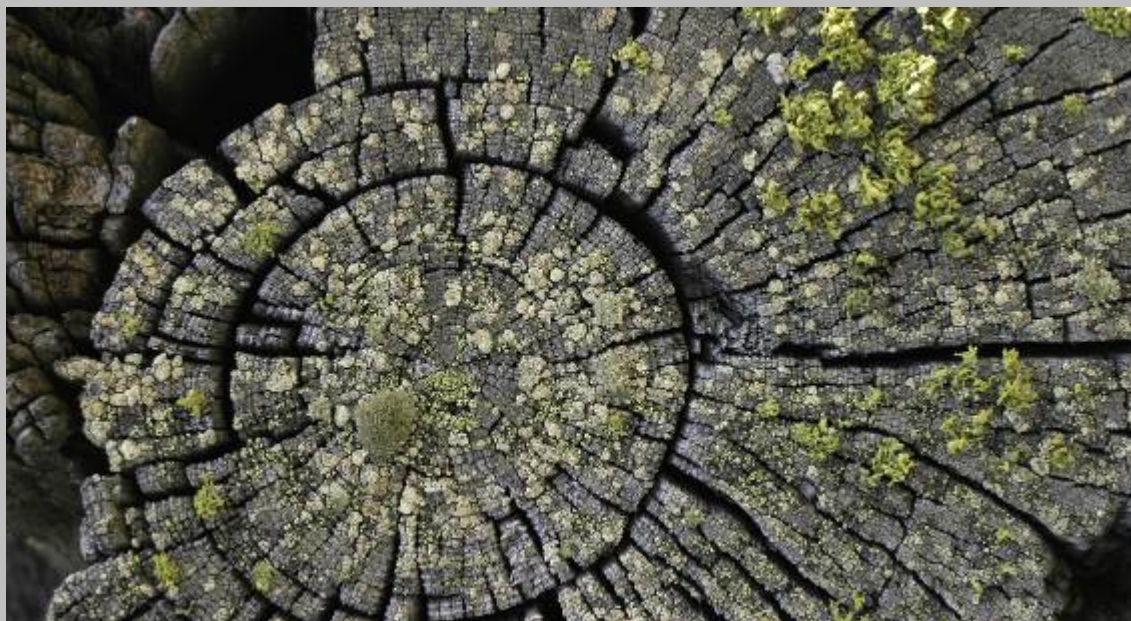
Detto anche sonda incrementale, il succhiello di Pressler è uno strumento di ampio utilizzo nelle pratiche forestali: azionabile a mano, viene utilizzato per prelevare campioni (sottili "carote") nei tronchi, al fine di valutare età, crescita, salute dell'albero, influssi negativi da inquinamento, densità del legno, penetrazione di agenti chimici nel fusto.

Una coppia di sub mentre esegue una trivellazione sull'esemplare 8 (foto: T. Camagna).



Le ricerche dendrocronologiche sui tronchi sommersi del Lago di Tovel

MAURO BERNABEI
*CNR-IBE, Istituto per la BioEconomia,
Consiglio Nazionale delle Ricerche, San Michele all'Adige, TN*



Una sezione attraverso un vecchio esemplare di cembro (foto: O. Negra).

Introduzione

La dendrocronologia è la scienza che studia gli anelli di accrescimento degli alberi in relazione al tempo. Si basa sul principio secondo cui l'ampiezza dell'anello annuale è largamente influenzata dalle condizioni in cui la pianta è cresciuta, soprattutto dal clima.

La relazione tra anelli di accrescimento degli alberi e annualità è nota praticamente da sempre: se ne trovano citazioni nella letteratura biblica, assira ed egizia. Nel periodo classico ne scrissero Autori come Esiodo, Vitruvio e Columella e lo stesso Leonardo da Vinci trattò l'argomento nel Trattato sulla Pittura, libro VI, "*Degli alberi e delle verdure*". Malgrado ciò, la scienza nella sua fisionomia attuale è stata codificata dall'astronomo americano Andrew Ellicott Douglass solo nei primi decenni del secolo passato.

Da allora, la scienza si è suddivisa in numerose sottodiscipline, a seconda del campo di applicazione, tra cui le più importanti sono la dendroecologia che studia gli ecosistemi forestali e le dinamiche vegetazionali, la dendroclimatologia, che ha un ruolo fondamentale nella ricostruzione del clima del passato, la dendrogeomorfologia, che si occupa dei movimenti di terreno, frane e valanghe.

L'elenco potrebbe continuare ancora a lungo (dendroglaciologia, dendropirocronologia, dendrochimica...) vista la grande quantità dei campi di applicazione. Grazie alla sua risoluzione annuale, la dendrocronologia è stata impiegata anche per analizzare le dinamiche socio-economiche (GIL-MONTERO e VILLALBA, 2005), i periodi di carestie o pestilenze (LJUNGQVIST *et al.*, 2018) fino a ricostruire la qualità delle annate dei vini del passato (BOURQUIN-MIGNOT e GIRARDCLOS, 2001).

La datazione dendrocronologica si basa sulle leggi che regolano la formazione degli anelli di accrescimento. Nei climi temperati, l'alternarsi delle stagioni determina negli alberi periodi di intenso accrescimento, fasi di accrescimento ridotto e fasi di sospensione dell'attività vegetativa. Tale avvicendamento induce negli alberi la formazione degli anelli, ognuno dei quali è costituito da due tessuti legnosi tra loro leggermente differenti: il legno primaticcio, che si forma nella stagione più propizia alla crescita (in primavera e parte dell'estate), e il legno tardivo, che viene generato prima della stasi invernale. L'alternanza dei due tessuti ci permette di distinguere un anello dall'altro: di solito, il legno primaticcio è più chiaro e poroso, il legno tardivo è più scuro e compatto.

Lo spessore dei singoli anelli è in funzione delle condizioni ambientali, soprattutto del clima, in cui la pianta ha vissuto. Se tali condizioni agiscono su una regione piuttosto grande, gli accrescimenti di molte delle piante risulteranno concordanti (FRITTS, 1976).

In pratica, la datazione di un manufatto si effettua misurando lo spessore di un numero sufficientemente elevato di anelli consecutivi, sviluppando così una "serie dendrocronologica" che viene poi confrontata con delle lunghe cronologie di riferimento, già datate, dette cronologie master, valide per la stessa specie e la stessa area geografica. Grazie al confronto delle serie anulari (*cross-dating*), realizzabile sia visivamente sia attraverso analisi statistiche, le cronologie vengono inter-datate, ovvero quella dell'oggetto in esame viene collocata nella porzione di quella di riferimento dove le analogie in termini di accrescimento anulare sono marcate. Effettuata la inter-datazione, o *cross-dating*, si può far corrispondere a ogni anello del nostro manufatto un preciso anno di calendario.

La costruzione di lunghe cronologie di riferimento costituisce una premessa essenziale nella datazione dendrocronologica. Queste devono essere lunghe e affidabili, ovvero essere realizzate a partire dal più alto numero possibile di campioni (elevata replicazione). Per alcune specie e regioni geografiche le cronologie costruite nei vari laboratori internazionali consentono oggi di andare indietro nel tempo per migliaia di anni. In Italia abbiamo attualmente cronologie che consentono di andare indietro per oltre 10.000 anni per le conifere alpine (BERNABEI *et al.*, 2018). Tali lunghe cronologie si sono dimostrate fondamentali, tra l'altro, per la calibrazione della curva di decadimento del radiocarbonio, rendendo possibili datazioni al ^{14}C sempre più precise.

La disponibilità di lunghe cronologie di riferimento, utili per vari studi tra cui la datazione, rappresenta dunque una risorsa cruciale (Norma UNI 11141, 2004). Per quanto riguarda l'abete bianco (*Abies alba* Mill.) e il faggio (*Fagus sylvatica* L.) le serie di riferimento di cui disponiamo non superano il millennio di estensione. Una delle più lunghe è quella valida per l'abete appenninico e toscano in particolare (BERNABEI *et al.*, 2017) che copre 925 anni a partire dal 2015. Per il faggio, invece, le cronologie di riferimento, anche in questo caso essenzialmente appenniniche, si fermano a una lunghezza di circa 500 anni indietro da oggi (PIOVESAN *et al.*, 2003). Il lavoro sui tronchi sommersi di Tovel ha l'obiettivo di costruire una cronologia di riferimento valida per l'abete bianco e il faggio italiano e delle Alpi in particolare.

Nota per l'interpretazione dei test statistici in dendrocronologia

Come abbiamo detto, la inter-datazione dendrocronologica (*cross-dating*) si basa essenzialmente sul confronto tra due serie di dati sufficientemente lunghe. Al fine di verificare la bontà della correlazione tra le serie, in dendrocronologia vengono abitualmente utilizzati i seguenti test statistici:

- **TBP e THO**: t di Student adattati rispettivamente da BAILLIE e PILCHER (1973) e HOLLSTEIN (1980) alle analisi delle serie temporali. Generalmente una sincronizzazione è stata ritenuta affidabile quando TBP o THO sono superiori a 4 con corrispondenti valori elevati del coefficiente di concordanza e del livello di significatività. Per avere un'idea: in serie di oltre 100 anelli con un TBP di 3,5, la probabilità di avere una datazione casuale è una su mille (BAILLIE e PILCHER, 1973).
- **Gleichläufigkeit (Glk)** o Coefficiente di concordanza: misura percentuale della corrispondenza tra i segni di accrescimento tra due cronologie nel passaggio da un anello al successivo (KAENNEL e SCHWEINGRUBER, 1995).
- **Significatività statistica della Glk**: può essere del 95,0%, del 99,0% o del 99,9% ed è espressa rispettivamente con *, ** e ***.
- **Overlap**, o **numero di anelli confrontati**, cui si riferiscono i test statistici. La dendrocronologia è una scienza che si basa su correlazioni statistiche per cui, maggiore è il numero di dati confrontati, maggiore è l'affidabilità dei risultati. Generalmente non è prudente scendere sotto i 70 anelli confrontati.

Risultati

Sono stati raccolti complessivamente 16 campioni di abete bianco e 10 di faggio. L'identificazione della specie è stata sempre eseguita al microscopio ottico a luce trasmessa, seguendo quanto riportato nelle più comuni chiavi di identificazione (GIORDANO, 1984; NARDI BERTI, 1994; SCHWEINGRUBER, 1990) e la norma UNI 11118 del 2004. Le serie dendrocronologiche di abete bianco hanno mostrato forti analogie reciproche negli accrescimenti. Valori medi: TBP 9,28, THO 9,71, Glk 70,73. La cronologia media si estende per 509 anelli, dal 1089 al 1597 (*Fig. 1*).

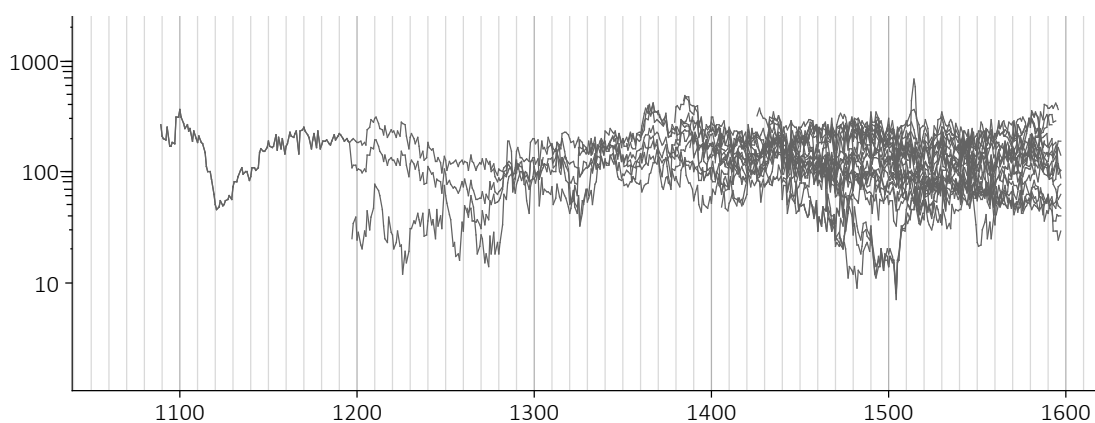


Fig. 1 - La serie dendrocronologiche di abete bianco raccolte nel lago di Tovel. La media si estende dal 1089 al 1597.

Un caso eccezionale tra i campioni di abete bianco è rappresentato dal n. 8, di 257 anelli, che si colloca in un periodo molto più antico rispetto a tutti gli altri. I suoi anelli 257 di accrescimento sono stati prodotti dal 1089 al 1345. Il n. 8 è l'unico campione così antico, rispetto agli altri, tutti riferibili al 1597, probabile anno dell'evento che ha portato alla formazione del lago. La datazione del campione 8 è tuttavia certa mostrando valori elevatissimi con la cronologia media degli altri campioni di Tovel, ma anche valori elevatissimi (TBP 7,37, THO 7,26, Glk67,10***) con la serie di riferimento europea dell'abete bianco costruita da Becker-Siebenlist (1970).

Nel caso del faggio si hanno meno campioni, 10 complessivamente, e la cronologia media costruita è meno estesa, 229 anni dal 1365 al 1593. Valori medi di correlazione: TBP 5,97, THO 6,05, Glk 67,07. La differenza nell'anno finale delle serie medie delle due specie, 1593 per il faggio contro il 1597 per l'abete bianco, è dovuta alla perdita degli anelli di legno più esterni durante le fasi di campionamento o ad opera del degrado naturale. Rimane ferma la data del 1597 come anno in cui probabilmente è avvenuto l'evento che ha portato alla sommersione della foresta.

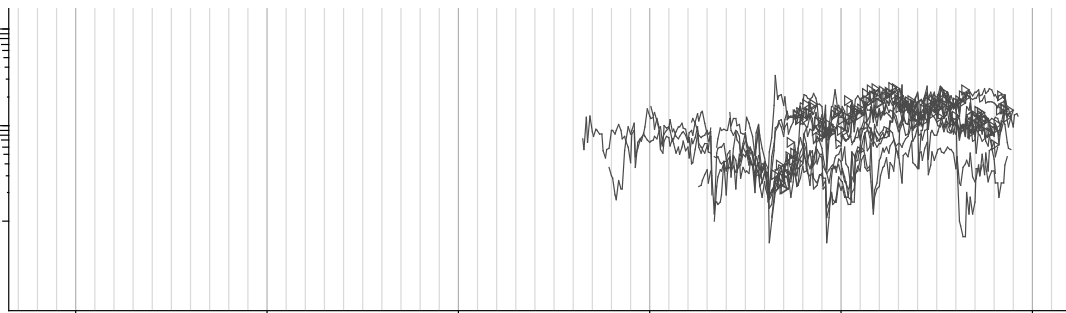


Fig. 1 - Le serie dendrocronologiche del faggio del lago di Tovel. La media si estende per 229 anni, dal 1365 al 1593.

Cronologia media	N. anelli	Anno inizio	Anno fine	Min	Max	Media	Std. Dev.	AC	MS
Abete bianco	509	1089	1597	46	360	138,90	46,39	0,90	0,11
Faggio	229	1365	1593	20	169	87,14	30,25	0,87	0,14

Tabella 1. Parametri dendrocronologici delle cronologie medie di abete bianco e faggio.

AC = autocorrelazione, parametro che indica quanto la formazione di un anello è legata all'anello precedente e quanto influisce sull'anello successivo. MS = sensibilità media, parametro che indica la risposta degli accrescimenti anulari alle variazioni ambientali.

Conclusioni

I tronchi del lago di Tovel rappresentano una risorsa scientifica importantissima. Costituiscono uno strumento fondamentale per lo studio delle dinamiche ecologiche e geomorfologiche dell'area Alpina e del lago di Tovel in particolare. Inoltre, grazie ad esse sono state gettate le basi per la costruzione di una *master* pluricentenaria italiana valida per l'abete bianco e il faggio.

Bibliografia

- BAILLIE M. G. L., PILCHER J. R., 1973. *A simple cross-dating program for tree-ring research*. *Tree-Ring Bull.*, 33: 7-14.
- BECKER B., GIERTZ-SIEBENLIST V., 1970. *Eine über 1100jaehrige mitteleuropäische Tannenchronologie*. *Flora*. 159, 310-346.
- BERNABEI M., BONTADI J., DIODATO M., 2017. *The Timber Dating of Giotto's Bell Tower in Florence (Italy)*. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(3): 305-313.
- BERNABEI M., BONTADI J., NICOLUSSI K. 2018. *Observations on Holocene subfossil tree remains from high-elevation sites in the Italian Alps*. *The Holocene*, 28 (12): 2017-2027.
- BOURQUIN-MIGNOT C., GIRARD CLOS O., 2001. *Construction d'une longue chronologie de hêtre au pays basque*. *Sud Ouest Européen*, 1-14.
- FRITTS H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press. London: 576 pp.
- GIL-MONTERO R., VILLALBA R., 2005. *Tree rings as a surrogate for economic stress – an example from the Puna of Jujuy, Argentina in the 19th century*. *Dendrochronologia* 22: 141–147.
- GIORDANO G., 1984. *Tecnologia del legno*. UTET, Torino.
- HOLLSTEIN E., 1980. *Mitteleuropäische Eichenchronologie. Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte*. Trierer Grabungen u. Forsch. 11 (Mainz 1980).
- KAENNEL M., SCHWEINGRUBER F. H., 1995. *Multilingual Glossary of Dendrochronology*. WSL/FNP, Birmensdorf. Haupt Pub. Berne, Stuttgart, Vienna. ISBN 3-258-05259-X.
- LJUNGQVIST F.C., TEGEL W., KRUSIC P.J., SEIM A., GSCHWIND F.M., HANCA K., HERZIG F., HEUSSNER K.-U., HOFMANN J., HOUBRECHTS D., KONTIC R., KYNCL T., LEUSCHNER H.H., NICOLUSSI K., PERRAULT C., PFEIFER K., SCHMIDHALTER M., SEIFERT M., WALDER F., WESTPHAL T., BÜNTGEN U., 2018. *Linking European building activity with plague history*. *Journal of Archaeological Science*, 98: 81–92.
- NARDI BERTI R., 1994. *La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego*. *Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno*. CNR, Firenze.
- Norma UNI 11118, 2004. *Beni culturali. Manufatti lignei. Criteri per l'identificazione delle specie legnose*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- Norma UNI 11141, 2004. *Linee guida per la datazione dendrocronologica del legno*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.
- PIOVESAN G., BERNABEI M., DI FILIPPO A., ROMAGNOLI M., SCHIRONE B., 2003. *A long-term tree ring beech chronology from a high-elevation old-growth forest of Central Italy*. *Dendrochronologia*, 21/1: 13-22.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1990. *Anatomy of European woods*. - Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft, Birmensdorf Bern, Stuttgart, Haupt. 800 S.



Campione della pianta 29 (foto: T. Camagna).

Preparazione per il trasporto del campione (foto: T. Camagna).





Varie fasi delle analisi dendrocronologiche sul campione (foto: T. Camagna).

La spedizione del 5 – 6 – 7 giugno 2021

Nel settembre 2020 il geomorfologo Oetheimer rilevava con l'ecoscandaglio la presenza di un esemplare radicato nel punto più profondo del lago a – 40 m. Per poter completare i rilievi e il campionamento di rito in totale sicurezza si è programmata una vera e propria spedizione, in stretta sinergia tra i ricercatori trentini e i migliori subacquei della IANTD (*International Association Nitrox & Technical Divers*), i cui responsabili sono: Fabio Ruberti e Carla Binelli, rispettivamente presidente e vicepresidente. Capospedizione Massimiliano Canossa di *Nautica Mare*.

A titolo d'informazione si porta a conoscenza che Ruberti e i suoi uomini sono soprattutto noti per aver intrapreso e promosso spedizioni su relitti storici come la Corazzata "Szent Istvan", il Transatlantico "Wilhelm Gustloff", la Corazzata "Regina Margherita" e il sommergibile "Scirè".

Nei mesi della primavera 2021, per consentire una corretta e dettagliata informazione su ciò che sarebbe accaduto in quel di Tovel da lì a pochi mesi, si è tenuto un ciclo d'interventi, sia tecnici che formativi, sulle caratteristiche del noto lago alpino, le relative immersioni in quota e i protocolli da rispettare durante le fasi di trivellazione perché il tutto si svolgesse in totale sicurezza.

Nelle tre giornate l'intero gruppo è stato suddiviso in due squadre: la prima cosiddetta operativa, la seconda di coordinamento e supporto. La squadra operativa era composta da: Massimiliano Canossa (capo spedizione), Nicola Boninsegna (vice-capospedizione e fotografo), Francesco Facipieri (subacqueo e video-operatore), Diego Faltracco (subacqueo e fotografo), Paolo Maraldo (subacqueo), Alessandro Ortolani (subacqueo).

La squadra di coordinamento e supporto era composta da: Fabio Ruberti (presidente IANTD), Carla Binelli (vice-presidente

IANTD), Tiziano Camagna (organizzatore e responsabile tecnico-scientifico), Carlo Oetheimer (geomorfologo), Alessandro e Luca Bezzi (archeologi), Andrea Forti e Tobia Uccelli (subacquei di supporto), Yohan Oetheimer (fotografo di superficie).

Il primo giorno è stato dedicato alla preparazione dell'equipaggiamento e alla programmazione dell'attività subacquea da svolgere. Il giorno seguente, 6 giugno, i lavori si sono concentrati nell'identificazione dell'esemplare radicato posizionato sul fondo del lago ad una profondità di 40 metri. Dopo una breve ricerca è stato ritrovato dalla squadra composta da Massimiliano Canossa e Nicola Boninsegna che hanno provveduto a segnalarlo in superficie e a misurarne le dimensioni. La seconda squadra, composta da Diego Faltracco e Alessandro Ortolani ha provveduto ad effettuare una carotatura dell'esemplare utilizzando il succhiello di Pressler, al fine di estrarre un campione da sottoporre ad un'accurata indagine dendrocronologica. La terza squadra, composta da Francesco Facipieri e Paolo Maraldo ha provveduto a fornire una copertura video-fotografica. Mentre si svolgevano queste operazioni subacquee, a terra gli archeologi provvedevano a geolocalizzare l'esemplare. Il tutto si svolgeva nella cornice di sicurezza fornita dalla squadra di supporto. Nell'ultima giornata lunedì 7 giugno, i subacquei hanno campionato rispettivamente un abete bianco e un faggio, oltre ad eseguire mappature, misurazioni e rilievi fotografici.

I subacquei della IANTD (foto: T. Camagna).





5, 6, 7 giugno 2021: i componenti della spedizione ricevuti dal Sindaco del Comune di Ville d'Anaunia ing. Samuel Valentini (foto: T. Camagna).

attrezzature per svolgere immersioni contraddistinte da una pressione atmosferica in superficie pari a 0.865 ata, temperatura dell'acqua di 4° centigradi e scarsa visibilità.

L'intera programmazione delle attività subacquee ha richiesto una particolare attenzione in tutte le sue fasi, viste le caratteristiche del sito in altitudine in cui si sono svolte. Allo scopo sono state utilizzati particolari protocolli, tecnologie e speciali

L'albero ritrovato sul fondo a 40 m, nella zona più profonda del lago, è risultato estinto nel 1596, anno che conferma l'avvenuta sommersione dell'intera foresta, fornendo nuovi dati e nuovi spunti di riflessione sulle origini del lago di Tovel.

Campionamento dell'esemplare 19 (foto: T. Camagna).





Operazione di sagolatura a 36 metri di profondità (foto: T. Camagna).

Sistemazione dei campioni prima di essere trasportati in laboratorio (foto: T. Camagna).





Georeferenzazione:
pedagno di segnalazione
(foto: T. Camagna).

Il subacqueo Andrea Forti
durante i rilievi
(foto: T. Camagna).

Il geomorfologo
Carlo Oetheimer
mentre rileva il fondale
con l'ecoscandaglio
(foto: T. Camagna).



Gli esiti delle indagini dendrocronologiche

Dal 2014 al 2021 sono state portate a compimento dal nostro team 28 trivellazioni. Gli esiti delle analisi portano a confermare la data del 1597 anno in cui, per molteplici fattori di natura cataclismatica o frana, le acque del lago s'innalzano causando l'asfissia della foresta relitta.

Le analisi rivelano le seguenti specie arboree: 16 esemplari di abete bianco, 10 esemplari di faggio, 1 larice e 1 abete rosso.

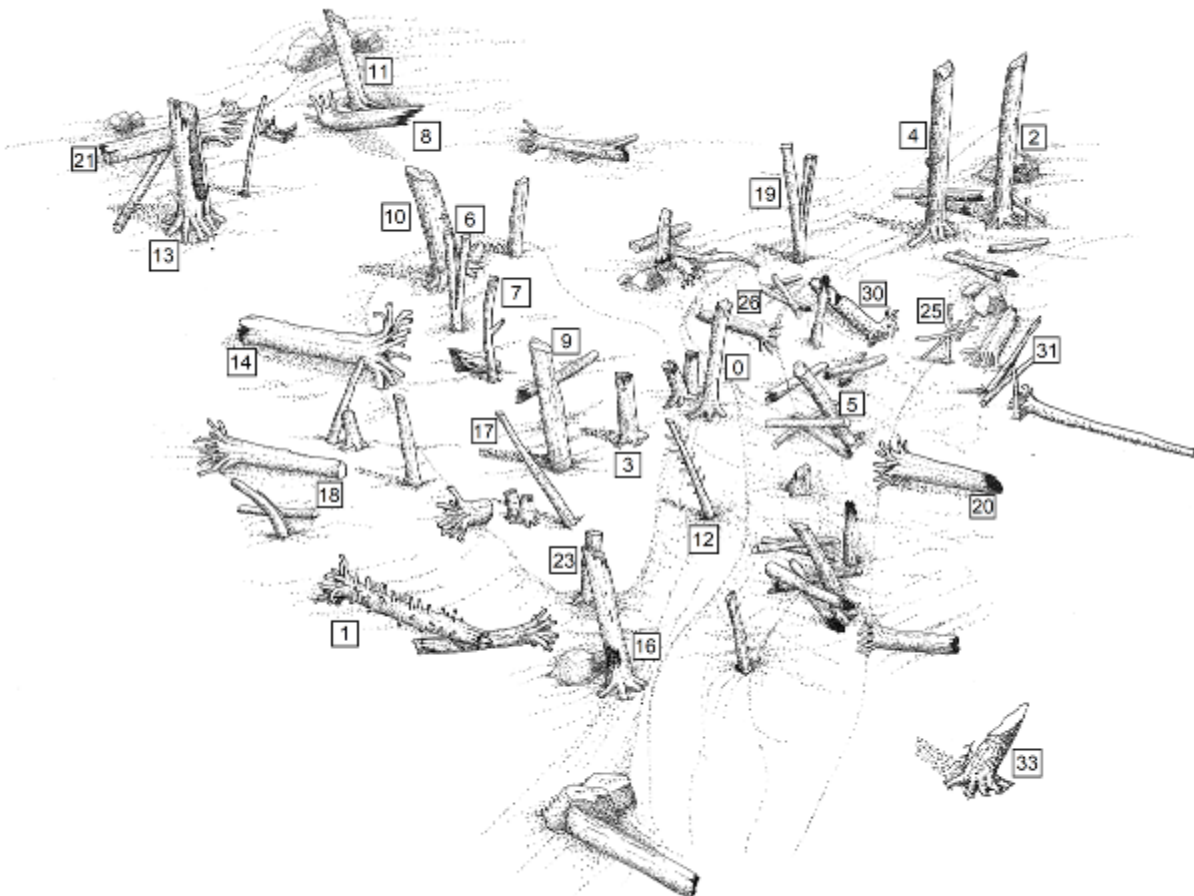
Grazie al nutrito numero di campioni di abete bianco, M. Bernabei e J. Bontadi, del dipartimento di dendrocronologia del C.N.R.-IBE di S. Michele all'Adige, hanno

costruito una *master* pluricentenaria dell'abete bianco.

Tale risultato ha contribuito alla datazione di parte dell'orditura lignea del Battistero di San Giovanni di Firenze coincidendo con una fase di restauro del manufatto eseguito nel 1268, data che ci riporta alla posa dei mosaici della cupola.

Nuovi ritrovamenti di esemplari appartenenti alla specie del faggio, non solo andranno a completare i dati fino ad oggi emersi ma porteranno alla realizzazione di una *master* del faggio che in Italia ancora non esiste.

Mappa degli alberi esaminati (disegno: T. Camagna).





Luca Bezzi, Carlo Oetheimer e Flavio Bonadiman mentre posizionano la cima di discesa sull'esemplare 24 (foto: T. Camagna).

Yohann Oetheimer, Tiziano Camagna e Fabio Ruberti presso la cima di discesa alla pianta 24 (foto: T. Camagna).





Gli archeologi Alessandro e Luca Bezzi posizionano la stazione totale nei pressi della riva nord (foto: T. Camagna).

Campione dell'abete bianco appena estratto dal carotatore (foto: T. Camagna).





Lavoro di sagolatura e di identificazione presso l'abete 16.

Radici dell'abete bianco 14 coricato sul fondo.

Le foto di Virginia Salzedo

Virginia, oltre ad essere un'ottima subacquea, è membro della nazionale italiana di fotografia subacquea, vincitrice di numerosi riconoscimenti e premi a livello internazionale.

Per l'occasione ci ha beneficiato di immagini di straordinaria e incomparabile bellezza in grado, come solo lei sa fare, di mostrarci gli alberi della foresta sommersa da una prospettiva inedita tale da veicolare intense emozioni.





© Virginia Salzedo

Esemplare di faggio 6 sul fondale nord-est.

Lavoro di sagolatura sull'abete bianco 10, la pianta presenta 117 centimetri di diametro.

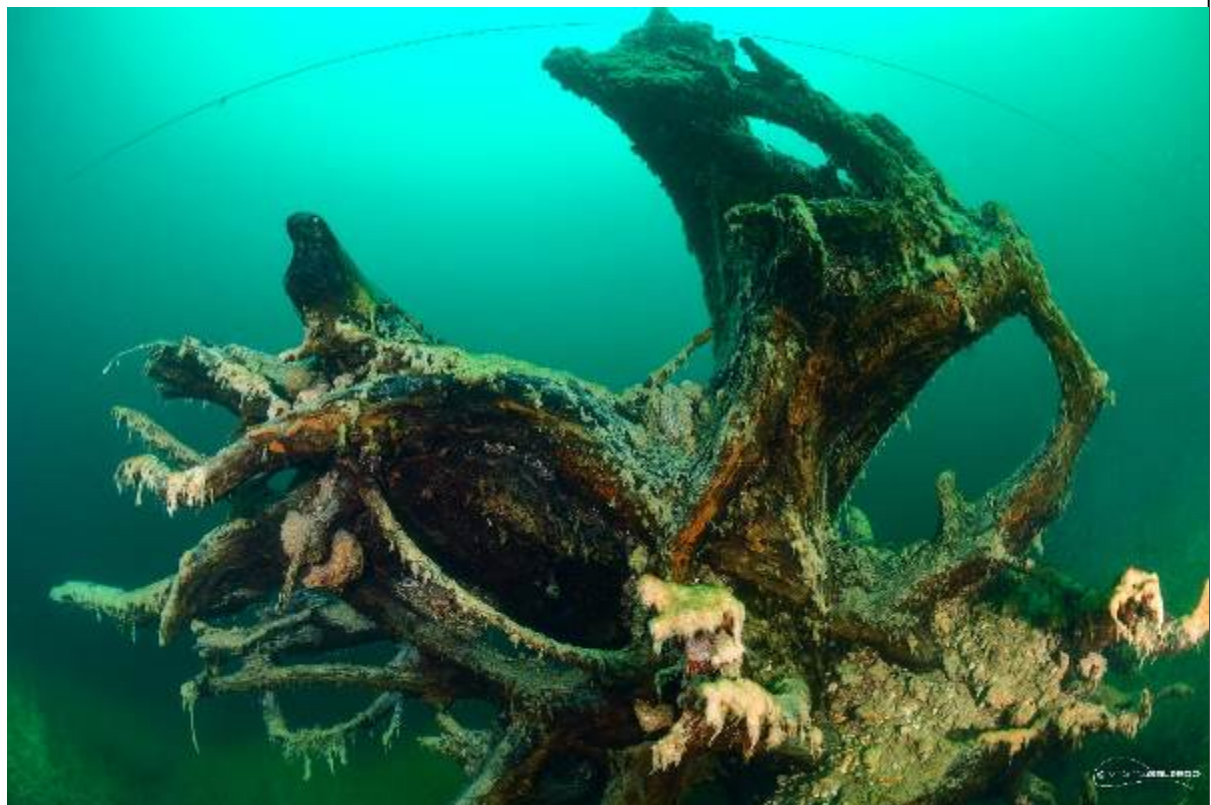


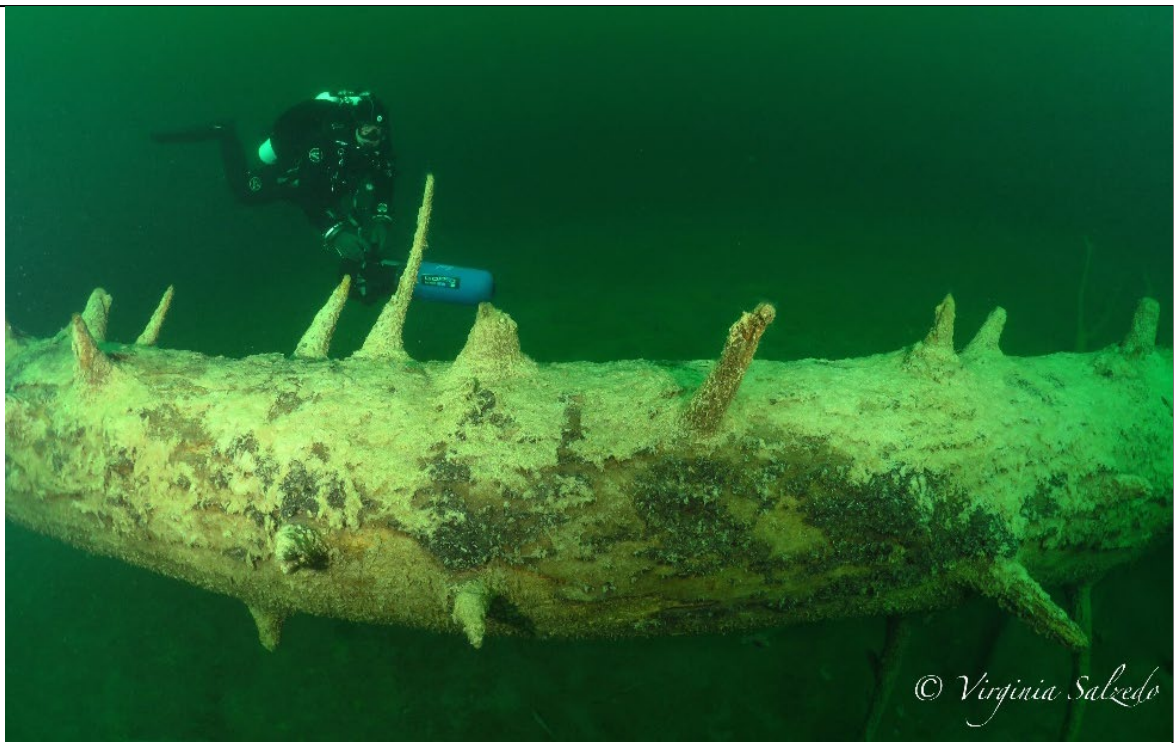
© Virginia Salzedo



Radici sul fondo del lago nel settore nord-est.

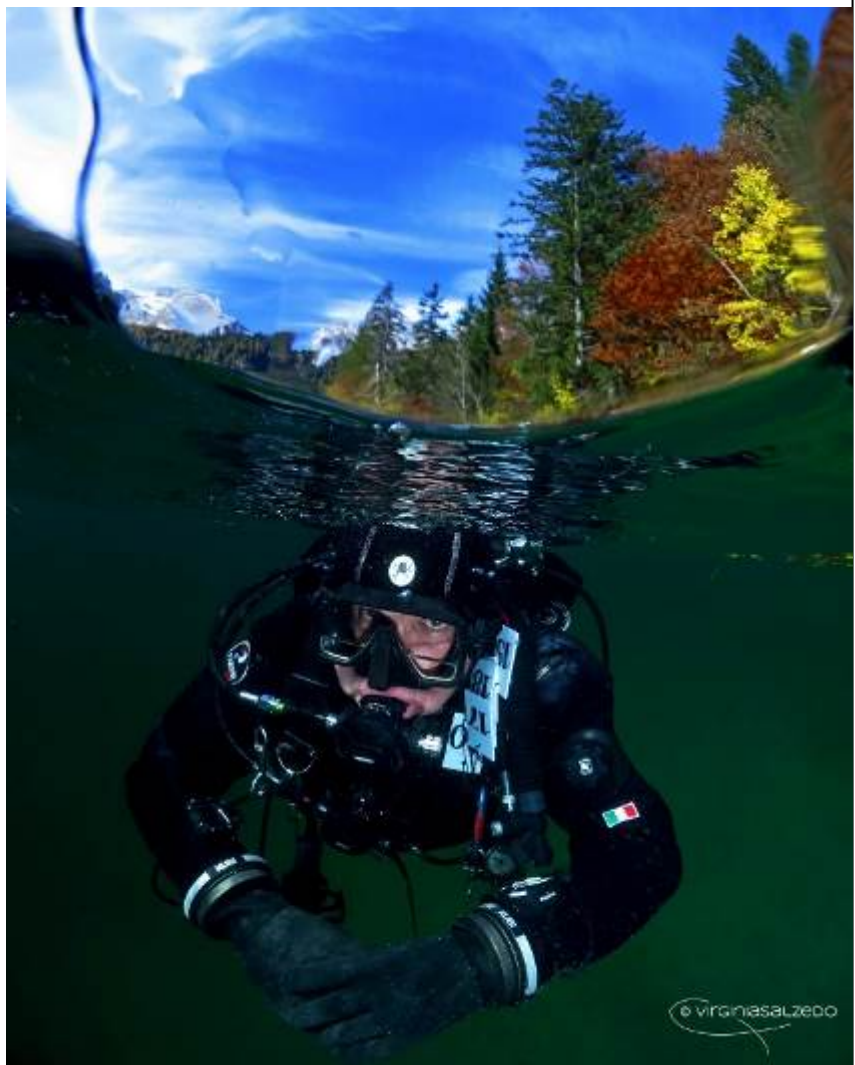
Radici dell'abete bianco n° 14.





Abete bianco n° 1.

L'autore: Tiziano Camagna.



Bibliografia

BALDI, E. (1938). *Relazione preliminare sulle ricerche al lago di Tovel*. Studi Trentini di Scienze Naturali, 19, pp. 247-339.

BERNABEI, M., BONTADI, J., QUARTA, G., CALCAGNILE, L. AND DIODATO, M. (2016). *The Baptistry of Saint John in Florence: The Scientific dating of the Timber Structure of the Dome*. International Journal of Architectural Heritage, 10(6), pp.704-713.

BEZZI, L., BEZZI, A. AND CAMAGNA, T. (2018). *Documentation and sampling strategies in underwater archaeology, general criteria and specific solutions*. In: Proceedings of the workshop Cultural Heritage and New Technologies, 22. Wien: [s.d.]

BORGHI, B., BORSATO, A., CANTONATI, M., CORRADINI, F., FLAIM, G., (2004). *Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel*. Studi Trentini di Scienze Naturali – Acta Biologica, 81, (2).

CAMAGNA, T., (2014). *La foresta sommersa del lago di Tovel*. Periodico semestrale di cultura della montagna. Anno 18 n° 1 / 2014. Litografia EFFE e ERRE.

CAMAGNA, T., (2010). *Tovel sottosopra*. L'eco delle dolomiti. Anno 5 – n. 10, pp. 8 – 17.

DARDANELLI, E. (2005). *Immersioni in quota*. Editoriale Olimpia.

IVALDO (1856). *Una gita autunnale nel 1845 in Val Trompia, Bagolino, Valle Rendena, Val di Sole e di Non, Trento, Vezzano e la strada delle Marocche: nuove note a Cinzio*. Milano: Boniardi-Pogliani.

GALFETTI, A. (1999) *Il sub in acque dolci*. Editoriale Olimpia.

IANTD. *Altitude decompression tables for air (915 – 1830 m)*.

MARCHESONI, V. (1941). *Sulla posizione sistematica del Glenodinium determinante l'arrossamento del lago di Tovel*. Studi Trentini di Scienze Naturali, 22(1), pp. 11-18.

OETHEIMER, C. (1988). *Etude géomorphologique des éboulements remaniés de la Vallée de Tovel. Contribution à la connaissance des "marocche" du Trentin (Italie)*. Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica, 65, pp. 3-47.

OETHEIMER, C. (1990). *La foresta sommersa del Lago di Tovel (Trentino): reinterpretazione e datazione dendrocronologica*. Studi Trentini di Scienze Naturali - Acta Geologica, 67, pp. 3-23.

PEDROTTI, F. (2008). *Notizie storiche sul Parco Naturale Adamello Brenta*. Trento: Editrice Temi

TOMASI, G. (2004). *I trecento laghi del Trentino*. Trento: Editrice Temi.

TOMASI, G. (1989). *Lago di Tovel: dall'immaginario al plausibile*. Trento: Natura Alpina, vol. 40.