

## Formazione dei travertini

I travertini, denominati anche tufi calcarei, sono rocce sedimentarie chimiche ed organogene, costituite principalmente da cristalli di carbonato di calcio (calcite e aragonite). I depositi di travertino si formano quando acque ricche in bicarbonati cedono anidride carbonica all'atmosfera e agli organismi vegetali fotosintetici. Il riequilibrio di questa reazione chimica (denominata “fenomeno carsico”) implica la precipitazione del carbonato di calcio:



La precipitazione dà luogo ad ammassi, che crescono con velocità variabili, fino a qualche millimetro/anno; edifici complessi, formati in tempi lunghi, possono avere estensione di chilometri e spessori superiori al centinaio di metri.

Sotto il profilo genetico si riconoscono due tipi principali: i travertini “termali” e quelli formati da acque a temperatura ambiente.

I travertini termali si formano in conseguenza della precipitazione di sali a partire da acque mineralizzate calde. Il raffreddamento di queste acque e la diversa pressione di diossido di carbonio tra l'atmosfera ed il sistema acquifero termale determinano intensi fenomeni di precipitazione in prossimità delle emergenze sorgentizie, con formazione di placche di travertino molto estese (fino a qualche chilometro) e molto spesse (anche centinaia di metri). In queste condizioni la partecipazione al processo di precipitazione da parte della vegetazione è assai modesta: l'eventuale ruolo della vegetazione è quello di impalcatura per la precipitazione del carbonato di calcio. Questo tipo di travertini è assai frequente nell'Italia centrale, per la diffusa presenza di acque termali associate ad un vulcanismo recente.

I travertini formati da acque a temperatura ambiente sono in genere associati a sorgenti (“sorgenti petrificanti”) con contenuto salino elevato. L'arricchimento in bicarbonato di calcio delle acque sotterranee è in equilibrio con la pressione di diossido di carbonio nei suoli (rizosfera), più elevata che in atmosfera. Quando le acque sotterranee vengono a giorno, la quantità di diossido di carbonio disciolto si riequilibra

con la pressione parziale del medesimo gas in atmosfera; la perdita di CO<sub>2</sub> spinge l'equilibrio carsico verso la precipitazione del carbonato di calcio, con formazione di incrostazioni di calcite. La perdita di anidride carbonica è più forte in prossimità delle sorgenti ed in corrispondenza di salti (cascatelle, rapide, ecc.) dove viene favorita l'agitazione delle acque; un ulteriore contributo alla perdita di diossido di carbonio, e quindi alla precipitazione, viene dagli organismi fotosintetici associati a questo tipo di ambiente. Il ruolo della vegetazione è importante soprattutto per la funzione di filtro: le molecole di carbonato di calcio vengono trattenute dai film algali e dalle briofite che si sviluppano in questi ambienti; il trattenimento favorisce la deposizione e quindi l'edificazione degli ammassi di travertino.

La precipitazione del carbonato di calcio avviene comunque su tutte le superfici disponibili, laddove il flusso delle acque lo consente; le incrostazioni ricoprono la vegetazione presente (soprattutto quella coinvolta nel processo di sottrazione di anidride carbonica), i clasti, la roccia in posto, i frammenti di vegetali (foglie, rami, etc.), i resti di animali (gusci di gasteropodi) ed anche eventuali rifiuti lasciati dall'uomo. La morfologia dei depositi e la loro tessitura dipendono dal tipo di strutture che vengono incrostate, dalla velocità di flusso delle acque, dal tasso di precipitazione, dall'entità del contributo della vegetazione alla sottrazione di CO<sub>2</sub>.

## Classificazione dei travertini

Nella letteratura scientifica la metodologia di descrizione dei depositi di travertino non è univoca, in quanto spesso gli Autori sono stati condizionati da ipotesi genetiche preconcepite e/o da esperienze personali riferite a specifici contesti geografici e quindi deposizionali.

La classificazione dei travertini su base morfologica si basa innanzitutto sulla differenziazione tra forme elementari e complesse. Le forme elementari sono i singoli elementi, quelle complesse sono date dalla somma delle prime.

### Forme elementari:

A) **Morfologia a vaschette** subcircolari (isolate o in serie terrazzate). Sono piccoli sbarramenti di travertino con convessità rivolta a valle. Quando prevale la sedimentazione la vasca ha il fondo colmato da detrito carbonatico, mentre se prevale l'erosione ha una morfologia da marmitta di erosione. Le vaschette sono presenti nelle zone pianeggianti e negli alvei pendenti.



*Fig. 1 - Travertino a vaschette*

B) ***Ammassi in rilievo*** di travertino, senza morfologie caratteristiche. Sono distribuiti nelle zone a stillicidio costante (per esempio, sotto piccole cascate), associati a una vegetazione rigogliosa (muschi e alghe).

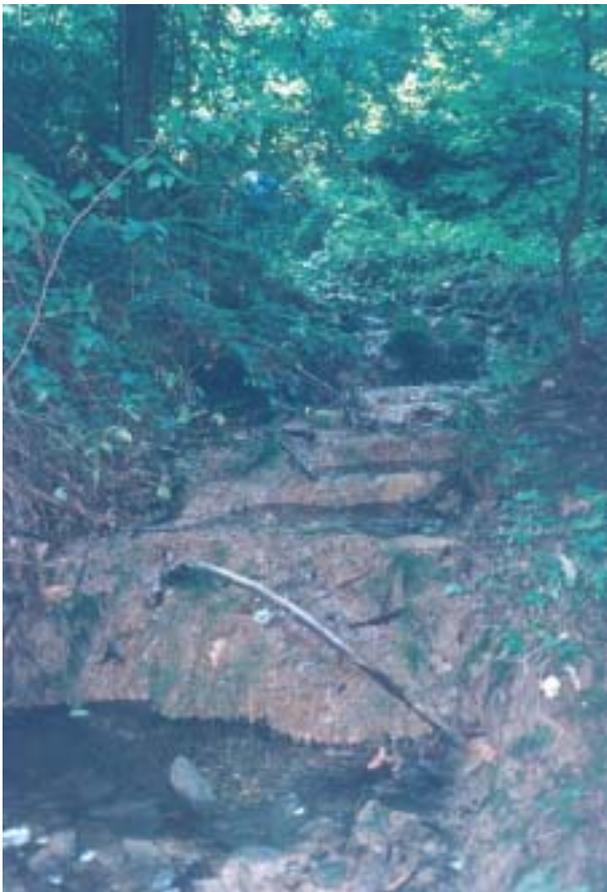
***Fig. 2 – Ammasso in rilievo di travertino***



C) ***Travertini di cascata***. Si tratta di ammassi costituiti in corrispondenza di salti morfologici; i depositi si generano principalmente per aggradazione orizzontale, ovvero per crescita “in avanti” rispetto alla cascata (Fig. 3). Questa modalità di crescita determina frequentemente la formazione di cavità paragenetiche, ovvero di sistemi di vuoti interposti tra le varie placche di travertino. Quando il travertino di cascata raggiunge dimensioni ragguardevoli, si possono verificare deviazioni del corso d’acqua che periodicamente disattivano i settori dell’edificio in crescita.



*Fig. 3 – Travertino di cascata (Cascata della Madonna – SIC Valle Santa Croce – Valle del Curone)*



**Fig. 4 - Travertino di alveo pendente**

D) **Travertini di alveo pendente.** Si tratta di forme di incrostazione calcitica all'interno degli alvei dei corsi d'acqua petrificanti, lungo pendii inclinati tra 5 e 30°, privi di rotture di pendenza tali da generare vaschette e cascate. Si producono in questo caso incrostazioni tabulari, che si accrescono verticalmente e tendono ad ammantare l'intero alveo.

E) **Travertini tubolari.** Si tratta di elementi svincolati dal substrato. La precipitazione del carbonato di calcio ha luogo incrostando elementi mobili quali sassolini, granelli di sabbia, frammenti di ramo; le incrostazioni aumentano il volume dell'elemento originario, fino a raggiungere dimensioni massime di 3-4 cm. Il fenomeno avviene all'interno di vaschette lungo il corso d'acqua "petrificante". Se l'energia del corso d'acqua è più rilevante, durante le piene i travertini tubolari vengono trasportati a valle, anche in settori dove il concrezionamento non è più attivo. Una versione particolare di questo genere di travertini sono i travertini bibliolitici, dati da accrescimento di lamine di calcite su foglie.



*Fig. 5 – Travertini detritici cilindrici*

Edifici complessi:

Sono costituiti dall'associazione di più forme elementari, talvolta riferibili a più fasi di aggradazione sovrapposte o giustapposte. Sono in genere impostati in corrispondenza delle cascate, sia singole sia frazionate.

Negli edifici maggiori sono generalmente presenti tre tipi di depositi:

- **depositi attivi** localizzati in corrispondenza degli attuali corsi d'acqua. Hanno una morfologia a cuneo con apice rivolto a monte. In concomitanza delle rotture di pendenza la "cascata in travertino" è generalmente frazionata in più cascate minori, con interposte delle vasche nei tratti piani. La pendenza del deposito di travertino è da subverticale fino a poco inclinato.
- **depositi fossili**, laterali rispetto ai corsi d'acqua, ricoperti talvolta da vegetazione e suoli. Sono giustapposti ai precedenti; hanno una morfologia poco evidente, ma che rispecchia le rotture di pendenza attuali.
- **depositi fossili**, rimasti completamente isolati; la loro individuazione è spesso difficoltosa perché facilmente erodibili o ricoperti da suoli e depositi di versante.

### Caratteristiche litologiche, facies

Le condizioni ambientali di precipitazione del carbonato di calcio condizionano l'aspetto che assume il travertino. Si riconoscono le seguenti facies:

- A) **Travertini porosi mal strutturati** e scarsamente cementati, costituiti da masse friabili leggere. Sono tipici delle zone soggette a continuo stillicidio con abbondante vegetazione (muschi, alghe, ecc.), con incrostazioni su supporto vegetale in posizione di vita.
- B) **Travertini porosi ben cementati**, con incrostazioni in posizione di vita. La porosità è dovuta alla presenza di vuoti corrispondenti ai calchi interni delle strutture vegetali su cui si è accresciuto il travertino, in seguito decomposte.
- C) **Travertini massivi**, ovvero privi di strutture e di porosità.
- D) **Travertini stromatolitici** (ad alghe incrostanti): sono costituiti da una successione di singole lamine, spesso con una alternanza di lamine millimetriche chiare e scure. Le

lamine possono essere da subparallele ad ondulate. Alcune volte sono separate da superfici di discontinuità più o meno regolari. Generalmente sono legati a flussi idrici laminari, e si formano in bacini-vasche poco profondi caratterizzati dal rapido fluire dell'acqua (*overflow basins*).

E) ***Speleotemi***, ovvero precipitazioni di calcite entro le cavità lasciate dall'edificazione del travertino. Essi sono del tutto analoghi a quelli che si formano nelle grotte (stalattiti, stalagmiti, ecc.) e rivestono significativa importanza estetica e scientifica. I drappeggi che si formano all'interno delle grotte nel travertino conferiscono fascino a queste cavità, fino a renderle appetibili per la visita turistica, come è il caso delle Grotte di Rescia (Porlezza, Como; I). L'interesse scientifico è invece relativo alla possibilità di effettuare datazioni radiometriche con il metodo U/Th, al fine di conoscere l'età di formazione e di sviluppo degli ammassi; tali datazioni possono essere effettuate esclusivamente su calcite spatica (quella degli speleotemi), mentre i travertini porosi mal si prestano a causa degli eccessivi scambi tra il sistema datato e le acque meteoriche (vedi oltre).

F) ***Depositi detritici***, a clasti prevalentemente carbonatici, cementati dai travertini. Sono presenti prevalentemente nelle vasche o nelle prime fasi di deposizione del travertino.

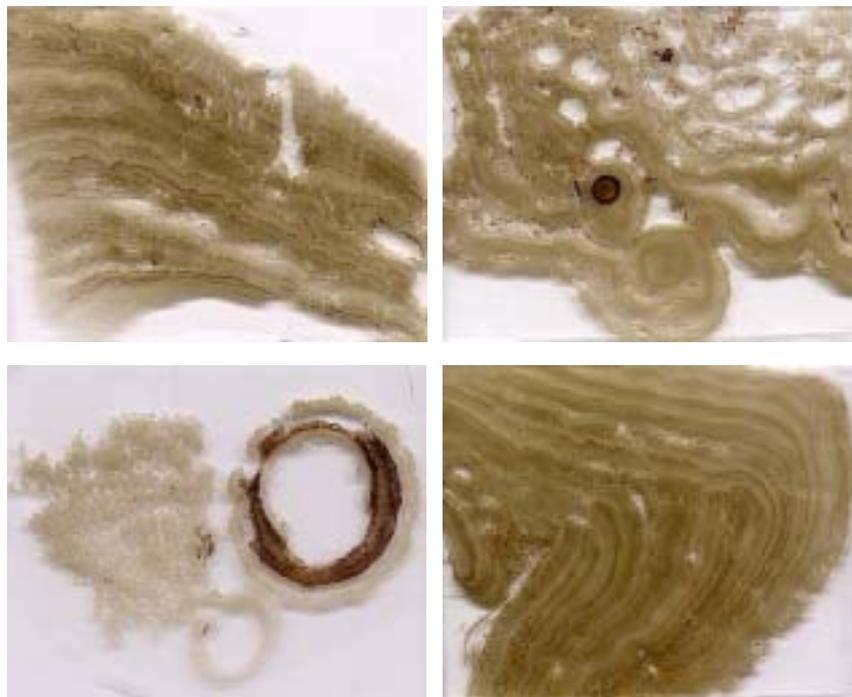
## Tessiture

Gli elementi base delle tessiture dei travertini sono rappresentati dalle incrostazioni, che consentono di discriminare due grandi classi: i travertini detritici e quelli autoctoni.

*I Travertini detritici* sono costituiti da granuli incrostati i quali costituiscono nell'insieme una caratteristica tessitura "clastica". Questi granuli sono, di regola, frammenti di incrostazioni su supporto ai vegetali di vario tipo, di rado indicano una storia di trasporto estremamente lunga ad opera di correnti trattive (orientamento dei clasti, embricatura, ecc.), più spesso indicano accumuli quasi in posto e o a breve distanza dal luogo dell'incrostazione. I travertini detritici prendono nome di tubolari se

l'incrostazione avviene su legnetti o clasti che indirizzano l'accrescimento verso una forma cilindrica.

*I Travertini autoctoni* derivano da processi di incrostazione in situ; sono in genere individuabili le strutture vegetali (fitostrutture) nella loro posizione originaria. Per alcuni Autori la classificazione dei travertini si basa sul tipo di vegetale su cui è avvenuta l'incrostazione.



*Fig. 6 - Utilizzando sezioni sottili della pietra è possibile studiarne la tessitura e gli stadi di accrescimento*

## Diagenesi

Nei travertini i processi deposizionali ("incrostazione") e diagenetici sono di regola strettamente interconnessi. In particolare la cementazione contribuisce in modo determinante alla litificazione delle masse travertinose. Oltre alla cementazione, altri processi diagenetici possono interessare più o meno intensamente i travertini in fase sindeposizionale (diagenesi precoce). Data la rapidità con cui la materia organica viene intrappolata e decomposta (azione batterica) e la facilità con cui le acque possono

circolare in questi depositi altamente porosi e permeabili, non è in genere possibile tracciare nei travertini un limite netto tra incrostazione e diagenesi.

I batteri esercitano un ruolo primario in fase di diagenesi precoce. A loro si devono i diffusi processi di micritizzazione che tendono ad omogenizzare i caratteri microstrutturali originari con una riduzione della taglia dei cristalli di precipitazione primaria. Essi intervengono inoltre nel sedimento appena deposto con la creazione di microambienti in cui aumenta la pressione della CO<sub>2</sub> e si instaura un "clima" favorevole ai processi di soluzione. Questi a loro volta mineralizzano le acque circolanti facilitando i successivi processi di riprecipitazione, non appena dalle stesse acque può sfuggire anidride carbonica. Si creano così le condizioni adatte allo sviluppo di un diffuso microcarsismo che trova la sua tipica manifestazione nelle fasce marginali facilmente esposte. Nelle zone di cascata si instaurano invece condizioni adatte per la formazione, anche in fase sindeposizionale, di strutture speleotemiche che possono raggiungere grandi dimensioni.



*Fig. 7 - Carote di travertino*

## Età dei travertini

Il processo di formazione del travertino avviene ad elevata velocità, rispetto ai tempi geologici. Le lamine di travertino in condizioni di acque sovrasature possono accrescersi con velocità fino a qualche millimetro all'anno: questo significa che in decenni si formano croste di spessore centimetrico. Sono infatti stati rinvenuti oggetti dell'era moderna (bottiglie, lattine, copertoni) completamente pietrificati dai travertini. La velocità del processo, specie in condizioni di degassazione, viene sfruttata per la realizzazione di opere di riqualificazione naturalistica: gli interventi effettuati, nel giro di qualche anno incominciano ad avere un aspetto naturale, con croste di travertino diffuse.

Grazie all'elevato tasso di accrescimento si possono formare anche ammassi di notevoli spessori e dimensioni. In questi casi, l'età può essere determinata per via radiometrica, utilizzando il metodo U/Th. Il metodo si basa sul fatto che le acque trasportano in soluzione piccole quantità di Uranio 238, radioattivo. L'Uranio rimane intrappolato nella calcite e inizia a decadere, fino a stabilizzarsi in Torio 234. In estrema sintesi, la determinazione dei rapporti delle concentrazioni tra questi due isotopi, con opportune correzioni e verifiche rispetto ad altri isotopo della famiglia dell'Uranio, consente la determinazione dell'età di "intrappolamento". I limiti di questo metodo sono:

- l'età massima databile con sufficiente precisione, nell'ordine dei 320.000 anni dal presente;
- la presenza di Uranio detritico, ovvero di clasti contenenti Uranio non separati in fase di preparazione del campione, che possono falsare la data ottenuta, in genere invecchiandola;
- l'apertura del sistema, ovvero il passaggio di acqua entro il travertino, con apporto di nuovo Uranio 238, che determina un ringiovanimento dell'età radiometrica.

Al fine di ridurre i possibili errori dovuti all'Uranio detritico o alla riapertura del sistema, per le datazioni vengono selezionati campioni massivi, possibilmente costituiti

da calcite spatica: a questo fine si usano prevalentemente speleotemi interni agli ammassi, che presentano le caratteristiche ottimali.

I dati ottenuti in Italia settentrionale hanno permesso di evidenziare un fenomeno analogo a quello riconosciuto per gli speleotemi di grotta, che hanno genesi simile: l'accrescimento dei travertini avviene preferenzialmente durante le fasi calde, interglaciali, del Pleistocene, mentre i processi rallentano o si interrompono durante le fasi fredde. Questo fenomeno è presumibilmente dovuto alle condizioni della copertura vegetale: durante le fasi calde la copertura vegetale è più estesa e continua, quindi si produce maggior anidride carbonica, maggior dissoluzione delle rocce carbonatiche, maggior mineralizzazione delle acque sorgive e quindi maggior possibilità di formazione dei travertini. Viceversa, durante i periodi freddi, le acque sono meno mineralizzate; inoltre a causa della rarefazione della vegetazione, si sviluppano maggiormente i dissesti e le erosioni, che causano un incremento della torbidità delle acque, fattore inibente la travertinizzazione.