

SULLA GENESI DELLE CONCREZIONI CALCAREE (TRAVERTINO)

EUGENIO CHOLNOKY

NEL 1917 ho eseguito a Kolozsvár, col collega chimico Rodolfo Fabinyi, degli esperimenti allo scopo di osservare come la roccia calcarea si scioglie nell'acqua ed in quale forma sia presente nelle acque calcaree. Ponendo della roccia calcarea in acido muriatico si è prodotto dell'acido carbonico il quale è stato dipoi introdotto in un recipiente di vetro contenente una soluzione di calce viva, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. L'acqua era inizialmente del tutto trasparente ma nel momento in cui veniva introdotto l'acido carbonico s'intorbidava all'istante, dando luogo ad un sedimento di CaCO_3 , cioè del componente base della roccia calcarea, il quale si scioglie difficilmente nell'acqua. Aumentando però l'afflusso dell'acido carbonico l'intorbidamento spariva perchè il CaCO_3 si trasformava in $\text{Ca}(\text{H}_2\text{CO}_3)_2$, idrocarbonato di calcio, facilmente solubile in acqua. Abbandonando questa soluzione all'aria vi si depositava di nuovo il CaCO_3 , questa volta sulle pareti del vaso, indipendentemente da variazioni di temperatura e di concentrazione del liquido per evaporazione. La quantità del deposito calcareo non era proporzionale alla quantità di solvente evaporato. Di conseguenza, come risultato di ripetuti esperimenti, si venne alla constatazione che la causa del sedimento calcareo non è né l'evaporazione né il cambiamento di temperatura dell'acqua.

Le esperienze hanno dimostrato che da un giorno all'altro si libera dalla soluzione in riposo una grande quantità di acido carbonico, perchè a pressione ordinaria essa ne contiene più di quanto non ne può tenere in soluzione stabilmente. Ponendo il recipiente contenente la soluzione sotto la campana di vetro della macchina pneumatica si libera in piccole bolle una forte quantità di acido carbonico ed aria dall'acqua, la quale s'intorbidava nuovamente, dimostrando che il bicarbonato di calcio si è trasformato di nuovo in carbonato di calcio.

La quantità di acido carbonico gasoso disciolta è molto sensibile alla pressione, e ciò si può vedere facilmente con qualunque bottiglia di seltz; cavandone pure una sola goccia si vede subito svilupparsi una gran quantità di bollicine, perchè con quanto si è tolto si è diminuita la pressione.

Tale modo di comportarsi dell'acido carbonico gasoso non fu sinora preso nella dovuta considerazione. I migliori testi di speleologia non tengono conto che dell'evaporazione e del cambiamento di tem-

peratura per spiegare i depositi calcarei. Ma con questi agenti soli tale spiegazione non è possibile. L'aria delle caverne è tanto impregnata di vapori che l'evaporazione delle gocce pendenti dal soffitto non può essere che minima e quindi non sufficiente per la spiegazione del fenomeno. Né si può pensare alla variazione di temperatura giacchè l'acqua che filtra verso la caverna si equilibria termicamente già per via con la temperatura quasi costante di essa e delle rocce che ne costituiscono la volta. Dunque quando la goccia è giunta in posizione pendente, la sua temperatura è già uguale a quella che aveva prima nella fessura dalla quale essa proviene.

In tal modo non si possono nemmeno spiegare i fenomeni che comunemente si osservano. Si può infatti notare come se si lascia in un bicchiere una soluzione di idrossido di calcio o dell'acqua potabile calcarea, dopo due giorni si manifesterà alla superficie di esso uno strato di calce abbastanza spesso che non può venire allontanato che con l'aiuto di uno spazzolino. L'entità di tale strato è molto superiore alla quantità di acqua evaporata nel frattempo. Dunque la precipitazione non è causata dalla evaporazione ma bensì dalla scomparsa dell'acido carbonico gassoso contenuto in soluzione e dalla successiva riduzione del bicarbonato di calcio in carbonato.

Ciò sapendo sarà facile trovare la soluzione al problema delle genesi delle stalattiti ed in genere del travertino.

L'acqua che scende attraverso le fessure delle rocce calcaree viene fortemente ritardata per l'adesione, anzi la capillarità generata dalla adesione tende a sollevare l'acqua nelle fessure più minute. Ma la pressione idrostatica dell'acqua soprastante agisce contrariamente a questa forza elevatrice: tale pressione deve essere considerevole per vincere la forza ascendente della capillarità. L'acqua filtrante deve contenere una grande quantità di acido carbonico gassoso in gran parte assorbita dall'aria durante le piogge: l'acqua di pioggia caduta su rocce calcaree e specialmente su terreni coltivati può assorbire dal suolo molta anidride carbonica, perchè è risaputo che il suolo è soggetto ad un continuo infracidimento, ad una lenta ossidazione, e quindi si sviluppa molto acido carbonico. Questo aderisce alle particelle del suolo che hanno la tendenza ad adsorbire i gas. Se dopo un periodo di siccità comincia a piovere, si sente nell'aria il cosiddetto « odore di pioggia », che non è altro che l'odore caratteristico dei gas liberati dalle particelle di terreno dalle gocce di pioggia; e si può dimostrare che in tali circostanze gli strati inferiori dell'aria contengono molto acido carbonico.

Così dunque grande quantità di esso si scioglie nell'acqua piovana caduta, specialmente, io credo in conseguenza della pressione dinamica esercitata dalla pioggia stessa cadente. Il gas assorbito viene poi trasportato dall'acqua nelle fenditure della roccia, dove rimane sotto pressione, sì da non potersi sprigionare, anzi la sua quantità viene accresciuta dalle particelle di tale gas aderenti alla roccia calcarea. Però questo non è un fenomeno sperimentato, ma solo un'ipotesi

che per altro non ha nessuna importanza decisiva per le nostre deduzioni.

La goccia di acqua giunta finalmente attraverso le fessure sino al soffitto della caverna vi resta sospesa per parecchio tempo sino a quando per essersi accresciuto il suo peso viene superata la tensione superficiale ed in conseguenza di ciò la goccia cade. Con l'accrescimento della goccia cresce pure costantemente la sua superficie e siccome nell'aria della caverna la pressione parziale del CO_2 è inferiore a quella dell'interno della goccia, la liberazione del CO_2 disciolto viene accelerata.

Vi è dunque tempo sufficiente per la separazione di una quantità di carbonato di calcio, specialmente nel momento della caduta della goccia. Durante la caduta la superficie s'accresce di poco e quindi in quel momento non si libera anidride carbonica, ma appena la goccia è giunta a terra e si espande sul suolo della caverna, aumentando così la sua superficie, si libera il gas disciolto e si deposita la calce. La goccia caduta lascia al punto del suo stacco un piccolo scheletro calcareo e costituisce nel punto di caduta un cumulo più irregolare di calce. La concrezione pendente dalla volta, la stalattite, presenta infatti la forma di un tubo, almeno in moltissimi casi, mentre il cumulo sul fondo sottostante, la stalagmite, ha forme meno regolari: si presentano però spesso volte delle colonne di struttura meravigliosamente regolare.

Ma si trovano nelle caverne ancora due altre forme di depositi calcarei di differente aspetto, anzi se ne può anaoverare ancora una terza, originate da peculiari circostanze.

La prima forma è rappresentata dalle concrezioni « a vaschette » (tetarata, ung.) consistenti in una serie di piccoli bacini disposti l'uno sopra l'altro a gradinata e somiglianti a grandi conchiglie marine. Di tali bacini se ne vedono anche tra le formazioni di travertino delle acque termali (1).

La spiegazione dell'origine di tali forme concrezionate non fu ancora tentata. Esse non si possono spiegare nè con l'evaporazione nè col cambiamento di temperatura: la soluzione del problema viene offerta dalle nostre cognizioni sui rapporti tra l'acido carbonico e la soluzioni di calce.

Supponendo che l'acqua calcarea scorra su un piano inclinato di media pendenza ed arrivi ad un tratto di pendio molto ripido, la sua velocità sarà di molto aumentata e per conseguenza aumenterà pure la sua superficie specialmente nel tratto incurvato: inoltre si

(1) La larghezza dei piccoli bacini può essere solo di pochi centimetri ma talvolta anche di parecchi metri. Se ne possono vedere dei bellissimi nella grotta di S. Canziano, in quella di Angstelek, o Cholnoky, a Cenkovina ed in numerosissime altre. Fra le « vaschette » d'acqua termale quelle della Nuova Zelanda sono forse le più grandiose, ma queste furono purtroppo distrutte dall'eruzione del vulcano Tararua.

manifesterà fra le singole particelle dell'acqua una minor coesione (diminuzione di pressione) che può diventare così cospicua da far cadere l'acqua in gocce. Di conseguenza le particelle di acido carbonico si sprigionano rapidamente dall'interno dell'acqua e moltissime

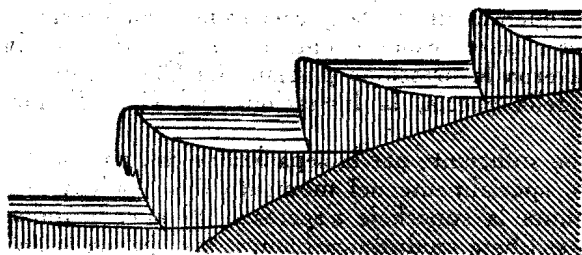


Fig. 1. — Sezione delle formazioni a «vaschette» (il tratteggio obliquo indica la roccia in posto, il tratteggio verticale il deposito calcareo).

piccole quantità di calce si depositano. Ciò avviene nella zona marginale dove il pendio diventa più ripido.

Il calcare depositato forma col l'andar del tempo un piccolo argine lungo la linea di caduta, e perciò

viene aumentata la differenza di velocità delle particelle di acqua sopra e sotto l'argine: di conseguenza la superficie cresce ancora e così la minor coesione, cui fa seguito un aumento della concrezione di calcare.

Le acque calcaree scorrenti in grotte se scendono con accelerazione costante del proprio moto lungo tutto il percorso, possono depositare il travertino in ogni punto di esso: dove il pendio diventa ad un tratto più ripido la velocità dell'acqua aumenta repentinamente ed incomincia la formazione per qualche ostacolo della cornice concrezionata che darà luogo alle vaschette. Poiché tali irregolarità si incontrano in tutti i pendii, le «vaschette» possono manifestarsi ovunque. Tali bacini non sono mai disposti alla medesima altezza ma in piani degradanti sovrapposti. Appena le gradinate cominciano a formarsi il processo si accelera e produce strutture grandiose (1).

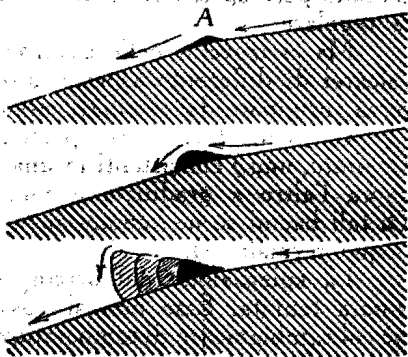


Fig. 2. — Le varie fasi della formazione delle incrostazioni a «vaschetta». Nel profilo inferiore si nota l'accrescimento del travertino.

Se l'acqua della grotta scorre per un pendio che diventa sempre più ripido e se questo pendio non presenta dislivelli ed è liscio, il

(1) Specialmente le «vaschette» delle acque termali possono assumere grandi dimensioni, poiché l'acqua calda contiene molto più calcare in sospensione e gas giovanile disciolto. Se nell'acqua termale non vi è disciolto acido carbonico, si formano solo cumuli deformi di travertino, perché in tal caso la calce e le idroquarziti di vario genere si depositano solo dopo che l'acqua si è raffreddata.



Gigantesche « vaschette » (*tetarate*) della grotta di Aggtelek.



Concrezioni calcaree della grotta di Aggtelek. Lo strato a velo (panneggianti) si forma sempre su superfici convesse.



« Vaschette » nella
grotta di Aggtelek



« Tetarate » nella
Nuova Zelanda, pri-
ma dell'eruzione vul-
canica del 10 giugno
1886.



« Tetarata » nel parco
di Yellowstone.

travertino si deposita uniformemente e presenta l'aspetto d'una crosta a velo di calcare.

Nelle grotte s'incontrano spesso volte dei siti dove non vi sono delle stalagmiti, ma le formazioni del fondo sono coperte da una crosta liscia. Si tratta esclusivamente di superfici convesse e mai concave. Ove due superfici convesse s'intersecano, l'angolo d'intersecamento resta sempre vivo nè viene colmato dal deposito.

Si possono osservare nelle grotte dei luoghi nei quali un gruppo di stalagmiti originarie è ricoperto da un grosso strato di concrezione « a velo ». (panneggianti). Qui si ebbe una variazione del processo. Inizialmente le gocce cadevano in più lunghi intervalli sul medesimo luogo originando le stalagmiti della altezza di parecchi decimetri; tale processo durò qualche migliaio d'anni. Più tardi nel medesimo luogo venne a colare una maggiore quantità di acqua, ricoprendo le stalagmiti di concrezione calcarea e pure le superfici convesse dei dintorni.

Si osservano anche stalagmiti a colonna dalle quali pendono delle costole concrezionate addossate per un lato alla colonna stessa, la cui grandezza diminuisce dall'alto al basso. Tali costole si manifestano in quelle colonne stalagmitiche terminanti con una superficie convessa larga e liscia. L'acqua sgocciolante dalla cima per l'accelerazione del proprio moto di discesa produce concrezione di calcare che si deposita disugualmente ma con processo continuo. Tali forme speciali sono dette « stalattiti aderenti a pareti » (panneggianti a lame). Qui occorre però osservare che a differenza delle stalattiti tipiche che si accrescono solo alla propria estremità, in queste l'accrescimento avviene lungo tutta la loro estensione.

Si trovano pure delle stalattiti ingrossate esternamente, ma queste denotano un cambiamento essenziale delle condizioni, perchè mentre dapprima vi fu una stalattite sottile, un tubo di uniforme spessore pendente dalla volta, in seguito l'acqua aderente ai suoi lati cominciò pure a gocciolare ingrossando la stalattite in modo uguale a quello che si produce nelle costole delle stalagmiti.

Assai frequenti sono i pilastri i cui lati sono adorni di tratto in tratto da simili costole pendenti che vanno assottigliandosi all'ingiù. La divisione in singoli tratti non è avvenuta durante la formazione della stalattite o della stalagmite, ma soltanto dopo, quando l'acqua gocciolava già lungo i lati del pilastro risultante dalla unione della stalattite con la stalagmite. Per la scabrosità della superficie il libero scolo dell'acqua non avviene più con regolarità ma per accelerazioni ripetute. Quivi si forma subito un piccolo cerchio dal quale pendono le costole.

Lo spessore delle stalagmiti varia ordinariamente di tratto in tratto, quindi esse non si presentano come corpi cilindrici uniformi: in esse si alternano sezioni più grosse e più sottili, probabilmente in conseguenza dei secolari cambiamenti climatici, perchè in dipendenza di questi variava la quantità d'acqua giunta nelle grotte.

Anche sui lati dei bacini a « vaschetta » si osserva sempre la ten-

denza alla formazione di tali costole che si allungano all'ingiù. Ciò può avvenire solamente se i bacini sono molto alti e su pendii ripidi. La divisione ora descritta dei pilastri stalagmitici potrebbe essere anche interpretata come una primitiva struttura a «vaschette» formatesi successivamente su una superficie verticale cilindrica.

Abbiamo dunque osservati dei casi nei quali le concrezioni stalagmitiche sono anteriori alla formazione dei veli calcarei omogenei.



Fig. 3. — Formazione di «vaschette» su una colonna stalagmitica verticale

Si conoscono tuttavia dei casi nei quali le stalagmiti si sono formate sopra un velo o strato già deposto di calcare, come nelle grotte di Aggtelek, dove tale strato ricopre strumenti d'età neolitica. Gli oggetti neolitici rimontano a circa 10.000 anni fa, lo strato calcareo si sarà formato durante tre o quattromila anni: per la formazione della stalagmite si possono perciò calcolare sette mila anni, il ch  equivale all'aumento in altezza di un decimetro per ogni dieci secoli. Questo calcolo s'accorda con altri analoghi.

In ogni caso ci  che pi  conta per la spiegazione delle diverse genesi dei tipi d'incrostazione   il fatto che quando l'acqua proviene da una superficie a dolce pendio e scende in una a pendio pi  forte, si manifesta in questo sito uno sviluppo di anidride carbonica e si deposita il calcare.

Questo fatto si verifica anche lungo i ruscelli ed i fiumi ricchi di acque calcaree. Dove la pendenza dell'alveo torrentizio s'accresce rapidamente si forma un deposito di travertino in forma di trincee, delle quali se ne possono vedere di grandiose nell'alveo della Korana lungo la linea ferroviaria di Karlovac-Fiume. Ma ancora pi  belle sono quelle dei laghi di Plitvicai, senza dubbio formazioni a «vaschetta» a struttura gigantesca. Queste forme giganti si formano nei siti nei quali acque calcaree dopo un corso a dolce pendenza si precipita in cascata. Ad ogni cascata si ha un deposito di travertino: per  si deve ricordare che non   la cascata originata dal travertino ma viceversa. Possiamo convincerci di tale fatto constatando che il travertino si accumula sempre sul bordo del gradino originario del suolo. Il calcare si deposita sulla superficie del gradino e con ci  questo stesso s'accresce allontanandosi sempre pi  dal sito originario.

Esempi si hanno alla grotta di Igrec, a quella di Zichy, alle sorgenti carsiche presso Di sgy v, all'apertura dalla valle di Lillaf r ed. Questa valle   sospesa su quella di Hamor, ci  che non si pu  spiegare che con il deposito del travertino. Valli sospese non possono formarsi che per erosione glaciale o presso il mare, per abrasione. L'erosione normale non pu  dare di per s  origine ad una valle sospesa: se si verifica

un tale fenomeno dobbiamo pensare che ivi si tratta di un processo speciale ed in particolare della formazione di travertino.

Tali cumuli arginanti cascate trovano un cospicuo esempio nelle cascate di Tivoli, delle Marmore, in Italia.

L'acqua dei fiumi uscenti da laghi o paludi è di solito assai dolce ed è per ciò che non si forma travertino per es. alle cascate del Niagara alla cascata Vittoria ed a quella di Sciaffusa.

È importante sapere che le acque ricche di calce giunte ad un terreno coperto di rigogliosa vegetazione devono subire gli effetti di questa. Infatti sul suolo densamente vegetalizzato, ad es. su quello di una foresta, si trovano frustoli di sostanze vegetali in stato di putrefazione che producono pure dell'acido carbonico libero. L'acqua scorrente l'assorbe ed in conseguenza di ciò non deposita il calcare disciolto in essa. In corrispondenza delle cascate si deposita pure presto del travertino ma questo non cementa i tronchi d'albero caduti ed i frustoli vegetali: essi restano separati da cavità. L'acqua può bensì incrostare piante vive ma non vegetali putrefatti. Perciò nei depositi di travertino s'incontrano spesso delle cavità di forma bizzarra, talvolta veramente grandi, distribuite senza regola.

Di tale origine è tutta la bizzarra serie di caverne a Lillafüred, ora tutte collegate fra loro da una galleria artificiale, che formano la grotta Anna, proveniente non da soluzione né da erosione, ma dalla riunione di caverne originariamente sconnesse, prodottesi per « inclusioni di spazi vuoti ». Dalle loro volte pendono delle radici incrostate di travertino imitanti le stalattiti, ma non si può pensare nemmeno per un istante che siano vere concrezioni stalattitiche.

Simile origine hanno pure le estesissime, come numero, caverne formatesi per vacuità nel sottosuolo della fortezza di Buda, disposte con nessun ordine e che ora sono in via di esplorazione. Scavi condotti in tali caverne, specialmente quelle che conducono agli antichi bastioni e che quindi prima della loro costruzione avevano sbocco all'aperto, sarebbero molto interessanti perchè esse servirono certamente quali dimore umane forse già nelle epoche interglaciali, essendo stato il colle della fortezza emergente sopra i suoi dintorni già prima dell'ultimo periodo interglaciale. È perciò probabile che in esse si possano trovare tracce dell'uomo paleolitico, ed almeno i suoi utensili, come nella grotta di Spelela, avente posizione analoga.

(Trad. del prof. A. FEST; revisione
terminologica e riduz. del dott. C. F. CAPELLO)