

Grotte e fenomeno carsico

Quaderni habitat

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
Museo Friulano di Storia Naturale · Comune di Udine

coordinatori scientifici

Alessandro Minelli · Sandro Ruffo · Fabio Stoch

comitato di redazione

Aldo Cosentino · Alessandro La Posta · Carlo Morandini · Giuseppe Muscio

"Grotte e fenomeno carsico · La vita nel mondo sotterraneo"

a cura di Fabio Stoch

testi di

Mauro Chiesi · Luca Lapini · Leonardo Latella · Giuseppe Muscio · Margherita Solari · Fabio Stoch

con la collaborazione di

Paolo Forti · Maria Manuela Giovannelli

illustrazioni di

Roberto Zanella

tranne 89 (Marco Bodon) e 90 (Enrico Zallot)

progetto grafico di

Furio Colman

foto di

Archivio Circolo Speleologico e Idrologico Friulano 14/2, 40, 41, 49, 50, 56, 60/1, 78

Archivio Museo Friulano di Storia Naturale 21, 22, 23

Archivio Unione Speleologica Bolognese 11, 12, 17, 27, 28, 29, 30, 43, 45, 47, 54/2, 125/1, 132

Adalberto D'Andrea 8, 14/3, 19, 35, 39, 44, 62, 74, 133, 134, 140, 148

Sergio Dolce 90

Fulvio Gasparo 52, 94, 99, 103/3, 107, 109/2, 116/1

Salvatore Inguscio, 103/1, 103/2

Enrico Lana 95, 100, 104, 106, 109/1, 109/3, 118

Luca Lapini 54/1, 60/3, 60/4, 122, 123

Leonardo Latella 63, 64, 69, 112/1, 112/3, 113/2, 126

Giuseppe Muscio 60/2, 85, 127

Tiziano Pascutto 88, 113/1, 117, 121/2, 125/2

Giuseppe Lucio Pesce 87/1

Mauro Rampini 54/3, 112/2

Federico Savoia 14/4, 156

Pino Sfregola 152

Margherita Solari 14/1

Fabio Stoch 54/5, 92, 93, 96, 101, 124, 143

Franco Tiralongo 130

Elido Turco 129

Stefano Zoia 54/4, 87/2, 105, 108, 111, 114, 116/2, 116/3, 119, 121/1

©2001 · Museo Friulano di Storia Naturale · Udine

©2002 · 1ª ristampa

Vieta la riproduzione anche parziale dei testi e delle fotografie.

Tutti i diritti sono riservati.

ISBN 88 88192 00 X

In copertina: Grotta di Santa Barbara, Sardegna (foto Unione Speleologica Bolognese)

QUADERNI HABITAT

Grotte e fenomeno carsico

La vita nel mondo sotterraneo

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO
MUSEO FRIULANO DI STORIA NATURALE • COMUNE DI UDINE

L'emanazione della Direttiva Habitat ha rappresentato un notevole salto di qualità nella politica ambientale riconoscendo a livello legislativo, negli interventi mirati alla difesa delle specie minacciate, il ruolo giocato dalle interazioni tra l'ambiente e gli esseri viventi.

In questa prospettiva si sono avviate attività di più ampio respiro e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha visto nell'editoria naturalistica uno strumento fondamentale sia per diffondere i risultati delle ricerche scientifiche, sia per divulgare ad un più vasto pubblico la conoscenza naturalistica del territorio nazionale.

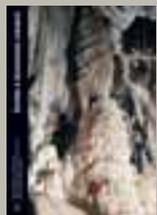
In quest'ultimo filone si inserisce la collana "Quaderni Habitat", intesa a promuovere la conoscenza di habitat a particolare rischio di degrado o di scomparsa. Si tratta di ambienti, spesso di particolare pregio, che custodiscono elementi faunistici, floristici o vegetazionali degni di nota e che rappresentano piccoli ma fondamentali tessere nel grande mosaico del nostro paesaggio. Il Ministero ha affidato al Museo Friulano di Storia Naturale di Udine l'incarico di redigere questa serie di pubblicazioni a carattere monografico, a partire da questo primo volume dedicato al fenomeno carsico.

L'impostazione agile ma scientificamente corretta di questi volumi, assieme alla valenza degli habitat descritti, il cui significato va ben oltre i confini nazionali, hanno spinto il Ministero, ed in particolare il Servizio Conservazione della Natura, che cura questa iniziativa, a predisporre anche una edizione in lingua inglese.

Siamo certi che questa collana, oltre a costituire uno strumento di conoscenza, contribuirà anche a fornire le premesse per la corretta gestione del grande patrimonio comune rappresentato dai beni naturali.

Altero Matteoli
Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

Quaderni habitat



1
Grotte e
fenomeno
carsico



2
Risorgive
e fontanili



3
Le foreste
della Pianura
Padana



4
Dune e
spiagge
sabbiose



5
Torrenti
montani



6
La macchia
mediterranea



7
Coste marine
rocciose



8
Laghi costieri
e stagni
salmastri



9
Le torbiere
montane



10
Ambienti
nivali



11
Pozze, stagni
e paludi



12
I prati aridi



13
Ghiaioni e
rupi di
montagna



14
Laghetti
d'alta quota



15
Le faggete
appenniniche

Indice

Introduzione 9
Giuseppe Muscio

Il fenomeno carsico e la speleologia 13
Giuseppe Muscio

Biospeleologia 53
Leonardo Latella · Fabio Stoch

Parte tassonomica 87
Fabio Stoch · Leonardo Latella · Luca Lapini

Tutela e conservazione dell'ambiente sotterraneo 131
Mauro Chiesi · Luca Lapini · Fabio Stoch

Proposte didattiche 149
Margherita Solari

Bibliografia 157

Glossario 159



Introduzione

GIUSEPPE MUSCIO

9

È difficile parlare di grotte a chi non le ha mai visitate: quando, durante un incontro sulla fotografia in grotta, si è discusso sulle migliori tecniche da utilizzare per ottenere risultati ottimali, uno dei più noti “speleo-fotografi” ricordò a tutti i presenti che la vera foto di grotta è completamente ... nera! E questa è una verità assoluta: la luce in grotta è un elemento estraneo, una vera forma di inquinamento che l'uomo porta all'interno di un ambiente dal buio più totale che si possa immaginare e con un silenzio rotto solo dal gocciolare dell'acqua o dallo scorrere di torrenti, a volte anche impetuosi.

Pochi luoghi come le grotte hanno ispirato la fantasia dell'uomo: egli in passato le ha utilizzate come abitazione e luogo protetto, ma è raro che vi si spingesse all'interno oltre il limite raggiunto dalla luce, là dove aleggiavano il mistero e, soprattutto, le paure e le superstizioni.

Ma la grotta è stata anche luogo di culto o fortificazione e solo dal XIX secolo è divenuta oggetto di esplorazione sistematica e di ricerca scientifica. E da allora l'uomo ha capito quanto questo particolare ambiente sia unico, perché di estensione limitata, protetto dalla “roccia” e con un clima particolarmente “stabile”; ma proprio per questo ha compreso anche quanto sia delicato l'equilibrio che il mondo sotterraneo raggiunge e quanto sia facile alterarlo.

Ed è così che negli ultimi decenni ci siamo resi conto dell'importanza del rispetto e della tutela dei fenomeni carsici, tutela che, pur relativa all'ambiente ipogeo, deve necessariamente partire dalla superficie, ove è diffuso il fenomeno carsico.

Il termine deriva da “Carso”: nome di un'area geografica, al confine fra Italia e Slovenia, divenuto sinonimo di un paesaggio o, più semplicemente, di tutto ciò che è legato, dal punto di vista morfologico, alle grotte. In realtà deriva da “karren”, termine protoeuropeo che significa semplicemente “roccia”, da cui lo sloveno *Grast*, in uso sin dal 1177 ed il croato *Kras*, usato dal 1230; nell'italiano Carso e nel tedesco *Karst* la radice originale è conservata. Non stupisce che la radice significhi “roccia” proprio perché nelle aree carsiche le rocce sono spesso affioranti e stupendamente modellate. Quello carsico è quindi un paesaggio particolare anche perché si sviluppa non solo in superficie ma anche, e forse soprattutto, all'interno della compagine rocciosa.

L'opportunità di approfondire la conoscenza del fenomeno carsico italiano per una sua maggiore e migliore tutela può trovare numerose e diversificate giusti-

ficazioni: ci si potrebbe riferire alle molte forme endemiche presenti nella fauna sotterranea o agli interessanti minerali che caratterizzano l'ambiente sotterraneo. Esiste però, ed è davanti agli occhi di tutti, una ragione molto semplice che da sola potrebbe giustificare la difesa del mondo ipogeo: almeno il 50% delle acque potabili italiane è di origine carsica (percentuale che è ancora più elevata in alcune regioni dell'Italia meridionale) e questa percentuale è certamente destinata a crescere negli anni futuri a causa delle forme di inquinamento che interessano le falde idriche, man mano più profonde, delle nostre pianure. Ed è anche vero che pochi ambienti sono così vulnerabili ed a così lento ricambio come quello sotterraneo.

Se oggi vediamo l'ambiente carsico non solo come l'oggetto di una intensa attività esplorativa, ma anche come una fonte di importanti informazioni scientifiche e come un "serbatoio" d'acqua di primaria importanza, in passato le grotte sono state i luoghi dell'immaginario, l'abitazione dell'uomo preistorico, ma anche di esseri mitici che hanno popolato - e popolano tuttora - la credenza popolare.

Abbiamo così imparato ad osservare le cavità naturali come una fonte di informazioni quanto mai variegata: la speleologia (la scienza che studia le cavità, dal greco *speilaion*=caverna e *logos*=studio) è divenuta un crogiolo di interessi nei diversi campi della ricerca: geologia, mineralogia, biologia, etnografia, archeologia, ecc. e lo "speleologo" è, in fondo, un naturalista nell'accezione più vasta del termine. Vi sono certamente degli aspetti poco o nulla conosciuti, come quello citato della mineralogia: già gli uomini preistorici utilizzavano, ad esempio, il gesso di alcune cavità dell'Appennino Tosco-Emiliano (ad esempio nella grotta Calindri), mentre ancor prima venivano sfruttati i nitrati. In tempi più recenti molte cavità sono state completamente svuotate dei loro depositi di guano (l'accumulo degli escrementi dei pipistrelli) in quanto si tratta di un fertilizzante di ottima qualità.

La speleologia nasce come scienza autonoma a Trieste nel XIX secolo: si tratta della naturale risposta di una grande città che, allora in piena espansione, ricerca nuovi approvvigionamenti idrici nel suo retroterra, rappresentato appunto dal Carso classico, nel quale l'unico fiume di un certo rilievo, il Timavo, ha un corso prevalentemente sotterraneo. Per capire l'ampiezza del fenomeno "speleologia" in Italia basta pensare che ci sono almeno 10 000 speleologi e che nel Bel Paese sono state esplorate e rilevate oltre 33 000 grotte; alcune sono lunghe diverse decine di chilometri o profonde centinaia di metri, ma moltissime sono piccole. Ciò non significa che anche fra queste ultime non vi siano bellezze naturalistiche di gran pregio.

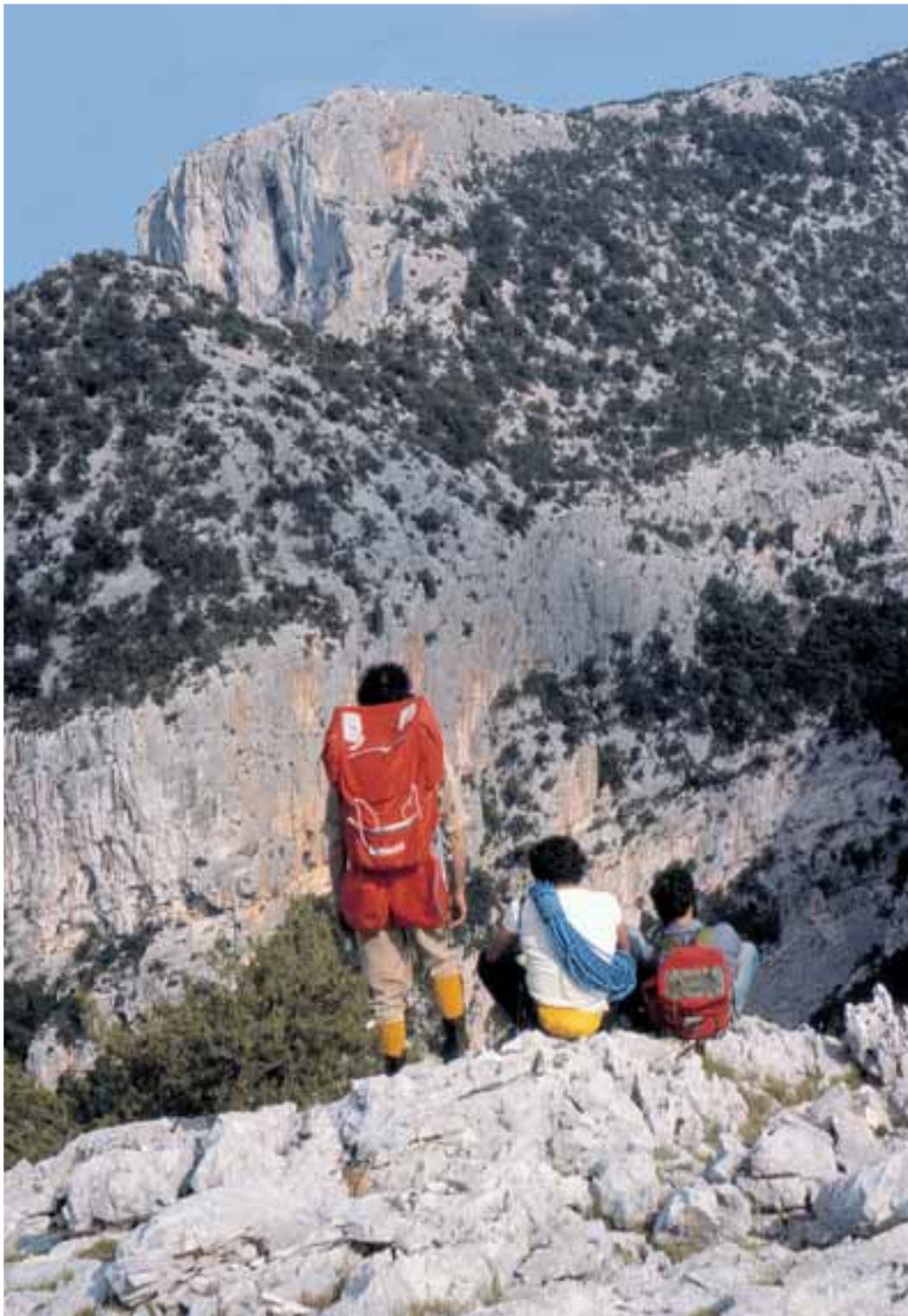
Le cavità naturali vengono spesso sfruttate anche dal punto di vista economico. Fra le diverse grotte turistiche italiane quattro sono quelle più note: la Grotta di Castellana in Puglia, la Grotta di Frasassi nelle Marche, la Grotta Azzurra

in Campania, la Grotta Gigante in Friuli-Venezia Giulia, con centinaia di migliaia di visitatori l'anno. Se da un lato vi sono indubbi vantaggi per il tessuto produttivo dell'area interessata, molti sono i problemi ambientali che questi turisti hanno portato alla corretta conservazione dell'ambiente sotterraneo: non si tratta solo dell'inquinamento dovuto ai rifiuti o ai danni che i turisti causano, ma più semplicemente dell'alterazione che la sola presenza dell'uomo porta al delicato equilibrio del clima sotterraneo (temperatura, umidità).

Scrivere sul carsismo non è quindi cosa semplice; è impossibile mettere su carta le sensazioni che si provano nel percorrere una grotta, nel "guardare" il buio assoluto e per uno speleologo spesso non ha nessuna importanza il fatto che la grotta sia lunga o corta: ciò che conta è il fascino dell'esplorazione. Sono relativamente poche le cavità di grandi dimensioni, riccamente concrezionate o che celano importanti reperti, ma ciò di cui nessuna grotta è priva è il "mistero" che essa cela: la vera molla che spinge lo speleologo ad avventurarsi nel sottosuolo è quindi la conoscenza, sia essa legata appunto alla semplice esplorazione di un mondo sotterraneo che nessuno o pochissimi hanno violato, o al desiderio di studiare un fenomeno che, anche se ridotto come dimensioni, rappresenta pur sempre un "unicum", completamente diverso da ciò che lo circonda.



Concrezioni nella Grotta di Valdemino (Liguria)



Il fenomeno carsico e la speleologia

GIUSEPPE MUSCIO

13

L'ambiente che ci circonda, quello che noi osserviamo senza alcuna mediazione, viene definito col termine generico di "panorama" e, quando ciò che il nostro sguardo abbraccia mostra un insieme di caratteristiche in qualche modo unitarie, utilizziamo il termine di "paesaggio". È così che il concetto di "paesaggio carsico" viene spesso contrapposto a quello di "paesaggio fluviale" e ciò perché una delle caratteristiche peculiari di un'area "carsica" è proprio l'assenza di un reticolo idrografico superficiale ben impostato.

Il processo carsico è infatti quell'insieme di fattori prevalentemente chimici che portano alla dissoluzione delle rocce carbonatiche (calcari, dolomie), alla formazione di cavità superficiali (doline) o sotterranee (grotte, abissi), alla creazione di un reticolo idrico sotterraneo e ad un particolare modellamento delle rocce affioranti (carsismo superficiale). Bisogna però ricordare che non tutte le cavità naturali devono la loro origine al fenomeno carsico, ma possono, ad esempio, essersi formate in ghiacciai, per scorrimento lavico o avere un'origine mista.

Si è anche discusso a lungo su cosa sia effettivamente una grotta e quale "vuoto" presente in una compagine rocciosa, sia essa carbonatica o no, possa rientrare in questa categoria. Per quanto riguarda il catasto, ove vengono depositati ufficialmente rilievi e descrizioni delle cavità naturali, si considera grotta una cavità che abbia dimensioni tali da permettere l'accesso all'uomo ed una lunghezza superiore ai cinque metri. Questa limitazione non ha senso se invece vediamo le grotte come un elemento morfologico in evoluzione nel quale dall'ampliamento di una piccola fessura nella roccia si può giungere ad un vasto sistema sotterraneo che può anche venire "distrutto" per crollo o occlusione o, a lungo termine, perché coinvolto nei vari processi di erosione delle terre emerse.

■ Il processo carsico

I calcari sono rocce costituite per la quasi totalità da carbonato di calcio (CaCO_3). Si tratta di un composto a bassissima solubilità nell'acqua; ma in presenza di anidride carbonica (CO_2) l'acqua diviene acida, più aggressiva e "scioglie" il carbonato di calcio formando bicarbonato di calcio, secondo questa reazione: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{++} + 2\text{HCO}_3^-$.

Ampie estensioni di rocce carsificabili in Sardegna

L'equilibrio si sposta verso destra o verso sinistra in funzione della pressione e della temperatura.

Il termine di processo carsico si riferisce - nell'ortodossia del termine - alla sola reazione chimica che interessa il carbonato di calcio e, di conseguenza, ai soli calcari puri. Oggigiorno il termine è stato di fatto ampliato e si accetta per fenomeno carsico tutto ciò che si riferisce all'attività corrosiva a carico dei carbonati (quindi calcari, dolomie), ma anche dei gessi (solfato di calcio) e di ogni altra roccia solubilizzabile (salgemma, quarzite).

La reazione sopra descritta è la principale protagonista dello sviluppo del fenomeno carsico, ma non è certamente la sola e molte sono le variabili che

Forme carsiche superficiali

Possono essere di dimensioni molto varie: le più note sono campi solcati, doline, vaschette



Cavità assorbenti

L'acqua raggiunge il sottosuolo attraverso le minuscole fratture della roccia ma anche attraverso veri e propri pozzi naturali. Essi risultano fortemente modellati dall'azione dell'acqua che li percorre, formando prima una sezione circolare, quando scorre in pressione ed occupa l'intera luce del pozzo stesso, ed approfondendone poi una parte quando la portata diminuisce e l'acqua viene ad agire solo su una parete



Depositi di crollo

Alla base di grandi pozzi, ma anche in aree di intensa fratturazione, si possono formare grandi accumuli di materiale di crollo. Questo fenomeno porta a volte alla creazione di ampie sale nei sistemi carsici sotterranei

Fiumi sotterranei

Interi tratti di cavità possono essere percorsi da corsi d'acqua dalla portata cospicua. Spesso le pareti portano le tracce dell'evoluzione del regime idrico sia nella forma della sezione che per la presenza di particolari forme di escavazione sulle pareti (scallpos)



Condotte forzate, sifone

Le parti più basse dei sistemi carsici sono caratterizzate dalla presenza di gallerie completamente allagate. Tratti completamente allagati (sifoni) si possono incontrare - legati alla morfologia dell'area - anche nelle zone in cui generalmente lo scorrimento delle acque avviene a pelo libero

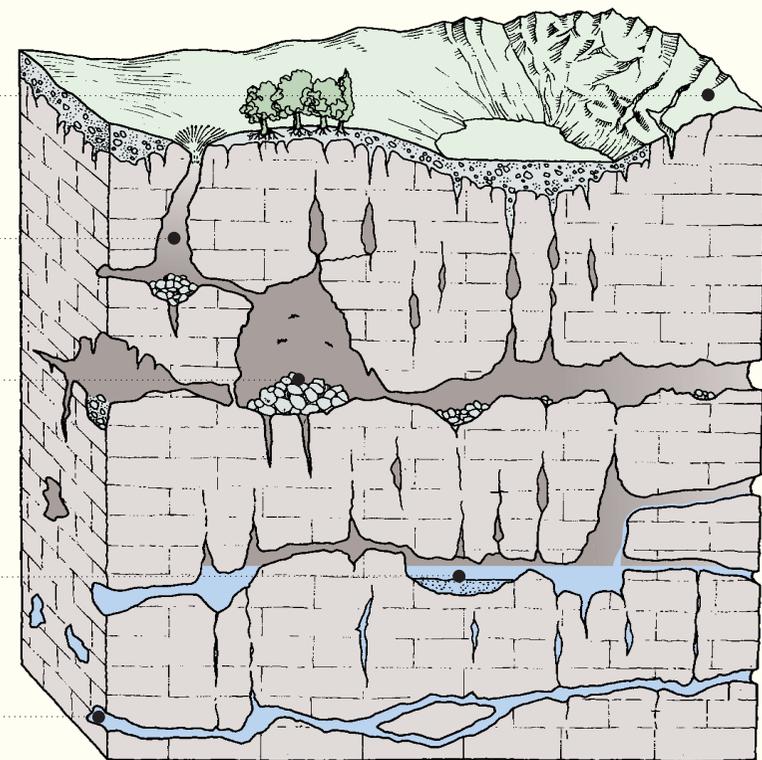


Un modello di sezione in un'area carsica

Giuseppe Muscio

La parte superficiale di un'area carsica appare intensamente modellata e presenta solo deboli tracce di corsi d'acqua. L'azione dell'acqua crea strutture quali campi solcati (karren) e doline. Essa fluisce poi nel sottosuolo attraverso il reticolo di fratture, alcune delle quali vengono allargate a tal punto da formare veri e propri pozzi percorribili anche dall'uomo. Attraverso questa fitta rete l'acqua raggiunge prima la zona definita di percolazione o vadosa, ove è presente, ad esempio, lo stillicidio o la formazione di velli d'acqua alle pareti. Man mano che si scende si raggiungono

no i tratti dei sistemi carsici ove l'acqua scorre più regolarmente (gallerie con torrenti sotterranei, pozzi-cascata, laghetti, ecc.), fino ad arrivare a quella che viene definita zona freatica. Scendendo ancora all'interno del massiccio si raggiunge la zona satura d'acqua con presenza di gallerie completamente allagate definite condotte in pressione. Una successione di questo tipo è frutto di un'evoluzione lunga e complessa del territorio nella quale intervengono anche fattori esterni quali, ad esempio, quelli tettonici o il variare del livello di base delle acque.



entrano in gioco: esse vanno dalle caratteristiche delle rocce presenti alle condizioni della copertura vegetale, dal clima di un territorio ad una serie di meccanismi che accompagnano la reazione chimica principale.

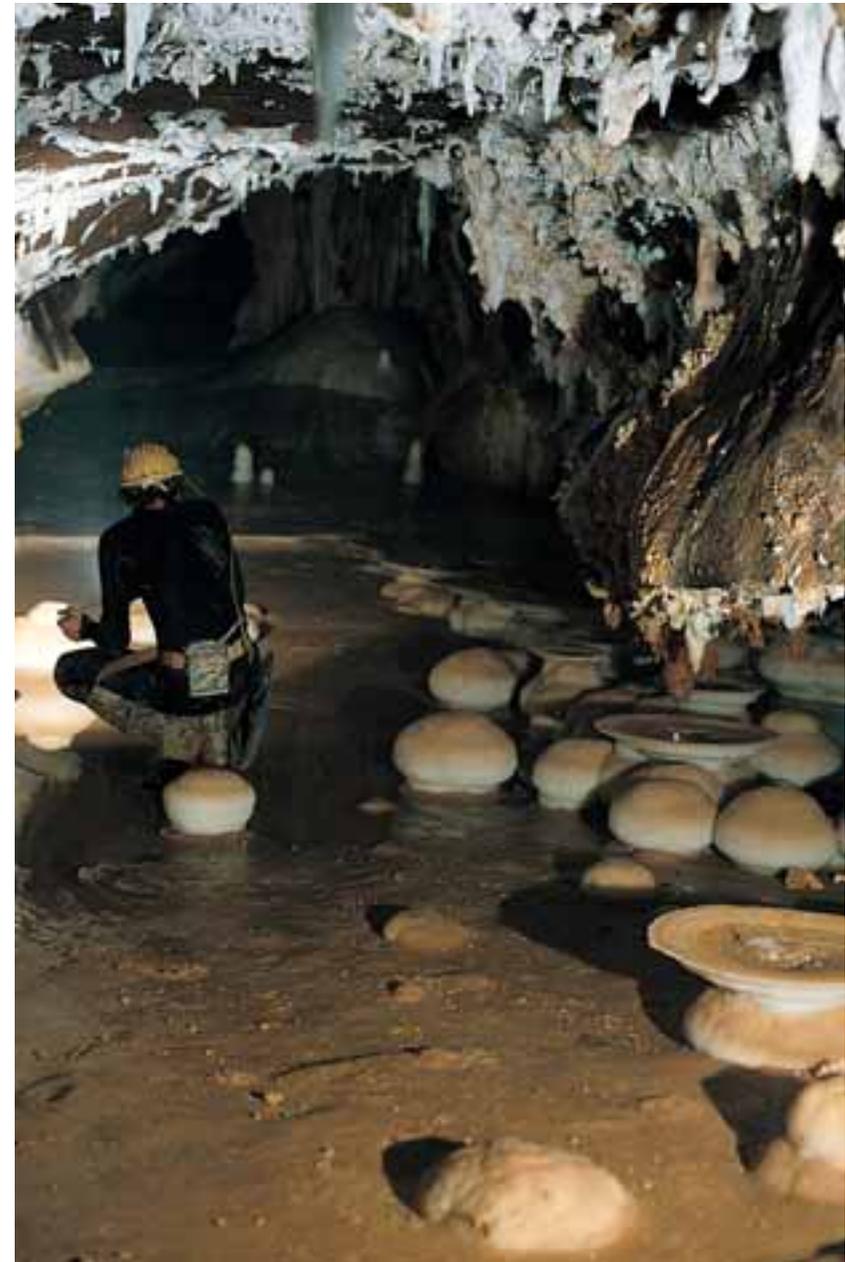
Partendo dai litotipi basti pensare che, come accennato, non tutti i calcari sono puri ed anzi sono sempre presenti, oltre alla calcite (carbonato di calcio), piccole percentuali di minerali diversi, in particolare la dolomite (carbonato doppio di calcio e magnesio), a formare così dei termini di passaggio fra calcari e dolomie. Anche in queste rocce si può sviluppare il fenomeno carsico, anzi è assodato che la presenza di una piccola percentuale di magnesio lo favorisce.

Se quindi sappiamo che le acque ricche di CO_2 possono "sciogliere" le rocce carbonatiche, più difficile è stabilire l'ordine di grandezza di questo fenomeno. Bisogna innanzitutto tenere conto delle condizioni climatiche e in particolare della piovosità della zona, dato che l'acqua è una componente fondamentale della reazione. Sperimentalmente è stata misurata la quantità di massa che viene asportata (tasso di ablazione) in un certo lasso di tempo, ricordando che la corrosione carsica avviene sia in superficie che, e soprattutto, nel sottosuolo. I valori che vengono forniti non si riferiscono quindi all'asportazione di carbonati superficiali e dunque non corrispondono ad un semplice "abbassamento" della superficie topografica, ma al totale della massa rocciosa che viene "sciolta", comprendendo quindi anche quella in profondità. Per piovosità medie di circa 1000-1500 mm/anno si possono ipotizzare, per la fascia mediterranea, tassi di ablazione medi di circa 50-100 mm/1000 anni, mentre per le zone alpine vengono proposti valori leggermente superiori.

Misure effettuate in questi ultimi anni nel Friuli-Venezia Giulia hanno definito tassi di erosione dei carbonati dell'ordine di 20-40 mm/1000 anni e quindi leggermente inferiori, ma si riferiscono alle sole rocce affioranti e quindi sono confrontabili con quelli prima citati. Ciò significa che il solo fenomeno carsico può asportare in 10 000 anni l'equivalente di un metro di spessore da un massiccio carbonatico alpino. Si tratta di un valore molto significativo; nei gessi, poi, questo valore si decuplica.

Esaminando la reazione classica è chiaro che ciò che gioca un ruolo fondamentale è la presenza di CO_2 , che rende le acque aggressive nei confronti dei carbonati. La CO_2 è presente nell'atmosfera, ma la sua quantità può notevolmente aumentare nel suolo in funzione della copertura vegetale; la sua solubilità, inoltre, è maggiore in acque fredde piuttosto che in quelle calde. Ciò comporta che, a parità di altre condizioni, le acque fredde sono più aggressive di quelle calde ma, d'altro canto, nei climi caldi ed umidi la produzione di CO_2 legata ai processi di decomposizione dei residui vegetali è notevole ed è per questa ragione che, pur essendo le acque più calde, queste condizioni favoriscono un più marcato fenomeno carsico.

Il problema della temperatura dell'acqua è rilevante se, ad esempio, ci riferia-



La Grotta Paradiso a Fluminimaggiore (Sardegna)

mo ai "carsi" d'alta quota dove le fredde acque di scioglimento delle nevi hanno forti possibilità di generare forme carsiche superficiali, sempre che, ovviamente, esse scorrono su rocce carbonatiche.

È anche evidente che, se il ruolo della CO_2 è fondamentale per rendere aggressive le acque, l'eventuale presenza di acidi forti favorisce lo sviluppo dell'attività corrosiva delle acque, con presenza di quelli che vengono definiti "fenomeni ipercarsici". Questi acidi forti possono essere presenti nell'ambiente esterno o, più comunemente, nelle rocce stesse: ad esempio H_2SO_4 che può essere legato alle reazioni di ossidazione della pirite o di H_2S di origine profonda.

Ciò che però non abbiamo ancora esaminato è come le acque meteoriche possano "entrare" nelle compagini rocciose carbonatiche. Le acque piovane, che si arricchiscono di anidride carbonica nell'atmosfera e nel suolo, raggiungono la superficie rocciosa e sono già aggressive. Possono esplicare la loro attività di corrosione quando si raccolgono lungo linee di discontinuità, che costituiscono le direttrici preferenziali di scorrimento delle acque superficiali, ed iniziano a "scavare" la roccia infiltrandosi verso l'interno. L'acqua contemporaneamente però si "satura" di carbonato di calcio e non può, oltre un certo limite, proseguire nell'attività corrosiva: saranno altre acque ad ampliare ancora le fratture presenti. Sappiamo infatti che i livelli di saturazione teorica possono essere superati dalle acque carsiche in funzione delle condizioni di pressione e temperatura e inoltre il fenomeno della miscelazione di acque con caratteristiche chimiche differenti favorisce lo sviluppo del fenomeno carsico. Acquisiti questi elementi di base, possiamo ricostruire gli elementi fisici che devono essere presenti per avviare il processo carsico e cioè:

1. roccia carbonatica con presenza di discontinuità (fratture, diaclasi, faglie, ecc.)
2. presenza di acque con anidride carbonica disciolta
3. differenze di quota che permettano il movimento delle acque.

Il secondo punto è già stato analizzato, mentre è piuttosto ovvio che il moto delle acque è fondamentale per lo sviluppo del fenomeno carsico e per la necessità di asportare quei frammenti che, non solubili da parte dell'acqua arricchita in anidride carbonica, potrebbero "riempire" le fratture ed impedire l'ulteriore sviluppo del processo speleogenetico (ovvero di formazione delle cavità naturali).

Il primo punto necessita invece di un ulteriore approfondimento: la presenza di discontinuità è la naturale conseguenza dei fenomeni deformativi cui le rocce sono state sottoposte nella loro storia geologica. Le compagini rocciose risultano così interessate da numerose fratture, nella stragrande maggioranza dei casi si tratta di discontinuità di pochi micron, spesso non distinguibili in superficie perché alterate dal modellamento ma sufficienti per permettere alle acque di scendere in profondità. In passato anzi si riteneva che esistesse un limite



La Grotta Nuova di Villanova (Friuli)

teorico allo scorrimento delle acque verso il basso, conseguenza dell'idea che, ad una certa profondità (500, 1000 metri), le fratture tendessero a chiudersi a causa dell'enorme massa di roccia sovrastante e le acque non potessero più scorrere. In realtà sappiamo che, ad esempio, enormi venute di acqua si ritrovano durante la perforazione di tunnel, anche se al di sopra vi sono migliaia di metri di rocce, come è avvenuto ad esempio nel caso del Monte Bianco.

Sino ad ora ci si è riferiti, nell'esaminare la speleogenesi, cioè l'insieme dei processi che portano alla formazione delle cavità carsiche, al ruolo fondamentale svolto dall'attività di corrosione chimica. Se questa è fondamentale nella prima fase speleogenetica, quando cioè si formano i primi condotti sotterranei, man mano che le loro dimensioni si incrementano entra in gioco l'attività erosiva, quindi prettamente meccanica, svolta dai granuli più resistenti che la reazione chimica ha liberato dalla matrice carbonatica (comunemente si tratta

di frammenti di selce, quarzo o di minerali ferrosi) e che l'acqua, nel suo moto spesso vorticoso, "sbatte" contro la roccia con una azione che potremmo definire di "smeriglio".

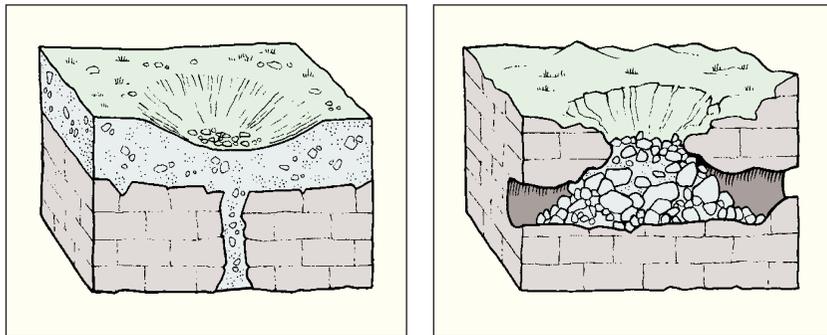
Quando il processo di ampliamento dei condotti carsici progredisce, entrano in gioco i fenomeni di crollo che favoriscono, ad esempio, la formazione di grandi sale in punti in cui la fratturazione della compagine rocciosa è particolarmente intensa, spesso all'incrocio di linee di origine tettonica.

Certamente gli studi di questi ultimi decenni hanno notevolmente mutato la visione originaria dei padri del carsismo, dei per così dire "puristi". Oggi sappiamo che le variabili che entrano in gioco nell'origine e nello sviluppo di una cavità carsica sono molteplici e non si può certamente limitare alla sola formula acqua+anidride carbonica+carbonato di calcio per spiegarne la presenza, ma è certo che tutto parte proprio da una semplice reazione di corrosione, cui però si sommano poi i più svariati agenti morfogenetici.

■ Forme carsiche superficiali

L'avvio del fenomeno carsico è quasi sempre "superficiale", cioè a carico delle rocce affioranti, ed è così che si forma quello che viene definito paesaggio carsico, composto da forme assai differenziate in funzione delle caratteristiche del litotipo affiorante, della sua giacitura, del clima, con particolare riguardo alla piovosità; si parla quindi di un "carso tropicale", di un "carso temperato" e così via. Le forme presenti vengono comunque generalmente raggruppate anche in funzione delle loro dimensioni.

In Italia le zone carsiche coprono oltre il 27% del territorio nazionale e sono presenti e ben diffuse aree di "carso d'alta quota" e di "carso temperato" fra i quali rientra, ad esempio, l'area fra Venezia Giulia e Slovenia, che fa parte di quello che viene correntemente definito "Carso classico".



Differenti modelli evolutivi per la formazione di doline

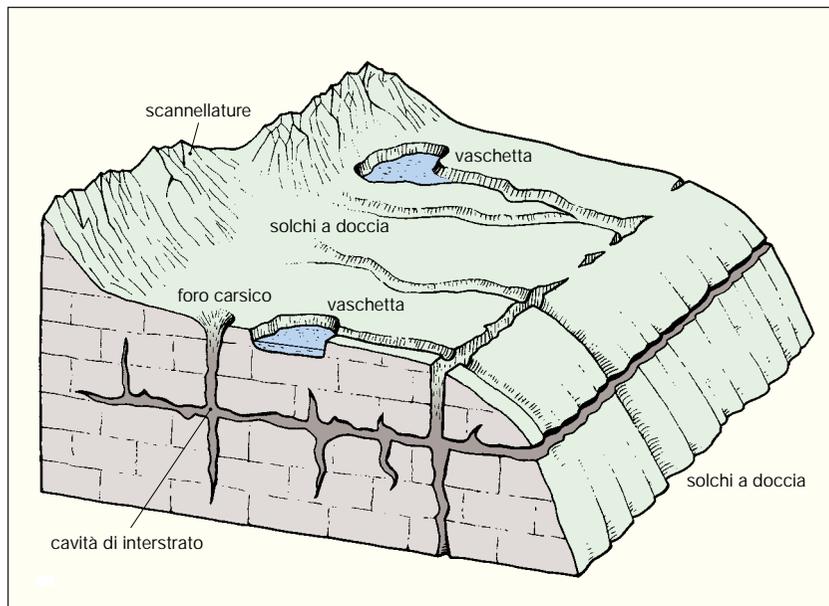
Le forme superficiali sono quelle raggruppabili in categorie e distinguibili anche in base alle dimensioni (la terminologia originaria si basa spesso su vocaboli in lingua tedesca o slovena):

CATEGORIA	FORME PICCOLE	FORME MEDIE	FORME GRANDI
RACCOLTA	VASCLETTE		
RUSCELLAMENTO	KARREN	DOLINE DI SUBSIDENZA	VALLI CHIUSE
INFILTRAZIONE	FORI DI DISSOLUZIONE POZZI DI PERCOLAZIONE CREPACCI	DOLINE, POZZI A NEVE CORRIDOI	VALLI CARSICHE, UVALA
EMERGENZA	RISORGIVE	POLJE	VALLI CIECHE, POLJE LAGHI CARSICI

Le vaschette sono forme di raccolta di acqua piovana in piccole depressioni, mentre, in caso di ruscellamento, si possono formare campi solcati (karren), scannellature o docce carsiche, che si distribuiscono diversamente in funzione della pendenza dell'affioramento.



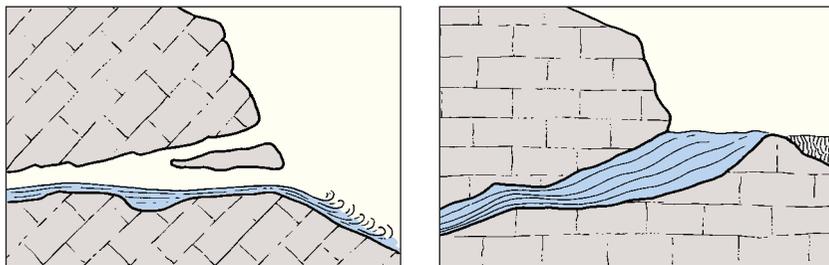
Forme carsiche superficiali generate per impatto e ruscellamento di gocce di pioggia



Denominazione di alcune delle forme carsiche superficiali più comuni su roccia



Forme carsiche superficiali: piccolo meandro, vaschette e scannellature



Sorgenti carsiche: a pelo libero (sinistra) e vaclusiana (destra)

Le doline possono avere origine e morfologie diverse: sono ampi sprofondamenti del terreno originati per dissoluzione o crollo, con forma da circolare ad ellittica e diametro da pochi metri a diverse decine di metri. Forme maggiori sono i polje, le cui dimensioni possono superare i diversi chilometri, e spesso vengono sfruttati dall'agricoltura perché presentano suoli molto fertili, e hanno scorrimento idrico superficiale, seppure stagionale. In Puglia viene utilizzato il termine "Pulo" per indicare forme analoghe: famosi sono il Pulo di Altamura ed il Pulo di Molfetta.

Morfologie particolari sono quelle legate alla forte dissoluzione superficiale che "libera" blocchi di calcare che vengono a trovarsi isolati fra loro e spesso sono ben modellati, fornendo al paesaggio quell'aspetto che viene definito "città di pietra".

Fra le forme superficiali rientrano anche le emergenze idriche (sorgenti), suddivise fra quelle a pelo libero (nelle quali una venuta d'acqua proviene da una cavità naturale in parte "aerata") e quelle vaclusiane (nelle quali tutta la sezione della cavità naturale è occupata dall'acqua).

Particolari sono poi i "laghi carsici" morfologicamente simili ai laghi classici: sono però impostati su litologie carsificabili e presentano un'alimentazione prevalentemente sotterranea, appunto dalle falde carsiche. Uno degli esempi più noti di questa morfologia è il Lago di Doberdò nel Carso isontino.



Il Lago di Doberdò (Carso isontino) è uno dei più classici esempi di lago carsico

La dolina è la forma carsica superficiale tipica dei climi temperati: è definibile come una conca chiusa, con diametro compreso tra qualche metro e il chilometro, e costituisce un'unità idrografica elementare.

La forma planimetrica del perimetro è generalmente circolare o subellittica, tuttavia si trovano anche forme irregolari o complesse, costituite dalla fusione di un numero variabile di doline (uvala).

A seconda del rapporto tra il diametro medio e la profondità, è possibile classificare le doline in tre categorie: "a piatto" o "a ciotola" quando tale rapporto è superiore a 2, "a imbuto" se è inferiore, "a pozzo" quando la profondità è maggiore del diametro e i versanti sono subverticali.

La genesi delle doline è imputabile a fenomeni di dissoluzione normale da parte dell'acqua di ruscellamento che convoglia verso un punto topograficamente depresso, dilavando e corrodendo la roccia sui versanti. Il punto centrale è spesso assorbente a causa di microfratture della roccia o pozzi di assorbimento, non sempre visibili perché coperti da detrito o dal suolo, e, approfondendosi sempre più, va a costituire il fondo della dolina.

La dissoluzione superficiale avviene anche al di sotto della copertura del suolo ed è imputabile al fenomeno di soluzione normale, ma può anche essere posta in relazione con le variazioni periodiche della concentrazione di anidride carbonica prodotte dall'attività biologica di microrganismi o dalla vegetazione, mentre in profondità prevalgono gli effetti di corrosione per miscela di acque, per raffreddamento o per arricchimento in magnesio.

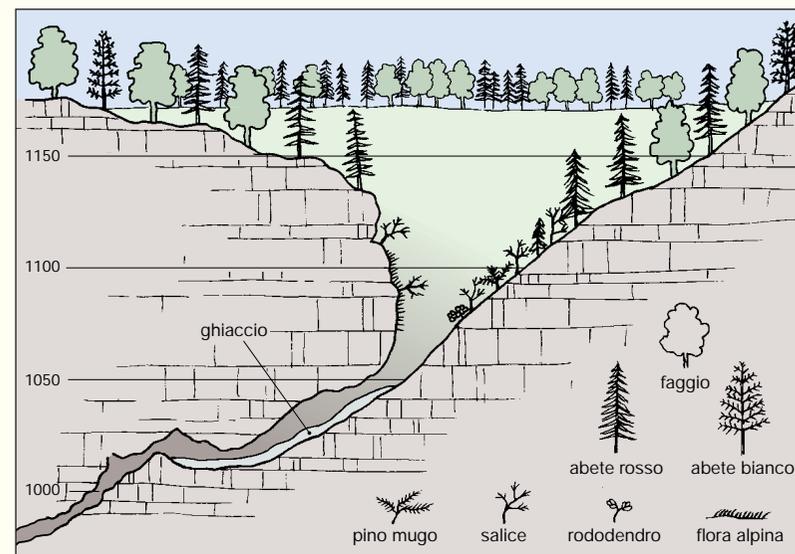
Il suolo sul fondo della dolina è spesso di tipo residuale, dato dall'accumulo dei minerali insolubili che hanno un'azione compensatrice del pH basico nei suoli derivati delle rocce carbonatiche.

Le doline evolutesi secondo questo modello (di soluzione normale) presentano un profilo spesso emisferico o a imbuto, e si possono generare sia in calcari che in rocce a vario grado di solubilità (calcari dolomitici, ecc.). A volte le doline si formano anche in rocce coerenti non solubili (come le arenarie), se queste poggiano su materiali solubili che si carsificano, provocando il crollo o la subsidenza delle formazioni sovrastanti. Ben diversa è l'evoluzione delle doline di crollo, che presentano versanti subverticali, e si originano dal crollo del soffitto di grotte: in questo caso la dissoluzione è un fattore di secondaria importanza nell'evoluzione carsica superficiale.

La posizione topografica di una dolina può essere casuale, ma spesso rispecchia strutture litologiche o tettoniche, come l'immersione degli strati di roccia o le direzioni delle faglie. Anche la morfologia (ad esempio l'allungamento del perimetro) può presentare qualche correlazione con i citati fattori.

Le grandi doline, con diametro superiore a 100 metri, possono presentare un topoclimate particolare, caratterizzato da inversione termica a cui si accompagnano la stratificazione inversa della vegetazione e la presenza di specie floristiche più spiccatamente microterme.

Il topoclimate della dolina è determinato da diversi fattori. In primo luogo, il raffreddamento per irraggiamento in una superficie concava è maggiore rispetto ad un corrispondente tratto pianeggiante, essendo direttamente proporzionale alla superficie esposta. Sul fondo il suolo è solitamente saturo d'acqua e l'evaporazione provoca ulteriore raffreddamento. Nei mesi autunnali e invernali, inoltre, dal primo versante ad andare in ombra (Ovest) si verifica una discesa di aria fredda verso il fondo e ciò provoca un abbassamento della temperatura nella conca ancor prima del tramonto, mentre al mattino sarà raggiunto dal sole molto



Seriazione della vegetazione in un pozzo-dolina del Carso. Nella sezione è illustrato il fenomeno della "inversione della vegetazione" in rapporto con i microclimi presenti all'interno della cavità

più tardi del versante esposto a Sud. La conseguenza di questi fattori, parzialmente attenuati durante i mesi estivi, è un forte gradiente termico medio, pari a circa 7° ogni 100 metri di profondità, cioè circa 12 volte superiore a quello esterno nei climi temperati. Ciò significa che scendere in una dolina per 50 metri equivale a risalire un rilievo di 600 metri. In queste condizioni di microtermia sul versante Sud (esposto a Nord), più fresco, si può sviluppare una vegetazione data dalla commistione di elementi locali ed elementi microtermi, cioè con specie che prediligono ambienti più freschi, o specie tipiche di ambienti di quote superiori.

In questo caso i quattro versanti della dolina saranno ricoperti da associazioni vegetali differenti, presentando sui versanti Ovest ed Est condizioni intermedie tra quelle estreme dei versanti Nord e

Sud. Tali differenziazioni sono evidenti anche in condizioni di simmetria della pendenza dei versanti, e dipendono soltanto dalla topografia. Si parla, in generale, di una "continentalizzazione" del clima.

In doline particolarmente grandi la stratificazione inversa della vegetazione è molto evidente e particolarmente interessante: in alcuni casi si tratta di una serie completa di formazioni vegetali tipiche di fasce altitudinali via via superiori fino alle cenosi a pino mugo tipiche della fascia altimontana e subalpina.

La dolina, quindi, per le sue peculiarità, rappresenta un elemento di discontinuità non solo morfologica: essa introduce diversità ed arricchimento nel patrimonio ambientale attraverso un'azione selettiva nei confronti delle possibilità organizzative della flora in tipi di vegetazione diversi.

■ Forme carsiche sotterranee

Se esaminiamo una sezione ideale di territorio carsico già evoluto, essa può essere suddivisa in una fascia affiorante, nella quale sono presenti tutte le morfologie superficiali e priva di scorrimento idrico perenne, mentre la sezione immediatamente sottostante presenta una serie di pozzi e gallerie di origine carsica, ma nelle quali l'acqua è presente solo sporadicamente in occasione delle piogge.

Scendendo ancora (zona vadosa), troveremo sistemi carsici percorsi dall'acqua mentre, al di sotto, in corrispondenza di quello che viene definito livello di base delle acque (superficie piezometrica), tutti i vuoti della roccia sono riempiti d'acqua (zona satura o freatica).

L'azione modellatrice sviluppata dalle acque in un sottosuolo carsico porta alla genesi di forme che vengono comunemente suddivise in condotti carsici e forme parietali.

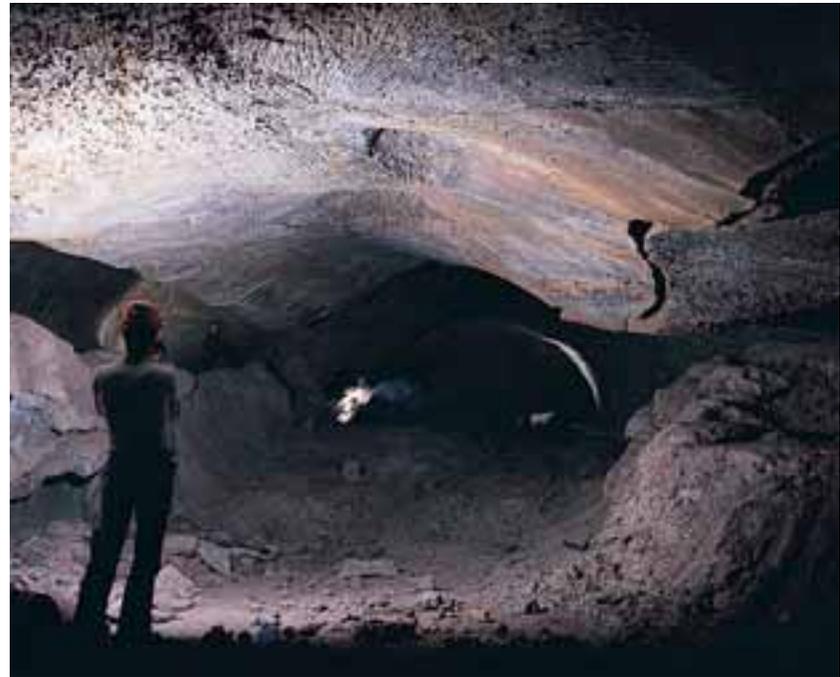
I condotti carsici si creano per l'attività chimica dell'acqua lungo le discontinuità: all'inizio del processo speleogenetico avremo condotti a pressione in cui tutta la sezione è occupata dall'acqua e che, successivamente, possono evolvere verso condotti vadosi nei quali si ha scorrimento idrico a pelo libero, con conseguente incremento del ruolo dell'azione meccanica dell'acqua. I pozzi (a sviluppo verticale) sono forme legate invece alla percolazione. L'attività dell'acqua si esplica anche nel modellamento delle pareti dei condotti carsici, ad esempio con forme note con il termine di "scallops".

I sistemi carsici sotterranei risultano così composti dal sommarsi di gallerie e pozzi, a volte percorsi dall'acqua (ed allora definiti "attivi") o che da questa sono stati abbandonati ("fossili"). Questi due termini appaiono comunque impropri e spesso uno stesso sistema presenta parti non attive e parti attive, oppure si possono avere settori attivi in caso di piogge intense che non lo sono nel regime idrico normale.

Un aspetto particolare del processo speleogenetico in aree carsiche è quello legato alla presenza di fluidi idrotermali, che hanno un forte potere corrosivo, favorendo la formazione di ampie sale spesso non condizionate nel loro sviluppo dalla presenza di fratture.

La speleogenesi richiede comunque tempi lunghi: in ambiente carsico, da centinaia di migliaia a milioni di anni. L'evoluzione, però, può essere più rapida se intervengono fattori ipercarsici o termali; ancora più rapida è l'erosione a carico dei depositi gessosi; si sono datati riempimenti di grotte dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a circa 5.000 anni.

Tutto il fenomeno carsico dei Gessi del Bolognese si considera sviluppato negli ultimi 100 000 anni e la stragrande maggioranza delle cavità ha meno di 18.000 anni.



Tubo lavico alle pendici dell'Etna (Sicilia)

■ Cavità "non carsiche"

Le cavità naturali non sono tutte legate al fenomeno carsico propriamente detto: ci sono cavità di un certo rilievo che si aprono all'interno dei conglomerati ed alcune raggiungono anche sviluppi notevoli. Ciò avviene perché le acque possono agire sciogliendo il carbonato che costituisce il cemento dei conglomerati, liberando così ciottoli e matrice, che vengono poi asportati dall'azione meccanica. Una delle caratteristiche di queste cavità è quella di presentare spesso ricchi depositi argillosi e, essendo soggette a frequenti crolli, di modificare con una relativa rapidità la loro morfologia. Fra quelle di maggiore interesse si possono ricordare le grotte che si sviluppano nei conglomerati miocenici del Montello (Veneto), alcune delle quali hanno lunghezze superiori al chilometro (la Busa di Castel Sotterra sfiora i 7 km di sviluppo).

Può essere considerata mista l'origine di alcune cavità che si sviluppano al contatto fra litotipi diversi: numerose sono quelle che si originano all'interfaccia fra carbonati e flysch: la prima fase speleogenetica è legata all'attività corrosiva a carico dei litotipi carbonatici, ma successivamente la cavità si sviluppa



La Grotta della Spipola, nei gessi del Bolognese (Emilia-Romagna)

pa per la forte attività erosiva a carico del complesso flyschoidale (costituito da un'alternanza di marne, arenarie e argille). Grotte di questo tipo sono presenti e sono state studiate in dettaglio in Friuli: il complesso della Grotta Nuova di Villanova, lungo oltre 7 km, si sviluppa proprio al contatto fra un banco conglomeratico (in cui sia clasti che matrice e cemento sono tutti costituiti da carbonato di calcio e pertanto il litotipo si comporta chimicamente come un calcare) ed il flysch dell'Eocene.

Un altro tipo di grotta mista è quello delle grotte marine che spesso, originate da miscele di acque marine e carsiche, sono state ampliate nella loro porzione terminale dalla forza distruttiva del mare.

Lontanissime dall'origine carsica sono invece le grotte di scorrimento lavico: diffuse soprattutto attorno all'Etna, ma presenti anche in altre regioni italiane, queste cavità vengono definite come "singenetiche" in quanto si formano in tempi brevissimi (da pochi giorni a qualche settimana) assieme alle rocce che le contengono. Sono anche strutture poco stabili ed a volte la loro vita è breve e vengono rapidamente distrutte dal crollo delle volte, ma è anche relativamente facile darla, conoscendo l'età delle diverse colate laviche.

Esistono diverse morfologie legate sia al tipo di lava che alla modalità di formazione, ma è possibile comunque riunire le grotte laviche dell'Etna in due

grandi categorie: quelle "reogenetiche", ovvero di scorrimento superficiale, e quelle di frattura. Le cavità reogenetiche sono di fatto "il vuoto" lasciato dallo scorrimento del magma nei tunnel lavici. Essi sono generati dal fluido che scorre su una superficie consolidata: mentre la sua parte superiore, a contatto con l'aria, si raffredda più rapidamente, all'interno la lava continua a scorrere per poi svuotare la cavità una volta cessata l'alimentazione.

Le grotte di frattura si estendono invece in profondità lungo discontinuità legate anche ad eventi sismici. A volte esistono termini intermedi o grotte laviche miste in cui le cavità dei due tipi suindicati si sono unite fra loro.

Anche se può parere strano, alle grotte laviche si possono avvicinare, come geni, quelle dei ghiacciai, anch'esse formate da scorrimento: in questo caso si tratta di acque che provengono dallo scioglimento dei ghiacci e che scavano gallerie e pozzi la cui esistenza, però, è spesso brevissima.

■ Clima dell'ambiente sotterraneo

Spesso si tendono a sottovalutare le problematiche del clima sotterraneo, ma se consideriamo quanto esso influisca, ad esempio, sulla fauna che vive in questo particolare ambiente o, da un altro punto di vista, che le grotte vengono utilizzate, anche se molto meno che in passato, come luoghi di conservazione o stagionatura di cibi, ci si può rendere conto come non si tratti di un aspetto secondario e semplice della speleologia.

Il primo elemento da analizzare è quello della temperatura: in generale, se si escludono i primi metri dell'ingresso che risentono del clima esterno, essa è

costante tutto l'anno ed è molto vicina al valore medio della temperatura del territorio ove la cavità stessa si apre. Ciò avviene perché nelle grotte circolano fluidi (acqua ed aria) e sono questi che ne condizionano la temperatura. Se ci basassimo sul gradiente termico della terra dovremmo avere un incremento di circa 3° ogni 100 metri di profondità (valori che si verificano durante lo scavo di pozzi per miniere, ad esempio); invece le grotte a sviluppo verticale (pozzi, abissi) mantengono la loro temperatura (salvo piccole variazioni di pochissimi gradi) anche in profondità: se ci riferiamo ad esempio agli abissi dei "carsi" d'alta quota



Concrezioni di ghiaccio, Grotta della Spipola (Emilia-Romagna). I rigonfiamenti indicano i momenti di temperatura relativamente più elevata (poco dopo mezzogiorno), con accenni di scioglimento del ghiaccio

(quindi in massicci carbonatici superiori ai 1500-2000 m slm) la loro temperatura è generalmente prossima a 0°, in quanto sono generati e percorsi soprattutto da acque di scioglimento delle nevi.

Per la loro "isotermia" le grotte risultano quindi calde d'inverno e fredde d'estate: nelle zone di bassa quota possiamo ricordare i circa 10° delle fasce prealpine o i 16-18° delle grotte in Sardegna o Puglia.

Esistono ovviamente casi particolari come quelli delle grotte laviche, che hanno condizioni climatiche interne specifiche con temperature molto elevate se sono di formazione recente, ma anche casi di differenze termiche in grotte carsiche legate, ad esempio, alle temperature dei fiumi sotterranei, le cui acque possono provenire da aree diverse. Più costante della temperatura all'interno delle cavità naturali è l'umidità relativa, con valori che vanno dal 95 al 100%; valori inferiori si possono ritrovare solo nelle zone d'ingresso ed in climi particolarmente secchi.

Notevole è l'interesse che rivestono i movimenti di aria all'interno dei sistemi carsici. In generale questi spostamenti sono piuttosto lenti, ma la loro presenza può essere significativa se la cavità ha più ingressi oppure vi sono altri collegamenti con l'esterno. L'andamento di questi spostamenti è legato alle diverse stagioni in quanto, come sopra precisato, la temperatura dell'aria nelle cavità è minore



Concrezioni eccentriche di aragonite e calcite



Concrezione di zolfo e patine di gesso



Concrezioni di barite

Le acque che circolano in una grotta contengono sempre una certa quantità di sali minerali; quando queste acque affiorano all'interno di una cavità naturale possono divenire sovrassature e, conseguentemente, danno luogo ad un deposito chimico di grotta.

Da sempre questi depositi sono stati suddivisi in due "sottogruppi": concrezioni e mineralizzazioni, la cui differenza era essenzialmente basata sul "grado di cristallinità", alto nelle mineralizzazioni e basso nelle concrezioni. In realtà in natura esistono molte concrezioni macrocristalline o addirittura monocristalline, mentre, d'altra parte, esistono mineralizzazioni criptocristalline o francamente amorfe: in pratica non vi è soluzione di continuità. È evidente quindi che questa suddivisione, operata sulla base del grado di cristallinità, non è scientificamente valida, ma è utile per facilitare la comprensione dei vari aspetti del problema.

Un particolare deposito di grotta è quello del guano (ovvero l'accumulo di escrementi di pipistrello): si tratta di materiale fosfatico, in passato raccolto per le sue ottime qualità come fertilizzante. Esso svolge un ruolo significativo nell'ecosistema sotterraneo ed, a volte, può influire anche nella genesi di minerali particolari (brushite).

Le concrezioni

Inizialmente il termine concrezione era riservato agli speleotemi (depositi di grotta) di carbonato di calcio, quindi si è trasferito anche a quelli di gesso e, via via che si ampliava la conoscenza mineralogica del mondo sotterraneo, si scopriva che molti altri minerali potevano dare luogo a concrezioni assolutamente identiche per forma e meccanismi evolutivi a quelle di carbonato di calcio: sono note in Italia, ad esempio, stupende concrezioni in zolfo.

Vari sono i parametri che possono concorrere a modificare la forma e l'aspetto

esterno degli speleotemi; è indubbio comunque che il fattore che, di gran lunga, condiziona l'aspetto esterno degli speleotemi è il moto dell'acqua che li genera: per questo motivo la classificazione più logica delle concrezioni si basa appunto su questo parametro.

Moto dell'acqua: concrezioni risultanti

- gocciolamento - caduta: stalattiti, tubolari, vele
- gocciolamento - impatto: stalagmiti, conuliti, concrezioni da splash, cerchi
- scorrimento: crostoni, colonne, barriere, moonmilk
- sommersione: pisoliti, cave clouds, coralloidi, moonmilk
- capillarità: eccentriche, dischi
- evaporazione: cristalli flottanti, coralloidi, tays
- condensazione: rims, boxworks, coralloidi orientati, moonmilk
- saliente: geysermiti

Al primo gruppo appartengono le concrezioni più comuni e numerose ed è per questo che sono state ulteriormente suddivise in due sottogruppi: l'effetto del distacco di una goccia è molto diverso da quello dell'impatto della medesima su un pavimento, quindi le morfologie risultanti sono molto differenti tra loro.

Le mineralizzazioni

All'inizio di questo secolo i minerali secondari di grotta conosciuti erano meno di 45 e questo per due motivi fondamentali: se si eccettuano la calcite, l'aragonite ed il gesso, che da soli costituiscono oltre il 99,5 % della totalità dei depositi di grotta, gli altri minerali secondari sono molto rari, dispersi e difficili da osservare; attualmente i minerali noti per l'ambiente di grotta sono oltre 260 e tendono ad aumentare di anno in anno.

Per "minerale di grotta" si intende un minerale secondario formatosi in una cavità naturale e derivante da una reazione chimico-fisica che ha coinvolto uno o più minerali primari esistenti nella roccia o nei depositi fisici e/o biologici presenti all'interno della grotta stessa.

Questi limiti rigorosi sono necessari per evitare che tutti i minerali esistenti in natura possano essere considerati anche minerali secondari di grotta.

In generale le cavità naturali non sono un ambiente particolarmente favorevole alla minerogenesi ed infatti moltissime grotte non ospitano alcun minerale secondario. In realtà, però, le grotte possono interessare una grande varietà di rocce: calcare, dolomia, gesso, salgemma, quarzite, basalto, ecc. La degradazione chimico-fisica di queste rocce apporta al sistema una grande quantità di ioni differenti che possono depositarsi come mineralizzazioni secondarie. Inoltre l'evoluzione speleogenetica può fare affiorare sulle pareti della grotta mineralizzazioni primarie che, al contatto con l'acqua di percolazione o con l'ossigeno dell'aria possono dare luogo a nuovi composti chimici. Infine all'interno delle grotte possono esistere depositi di argilla, di guano, di ossa che a loro volta possono apportare al sistema ioni utili per produrre ulteriori minerali secondari.

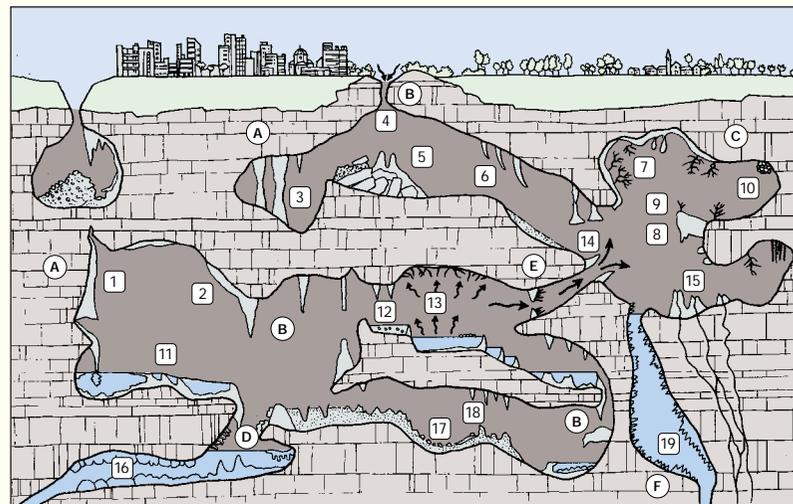
Sopra tutta questa varietà di substrati può agire acqua di diversa origine (meteorica, marina, termale), che conse-

guentemente avrà un contenuto salino molto differente sia per qualità che quantità di sali disciolti. In casi particolari poi, non sarà l'acqua ad agire direttamente, ma altri fluidi, quali quelli fumarolici in ambiente vulcanico.

La complessità dei substrati e la variabilità del chimismo delle acque, combinate con le notevoli differenze di temperatura che possono esistere nelle cavità naturali, si risolvono in un relativamente alto numero di fenomeni e meccanismi minerogenetici potenzialmente attivi in grotta. Alcuni di essi possono agire in ogni tipo di cavità naturale e in un intervallo di temperatura ampio, altri sono attivi invece solo in cavità particolari o hanno necessità di temperature particolari per essere attivi. Per quanto detto non deve quindi stupire il fatto che molti minerali sono stati osservati per la prima volta in ambiente di grotta (tra i tanti vogliamo qui citare solo la Franconellite, fosfato rinvenuto per la prima volta nella grotta di Castellana e dedicato a Franco Anelli) e che nove di essi siano ancora oggi "esclusivi" di quell'ambiente.

L'importanza scientifica dei depositi di grotta

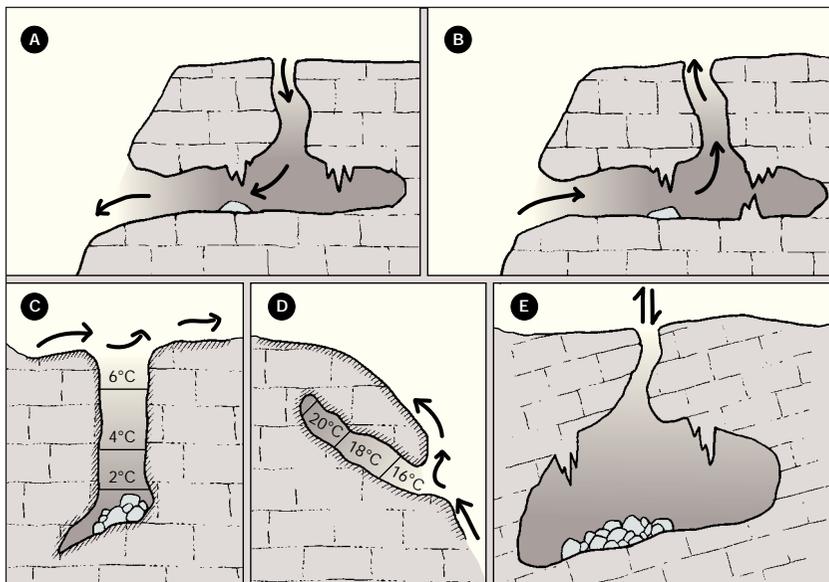
Tra tutti i sedimenti di grotta, quelli chimici e segnatamente le concrezioni di carbonato di calcio si stanno dimostrando gli strumenti più duttili e potenti per le ricostruzioni paleoambientali e paleoclimatiche. Mentre si accrescono, infatti, inglobano all'interno della loro struttura vari minerali in traccia, frammenti trasportati in sospensione durante le piene, polvere portata dalle correnti d'aria e materiale organico che può variare dalle molecole di acidi umici, alle spore e ai pollini. La struttura laminata e necessariamente ordinata delle concrezioni permette di ricavare immediatamente una ricostruzione cronologica "relativa" degli eventi corrispondenti a ogni singola banda di accrescimento.



Esistono, poi, una serie di metodiche che permettono di ottenere, più o meno facilmente, una scala cronologica assoluta e così, analizzando in dettaglio l'evoluzione delle stalagmiti, è possibile ottenere informazioni sui grandi terremoti degli ultimi 5-600000 anni. Ciò permette di migliorare la valutazione del rischio sismico. Si possono ottenere dati sulla temperatura di deposizione delle concrezioni analizzate ed anche sulle condizioni e sui meccanismi per cui tale deposizione è avvenuta. Queste analisi permettono una ricostruzione paleoclimatica e paleoambientale di dettaglio e rappresentano lo strumento più potente in mano agli scienziati per conoscere l'evoluzione dei climi e del paesaggio nella seconda metà del Quaternario: è grazie alle concrezioni delle grotte costiere (siano esse emerse che sommerse) dell'area di Palinuro (Salerno) che possiamo ad esempio datare le variazioni di livello marino di quel settore tirrenico nelle ultime migliaia di anni. Grazie a stazioni di misura poste in cavità naturali si possono quantificare i movimenti connessi ai fenomeni di neotettonica.

- A acqua di scorrimento
- B acqua di gocciolamento
- C acqua di capillarità
- D acqua delle vasche di fondo
- E acqua di condensazione
- F acqua di risalita termale

- 1 colata
- 2 vela
- 3 colonna
- 4 stalattite a doccia
- 5 stalagmite cava
- 6 stalattiti curve
- 7 latte di monte
- 8 dischi
- 9 eccentriche macrocristalline
- 10 infiorescenze
- 11 microgours
- 12 pisoliti
- 13 boxwork
- 14 rims
- 15 geysemiti
- 16 concrezioni gluteiformi
- 17 crostoni
- 18 stalagmiti di fango
- 19 grandi cristalli



La circolazione dell'aria nelle cavità naturali: tunnel a vento in estate (A) e in inverno (B); trappola ad aria fredda (C) o calda (D); in una cavità con una sola apertura la circolazione dell'aria dipende dalla pressione atmosferica (E)

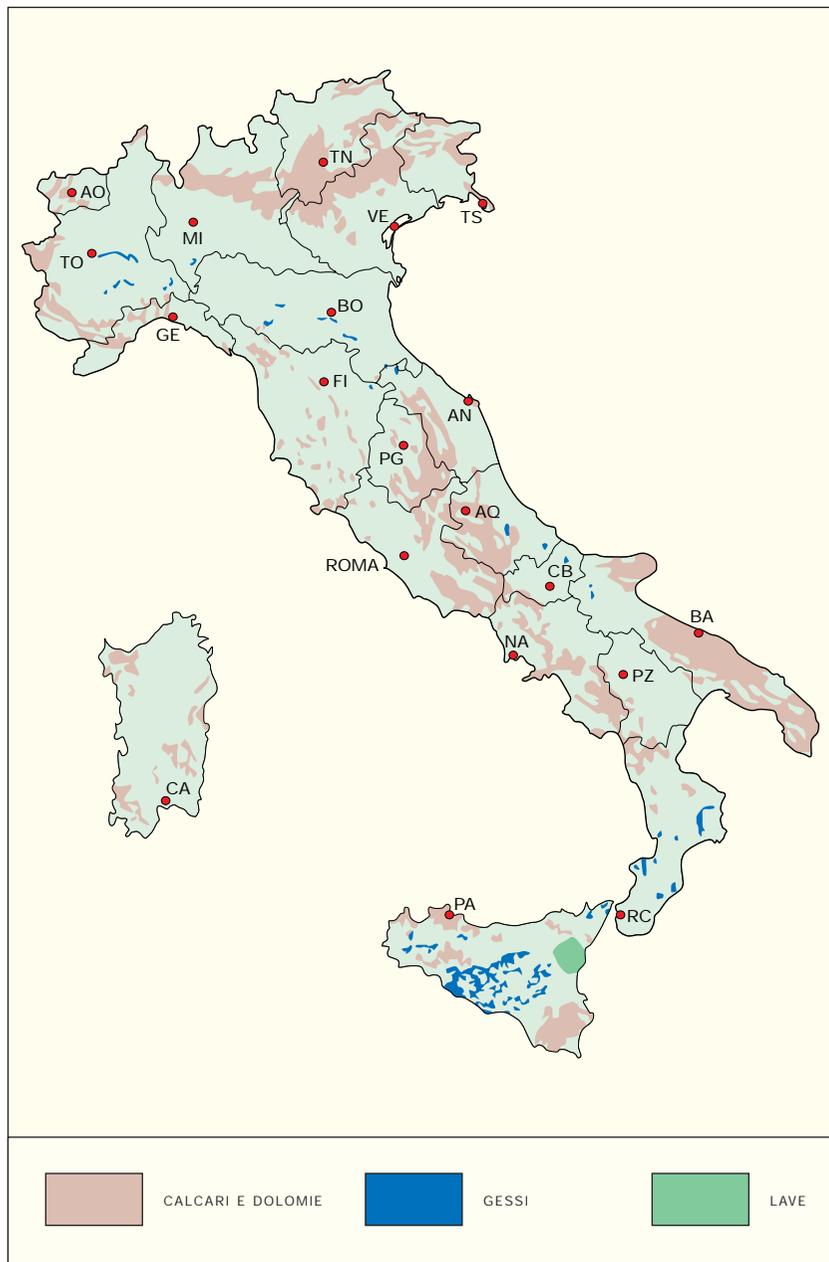
di quella esterna in estate e maggiore in inverno. Correnti d'aria si possono incontrare all'interno dei sistemi sotterranei quando ci si trova in strette gallerie che collegano vani piuttosto ampi.

A rafforzare le differenze esistenti fra l'interno di una cavità e l'esterno vi è anche la composizione dell'atmosfera: quella di una grotta è assai variabile, mentre quella esterna è piuttosto costante. Ciò che cambia significativamente è il tenore di CO_2 che raggiunge normalmente valori pari all'1-3%, fino a 100 volte superiori a quelli dell'atmosfera esterna. Questi tassi, legati all'attività biologica nel suolo ed al trasporto operato dall'acqua, variano nell'arco delle stagioni e dell'evoluzione della cavità e rientrano, comunque, nei limiti di tollerabilità per l'uomo. Solo tassi superiori al 10% sono pericolosi e si verificano ad esempio negli strati più bassi di alcune grotte vulcaniche o comunque con presenza di fluidi idrotermali (il fenomeno è noto sin dal XVIII secolo nella Grotta del Cane a Pozzuoli).

Problemi di respirabilità dell'aria sono noti in alcune cavità che sono o sono state interessate dalla presenza di esalazioni solfuree: Grotta Azzurra e Grotta di Cala Fetente a Palinuro (Campania) e Grotta del Dragone a Maratea (Basilicata). I solfobatteri presenti nell'acqua, ad esempio, abbassano fortemente il tenore di ossigeno a favore di altri composti (soprattutto H_2S) e, mentre non vi



La Grotta del Dragone a Maratea (Basilicata)



Le principali aree carsiche in Italia

sono problemi nelle zone ben collegate all'esterno e quindi a forte ricambio d'aria, particolare attenzione va posta nelle zone più chiuse; la noncuranza di questo fenomeno è costato la vita ad alcuni speleo-sub.

■ Le aree carsiche ed i maggiori sistemi sotterranei in Italia

L'Italia è una nazione all'avanguardia sia nel campo dello studio delle cavità naturali che in quello più prettamente esplorativo. Ciò è legato sia a motivi storici che all'ampia diffusione che il fenomeno carsico ha nella nostra nazione: il 27% del territorio nazionale è costituito da rocce carsificabili e sono ben oltre cento anni che esiste un'attività di ricerca e di studio delle cavità naturali ben strutturata e sviluppata. Nei diversi catasti grotte regionali sono catalogate ben oltre 33 000 grotte che rappresentano, sia chiaro, una percentuale piuttosto ridotta di quelle effettivamente presenti nel nostro territorio; basti pensare, ad esempio, che il catasto grotte del Friuli-Venezia Giulia conta oltre 6 300 cavità in un territorio di circa 7 800 kmq e che ogni anno questo numero aumenta di circa 200 nuove grotte.

Sono ben 180 i sistemi sotterranei che in Italia (dati 1999) superano la profondità di 300 metri e di questi 6 superano la "mitica" soglia dei 1 000 metri. Attualmente il "record" è detenuto dall'Abisso Paolo Roversi che si apre nelle Alpi Apuane e raggiunge i 1250 metri di profondità.

Sono 92 (sempre dati aggiornati al 1999) le cavità che superano i 3 km di sviluppo e fra queste 20 superano i 10 km. La cavità italiana più lunga è il Complesso del Corchia (Alpi Apuane) con oltre 52 km. Si tratta di un'estensione piuttosto rilevante, ma che pare quasi irrisoria se confrontata con lo sviluppo del più vasto sistema sotterraneo del mondo, Mammoth-Flint Cave System negli Stati Uniti con oltre 500 km di gallerie!

Osservando gli elenchi delle grotte più lunghe e profonde e le consistenze catastali, si nota come Friuli-Venezia Giulia e Veneto, con il 9% del territorio carsificabile, abbiano più di 1/3 delle grotte sinora conosciute e come queste stesse regioni, assieme a Toscana, Piemonte e Lombardia ospitino 3/4 delle grandi cavità italiane. In queste aree sono presenti le zone carsiche più importanti (ma anche quelle che da più tempo sono oggetto di ricerche sistematiche e che quindi hanno dato maggiori risultati).

Piemonte e Val d'Aosta. Mentre la Val d'Aosta è costituita per la quasi totalità da rocce metamorfiche e magmatiche e quindi non vi sono fenomeni carsici significativi, in Piemonte sono presenti alcuni dei sistemi carsici più vasti d'Italia, concentrati soprattutto in due estese aree carsiche delle Alpi Marittime: Marguareis e Mongioie.

Il complesso di Piaggia Bella si apre nell'omonima conca del Marguareis: si

tratta di una dozzina di abissi diversi che si riuniscono fra loro formando un reticolo sotterraneo di oltre 35 km di sviluppo e 950 m di profondità. Poco più a sud si apre Labassa, prosecuzione a valle di Piaggia Bella, lunga oltre 14 km e con una profondità complessiva di 609 m; nello stesso massiccio il complesso di Conca delle Carsene raggiunge uno sviluppo di 13,5 km ed una profondità di 759 m. Superano i 500 m di profondità l'Abisso dei Perdus, l'Abisso Scarasson, l'Abisso Cuore di Pietra, l'Abisso Libero, l'Abisso Ferragosto ed il Complesso del Colle dei Signori che si sviluppa in parte in Italia e in parte in Francia.

Nel massiccio del Mongioie si aprono il Complesso C1-Regioso (oltre 6 km di sviluppo), La Grotta delle Vene (4,7 km), mentre raggiungono i 470 m di profondità l'Abisso Ngoro-Ngoro e l'Abisso M16 in Val Corsaglia. La Risorgente della Mottera è stata risalita per oltre 600 m (14 km di sviluppo) fino quasi alla zona degli assorbimenti.

La maggiore cavità turistica piemontese è la Grotta di Bossea, attrezzata anche come laboratorio scientifico, nota per i ritrovamenti di resti di *Ursus spelaeus* e che si apre non distante da Cuneo. La Grotta dei Dossi, nei pressi di Mondovì, è stata una delle prime grotte turistiche italiane, essendo stata attrezzata all'uopo già ai primi dell'800.

Lombardia. L'altipiano di Cariatoghe (Brescia) cela importanti fenomeni carsici, il più rilevante dei quali è l'Omber en banda al Bus del Zel con uno sviluppo complessivo di oltre 15 km ed una profondità di circa 420 m.

Nelle montagne bergamasche sono presenti frequenti aree carsiche di grande interesse: in Val Taleggio la Grotta Maddalena è lunga circa 10 km.

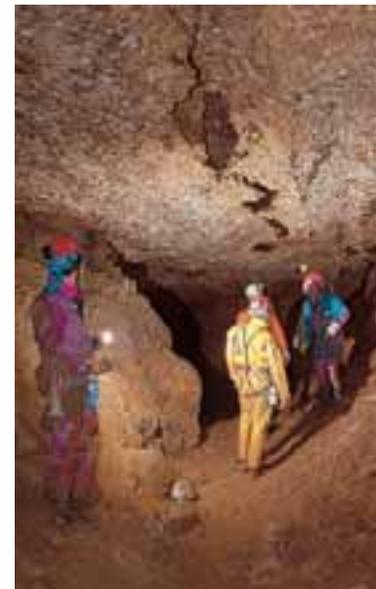
Dal punto di vista esplorativo zone di notevole potenzialità sono quelle attorno al lago di Como: ai Piani del Tivano il Complesso Tacchi-Zelbio ha uno sviluppo di quasi 10 km e la Grotta presso la Capanna Stoppani supera 8 km, mentre il complesso Bül-Guglielmo raggiunge i -557 m. Nelle Grigne si aprono alcune delle grotte più profonde in Italia: l'Abisso Viva le Donne è stato disceso fino a -1170 m, l'Abisso Capitan Paff fino a -795 m.

Quasi al confine con il Piemonte, vicino a Varese, il Parco di Campo dei Fiori è un'area carsica di grande potenzialità: la Grotta Nuovi Orizzonti e la Grotta Marelli sono prossime ai 6 km di sviluppo, mentre l'Abisso Schiaparelli scende fino a -600 m.

Alcuni fenomeni carsici della regione sono stati visitati fin dall'antichità da illustri studiosi: così la sorgente intermittente di Torno (Como) descritta da Plinio il Vecchio nel 50 d.C., la grotta di Fiumelatte e la Ghiacciaia di Moncodeno (Como) descritte da Leonardo da Vinci. La Ghiacciaia venne ancora minuziosamente descritta nel 1627 da Stenone, in una lettera indirizzata a Nicolò Cosimo III, Granduca di Toscana.

Trentino-Alto Adige. Per ragioni geologiche le maggiori cavità della regione sono quelle dell'area più meridionale. Pur essendo la culla dell'alpinismo, questo territorio, dopo le prime consistenti ricerche attorno agli anni '30, ha visto svilupparsi definitivamente le conoscenze sul carsismo solo dopo gli anni '60. Trentina è una delle maggiori grotte italiane, la Bigonda, che si sviluppa per circa 26 km in Valsugana raccogliendo le acque dell'Altipiano di Asiago, area ove si apre anche la Grotta del Calgeron (5,3 km di sviluppo). Notevoli, sempre in Valsugana, i complessi ancora attivi della Fosca e di Castello Tesino. Nelle Dolomiti di Brenta e nell'attiguo gruppo Gazza-Paganella si aprono circa 700 cavità naturali tra cui la Grotta di Collalto (5,2 km), del Torrione di Vallesinella, l'Abisso Popov, l'Abisso di Lamar. In Val Daone, a sud dell'Adamello si sviluppa la grotta Aladino (7 km) mentre nelle pendici settentrionali del M. Baldo si apre l'Abisso di Val Parol (1,6 km, 430 m di profondità). Notevoli e diffusi, infine, i fenomeni carsici superficiali, specialmente nella bassa Valle del Sarca e sul M. Baldo.

Esplorati solo negli ultimi vent'anni, infine, i fenomeni carsici dell'Alto Adige dove sono state rilevate alcune grotte di notevole sviluppo nell'area degli Altopiani Ampezzani (Marebbe) nella parte nord-orientale della regione. Di grande rilievo i rinvenimenti di resti di orso delle caverne nella Grotta delle Conturines in Alta Val Badia.



Grotta di Castel Sotterra (Montello, Veneto)

Veneto. Con oltre 6500 cavità censite nel Catasto delle Grotte, il Veneto si pone fra le regioni italiane in cui il fenomeno carsico non solo è più esteso ma anche capillarmente indagato. In realtà a parte modesti settori in cui affiorano rocce magmatiche o metamorfiche, l'intera fascia montana, costituita da prevalenti rocce carbonatiche, si presenta come un'unica ininterrotta area carsica. La Lessinia, i Berici, gli Altipiani vicentini di Asiago e Tonezza, il Grappa, il Montello, il Cansiglio sono tuttavia le aree carsiche per eccellenza, aree in cui sono state scritte pagine fondamentali per la storia della speleologia italiana. Benché l'attività esplorativa praticamente solo in questi ultimi anni abbia investito anche il territorio Bellunese - con risultati peraltro del

tutto inaspettati - molte montagne dolomitiche rimangono del tutto sconosciute per quanto riguarda il carsismo. Già fin d'ora, tuttavia, possiamo affermare che proprio le Dolomiti costituiscono la nuova frontiera per la speleologia veneta.

Il Buso della Rana, negli estremi Lessini Vicentini, è la maggiore cavità veneta con oltre 25 km di sviluppo e detiene il record, peraltro effimero, di essere la più lunga cavità italiana con un unico ingresso. La Busa di Castel Sotterra nel Montello è invece una delle cavità più lunghe del mondo scavata entro conglomerati (oltre 4 km). Due grandi abissi veneti sfiorano i 1000 m di profondità: l'Abisso di Malga Fossetta nell'Altopiano di Asiago (974 m) e il Complesso dei Piani Eterni nelle Vette Feltrine (966 m). La Spluga della Preta nei Lessini Veronesi è ben terza fra i maggiori abissi veneti: malgrado la sua profondità sia stata ridotta dai recenti rilevamenti a 877 m, essa rimane una cavità simbolo per la sua epopea esplorativa, vero archetipo e patrimonio storico non solo della speleologia veneta ma anche di tutta la speleologia italiana.



Uno degli abissi d'alta quota che si aprono, numerosi, nel massiccio del M. Canin (Friuli)

Friuli-Venezia Giulia. Il Carso, in particolare quello triestino, è stato la culla della speleologia e nonostante sia da 150 anni oggetto di ricerche sistematiche continua a fornire sempre nuove scoperte. La densità di grotte conosciute è elevatissima: 3000 cavità per soli 200 kmq di superficie ed il mistero del corso sotterraneo del Timavo non è ancora del tutto svelato. Fra le grotte più note del Carso vi è certamente l'Abisso di Trebiciano che, con una serie di pozzi raggiunge, ad oltre 350 m di profondità, il corso del Timavo, così come la Grotta Skilan che è la più estesa della provincia di Trieste con oltre 6 km di sviluppo ed una profondità di quasi 400 m. La cavità più nota della zona è certamente la Grotta Gigante, una delle maggiori grotte turistiche italiane, mentre la Grotta Gualtierio Savi sfiora i 4 km di sviluppo.

In Friuli interessanti cavità naturali sono quelle delle Prealpi Giulie che si sviluppano, nella maggior parte dei casi, all'interno di banconi carbonatici che si alternano ai livelli flyschoidi: per questa ragione si tratta il più delle volte di cavità a prevalente sviluppo orizzontale: la Grotta Nuova di Villanova, in parte



La Grotta Nuova di Villanova (Friuli)

attrezzata turisticamente, è lunga oltre 7 km e 4 km sono lo sviluppo di San Giovanni d'Anfro che ospita all'ingresso una chiesetta e delle strutture fortificate medioevali ma che si impostano su strutture di epoca romana.

Il massiccio del Canin nelle Alpi Giulie, costituito da carbonati del Triassico superiore, è stato il primo "carso d'alta montagna" ad essere esplorato sistematicamente ed il Sistema del Col delle Erbe (Abisso Gortani ed altri) con i suoi -880 m e 22 km di sviluppo è stato per anni il più profondo d'Italia. Ora l'area conta decine di cavità che superano i 500 m di profondità (Complesso del Foran del Muss -1100 m con 15 km di sviluppo, Abisso Led Zeppelin -960 m, Abisso Modonutti-Savoia -805 m e così via). Nei Calcari di Scogliera del Devoniano delle Alpi Carniche si apre il Complesso del Monte Cavallo di Pontebba che raggiunge i 690 m di dislivello ed ha la peculiarità di svilupparsi, sottoterra, anche in territorio austriaco. Nei calcari cretaci delle Prealpi Carniche le cavità maggiori sono la Risorgiva di Eolo, oltre 5 km, ed i vari sistemi sotterranei dell'area di Pradis (Complesso La Val-Noglar-Mainarda, che sfiora i 7 km di sviluppo). Nuove zone di interesse sono state individuate all'interno del Parco delle Dolomiti Friulane (ad esempio il Landri Scur di Claut con 4,8 km di sviluppo). Interessanti fenomeni sono quelli dell'Altopiano del Cansiglio, al confine con il Veneto, ove il Bus della Lum è stato oggetto di epiche esplorazioni a cavallo fra il XIX ed il XX secolo. Il fenomeno più interessante è comunque la risorgiva del Gorgazzo, di tipo vaucclusiano (cioè con acque che occupano l'intera sezione della condotta sotterranea), che raccoglie le copiose acque di questo altipiano e nella quale, pur aprendosi a 47 m s.l.m., sono stati superati i 100 m di profondità senza arrivare al fondo: è una delle cavità più pericolose ed alcuni speleosub vi hanno perso la vita. La sua esplorazione viene oggi svolta con piccoli sottomarini-robot.

Liguria. Vuoi per il clima, vuoi per la posizione geografica della regione, numerose grotte sono interessate da depositi archeologici e paleontologici, alcuni della massima importanza.

Proprio al confine con la Francia si trovano le famose Grotte dei Balzi Rossi, fra le più importanti stazioni preistoriche italiane, così come interessanti testi-

monianze racchiudono le Grotte di Toirano attrezzate anche per la visita turistica. Una curiosità è certamente la Grotta del Treno di Bergeggi che si apre dentro un tunnel ferroviario! Nei calcari del monte Tampa, presso Giustenice (Savona), si apre la Grotta degli Scogli Neri, la più lunga della Liguria, con uno sviluppo di quasi 5 km, mentre nella zona di Finale (Savona) si apre il complesso Arma Pollera-Arma do Buio, due grotte collegate da un sifone. La prima è anche un importante sito preistorico.

Al confine con la Francia si sviluppa la Grotta della Melosa (Imperia), che con i suoi -253 m rappresenta la grotta più profonda. Importanti esplorazioni sono attualmente in corso alla Grotta Balbiseolo (Bardinetto), collettore a valle del Buranco Rampion: gli speleologi hanno già scoperto quasi 5 km di gallerie e le prospettive sono esaltanti.

Emilia Romagna. Nell'Appennino affiora una lunga ma discontinua fascia di depositi evaporitici messiniani e triassici: i gessi, sede di numerosi fenomeni carsici di grande interesse per la varietà degli ambienti, per l'aspetto mineralogico o per il contenuto entomologico, ma spesso non particolarmente concrezionate e quindi spesso non belle secondo i canoni classici della speleologia. Il sistema di maggiore interesse è quello Spipola-Acqua Fredda, non lontano da Bologna, sviluppato per oltre 10 km all'interno di un'area di tale interesse da costituire un parco naturale. Si tratta della più estesa cavità in gesso dell'Europa occidentale. Nell'alta Valle del Fiume Secchia (Reggio Emilia) affiorano estesamente i gessi del Triassico nei quali il carsismo si sviluppa in "anse ipogee", cioè corsi d'acqua che penetrano all'interno delle bancate evaporitiche per ritornare, dopo un percorso più o meno esteso, nel loro naturale alveo epigeo. Una di queste costituisce la risorgenza carsica più copiosa dell'Appennino: le Fonti di Poiano. Recentemente è stata esplorata la più profonda grotta nei gessi del mondo, il sistema carsico del M. Caldina con 265 m di dislivello ed 1 km di sviluppo.

Negli affioramenti gessosi di Brisighella si aprono l'Abisso Fantini, la Grotta della Tanaccia ed il Complesso Rio Stella-Rio Basino, una delle poche cavità italiane soggette a protezione integrale.

Toscana. Speleologicamente Toscana significa Alpi Apuane: la mecca della speleologia esplorativa di questi ultimi anni, ma anche il luogo dei massimi problemi di tutela del mondo sotterraneo; molte cavità, infatti, sono minacciate di distruzione dall'attività di estrazione delle cave di marmo.

L'Abisso Paolo Roversi, fondo oltre 1250 m, cela al suo interno il "Black hole" un singolo pozzo di oltre 300 metri e di una tale larghezza da non permettere a chi lo discende di scorgerne le pareti.

L'Abisso Olivifer raggiunge i 1215 m di profondità, mentre il Complesso del

Monte Corchia, il più esteso sistema sotterraneo italiano (oltre 50 km) raggiunge i -1190 m. Nel ristretto club dei -1000 rientra anche il Complesso Saragato-Aria Ghiaccia.

Di interesse storico è la Tana che Urla, presso Fornovolasco: è una cavità non particolarmente estesa, percorsa da un torrente sotterraneo che fu oggetto, nel XVIII secolo, degli studi di Vallisneri sull'idrologia sotterranea. Nella stessa zona si apre la Grotta del Vento, attrezzata turisticamente. Da ricordare poi la grotta idrotermale Giusti, presso Monsummano Terme, con acque a 35°.



Il Complesso Fiume Vento (Marche)

Umbria e Marche. L'Appennino umbro - marchigiano presenta estesi affioramenti di calcari mesozoici: nel massiccio del Monte Cucco si apre l'omonima Grotta che raggiunge i -920 m con uno sviluppo complessivo di oltre 31 km.

Ma le grotte più famose dell'area sono quelle della Gola di Frasassi, non lontano da Jesi. Il Complesso Fiume Vento (oltre 23 km di sviluppo) è uno dei sistemi sotterranei più belli del mondo: in parte attrezzato turisticamente, viene visitato annualmente da oltre 400000 turisti. Trattandosi di una cavità nella quale si è intervenuti in tempi recenti, i lavori effettuati risultano - per quanto possibile - rispettosi delle esigenze dell'ambiente sotterraneo e, soprattutto, si è cercato di salvaguardare le peculiarità del clima sotterraneo. Nella stessa zona si apre la

Grotta di Frasassi, affascinante per la presenza, all'ingresso, di un piccolo tempio edificato all'inizio del XIX secolo su progetto dell'architetto Valadier.

Abruzzo e Molise. I massicci carbonatici del Gran Sasso e della Maiella hanno sinora aperto agli esploratori solo una parte delle loro enormi potenzialità. Si può ricordare la cavità turistica del Cavallone dentro la quale un olfatto attento può individuare l'odore degli idrocarburi presenti nelle rocce. Nei pressi di L'Aquila si apre la Risorgiva di Stiffe, lunga oltre 1,5 km ed attrezzata turisticamente.

Maggiori dimensioni sono quelle delle cavità del Matese, complesso carbonatico a Sud-Ovest di Campobasso, ove il Pozzo della Neve raggiunge la ragguardevole profondità di 1045 m e l'Abisso Cul di Bove sfiora i 4 km di sviluppo.

Lazio. Il massiccio dei Monti Lepini ospita la Grotta del Formale, lunga oltre 4 km, e l'Abisso Consolini con una profondità di circa 600 m. Altre aree carsiche di grande potenzialità sono quelle dei Monti Aurunci, dove l'Abisso Valaroce raggiunge i -565 m, dei Monti Ausoni le cui acque vengono raccolte dalle Grotte di Pàstena, lunghe oltre 3 km ed attrezzate per i turisti, dei Monti Simbruini con la Grotta di Bellegra o dei Monti Ernici con l'Abisso degli Urli (-610 m ed oltre 3 km di sviluppo).

Nel promontorio del Circeo la Grotta Guattari ha restituito i resti dell'Uomo di Neanderthal: si tratta di una sepoltura ritrovata nel 1939. Altre grotte di interesse paleontologico sono presenti soprattutto nell'area di Latina.

Campania. Il massiccio dell'Alburno è stato il primo complesso carsico ad essere esplorato con sistematicità nell'Italia Meridionale. Sono presenti estese aree carsiche con la Grava dei Gentili come massima profondità (-484 m), la Grava del Fumo, la Grotta del Casone Vecchio ed altre.

Ai piedi dell'Alburno la Grotta di Castelcivita, attrezzata per i turisti, ne rappresentava una delle risorgenze e, recentemente, si è trovato il collegamento con il sistema attivo (Ausino) di raccolta delle acque del massiccio sovrastante, formando un complesso di oltre 6 km di sviluppo.

Grande importanza rivestono le grotte marine, basti ricordare la Grotta Azzurra di Capri e quella di Palinuro. In quest'ultima località la Grotta di Punta Galera ha uno sviluppo di oltre 1 km attraversando quasi interamente lo stretto promontorio. Di particolare interesse è il fatto che molte delle Grotte di Capo Palinuro



Una delle cavità che si aprono lungo la costa del Cilento (Campania). Si notano i paleosuoli concrezionati all'ingresso della grotta

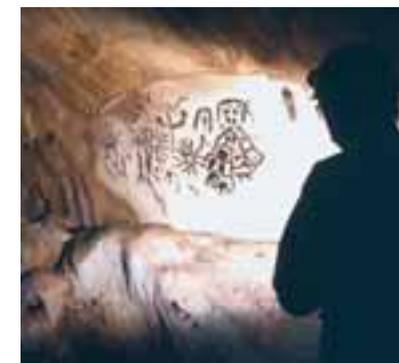
sono state, e in parte lo sono ancora, soggette alla circolazione di fluidi solfurei e ciò ha condizionato soprattutto la formazione dei depositi di grotta.

Interessanti stazioni preistoriche sono molte grotte costiere fra Palinuro e Camerota. Nel Cilento va ricordato il percorso sotterraneo del fiume Bussento che, nei dintorni di Caselle in Pittari e Morigerati, "entra" nel massiccio carbonatico per riuscire oltre 4 km più a valle. Sino a pochi anni fa questo tratto sotterraneo del fiume raccoglieva, di fatto, parte degli scarichi fognari dell'area!

Puglia. È una delle regioni ove sono più estesi gli affioramenti di rocce carbonatiche. In essa si riconoscono tre distinte macroaree carsiche: Gargano, Murgia e Salento. Sul Gargano sono diffusissime le forme superficiali, ed in esso è ubicata anche una delle maggiori doline d'Europa, la Dolina Pozzatina con dia-



Grotte di Castellana (Puglia)



Grotta di Porto Badisco (Puglia), pitture rupestri

metro di oltre 600 m e profondità di 100 m; sulla Murgia vanno segnalati il Pulo di Altamura ed il Pulo di Molfetta. Rilevanti sono le Gravine, lunghe valli carsiche che incidono soprattutto i pianori della Murgia Tarantina.

La cavità più nota, la Grotta di Castellana, scoperta dal prof. Anelli nel 1938, è oggi una delle più importanti grotte turistiche italiane. La grotta più profonda della regione è la Grava di Campolato (S. Giovanni Rotondo), con profondità superiore ai 300 m. Molte grotte pugliesi, oltre all'aspetto puramente speleologico, rivestono particolare importanza per le testimonianze paleontologiche rinvenute in esse; si segnalano: la Grotta Paglicci (Gargano) frequentata dall'uomo fin dal Paleolitico, La Grotta dei Cervi a Porto Badisco nel Salento, il Complesso Scaloria-Occhiopinto a Manfredonia utilizzato nel Neolitico per il culto delle acque. Importantissima la recente scoperta di resti umani nella Grotta di Lamalunga in agro di Altamura. Infine occorre menzionare l'uso delle cavità da parte dell'uomo a scopo culturale: dall'epoca paleocristiana al tardo medioevo

le grotte hanno attraversato diverse fasi da eremi e cripte fino al culto dell'Arcangelo Michele. Purtroppo buona parte del carsismo profondo pugliese ha subito profonde e gravi alterazioni da parte dell'uomo moderno. Oltre alla distruzione totale a causa delle cave, si sprecono i casi in cui le acque fognarie dei centri urbani vengono convogliate in inghiottitoi naturali; inoltre, molto spesso le voragini vengono utilizzate come discariche abusive di ogni tipo di materiale; perfino rifiuti speciali vengono immessi nelle cavità. Un esempio significativo è la Grava di San Leonardo (San Giovanni Rotondo), in cui giacciono tonnellate di medicinali scaduti ed altro materiale ospedaliero, con enormi possibilità di inquinamento della sottostante falda acquifera.

Basilicata. Presso Maratea, nella ridotta fascia tirrenica di questa regione, si aprono la Grotta del Dragone, con circa 3 km di gallerie, esaustore fossile del complesso carsico del Monte Coccovello. Vi era stata segnalata la presenza di esalazioni che potevano rendere pericolosa l'esplorazione, legate alla presenza di una discarica in una dolina, ma il problema pare essere stato recentemente risolto. Particolarmente sviluppata è la speleologia marina e qui ha sede il Centro Europeo di Speleologia Marina. Lungo la costa si trova la Grotta delle Meraviglie - in parte attrezzata per le visite turistiche - mentre poco a monte, presso Trecchina, si trova la Grotta di Sant'Angelo, lunga circa 500 m e ricca di concrezioni e scorci suggestivi.

Notevole è la Grotta di Castel Lepre presso Marsico Nuovo, con uno sviluppo di quasi 2 km; ancora più estesa è la Grotta I Vucculi di Muro Lucano.

Un cenno particolare merita l'area del materano ove le cavità naturali sono state utilizzate come abitazione dall'uomo, ed in parte lo sono ancora.

Calabria. Nel Massiccio del Pollino si apre l'Abisso del Bifurto che raggiunge i 683 m di profondità: quando questo limite fu raggiunto si trattava della più profonda grotta italiana. Altra cavità di grande interesse è la Grotta di Serra del Gufo.

Nell'area ionica, presso Cassano, si aprono le Grotte di Sant'Angelo: descritte già nel 1571, hanno uno sviluppo complessivo di oltre 2 km e sono collegate ad un sistema di sorgenti solfuree. Acque calde solfuree sono quelle sfruttate come termali all'Antro delle Ninfe presso Cerchiara.

Nella fascia tirrenica sono note numerose cavità di interesse archeologico, mentre nella zona di Crotona si apre la Grotta di Samouri Tourè che, percorsa da un fiume sotterraneo, si sviluppa per oltre 2 km.

Sicilia. Nei massicci carbonatici dell'isola (Nebrodi, Iblei, Madonie) si aprono le Grotte di Pantalica e molti altri sistemi carsici, ma ciò che caratterizza l'isola è certamente la presenza delle grotte laviche che, numerose, si aprono alle

pendici dell'Etna. La più nota è la Grotta dei Tre Livelli con uno sviluppo di oltre 1300 m ed una profondità di oltre 300, ma è curiosa la presenza, ai piedi di un vulcano, di un ghiacciaio sotterraneo nella Grotta del Gelo. Noto è anche lo sviluppo dell'Abisso Profondo Nero che supera 1 km di gallerie. A completare il quadro della potenzialità speleologica siciliana vanno ricordate le grotte nel gesso come il noto sistema della Grotta di Santa Ninfa, oltre 1 km di gallerie riccamente concrezionate, o quelle di Sant'Angelo Muxaro.

Non si può parlare delle cavità siciliane senza ricordare la Grotta di Monte Kronio a Sciacca. Si tratta di una importante stazione preistorica, utilizzata in passato come luogo di culto ed ora praticamente inesplorabile perché percorsa da vapori caldi che portano la temperatura interna ad oltre 38 °C; la cavità è oggi visitabile solo con l'uso di attrezzature speciali.



Grotta di Santa Barbara (Sardegna)

Sardegna. Estesi affioramenti di rocce carbonatiche fanno della Sardegna una delle regioni di maggiore interesse per gli speleologi, per la presenza di cavità a grande sviluppo orizzontale e spesso riccamente concrezionate.

Nel Supramonte di Oliena e nei dintorni di Dorgali si aprono estesi sistemi sotterranei come Su Bentu-Sa Oche (15 km di sviluppo) e San Giovanni Su Anzu (11 km). Ma il sistema sotterraneo più esteso è quello della Codula de Luna, formato dalla congiunzione fra Su Palu e Su Spiria, con oltre 38 km di sviluppo.

Importanti sono le grotte marine, spesso meta dei turisti, come la Grotta di Nettuno ad Alghero o la Grotta del Bue Marino a Dorgali.

■ Breve storia della speleologia e della struttura speleologica in Italia

Cercare di riassumere in poche righe la storia della speleologia italiana è quanto mai arduo soprattutto quando ci si rende conto che la nostra è stata, sino alla Seconda Guerra Mondiale, la nazione in cui questa scienza ha avuto maggiore sviluppo.

Le grotte hanno rappresentato per millenni l'abitazione dell'uomo e delle belve e poi il luogo privilegiato di riti fossero essi religiosi o pagani, e sono sempre state viste con rispetto, forse con più paura dall'uomo del Medioevo che dall'uomo preistorico che ha a volte trasformato tratti anche di difficile accesso

dei sistemi sotterranei in veri e propri templi dell'arte (si veda ad esempio la Grotta dei Cervi a Porto Badisco in Puglia).

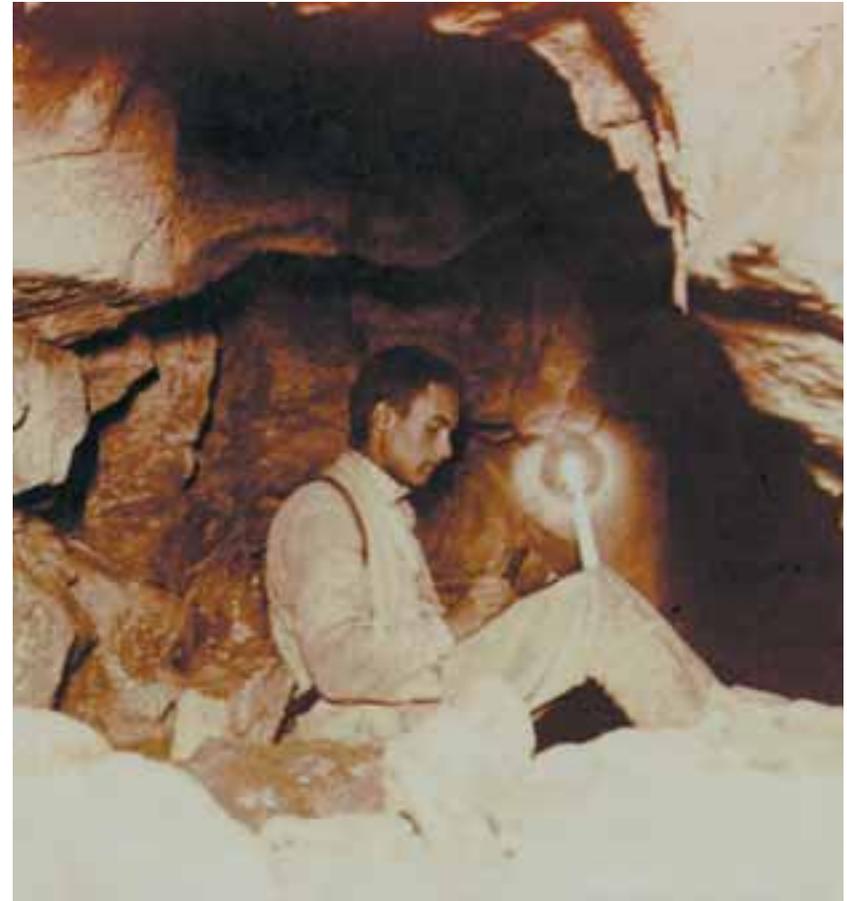
Lo stesso Dante racconta di essere entrato agli inferi attraverso una spelonca e bisogna quindi arrivare a Leonardo da Vinci che esplora una "spelunca" con "paura e desiderio...per vedere se la entro fosse alcuna mirabile cosa". Testimonianze certe di esplorazioni fra il XIII ed il XV secolo sono le date incise nelle famosissime Grotte di Postumia (o Adelsberg, ora in territorio Sloveno).

È con il XVI secolo, però, che si incomincia a parlare delle grotte con una maggiore attenzione alla descrizione dei fenomeni: si tratta soprattutto di studi svolti da Piero Coppo e Alessandro Alberti sul corso del Timavo, il fiume sotterraneo che scorre fra Slovenia ed Italia.

Anche il secolo successivo vede le ricerche concentrate soprattutto nell'area del Carso. Il Seicento termina con il capolavoro di Atanasius Kircher, gesuita tedesco, che pubblica a Roma il *Mundus subterraneus*. Si tratta di una sorta di manuale di speleologia in cui vengono descritte non solo le metodologie esplorative ma anche esposte teorie speleogenetiche, classificazioni ed altro. Si tratta di idee a volte bizzarre o fantasiose, ma si tratta pur sempre di un enorme passo in avanti con il tentativo di interpretare il fenomeno, di classificare le forme. Sarà il secolo successivo che, con l'opera del Vallisneri sull'origine delle fontane, vede il primo approccio scientifico all'idrologia carsica. Ma il carsismo ancora non esiste!

Nell'Ottocento nascono le grandi scuole di carsismo: francese, austriaca, slovena ed italiana. E le ultime tre trovano naturale campo di confronto nell'area di Trieste, allora porto dell'Impero Austro-Ungarico. Il problema era quello di garantire un rifornimento idrico sicuro ad una città che era in continua e forte espansione. La soluzione più logica appariva quella di sfruttare le acque del Timavo, ma non era possibile farlo senza conoscerne il reale percorso sotterraneo. Certo le acque si inabissano nell'Abisso di San Canziano e vengono a giorno presso Duino, ma per quali vie percorrono le decine di chilometri che separano questi punti?

Figura principe dell'esplorazione è Antonio Federico Lindner che prima raggiunge i -227 metri nell'Abisso di Padriciano e poi, nel 1841, i -329 nell'Abisso di Trebiciano, ove raggiunge il tratto sotterraneo del Timavo, stabilendo allora il record mondiale di profondità. Il padre della speleologia triestina è stato comunque il grande Eugenio Boegan che ha fondato, nel 1883 in seno alla Società Alpina delle Giulie, la Commissione Grotte, il primo sodalizio speleologico costituitosi al mondo, attorno al quale hanno operato figure di primo piano come Bertarelli e Timeus. Ma allora Trieste era in Austria e la bandiera della speleologia del Regno d'Italia era quella friulana: a Udine nasce, nel 1897, il Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, voluto da Marinelli e che vede fra i suoi elementi di punta uomini come Gortani, Feruglio, Desio e De Gasperi. Al



Giovan Battista de Gasperi durante le esplorazioni del 1911 nella Grotta Doviza (Friuli)

sodalizio friulano si deve la pubblicazione di *Mondo Sotterraneo*, il primo numero del quale appare nel 1904 e che viene ancora oggi regolarmente edito. Gli studi del Circolo si incentrano nell'area delle Prealpi Giulie e portano all'esplorazione, fra l'altro, della Grotta Doviza che, sino al 1914, è stata considerata la più lunga d'Italia.

Leggere oggi *Grotte e Voragini del Friuli* di De Gasperi (che quando lo scrisse nel 1915 aveva solo 24 anni) o il *Duemila Grotte* di Boegan e Bertarelli, edito nel 1926, colpisce per la mole di informazioni che questi volumi contengono e per il rigore del metodo.

Nel frattempo circoli speleologici nascono a Milano e Roma e, nel 1903,

Michele Gortani fonda a Bologna una "Società Speleologica Italiana", vista soprattutto come strumento di ricerca scientifica, che pubblica pochi numeri della "Rivista Italiana di Speleologia": ma i tempi non sono ancora maturi per un coordinamento a livello nazionale di una speleologia che invece inizia a vivere una specie di dualismo fra l'attività esplorativa e quella di ricerca.

La Prima Guerra Mondiale da un lato causa gravi problemi ad alcuni sodalizi (il Circolo di Udine emigra ad esempio a Firenze dopo la rotta di Caporetto) ma porta, alla sua conclusione, alla conquista da parte dell'Italia di tutto il territorio del Carso Classico ed è così che il Friuli-Venezia Giulia mantiene una posizione di predominio speleologico a livello mondiale. Ma un po' in tutto il nord Italia i grandi successi esplorativi si susseguono: dall'Abisso Bertarelli (Carso), ove vengono raggiunti i -450 m, si arriva alle esplorazioni della Spluga della Preta (Veneto), dell'Abisso Guglielmo in Lombardia sino ai -541 m dell'Antro del Corchia in Toscana, raggiunti nel 1934. I limiti erano allora legati non certo alle capacità degli esploratori, ma solo ai problemi logistici ed al peso dei materiali: esplorazioni che oggi si compiono in poche ore da parte di una squadra di tre speleologi richiedevano allora mesi di preparazione, decine di uomini e diverse giornate esplorative per la squadra di punta. Que-



Discesa in scaletta nell'abisso Viganti nel 1949

sti problemi restano, fundamentalmente identici, pur passando dalle scale di legno a quelle metalliche, sino agli anni '70, quando l'uso di tecniche di progressione su sola corda permettono di alleggerire di molto il peso dei materiali, pur rimanendo negli opportuni margini di sicurezza. Si potranno così esplorare anche gli abissi di alta quota, aree già note per le loro potenzialità ai padri della speleologia moderna.

Ritornando al periodo fra le due Guerre, fondamentale è il ruolo giocato dall'Istituto Italiano di Speleologia, con sede nelle Grotte di Postumia, che crea un Catasto delle Grotte, pubblica l'importante rivista *Le Grotte d'Italia* e coordina le attività esplorative e di ricerca scientifica dei vari gruppi speleologici. Ciò favorisce lo sviluppo della speleologia in Italia ed anche una sua espansione nelle regioni meridionali, ma alla fine della II Guerra Mondiale il patrimonio dell'Istituto viene disperso, sono scomparsi i grandi speleologi delle origini e l'Italia perde, oltre alla gran parte del Carso classico, anche la sua supremazia in campo speleologico.

La fitta ragnatela costituita dai circoli speleologici riprende a funzionare e si ricostituisce a Verona, nel 1950, la Società Speleologica Italiana, vista soprattutto come associazione di speleologi e non come società verticistica. Pochi anni dopo Gortani rifonda a Bologna l'Istituto Italiano di Speleologia, volto invece soprattutto alla ricerca scientifica: solo dopo anni di rapporti difficili le due società entreranno in sintonia.

Negli anni sessanta riprendono, anche grazie alla comparsa di nuove tecniche, le grandi esplorazioni con il record alla Spluga della Preta (Veneto) ove vengono raggiunti i -878 m. Sono gli anni delle esplorazioni nelle Alpi Apuane, nel Canin, nel Marguareis, aree che sono ancora oggi meta di continue campagne di ricerca.

Negli stessi anni si verificano però fatti luttuosi che conducono, fra l'altro, alla nascita del Soccorso Speleologico all'interno del Soccorso Alpino.

La speleologia di quegli anni è ben sviluppata solo in alcune regioni (Friuli-Venezia Giulia, Piemonte, Emilia-Romagna, Toscana) ed appare piuttosto chiusa in se stessa: si radicalizza anzi una sorta di contrapposizione fra speleologia esplorativa e speleologia accademica. Questo dualismo viene poi lentamente, ma fortunatamente, a scomparire. Negli anni successivi inizia una evoluzione delle strutture ed organizzazioni speleologiche che, pur mantenendo il ruolo fondamentale dei Gruppi, vedono la formazione delle Federazioni Speleologiche Regionali e tutte le Amministrazioni seguono il solco aperto nel 1966 dalla Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia che, per prima, ha emanato una legge per la tutela del fenomeno carsico, per il sostegno all'attività speleologica e per la costituzione ufficiale di un Catasto Grotte. Oggigiorno quasi tutte le regioni hanno una propria federazione ed un catasto grotte funzionante e, in Italia, operano oltre 300 gruppi speleologici.