



caso l'intensità dei processi di dissoluzione è influenzata notevolmente dal clima e dal contenuto in anidride carbonica delle acque meteoriche a sua volta dipendente dalla natura dei suoli. Nel secondo caso le morfologie ipogee si sviluppano soprattutto nelle zone di contatto fra acque di origine diversa (corrosione per miscela di acque), o dove acque di origine profonda in risalita si mescolano con acque di falde più superficiali, come ad esempio in corrispondenza di importanti zone di faglia, oppure dove l'acqua dolce si mescola con quella marina. L'azione di questi processi può essere ancora più forte e veloce quando la miscelazione avviene con acque termali (ipercarsismo o carsismo idrotermale).

### Carsismo epigeo

(da Santangelo N., Santo A., 2005, *Il carsismo e la formazione delle grotte*. In Russo N., Del Prete S., Giulivo I., Santo A. editors: *Grotte e speleologia della Campania*, Sellino ed. Avellino, pp. 39-48, 13 fig.)

Una prima suddivisione delle forme carsiche superficiali è fatta in base alle dimensioni per cui generalmente si fa una distinzione tra **micro** e **macro** forme.

Al primo gruppo appartengono morfologie di dimensioni da centimetriche a metriche quali solchi o scannellature presenti sugli affioramenti di rocce solubili; tali forme si generano prevalentemente per la dissoluzione chimica operata dalle acque meteoriche e nella letteratura internazionale hanno assunto i nomi generici di karren (tedesco) o lapies (francese) che, quando sono molto frequenti su un versante possono dar luogo a **campi carreggiati o solcati**.

Tra le **macroforme** carsiche le fenomenologie più importanti sono le doline, i polje e le valli carsiche (canyon fluvio carsici, valli cieche e valli morte).

Le doline sono depressioni chiuse a forma di conca, a contorno generalmente subcircolare o ellittico e con dimensioni variabili da pochi metri a centinaia di metri di diametro. Possono essere classificate in base alla genesi (da dissoluzione pura, o da crollo) o in base alla forma o alle dimensioni. In genere una dolina ha origine dalle fessure o dagli interstizi della roccia e può essere più o meno svasata a seconda delle caratteristiche litologico-strutturali. E' stato notato ad esempio che doline imbutiformi o a fianchi molto scoscesi sono tipiche dei calcari più puri e con poche discontinuità, viceversa doline molto svasate e larghe sono caratteristiche di calcari impuri e intensamente fratturati.

E' importante comunque fare distinzione tra le doline da **dissoluzione** e quelle **da crollo** perché la genesi è molto differente. Le prime si trovano spesso in gruppo su un versante, tanto da anastomizzarsi ed hanno generalmente una morfologia "a piatto". La fusione per coalescenza di due o più doline viene chiamata "uvala" o "avvallamento carsico". Esse sono diffusissime sugli altopiani carsici dei massicci carbonatici dell'Appennino campano e si generano per processi di dissoluzione favoriti dalle acque meteoriche e dalla neve. Da ricordare per la ricchezza di queste fenomenologie gli altopiani carsici di Monte Marzano, dei Monti Alburni e del Cervati.

Le doline da crollo (*sinkhole*), hanno invece una classica sezione ad "imbuto", si generano per migrazione verso l'alto di cavità ipogee preesistenti o per collassi di settori intensamente fratturati (Nisio, 2003). A differenza delle doline da dissoluzione, esse sono spesso isolate e si aprono generalmente nei settori basali dei versanti carbonatici. In Campania ne esistono numerosi esempi alcuni veramente spettacolari per le loro dimensioni (Del Prete *et al.*, 2004).

Altre macroforme carsiche molto comuni nel nostro Appennino sono i polje. Con questo termine si indicano ampie conche chiuse (alcuni km<sup>2</sup>) in terreni carbonatici, con i seguenti requisiti: un fondo piatto, un ripido versante marginale su almeno un fianco ed un drenaggio carsico (le acque di precipitazione vengono smaltite attraverso un inghiottitoio).

La letteratura distingue tre gruppi principali di polje: da contatto, strutturali, da livello piezometrico. I primi sono localizzati al contatto tra litologie impermeabili e carbonatiche e sono alimentati in prevalenza da bacini imbriferi impostati su flysch. I polje strutturali sono quelli impostati in corrispondenza di *graben* ed hanno una forma allungata controllata dalla direzione dei principali faglie. Infine i polje da livello piezometrico si impostano laddove la falda basale di un massiccio carsico interseca la superficie topografica.

Nell'Appennino campano le successioni carbonatiche mesozoiche in facies di piattaforma carbonatica sono frequentemente in contatto stratigrafico e/o tettonico con successioni terrigene impermeabili mioceniche e pertanto sono molto diffusi i polje strutturali e da contatto.

Alcuni esempi sono dati dai Laghi del Matese e del Laceno, dalle piane di Volturara e di Forino e dai campi carsici del M. Terminio. Una caratteristica comune a tutti questi campi tettono-carsici, è che a causa della loro vicinanza con il distretto vulcanico flegreo-vesuviano, essi sono stati colmati da piroclastiti che hanno determinato, nel tardo Pleistocene e nell'Olocene, la periodica ostruzione degli inghiottitoi con formazione di specchi lacustri.

Alcuni polje sono inattivi, in quanto catturati per erosione regressiva da corsi d'acqua limitrofi come nel caso del Vallo di Diano, la cui estensione supera i 150 km<sup>2</sup>.

Nei territori calcarei possono essere presenti delle **valli carsiche** che presentano alcuni caratteri distintivi rispetto alle valli fluviali: l'alveo è sede di corrosione accelerata a spese delle rocce calcaree e pertanto esse non presentano depositi di riempimento alluvionale.

Un tipo di valle abbastanza frequente nei calcari è la **gola o canyon** cioè di profonde forre dai ripidi versanti in roccia scavate prevalentemente per l'azione di dissoluzione delle acque.

Nell'Appennino campano esistono molti esempi di canyon fluvio-carsici e tra questi vanno ricordati la forra del Torano nel massiccio del Matese, la forra del Platano nel massiccio del Marzano e quelle del torrente Sammaro e del F. Calore lucano nel massiccio dell'Alburno-Cervati.

Altri esempi di valli fluviali modellate in rocce solubili sono le valli morte e le valli cieche. Un esempio di particolare bellezza è quello del F. Bussento che, con un bacino idrografico di circa 315 km<sup>2</sup>, impostato prevalentemente su litotipi argillosi (flysch miocenici e Unità Liguridi), dopo aver percorso poche decine di chilometri, scompare improvvisamente nel sottosuolo in corrispondenza dello spettacolare inghiottitoio di Caselle in Pittari. Tra questo inghiottitoio e la risorgenza di Morigerati, il F.

Bussento ha un percorso sotterraneo di circa 4 km, risultando così, oltre al Timavo in Friuli, uno dei più importanti esempi di fiume sotterraneo in Italia.

In estrema sintesi quindi la distribuzione sul territorio delle macro e micro forme sopra descritte determina la formazione di un "paesaggio carsico" caratterizzato da:

*Presenza di un "caos idrografico" superficiale* determinato dall'assenza di una vera e propria rete idrografica e quindi di valli e di spartiacque ben definiti. I corsi d'acqua presenti sono molto brevi, per nulla gerarchizzati, generalmente susseguenti; i più sviluppati si formano e scorrono su terreni poco permeabili e vengono inghiottiti quando vengono a contatto con rocce carsificabili.

*Morfologia caratterizzata da altipiani irregolari ad andamento ondulato*, con rilievi in genere rotondeggianti, cupuliformi, ed estese zone pianeggianti dal contorno molto irregolare.

*Mancata coincidenza tra l'idrografia superficiale e quella sotterranea* in quanto le acque di infiltrazione, una volta penetrate nel sottosuolo seguono un percorso indipendente che non risente dell'andamento degli spartiacque superficiali; si possono pertanto avere travasi di acqua da un bacino idrografico all'altro attraverso vie sotterranee.

## Carsismo ipogeo

(da Santangelo N., Santo A., 2005, *Il carsismo e la formazione delle grotte*. In Russo N., Del Prete S., Giulivo I., Santo A. editors: *Grotte e speleologia della Campania*, Sellino ed. Avellino, pp. 39-48, 13 fig.)

Quando le acque piovane si infiltrano nelle rocce già fratturate a causa di antichi movimenti tettonici, determinano il lento e continuo allargamento delle diaclasi e l'inizio di una circolazione idrica sotterranea che rappresenta il primo stadio di formazione di una rete di cavità carsiche.

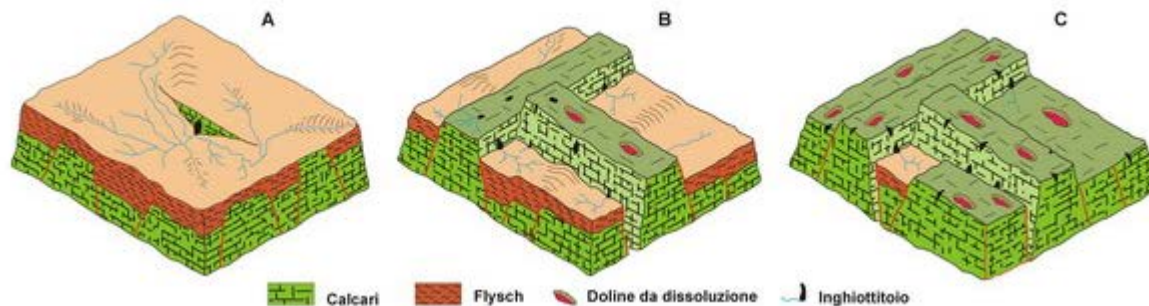
A seguito dell'azione dissolutiva e meccanica delle acque circolanti, le fessure diventano sempre più larghe sino a raggiungere le dimensioni di pozzi e grotte con sviluppi di centinaia di metri e, talvolta, di molti chilometri, spesso attraversati da torrenti sotterranei.

Per comprendere meglio come possa formarsi e svilupparsi una rete di cavità carsiche all'interno di un rilievo carbonatico è necessario fare riferimento anche al suo assetto idrogeologico.

Uno spaccato ideale verticale di un massiccio carsico prevede, partendo dalla superficie, la presenza di tre zone: una zona vadosa o di percolazione, una zona di transizione (interfaccia freatico-vadosa) ed una zona freatica. La prima comprende tutta la porzione di massiccio in cui avviene il transito delle acque, mentre la zona freatica è quella che raccoglie tutte le acque di infiltrazione (falda basale) ed è pertanto riempita permanentemente di acqua. Il livello superiore della superficie freatica può oscillare in seguito a variazioni dell'alimentazione e quindi tra le due zone esiste una zona intermedia, detta di transizione, che può essere stagionalmente invasa dalle acque o rimanere asciutta. La posizione della falda basale e le sue caratteristiche geometriche sono determinate dall'assetto geologico del massiccio ed in particolare dall'andamento della "cintura impermeabile", cioè dei terreni impermeabili che confinano lateralmente e/o inferiormente con le rocce carbonatiche, consentendo l'accumulo delle acque nel sottosuolo.

I processi carsici sono attivi in tutte e tre le zone ma con modalità differenti (Ford & Williams, 1989): nella zona vadosa si viene generalmente a creare un reticolo di cavità impostate lungo faglie e fratture che presenta una gerarchizzazione via via più spinta procedendo dall'alto verso il basso; questo reticolo ha il compito di trasferire le acque meteoriche, attraverso pozzi e meandri sotterranei, verso punti sorgivi (sorgenti carsiche) o verso la falda basale. Il profilo longitudinale di queste cavità è caratterizzato da alti gradienti (**cavità a sviluppo prevalentemente verticale**) e sono presenti alternanze di pozzi, canyon e morfologie fusoidali; la profondità di questi sistemi sarà tanto maggiore quanto maggiore è il dislivello tra le zone di infiltrazione, localizzata sugli altipiani dei massicci, e la falda basale.

Esempi in Campania sono dati dalle numerose grotte verticali presenti sull'Alburno e sul Cervati le cui profondità raggiungono i 500 m o, al confine campano-molisano, dagli abissi di Pozzo della Neve e di Cul di Bove che superano i 1000 m di profondità. Questi sistemi sono alimentati spesso, in superficie, da inghiottitoi da contatto (Santangelo & Santo, 1995) che si aprono sugli altipiani sommitali dei massicci carbonatici.



Schema della formazione di inghiottitoi da contatto (da Santangelo & Santo, 1995, mod.).

Le acque degli inghiottitoi e la fitta rete di fratture alimentano, soprattutto nei periodi invernali e primaverili, una fitta rete di canali carsici e di torrenti sotterranei; per tale motivo generalmente questa tipologia di grotte è priva di concrezioni.

Nella zona freatica invece, l'azione dissolutiva delle acque è prevalentemente legata all'oscillazione della falda basale; in tale modo si ha la formazione di cavità caratterizzate da bassi gradienti longitudinali (**cavità a sviluppo prevalentemente**

**orizzontale**), che seguono quindi l'andamento della falda (superficie piezometrica). Le morfologie tipiche sono quelle con sezioni trasversali circolari od ellittiche (condotte freatiche) che recano di frequente, sulle pareti, impronte da corrente (scallops) a testimonianza di una circolazione idrica "in pressione". Queste cavità sono parzialmente o totalmente invase dalle acque e spesso sono organizzate in livelli orizzontali sovrapposti: i livelli superiori nella maggior parte dei casi sono "fossili" sono cioè inattivi, non più occupati dalle acque e per tale motivo essi sono caratterizzati dalla presenza di depositi di concrezionamento e di riempimento.

L'abbandono delle acque dalla cavità si realizza in seguito a variazioni del livello della falda basale di lungo termine, innescate da variazioni climatiche o tettoniche.

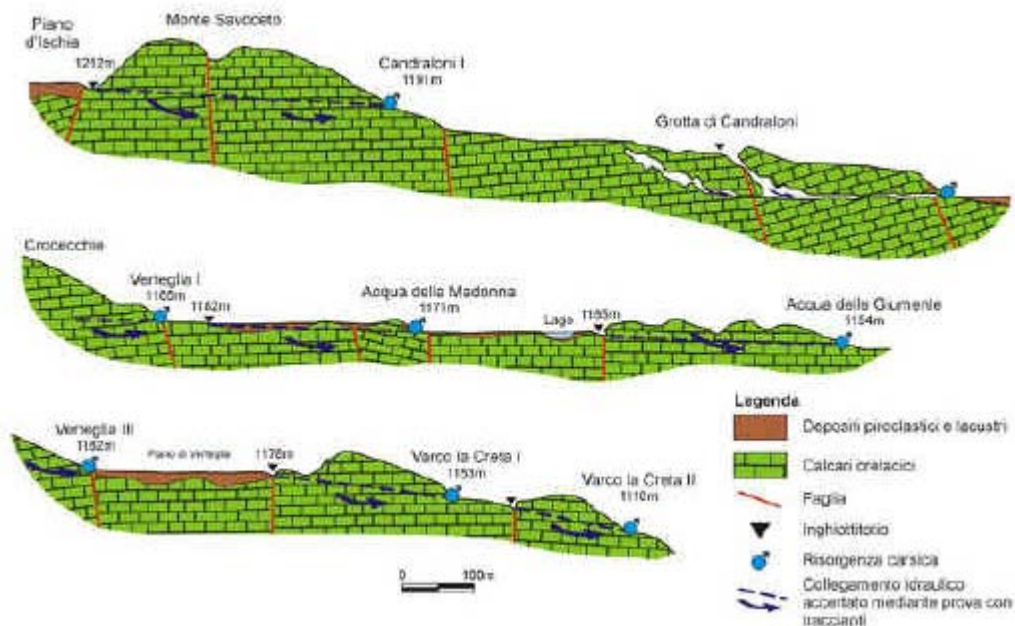
Esempi di questo tipo sono dati dalla grotta di Castelcivita (Santo, 1993 ) che si sviluppa per circa 6 km alla base del massiccio dell'Alburno; in questo complesso carsico si sovrappongono tre livelli: il più alto inattivo ed ormai fossilizzato è molto concrezionato; il secondo è in equilibrio con l'attuale oscillazione della falda; il un terzo è ubicato in falda ed è perennemente allagato.

Oltre ai sistemi verticali e a quelli sub orizzontali basali esistono tuttavia numerose altre tipologie di cavità che in genere però, presentano sviluppi più limitati.

È il caso di sistemi "inghiottitoio- risorgenza cioè di canali carsici a sviluppo sub orizzontale che si aprono a quote elevate sui massicci e che non sono collegati con la falda basale.

In questo caso le cavità presentano sviluppi di alcune centinaia di metri, hanno caratteristiche morfologiche di cavità attive e presentano risorgenze che si aprono poco più a valle degli inghiottitoi.

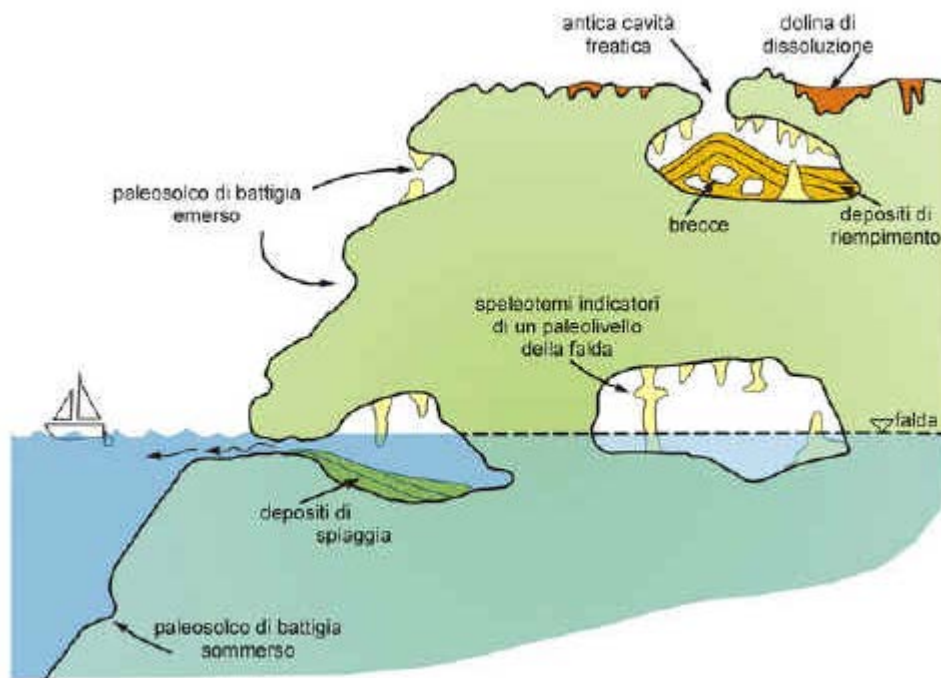
Numerosi esempi sono localizzati sul Monte Terminio (Calcaterra *et al.*, 1994) o sul Matese, come la grotta di Campo Braca.



I sistemi carsici del Monte Terminio (da Calcaterra *et al.*, 1994 mod.)

Lunghi tratti della costa campana sono impostati in litologie carbonatiche (Penisola Sorrentina, Cilento meridionale) e lungo di essi sono ubicati numerose sorgenti sottomarine o sono presenti copiosi travasi in mare delle acque di falda. In questo contesto, grazie all'azione combinata delle acque marine e della falda basale, si sono formate numerose **grotte costiere**, alcune delle quali hanno sviluppi di alcune centinaia di metri e sono organizzate su più livelli. Molte di esse sono state abitate dall'uomo preistorico e conservano ancora numerose preziose tracce geologiche che hanno permesso di ricostruire le variazioni eustatiche del livello del mare nelle ultime migliaia di anni (Antonioli & Ferranti, 1994; Esposito *et al.*, 2003).





Principali morfologie carsiche in aree costiere (da Ford & Williams, 1989 mod.).

Esistono, infine, cavità generalmente poco sviluppate in profondità (poche decine di metri) ma caratterizzate da ampi portali d'ingresso alti sino e oltre 50 m. Si tratta di forme ipogee che si sviluppano in ammassi molto fratturati, generalmente lungo versanti a franapoggio o aventi piani di faglia immergenti verso valle, dove l'azione graviclastica associata al carsismo ha lentamente ampliato piccole e preesistenti cavità. Ne sono tipici esempi le numerose grotte della costiera Amalfitana presenti a diverse altezze lungo i ripidi versanti di Maiori, Amalfi e Postano (Santo et al., 2005).

#### Bibliografia

- Antonioli A., Ferranti L. (1994) - Underwater features of Capo Palinuro. Guida all'escursione Geosub'94, Conv. Int. di Geologia subacquea, Palinuro 8-10 giugno 1994, pp. 18-46.
- Calcaterra D., de Riso R., Ducci D., Santo A., Aquino S. (1994) - Analisi dell'idrodinamica di massicci carsici mediante uso integrato di dati: un esempio nel settore SE del M.Terminio (Appennino Meridionale). Atti IV Convegno Internazionale di geingegneria "Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi", Torino, 10-11 marzo 1994, pp. 587-595.
- Del Prete S., de Riso R., Santo A. (2004) - Primo contributo sui sinkhole di origine naturale in Campania. Atti I Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle Amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", 20-21 maggio 2004, APAT, Roma, pp. 361-376.
- Esposito C., Filocamo F., Marciano R., Romano P., Santangelo N., Santo A. (2003) - Genesi, evoluzione e paleogeografia delle grotte costiere di Marina di Camerota (Parco nazionale del Cilento e Vallo di Diano, Italia meridionale). *Thalassia Salentina*, 26, pp. 165-174.
- Ford D.C., Williams P.W. (1989) - *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, Londra, 602 pp.
- Nisio S. (2003) - I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia centrale. *Il Quaternario*, 16 (1), pp. 121-132.
- Santangelo N., Santo A. (1995) - Karst processes and exhumed landscapes in the Alburni mountains (southern Italy). Abstract III Int. Conf. on Geomorphology 1993 Hamilton, Ontario.
- Santo A. (1993) - Idrogeologia dell'area carsica di Castelcivita (Monti Alburni - SA). Atti III Conv. Naz. dei Giovani Ricercatori di Geologia Applicata, Potenza, Geol. Appl. e Idrogeol., 28, 1993, pp. 663-673, Bari.
- Santo A., Del Prete S., Di Crescenzo G., Rotella M. (2005) - Karst processes and stability: experiences in the carbonate Apennines of Campania (Southern Italy). General Assembly of European Geosciences Assembly, Vienna 24-29 aprile 2005, Geological Society, London, Special Publications Natural and Anthropogenic Hazards in Karst: Recognition, Analysis and Mitigation, in press.