

GLI EFFETTI DELLA NEOTETTONICA SULL'EVOLUZIONE DEI SISTEMI CARSICI IPOGEI: ESEMPI DALLE ALPI APUANE (TOSCANA)

L. Piccini

Dip. di Scienze della Terra, Università di Firenze, Firenze

ABSTRACT - *Effects of neotectonics on the evolution of endokarst systems: the case of Alpi Apuane in Tuscany (Central Italy)* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(2), 1997, 579-582 - In the Alpi Apuane area, the evolution of endokarst systems was controlled by neotectonics events. The most important effect is the negative movement of the hydrologic base level as the consequence of the uplift of the massif. Where there are no geostructural obstacles, the lowering of base level causes the deepening of the piezometric level; because a karst system tends to develop a conduit-network close to the elevation of piezometric level, variations in the uplift rate cause a differential vertical development of karst conduits. Neotectonics interacted with the evolving endokarst systems. Some karst systems lost their water source because of surface or subterranean captures due to neotectonic events, whereas normal or strike-slip faults acted as underground watersheds, rearranging water drainage pattern of carbonate massifs. Evidence of recent or active tectonic movements are observable in many caves as shear surfaces cutting a subterranean conduit. Sometime this is due to faulting, but mostly the movements are the effect of spreading by slope tectonics along pre-existing surfaces (bedding or joints).

Key-words: Neotectonics, speleogenesis, karst system, Alpi Apuane, Central Italy
Parole chiave: Neotettonica, speleogenesi, sistemi carsici, Alpi Apuane, Italia centrale

1. INTRODUZIONE

Scopo di questa breve nota è quello di richiamare l'attenzione sulle potenzialità degli studi geomorfologici dei sistemi carsici sotterranei per la ricostruzione di eventi neotettonici di importanza locale o regionale.

Come per qualsiasi altro sistema morfodinamico, anche la nascita e l'evoluzione di un sistema carsico ipogeo sono influenzate da molteplici fattori ambientali riconducibili alle seguenti categorie: fattori lito-strutturali, fattori tettonici, fattori idro-morfologici e fattori climatici. Ad esclusione dei primi, che descrivono le condizioni geo-strutturali dell'ammasso roccioso in cui si sviluppa il sistema carsico, e quindi partecipano in modo statico allo sviluppo del sistema, tutti gli altri fattori partecipano dinamicamente, interagendo tra loro, e sono soggetti a cambiamenti anche notevoli durante l'evoluzione del sistema carsico. Tra i fattori "dinamici", gli eventi di neotettonica, sia a carattere regionale che locale, possono influenzare l'evoluzione e l'assetto di un sistema carsico in diversi modi. In certi casi l'analisi geomorfologica consente di riconoscere tali effetti, ma perché ciò sia possibile è necessario saper riconoscere l'effetto degli altri fattori di controllo, in particolare quelli lito-strutturali e quelli climatici.

La particolarità di questo tipo di approccio, nelle ricerche nel campo della neotettonica, è data dal fatto che nei sistemi carsici sotterranei i settori che vengono abbandonati dalla circolazione delle acque si possono conservare praticamente intatti per lunghi periodi di tempo, cosa questa che invece succede assai raramente nei sistemi morfodinamici di superficie. I sistemi carsici sono perciò degli ottimi "registratori" di eventi legati alla neotettonica. Inoltre i riempimenti, siano essi chimici (speleotemi) che alluvionali, si prestano alla utilizzazione

di diverse tecniche di datazione assoluta; il che permette di porre dei vincoli cronologici, spesso molto precisi, agli eventi di neotettonica che coinvolgono tali riempimenti.

Le Alpi Apuane sono una delle aree carsiche più importanti d'Italia, ove le intense ricerche condotte dagli speleologi hanno consentito la scoperta e l'esplorazione di numerosi complessi carsici sotterranei. In alcuni di essi i movimenti di neotettonica, e in particolare il sollevamento che ha interessato il massiccio a partire dal Pliocene Superiore, si manifestano con effetti diverse e a scale diverse.

2. EFFETTO DELLE VARIAZIONI DEL LIVELLO DI BASE

Il primo e più importante effetto dei movimenti tettonici sui sistemi carsici sotterranei delle Alpi Apuane si ha relativamente alle variazioni negative del livello di base idrogeologico degli acquiferi carsici, legate al sollevamento dell'intero massiccio.

In assenza di impedimenti geo-strutturali, cioè di un limite fisico all'approfondimento del sistema carsico costituito da un substrato di rocce non carsificabili, oppure di barriere idrogeologiche laterali particolarmente resistenti (acquiferi tamponati), l'abbassamento del livello di base si ripercuote con un abbassamento graduale della superficie piezometrica. Ciò avviene in seguito alla formazione e al progressivo ampliamento di una nuova rete di condotti carsici a quota inferiore rispetto alla rete precedente, la quale viene progressivamente disattivata partendo dalle zone più prossime alla sorgente verso l'interno del sistema. Il processo di disattivazione del vecchio reticolo a favore del nuovo procede a scatti e lascia dietro di sé porzioni disattivate sempre più vaste del vecchio reticolo. Tale processo è influenzato dalla

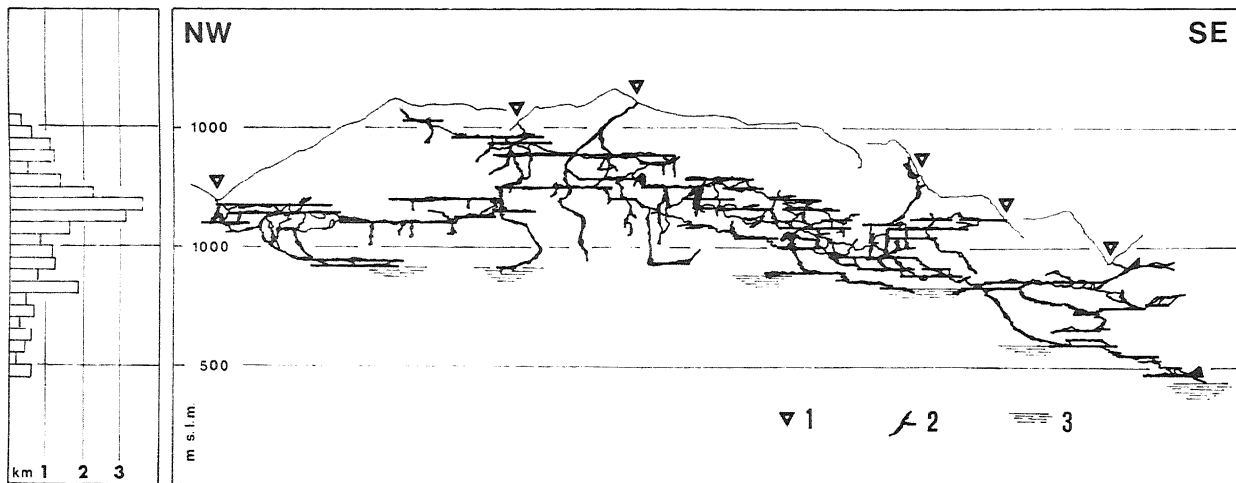


Fig. 1 - Sezione schematica del Complesso Carsico del Monte Corchia (Alpi Apuane). 1) Ingressi principali, 2) Condotti carsici, 3) Superficie piezometrica attuale. Il grafico a barre a sinistra mostra la distribuzione altimetrica delle condotte freatiche e epifreatiche (da Piccini, 1991, modificato)

Schematic section of the Monte Corchia Karst Complex. 1) Main entrances, 2) Karst conduits, 3) Present piezometric level. The bar-graph on the left shows the vertical distribution of phreatic or epiphreatic tubes (from Piccini, 1991, modified).

velocità di abbassamento del livello di base e dalle modificazioni nel gradiente idraulico che da tale abbassamento derivano.

Analogamente a quanto avviene per un corso d'acqua superficiale, anche un torrente sotterraneo tende, in condizioni di stabilità del livello di base, a raggiungere un suo profilo di equilibrio che ha, al limite, una configurazione ad angolo retto costituita da un tratto verticale, ideale prosecuzione della linea di caduta delle precipitazioni, e un tratto quasi orizzontale a quota vicina a quella del livello di base. Poiché un sistema carsico si evolve, in condizioni di equilibrio, sviluppando una rete di condotti di drenaggio in corrispondenza della superficie piezometrica, cioè a quote vicine o poco superiori a quella della sorgente che ne rappresenta il recapito idrologico (Ford & Ewers, 1978), ne segue che le variazioni nel tasso di sollevamento si ripercuotono nella struttura del sistema carsico come differente sviluppo di condotti carsici alle diverse quote (Palmer 1984; 1987). In altre parole, in presenza di variazioni significative nel tasso di abbassamento del livello di base, un sistema carsico sotterraneo si svilupperà formando livelli di gallerie freatiche correlabili a fasi con livello di base stabile o in lento abbassamento; nelle fasi di veloce abbassamento del livello di base, viceversa, si realizza un "salto" di livello, senza sviluppo di piani freatici importanti.

L'analisi statistica della distribuzione altimetrica dei condotti carsici di un sistema carsico per buona parte noto, cioè di un complesso molto sviluppato di grotte percorribili, mette in evidenza l'esistenza di "livelli carsici" relativi a fasi di maggior maturità del sistema, i quali, in assenza di un controllo lito-strutturale, possono essere messi in relazione con fasi di minor velocità di sollevamento.

Esempi di questo tipo sono abbastanza frequenti, ma nel complesso poco studiati e certamente sottovalutati nelle loro implicazioni per la ricostruzione delle fasi di esumazione e sollevamento dei massicci montuosi. Oltre alla zona delle Alpi Apuane, in Italia alcuni tra i casi

meglio conosciuti sono relativi a sistemi carsici delle Alpi Liguri (Eusebio & Vigna, 1992), delle prealpi lombarde (Bini *et al.*, 1993) e di alcuni massicci carsici campani (Santangelo & Santo, 1991).

Nelle Alpi Apuane l'esempio più rappresentativo riguarda l'evoluzione del Complesso Carsico del M. Corchia (Piccini, 1991; 1994), ove l'analisi della distribuzione altimetrica dei sistemi di condotte paleofreatiche ha messo in evidenza l'esistenza di fasce di quota in cui si hanno grossi sviluppi di condotte, spesso con caratteristiche morfologiche tali da richiedere flussi idrici che implicano condizioni morfologiche esterne e/o climatiche ben diverse dalle attuali (Fig. 1). Inoltre i livelli presenti possono essere messi in relazione con paleosuperfici a bassa pendenza di importanza locale o regionale, generalmente interpretate come superfici residue di un assetto morfologico a basso gradiente evolutosi durante fasi di stabilità tettonica (Bartolini, 1980).

3. EFFETTO DIRETTO DELLE FAGLIE ATTIVE

Fenomeni di neotettonica a scala locale possono interagire direttamente con sistemi carsici ipogei in evoluzione. Sono abbastanza frequenti casi in cui, per effetto dei movimenti neotettonici, settori o interi sistemi carsici hanno perso l'apporto idrico dalle loro aree di alimentazione. Ciò succede soprattutto quando l'alimentazione del sistema è di tipo allogenico, cioè proveniente da un bacino superficiale in rocce non carsificabili. Se l'interruzione della alimentazione è abbastanza rapida si trovano morfologie sotterranee rimaste "congelate" allo stadio giovanile freatico, senza tracce di una loro rielaborazione per circolazione a pelo libero.

Nelle Alpi Apuane questa situazione è abbastanza frequente, ma in molti casi l'interruzione nella alimentazione sembra essere il risultato di fenomeni di cattura superficiale o sotterranea non necessariamente o direttamente legati al movimento di faglie. Nel caso del Com-

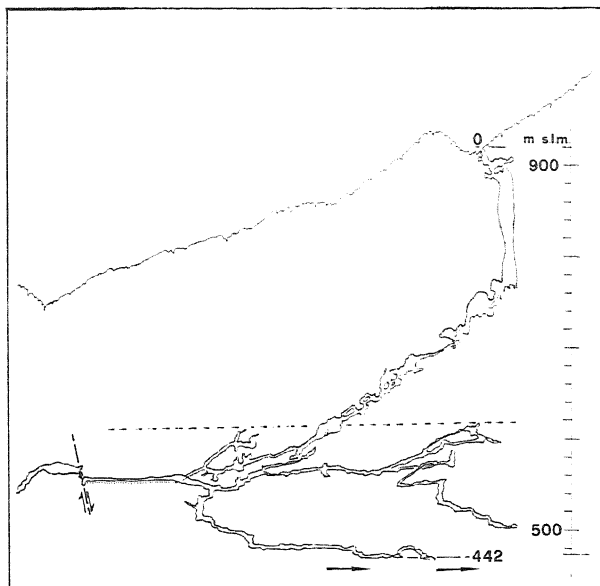


Fig. 2 - Sezione della Bu-ca di Foce Luccica (M. Sagro, Alpi Apuane): nel settore sinistro delle gallerie freatiche di q. -350 si nota l'effetto di una faglia a componente verticale che ha agito quando la galleria era ancora attiva. La linea tratteggiata indica la probabile altezza della superficie piezometrica durante l'attivazione della faglia; le frecce indicano la direzione attuale del flusso idrico.

Longitudinal section of Buca di Foce Luccica (M. Sagro, Alpi Apuane): on the left of the el. -350 phreatic tube, the effect of a dip-slip fault can be seen. The dashed line shows the probable position of water table before the fault movement; the arrows indicate the present water flow.

plesso del M. Corchia, si è probabilmente verificata una situazione del genere in cui, per effetto del sollevamento, l'originale area di alimentazione allogena è stata catturata per erosione di testata da bacini contigui con drenaggio perpendicolare rispetto a quello di alimentazione del sistema carsico (Piccini, 1994).

Faglie, sia a componente verticale che orizzontale, che interessano massicci carsificati possono arrivare a dislocare settori di un complesso carsico, suddividendo un sistema un tempo unico in sistemi idrogeologici diversi. Le superfici di faglia possono cioè diventare spartiacque sotterranei che ridistribuiscono le acque sotterranee in maniera diversa rispetto all'assetto originale; in questo modo possono formarsi anche sistemi sospesi rispetto al livello di base generale.

La riorganizzazione delle reti di drenaggio che si verifica in seguito a questi fenomeni si può manifestare con diffluenze, diversioni, inversioni nella direzione di flusso, ecc., in modo del tutto analogo a quanto si verifica sui reticoli fluviali di superficie. Per gli stessi fenomeni si può osservare il ritorno a condizioni "freatiche", cioè con circolazione a pieno carico, di condotti che erano già interessati da circolazione a pelo libero o addirittura già abbandonati dal flusso attivo.

L'effetto di faglie attive che agiscono su sistemi carsici in evoluzione può essere studiato solo attraverso l'analisi morfo-evolutiva dei condotti sotterranei, riconoscendo nel dettaglio le diverse fasi di ampliamento e approfondimento e le condizioni idrodinamiche (freatiche

o vadose) in cui esse si sono verificate. Altrettanto utile può essere lo studio stratigrafico dei riempimenti alluvionali, in cui sono spesso riconoscibili orizzonti con clasti a spigoli vivi e frammenti di concrezioni legati a fasi con tettonica particolarmente attiva.

Situazioni di questo tipo sono ipotizzate, ma poco studiate, in molti sistemi carsici italiani. Ben documentati sono i casi di alcuni sistemi carsici dell'Appennino centro meridionale (Bellucci *et al.*, 1983; 1987), ove la intensa tettonica pleistocenica ha dislocato una "paleosuperficie" mio-pliocenica e i sistemi carsici sotterranei ad essa connessi che adesso si ritrovano come segmenti troncati di condotte suborizzontali a quote elevate sull'attuale livello di base.

Nelle Alpi Apuane, in cui non sono presenti faglie significative nelle zone maggiormente carsificate, si può citare il caso della Buca di Foce Luccica (Fig. 2), sulle pendici del M. Sagro, ove in seguito al movimento di una faglia che ha dislocato un antico collettore sotterraneo, si è avuto il riempimento quasi completo di sabbie fini e limo del tratto della galleria a monte della faglia. L'innalzamento della piezometrica che ne è seguito ha probabilmente spinto il sistema a cercarsi una altra via di deflusso verso oriente, dando origine ai rami discendenti a quota inferiore che hanno verso opposto a quelli superiori alla quota della galleria dislocata (vedi figura).

4. DISLOCAZIONE DI CONDOTTI CARSICI

Evidenze di movimenti di dislocazione recenti o tuttora attivi sono visibili in molti condotti sotterranei delle Alpi Apuane. In qualche caso si tratta di vere e proprie superfici di faglia, ma nella maggior parte dei casi si tratta di movimenti che si realizzano lungo superfici preesistenti (superfici di strato o fratture) in seguito a fenomeni di deformazione gravitativa, e quindi non di neotettonica in senso stretto.

L'assestamento gravitativo di un rilievo montuoso sotto il suo stesso peso si realizza, infatti, attraverso piccoli scorrimenti lungo superfici preesistenti (stratificazione e *joints*) o di neoformazione, ed è particolarmente intenso nelle parti inferiori dei rilievi con versanti ripidi. Nei sistemi carsici tali movimenti sono spesso ben osservabili e sono una delle cause principali dei crolli sotterranei. In qualche caso tali evidenze di movimento simulano una tettonica compressiva, ciò succede in particolare nelle zone prossime ai versanti, e quindi soggette a spinte di taglio a forte componente orizzontale. Esempi di questo tipo sono frequenti in molte cavità presenti ai piedi dei principali massicci carsici apuani (Fig. 3).

5. CONCLUSIONI

L'analisi geomorfologica dei sistemi carsici sotterranei delle Alpi Apuane, sia del loro assetto generale, che delle forme di erosione e di riempimento presenti nei condotti sotterranei, può portare alla ricostruzione e alla datazione accurata degli eventi di neotettonica che si sono succeduti durante l'evoluzione del sistema. Riguardo



Fig. 3 - Dislocamento lungo una superficie di strato di una galleria freatica in una grotta delle Alpi Apuane. Il movimento, di circa 20 cm, è l'effetto di fenomeni di assestamento gravitativo in prossimità di un ripido versante.

Displacement of a bedding surface in a phreatic tube in a cave of Alpi Apuane. The about 20 cm movement is the result of a gravitative adjustment by slope tectonics.

all'assetto generale di un sistema, le maggior difficoltà risiedono nel saper riconoscere gli effetti di altri fattori di controllo, in particolare quelli lito-strutturali. Per lo studio delle forme di erosione è importante saper riconoscere il regime idrico in cui si sono formate; per questo possono essere di aiuto metodologie di analisi morfometrica che permettono di ricostruire il verso e l'entità approssimative dei flussi idrici. Lo studio dei riempimenti, infine, può essere appoggiato a varie procedure analitiche che permettono la datazione dei riempimenti; in particolare le tecniche radiometriche di datazione con l'U/Th, utilizzabili per le concrezioni calcitiche.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. Ugo Sauro per la rilettura critica del manoscritto e gli utili suggerimenti.

BIBLIOGRAFIA

- Bartolini C., 1980 - *Su alcune superfici sommitali dell'Appennino Settentrionale (prov. di Lucca e Pistoia)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **3**, 42-60.
- Bellucci F., Brancaccio L., Celico P., Cinque A., Giulivo I., Santo A. & Tescione M., 1983 - *Evoluzione geomorfologica, carsismo e idrogeologia della grotta del Caliendo (Campania)*. Le Grotte d'Italia, ser. 4, **11**, 371-385.
- Bellucci F., Crescenzi E., Galluccio F., Giulivo I., Pelella L., Santangelo N. & Santo A., 1987 - *Evoluzione geomorfologica e carsismo della "Grotta di Candraloni": Monte Terminio (M.ti Picentini, Campania)*. Le Grotte d'Italia, ser. 4, **15**, 121-143.
- Bini A., Rigamonti I. & Uggeri A., 1993 - *Evidenze di tettonica recente nell'area Monte Campo dei Fiori - Lago di Varese*. Il Quaternario, **6**(1), 3-14.
- Eusebio A. & Vigna B., 1992 - *Il fenomeno carsico nel Piemonte meridionale: evoluzione e conoscenze*.

Proc. Int. Congr. "Alpine Caves: Alpine Karst Systems and their Environmental Context", Asiago (VI), 193-202.

Ford D. C. & Ewers R.O., 1978 - *The development of limestone cave systems in the dimension of length and depth*. Int. J. Speleol., **10**, 213-244.

Palmer A.N., 1984 - *Geomorphic interpretation of caves features*. In: LaFleur R.G. (ed.), "Groundwater as a geomorphic agent". Allen & Unwin, Boston, 173-209.

Palmer A.N., 1987 - *Cave levels and their interpretation*. The NSS Bull., **49**, 50-66.

Piccini L., 1991 - *Ipotesi sulla evoluzione del Complesso Carsico del M. Corchia (Alpi Apuane)*. Atti V° Congr. Fed. Spel. Tosc., Stazzema (Lucca), 59-82.

Piccini L., 1994 - *Caratteri morfologici ed evoluzione dei fenomeni carsici profondi nelle Alpi Apuane*. Natura Bresciana, **30**, 45-85.

Santangelo N. & Santo A., 1991 - *Endokarstic evolution of carbonatics massifs in Campania (southern Italy): geological and geomorphological implications*. Proc. Int. Conf. on Environmental Changes in Karst Areas, Quad. Dip. Geogr. Padova, **13**, 83-93.

*Ms. ricevuto il: 17. 4. 1997
Inviato all'A. per la revisione il: 23. 9. 1997
Testo definitivo ricevuto il: 28. 11. 1997*

*Ms received: Apr. 17, 1997
Sent to the A. for a revision: Sept. 23, 1997
Final text received: Nov. 28, 1997*