

Il geo-ecosistema carsico

Benedetta CASTIGLIONI

Dipartimento di Geografia, Università di Padova, Via del Santo 26, I-35123 Padova
E-mail: etta.castiglioni@unipd.it

RIASSUNTO - *Il geo-ecosistema carsico* - Con il presente contributo vengono presentate sinteticamente le caratteristiche principali degli ambienti carsici, soprattutto per la loro importanza quali archivi di dati paleoambientali. Il concetto di geo-ecosistema è utilizzato per illustrare la complessità dell'ambiente carsico, in cui si riconoscono diverse componenti che interagiscono tra loro. Tra i processi che si instaurano dalle relazioni tra componenti, il principale è quello della soluzione-deposizione del carbonato di calcio; ma, accanto a questo e in relazione con questo, altri processi, che coinvolgono anche l'ambiente biotico e che sono spesso modificati dalla presenza dell'uomo, sono importanti per comprendere le dinamiche del sistema.

SUMMARY - *Karst geo-ecosystem* - In this paper the main features of karst environment are synthetically presented, as it is very important as an archive of paleo-environmental data. The concept of "geo-ecosystem" is used to show the complexity of karst environment, in which many components are reciprocally interacting. Among the processes that arise from these interactions, the solution-deposition of calcium carbonate is the most important; but other processes, mostly connected to the first one, are very important, too, in order to understand the karst system dynamics. They involve biotic environment as well as human presence, that often modifies the dynamics themselves.

Parole chiave: geo-ecosistema, archivi, processo carsico, impatto umano
Key words: geo-ecosystem, archive, karst process, human impact

1. GLI AMBIENTI CARSICI COME ARCHIVI

Gli ambienti carsici sono comunemente conosciuti in modo assai superficiale, per lo più in relazione ad eccezionali cavità esplorabili dall'uomo o a particolari ritrovamenti (archeologici o paleontologici) avvenuti nelle cavità stesse; solo raramente (nel caso del Carso classico, ad esempio) si riconosce il carattere di ambiente carsico in zone collinari e montuose, carattere comunemente associato a un'idea di aridità, di rocciosità diffusa, di contesto spesso ostile.

La diffusione di una maggiore conoscenza di questi ambienti può diventare un obiettivo prioritario per chi si occupa delle politiche di sviluppo e di salvaguardia del territorio. Il principale motivo sta nella necessità di basare la pianificazione e la progettazione sulla consapevolezza delle loro tipicità e del fatto che la relazione tra ciò che avviene sulla superficie dell'unità morfologica è strettamente connesso a ciò che vi avviene in profondità.

Un'attenta azione di salvaguardia di questi ambienti si rende necessaria per tutelarne l'immenso patrimonio ambientale. È una questione di protezione di specie vegetali e animali e delle loro associazio-

ni negli ecosistemi particolarissimi tipici che qui si incontrano. È una questione di tutela del paesaggio, con le sue forme tipiche e con le speciali relazioni tra uomo e ambiente che vi si sono instaurate nel corso della storia. È, infine, una questione di tutela e di maggiore conoscenza del valore degli ambienti carsici come archivi, potenzialmente ricchissimi di informazioni sul passato (Sauro 2000).

Nelle cavità carsiche sotterranee e nei depositi di riempimento delle fessure di origine carsica si possono infatti ritrovare "fonti" di archivio (Antonoli *et al.* 2003) appartenenti a diverse categorie:

- "fonti" paleontologiche: i resti degli animali che nel passato hanno trovato rifugio nella grotta stessa;
- "fonti" archeologiche: forniscono importanti informazioni riguardo alle diverse fasi della presenza dell'uomo (dalla preistoria ai tempi recenti) nella zona;
- "fonti" di tipo sedimentario: i depositi clastici presenti in grotta permettono di ricostruire le principali fasi morfogenetiche del rilievo e di associare ad esse la ricostruzione del paleoambiente;

- “fonti” di tipo chimico: le concrezioni carbonatiche che si depositano nelle grotte registrano con grande dettaglio le condizioni ambientali (e, in particolare, climatiche) del momento stesso in cui si formano. Il progetto di ricerca i cui risultati sono presentati in questo volume utilizza appunto i dati ricavati dalle concrezioni di grotta per ricostruire i climi del passato, con dettaglio e precisione che raramente si raggiungono con altri strumenti di indagine paleoambientale.

Rispetto agli altri ambienti, le grotte sono luoghi in cui ciò che vi si forma o che vi viene depositato ha un’alta probabilità di conservarsi per periodi anche di migliaia o milioni di anni, senza che eventi esterni intervengano a disturbare; molte grotte, in particolare quelle non più interessate da eventi di piena torrentizia, sono, cioè, archivi molto sicuri, in cui le registrazioni degli eventi passati si mantengono a lungo e inalterate. Le grotte, pertanto, possono essere considerate come ambienti molto “conservativi”, al riparo, ad esempio, dai mutamenti continui degli ambienti fluviali o glaciali, nei quali le tracce degli eventi precedenti sono molto spesso cancellate o fortemente modificate.

Le ricostruzioni paleoambientali basate su questi archivi richiedono però adeguati strumenti di lettura e di interpretazione delle “fonti”: da un lato, infatti, sono necessarie strumentazioni e percorsi analitici (illustrati, nel caso delle ricostruzioni da speleotemi, nei prossimi contributi all’interno di questo stesso volume) per ricavare il dato sulle condizioni paleoambientali, dall’altro è necessaria una corretta contestualizzazione del dato stesso, entro il complesso dei processi che lo strutturano.

A tal fine è utile presentare le principali caratteristiche dell’ambiente carsico utilizzando il concetto di geo-ecosistema (Sauro 1999).

2. IL GEO-ECOSISTEMA CARSICO

2.1. Il concetto di geo-ecosistema

In termini generali, per geo-ecosistema (Fig. 1) si intende un “sistema spaziale complesso, nel quale è possibile riconoscere cinque componenti fondamentali (litosfera, atmosfera, idrosfera, biosfera e antroposfera), ciascuna caratterizzata da elementi e processi specifici, ma continuamente interagenti nel determinare sia la struttura che la dinamica del geosistema nel suo insieme. Si può quindi affermare che il geo-ecosistema si origina proprio dalle relazioni reciproche che si stabiliscono tra queste sfere dinamiche, e che determinano i flussi di materia e di energia che circolano nel sistema stesso” (Castiglioni & Sauro 2002).

Tale concetto risulta di particolare utilità quando lo si applica agli ambienti carsici. A differenza dei bacini

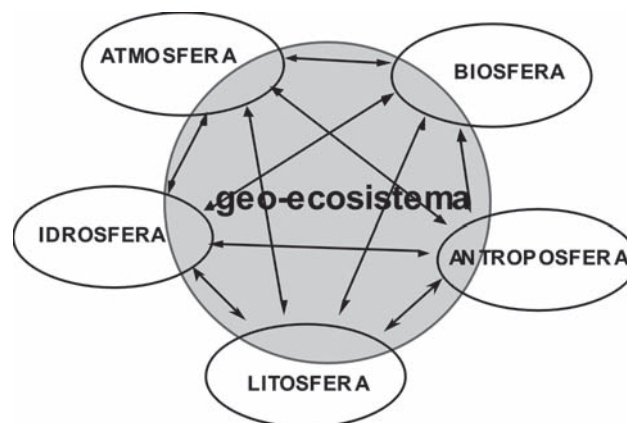


Fig. 1 - Il geo-ecosistema e le sue componenti.

Fig. 1 - The geo-ecosystem and its components.

idrografici o di altre tipologie di unità geografiche caratterizzate da prevalenti dinamiche di tipo superficiale, per lo studio delle unità strutturali morfocarsiche, infatti, va tenuta presente la loro struttura, distinta in due porzioni: una subaerea e una sotterranea. Devono cioè venire prese in esame sia la porzione superficiale che quella ipogea, percepibile solo indirettamente da chi si trova in superficie e di frequente poco accessibile.

Le strette relazioni strutturali e soprattutto funzionali che caratterizzano le diverse porzioni dell’unità, sebbene spesso distanti tra loro e/o separate da zone non direttamente conosciute o conoscibili dell’unità stessa, sono ben rappresentate da analisi e rappresentazioni di tipo sistemico.

Si usa pertanto il termine di geo-ecosistema carsico per indicare un’unità orografica costituita prevalentemente da rocce carbonatiche o da altre rocce solubili (es. gesso), nella quale i principali agenti di modellamento del rilievo sono rappresentati dai processi carsici di dissoluzione.

2.2. Le componenti del geo-ecosistema

Nel caso del geo-ecosistema carsico la componente denominata “litosfera” è costituita dalla roccia calcarea o da altre rocce comunque solubili. Il substrato roccioso determina in maniera rilevante le caratteristiche del geo-ecosistema nel suo insieme. In primo luogo la composizione e la struttura mineralogica e petrografica condizionano il modo con cui la roccia stessa interagisce con le altre componenti del geo-ecosistema (in particolare con l’atmosfera e l’idrosfera) nei processi di dissoluzione e di disfacimento meteorico. La struttura geologica dell’unità morfocarsica condiziona invece la struttura stessa del geo-ecosistema, sia nella sua porzione superficiale che in quella profonda. La reciproca distribuzione degli strati di rocce sedimentarie, diversamente soggette ai processi erosivi, la loro giacitura, la presenza di faglie e fratture e le direzioni tettoniche

preferenziali nella geologia locale e regionale sono alcuni tra i principali fattori da cui derivano le forme di ciascun paesaggio carsico, sia nella sua porzione superficiale che in quella sotterranea.

L'idrosfera svolge un ruolo fondamentale nel geosistema carsico: l'acqua (presente anche nella fase aeriforme e, a volte, solida) è prima di tutto direttamente coinvolta nei processi chimici che caratterizzano il sistema, e, più in generale, funge da nastro trasportatore all'interno dello stesso, mettendone in comunicazione le diverse parti e portando in soluzione numerosi sali minerali e ioni. Il flusso dell'acqua, che dai punti di input (alla superficie esterna dell'unità carsica) giunge fino ai principali output (le sorgenti) in tempi variabili, spesso piuttosto rapidi, è in grado di registrare le dinamiche e gli eventi cui è soggetto al presente il sistema stesso: in particolare, la quantità e la qualità dell'acqua delle sorgenti rispondono alla situazione climatica e meteorologica e all'eventuale immissione naturale o artificiale nel sistema di sostanze generalmente non presenti.

Per quanto riguarda l'atmosfera, va rilevato innanzitutto che le condizioni climatiche (temperatura, precipitazioni, umidità) influenzano in maniera fondamentale i processi che avvengono nel sistema. Inoltre, si può osservare che le condizioni della componente aeriforme si differenziano tra la superficie esterna, il suolo e l'ambiente di grotta; in quest'ultimo caso le condizioni sono più costanti nel corso dell'anno, meno sensibili alle variazioni stagionali, ma alcuni fattori locali possono essere determinanti per i processi stessi, come ad esempio le correnti d'aria.

Nel caso della componente biotica del sistema, gli ambienti epigei e quelli ipogei si diversificano completamente. In superficie si ritrovano associazioni vegetali e animali che, in relazione alle condizioni climatiche locali, sviluppano adattamenti particolari al substrato calcareo o alle differenze microclimatiche caratteristiche, ad esempio, delle doline. I microrganismi svolgono ruoli attivi nelle dinamiche del sistema, sia nel suolo sia, in alcuni casi, direttamente sugli affioramenti di roccia nuda. Gli organismi che vivono negli ambienti ipogei (oggetto di studio della biospeleologia), invece, hanno sviluppato degli adattamenti molto particolari, soprattutto a causa della mancanza di luce; caratteristico è il Proteo (*Proteus anguinus*), un anfibio neotenoico, cieco e depigmentato, presente nelle grotte del Carso.

Le interazioni tra l'uomo e il sistema carsico sono frequentissime ed evidenti nella porzione superficiale della maggior parte delle unità morfocarsiche (le unità che forse ne sono meno influenzate sono quelle di alta montagna). Va però tenuto presente lo stretto legame che, come già osservato, pone in relazione gli ambienti epi- ed ipogeo: l'attività antropica si fa perciò sentire indirettamente anche nei processi che avvengono all'interno delle grotte.

2.3. Le dinamiche nel geo-ecosistema carsico

Le diverse componenti del sistema interagiscono tra loro soprattutto in corrispondenza delle reciproche interfacce.

L'interfaccia più importante è quella tra la litosfera, l'atmosfera e l'idrosfera, sede del processo di soluzione chimica della roccia (carbonati o altre rocce solubili) da parte dell'acqua acidulata dall'anidride carbonica presente nell'atmosfera o nel suolo. È un processo che comporta lo scambio tra le diverse fasi della materia, con il passaggio in soluzione (come ioni) del carbonato di calcio.

La stessa interfaccia, in condizioni differenti, è luogo anche del processo inverso, ossia della precipitazione dei sali carbonatici disciolti nell'acqua, che avviene quando, mutando le condizioni ambientali, la soluzione viene ad essere soprassatura. La precipitazione porta alla formazione delle concrezioni di grotta, se si verifica in ambiente ipogeo, o di travertino, quando avviene in corrispondenza di sorgenti o di corsi d'acqua superficiali.

Se si considera, invece, l'interfaccia litosfera-atmosfera, il processo principale che vi si sviluppa è quello della degradazione clastica, che frattura e disgrega la roccia in conseguenza delle tensioni che si creano al variare delle temperature; quando interviene anche l'acqua e le temperature oscillano intorno agli 0 °C, il fenomeno, che prende il nome di crioclastismo, è più intenso, perché l'acqua che penetra in pori e fessure aumenta di volume quando si trasforma in ghiaccio. Questi processi sono importanti soprattutto per la porzione superficiale del geosistema carsico, più sensibile alle variazioni di temperatura diurne e stagionali; essi sono di frequente responsabili dell'aspetto dei paesaggi carsici di superficie, che possono presentare forme più aspre o più dolci in relazione ai modi in cui i diversi tipi di roccia calcarea reagiscono a questi fenomeni erosivi.

Ancora, l'interfaccia litosfera-idrosfera è sede dei processi di erosione meccanica della roccia e di trasporto e deposito di sedimenti da parte dell'acqua di scorrimento. Lo scorrimento, nei sistemi carsici, avviene solo in piccola parte in superficie, ma può diventare consistente nelle grotte, quando piccoli flussi provenienti da porzioni diverse del sistema si riuniscono a formare veri e propri corsi d'acqua sotterranei.

I processi che avvengono sulle interfacce permettono di identificare dei flussi che attraversano il sistema. Il principale è quello dell'acqua (Fig. 2), che, come si è detto, è in parte collegato con quello dei sali minerali, nei loro passaggi tra la fase solida e quella liquida e viceversa, e con quello dei sedimenti eventualmente trasportati e depositati dall'acqua stessa. L'acqua entra nel sistema con le precipitazioni o con afflussi superficiali provenienti da aree non carsiche; in parte (o per brevi tratti) può scorrere in superficie,

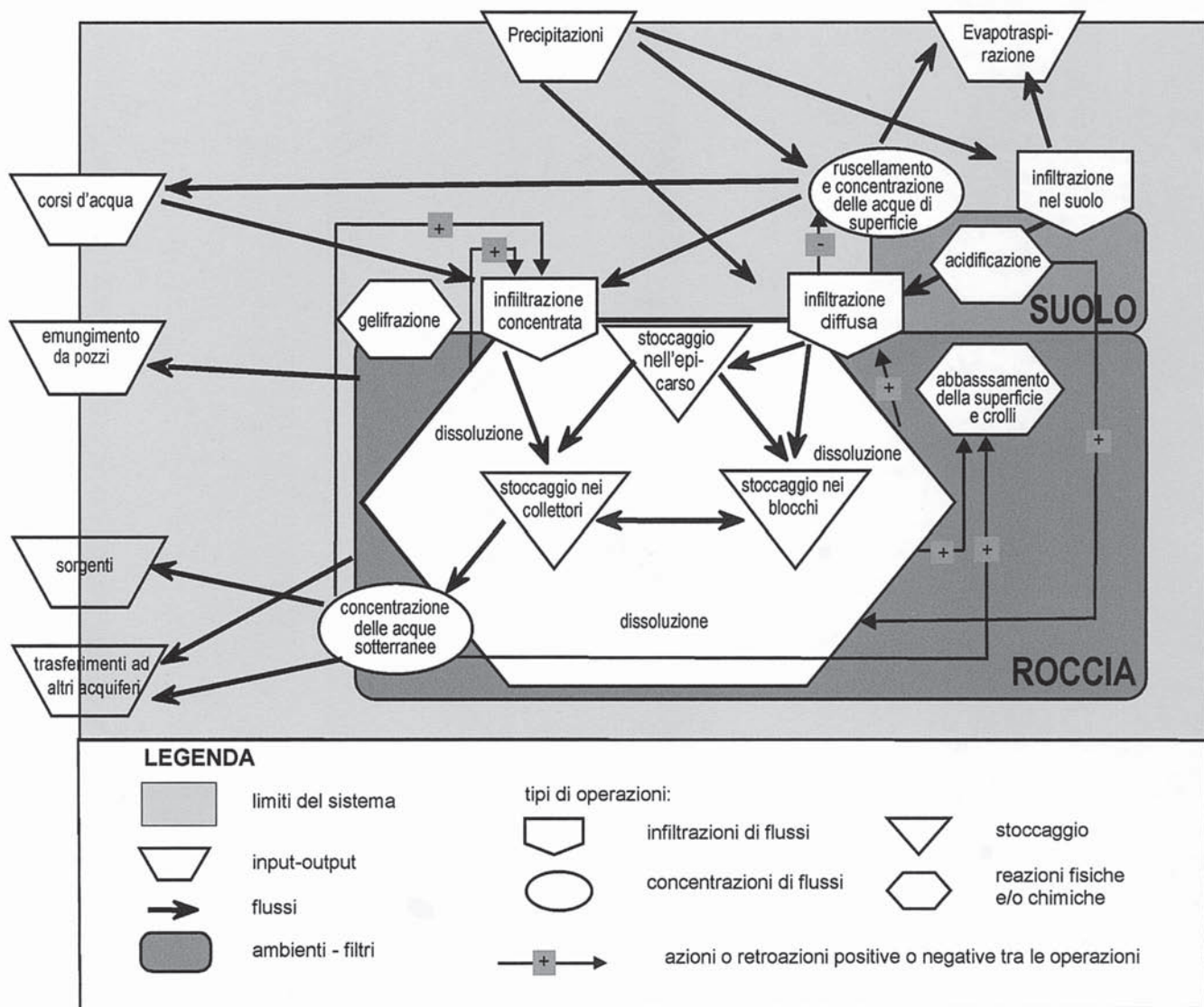


Fig. 2 - Processi e flussi nel geo-ecosistema carsico.
 Fig. 2 - Processes and flows in the karst geo-ecosystem.

mentre la maggior parte penetra negli strati di suolo e nel substrato roccioso. I percorsi che segue nella porzione ipogea sono vari: da molto lenti, entro piccole fessure, a più rapidi, come deflusso concentrato e incanalato entro ampie gallerie sotterranee; parte dell'acqua poi può venire immagazzinata entro fessure o nelle parti più profonde del sistema; l'acqua fuoriesce dal sistema carsico tipicamente nei punti in cui i vuoti sotterranei intercettano la superficie topografica (sorgenti), ma può anche venire estratta artificialmente attraverso dei pozzi.

Il flusso dell'acqua mette quindi in relazione le diverse parti del sistema con distanze temporali brevi. Il flusso di materia che vi è associato ha invece tempi diversi: infatti, i sedimenti o i sali trasportati, quando vengono depositati come depositi clastici oppure formano le concrezioni, possono permanere stabili per tempi molto lunghi e interrompere la continuità

di parte del flusso di materia; i sali, in particolare, vengono rimaneggiati solo se e quando nel sistema si verifica qualche evento eccezionale.

Un'interfaccia complessa è rappresentata dal suolo, espressione della relazione dinamica tra tutte le componenti del geosistema (Fig 3). Il suolo degli ambienti carsici ha una componente minerale che comprende le porzioni non solubili del substrato calcareo, tra cui ossidi e idrossidi di ferro che gli conferiscono colore rossastro (viene infatti chiamato "terra rossa") ed eventuali altri materiali di provenienza esterna, quali sedimenti eolici o ceneri vulcaniche. Il suo spessore può essere notevole in caso di coperture di vegetazione forestale, mentre diventa esiguo fino ad essere quasi assente quando l'erosione dovuta alle acque dilavanti o percolanti non è contrastata dalla presenza continua di vegetazione. È per questo che molte aree carsiche in cui la presen-

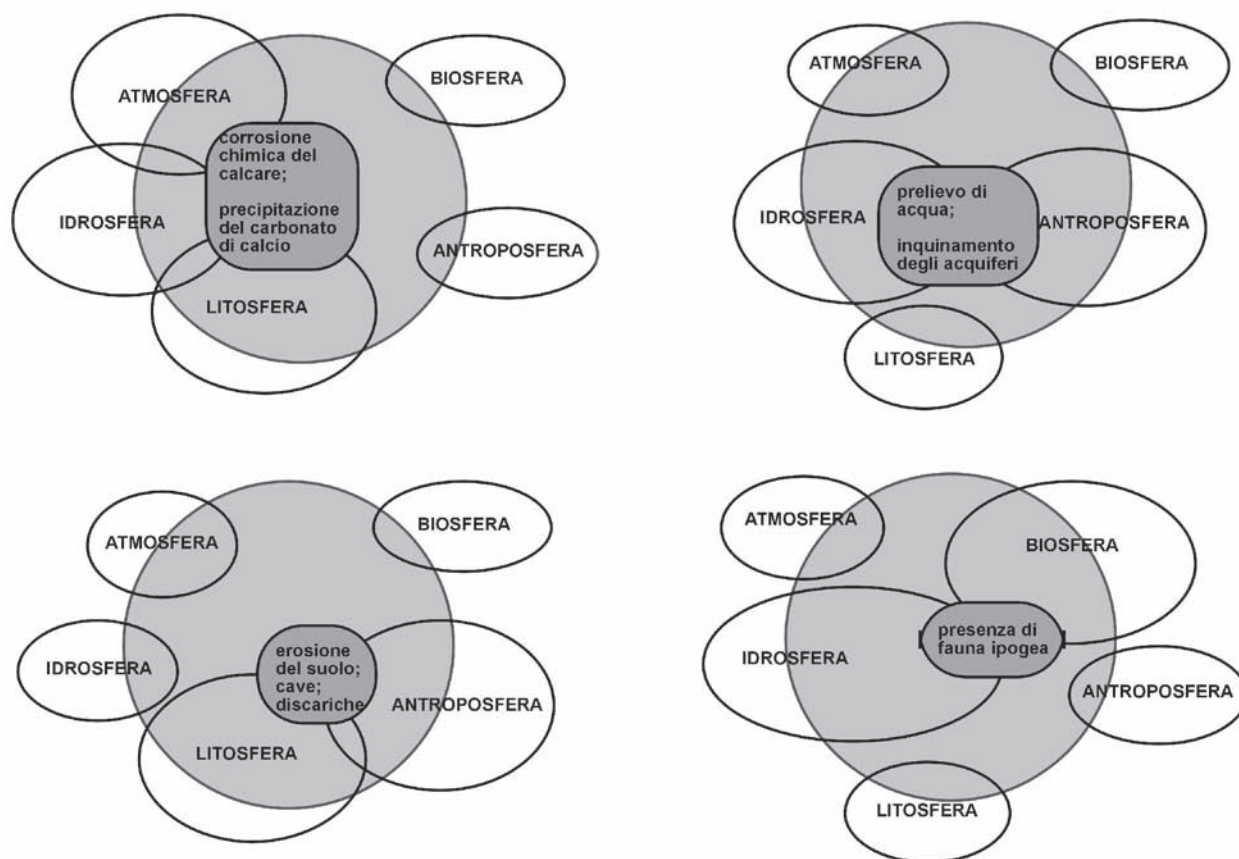


Fig. 3 - Alcuni esempi di dinamiche all'interfaccia tra le componenti nel geo-ecosistema carsico.

Fig. 3 - Some examples of the dynamics among the components in the karst geo-ecosystem.

za antropica è molto antica, con attività agricole o pastorali diffuse, sono oggi molto brulle, aride, con diffusi affioramenti rocciosi. La presenza di suolo influenza il sistema anche nella sua parte profonda, poiché l'acqua nell'attraversarlo può arricchirsi di sostanze tra cui, soprattutto, l'anidride carbonica dovuta all'attività biologica. I processi di soluzione/precipitazione del carbonato di calcio sono pertanto influenzati da quanto accade in superficie e dal tipo di copertura vegetale (Gams 1991).

Come si vede, dunque, anche l'antroposfera interagisce con le altre componenti, modificando processi e flussi. L'intero sistema risente di quanto avviene in superficie, a causa delle diverse attività dell'uomo. L'impatto può avere diversa origine: può essere cioè legato ad una modificazione della copertura vegetale, ma può anche dipendere dall'immissione di sostanze esterne (è il caso dei fertilizzanti e dei pesticidi usati in agricoltura, oppure dell'effetto delle discariche) o dal prelievo di componenti del sistema stesso (prelievo di roccia, nel caso di cave, o di acqua, con emungimenti da pozzi). Gli impatti recenti sono spesso molto intensi, ma va tenuto presente che la maggior parte delle deforestazioni degli

ambienti carsici circum-mediterranei sono avvenute lungo i secoli, a partire dalle epoche protostoriche. Oggi, piuttosto, si assiste a una modificazione dei processi nei sistemi carsici a causa della riforestazione spontanea conseguente all'abbandono delle pratiche agricole (Gams 1991).

3. CONCLUSIONI

Le dinamiche complesse di processi e di flussi che interessano il geo-ecosistema carsico in tutte le sue parti, come si è visto, sono influenzate dal contesto ambientale, nel quale oggi l'uomo può giocare un ruolo rilevante. Tali influenze riguardano però le parti che possiamo definire "attive" del sistema, mentre solo in alcuni rari casi intervengono a modificare depositi e concrezioni già formate, che, come abbiamo detto, fungono pertanto da registratori affidabili delle condizioni presenti al momento della deposizione. Le interferenze che possono disturbare o rovinare questi "archivi" sono possibili solo quando l'uomo penetra direttamente nell'ambiente ipogeo e rimuove i materiali lì conservati.

BIBLIOGRAFIA

- Antonioli F., Frisia S., Forti P. & Sauro U., 2003 - I depositi concrezionali di grotta: archivi dell'evoluzione paleoclimatica ed ambientale regionale dei geo-ecosistemi carsici. In: Biancotti A. & Motta M. (a cura di), *Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali*. Ministero Istruzione, Università, Ricerca. Programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale. Brigati, Genova: 31-55.
- Castiglioni B. & Sauro U., 2002 - Paesaggi e geosistemi carsici: proposte metodologiche per una didattica dell'ambiente. In: Zunica M. & Varotto M. (a cura di), *Scritti in ricordo di Giovanna Brunetta*. Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova: 51-67.
- Sauro U., 1999 - Analisi e modellizzazione dei geo-ecosistemi carsici: verso un approccio globale per la comprensione della dinamica e della vulnerabilità degli acquiferi carsici. *Quaderni di Geologia Applicata*: 1235-1242.
- Sauro U., 2000 - Le cavità carsiche come contenitori di materiali di interesse paleo-ambientale. *Atti Tavola Rotonda "Un importante sistema carsico dei Monti Lessini: I Covoli di Velo"*. Museo di Storia Naturale di Verona: 35-44.
- Gams I., 1991 - The origin of the term Karst in the time of transition of Karst (Kras) from deforestation to forestation. In: Sauro U., Bondesan A. & Meneghel M. (eds), *Proceedings of ICECKA, Quaderni del Dipartimento di Geografia*, 13: 1-8.