



Il fenomeno carsico: nuove possibilità di sviluppo

SILVANA MAGNI¹

¹ Via Nino Bixio, 22, 70024 Gravina in Puglia (Ba); magnisilvana@libero.it

Abstract

The karst phenomenon is strongly influenced by tectonic deformation of the area in which it is developed. This report has been repeatedly tested in various areas of our country, on which there are several studies that relate this phenomenon with fault zones, anticlines, synclines or joints. From these studies it was deduced that the karst is developed preferentially in areas where there is possibility of water flow (normal faults, joints, relaxing areas in systems folds). In this work, instead it is found that the phenomenon develops preferentially along tectonic structures defined and specific compression to reason that this compression produces widespread dissolution and then accordingly provides basic support because it triggers water circulation. In this report we present a well-done research and also proposals for new development.

Keywords

Karst, Deformation, Stylolite, Faults and Joints

Riassunto

Il fenomeno carsico è fortemente influenzato dalla deformazione tettonica dell'area in cui esso si sviluppa. Tale relazione è stata più volte verificata in varie aree del nostro Paese, sulle quali esistono diversi studi che relazionano tale fenomeno con zone di faglia, anticlinali, sinclinali. Da tali studi si è dedotto che il carsismo si sviluppa preferenzialmente in zone dove c'è possibilità di scorrimento idrico (faglie dirette, joints, zone in distensione nei sistemi a pieghe).

In tale lavoro invece si riscontra che il fenomeno si sviluppa preferenzialmente lungo definite e particolari strutture tettoniche di compressione a ragion del fatto che tale compressione produce dissoluzione diffusa e quindi conseguentemente fornisce il supporto di base perchè si innesci circolazione idrica. Viene presentata una ricerca svolta in merito a tale rapporto e nuove proposte di sviluppo.

Parole Chiave

Carsismo, deformazione, stiloliti, faglie e giunti

Introduzione

La speleogenesi è un fenomeno complicato in cui intervengono diversi fattori, predisponenti e non, che sono tutti strettamente interconnessi tra loro, sebbene si può ritenere che uno dei fattori principali per la diffusione del fenomeno carsico sia la presenza di una rete di fratture. Non lungo tutte le fratture, però, si ha carsismo perché affinché questo si sviluppi è necessario che lungo tali discontinuità ci sia stato un movimento relativo, seppur piccolo, di una parte rispetto all'altra (Piccini, 2000) che faciliti la circolazione idrica. Ma questa condizione non è sufficiente a far ritenere tali discontinuità meccaniche vie preferenziali per la penetrazione di acqua nel sottosuolo. Ad esempio, nel caso delle faglie, la cataclasi fornisce soltanto nelle fasi iniziali la porosità sufficiente (Piccini, 1999) per la circolazione di acque, visto che il carbonato di calcio, che le stesse acque depositano, tende a cementare ed a riempire i vuoti.

Inoltre tra le discontinuità meccaniche risulta che quelle dovute ad estensione, tipo diaclasi e joints, sono più soggette al processo dissolutivo (Piccini, 1999).

Se diversi studi (F. Cucchi, A. Bini, F. Ferrarese, F. Forti, P. Forti, M. Menichetti, L. Piccini, U. Sauro, P. Tognini, S. Tosti, B. Vigna, M. Meneghel) sono stati condotti in varie aree carsiche italiane sulle relazioni tra strutture geologiche (faglie, pieghe e joints) e carsismo che hanno tutti portato alla conclusione che esiste un forte e ben evidente legame tra di essi, quasi assenti o poco considerati sono gli studi inerenti, alla scala dell'affioramento, dell'effettiva suscettibilità delle discontinuità meccaniche alla diffusione del fenomeno carsico, ritenendo ormai appurato che tale processo si sviluppi preferenzialmente lungo discontinuità a carattere distensivo (joints, diaclasi, faglie dirette, ecc.).

Anche in Puglia, ed in particolare nelle aree dove tale studio si concentra, si ricava da dati bibliografici che è

stata accertata la relazione tra sistemi di faglia, piegamenti minori e sviluppo del fenomeno carsico (M. Parise, U. Sauro, F. & T. Zezza) ritenendo appunto che tale processo sia controllato dai principali sistemi di faglie ad andamento NW-SE o NE-SW e subordinatamente E-W, mentre non sono stati condotti studi di dettaglio inerente il legame tra la natura della discontinuità alla mesoscala e la sua influenza sullo sviluppo del processo in esame. In un solo lavoro condotto in tal senso, (F. & T. Zezza, 1999) si sostiene che se le faglie controllano lo sviluppo delle principali strutture morfo-tettoniche della regione (polje e doline), lungo i giunti e le fratture si impostano i principali sistemi carsici regionali.

Nel presente lavoro di ricerca invece, condotto esclusivamente alla scala dell'affioramento, partendo dall'idea che mira a verificare che non tutte le strutture tettoniche sono suscettibili di carsismo e che non necessariamente lo sono quelle a carattere distensivo, si è voluta accertare la natura delle discontinuità meccaniche lungo cui si hanno evidenze carsiche, e quindi anche la loro natura, distensiva e/o compressiva. Alla fine si è dimostrato come strutture tettoniche deformative legate a processi compressivi, come le stiloliti, possano addirittura essere il luogo preferenziale di sviluppo del fenomeno carsico a discapito di strutture deformative distensive, come le faglie o i joints; lungo questi ultimi, sebbene tale processo non possa essere escluso, nella zona studiata, non si è quasi mai osservato carsismo.

Caratteri geologici

L'area di studio oggetto del presente lavoro si trova nella parte centrale dell'Avampaese Apulo, le Murge (Fig.1).

In quasi tutta l'area affiora il Gruppo dei Calcari delle Murge di età cretaceo-mesozoica costituito nella parte

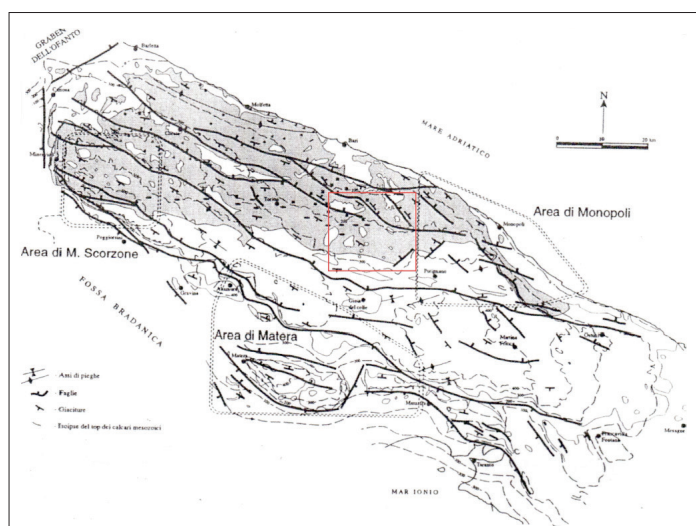


Fig. 1 Area di studio. In rosso è indicata l'area in cui è stata condotta l'analisi strutturale (da Pieri et al., 1997, mod.)

Fig. 1 Area of study. In red is indicated the area in which the structural analysis was conducted (From Pieri et al., 1997, mod)

bassa dalla Formazione del Calcarea di Bari (2500 m), del Cretaceo Inferiore, affiorante nelle Murge Nord Occidentali, su cui poggia in trasgressione il Calcarea di Altamura, del Cretaceo Superiore e che affiora principalmente nelle Murge Sud-Orientali per uno spessore di 1000 m (Ciaranfi et al., 1988); su di esso poggiano, procedendo verso NE, i depositi calcarenitici (Calcareniti di Gravina), le sabbie e le dune costiere. Inoltre si ritrovano abbondanti depositi di terre rosse derivanti dall'alterazione delle Formazioni calcaree sottostanti.

Durante il Terziario si ha l'emersione quasi omogenea di tutta l'aerea con diffusione delle manifestazioni carsiche favorite, oltre che dal clima, dalla natura litologica dell'area.

I principali sistemi di faglie hanno direzione prevalente NW-SE e subordinatamente NE-SW; si tratta di sistemi di faglia trascorrenti a componente prevalentemente sinistra, talvolta destra, con rigetti nell'ordine del centimetro.

Caratteri morfologici

Le Murge, sono distinte principalmente in due aree che si differenziano per la diversa morfologia, le Murge Alte, pressoché aride e le Murge Basse, l'area dove sono state effettuate le misure che sono invece più fertili per via dell'abbondante terreno colluviale di copertura.

Nell'area si osserva un'ampia diffusione del fenomeno carsico, ipogeo ed epigeo con presenza di lame, a fondo largo e pianeggiante, gravine, doline e polje.

L'area non presenta un'idrografia superficiale dal momento che la diffusa fratturazione delle rocce carbonati-

che mesozoiche affioranti aumenta la loro permeabilità impedendo lo sviluppo di una rete idrica superficiale.

Acquisizione dati

La permeabilità e la circolazione idrica di un ammasso roccioso sono uno degli elementi caratterizzanti del processo carsico, ma esse sono fortemente influenzate dalla storia delle deformazioni che esso ha subito unitamente ad altri parametri (litologia, porosità primaria, condizioni ambientali). Per tale motivo si sono individuate nell'area in esame, delle zone di faglia, i cui parametri e le cui caratteristiche morfometriche, consentono la ricostruzione della loro struttura di permeabilità (Chaine et al., 1996). Associate alle zone di faglie inoltre si ritrovano altre importanti discontinuità meccaniche, i giunti, a carattere distensivo e le stiloliti tettoniche, a carattere compressivo.

Partendo dai dati bibliografici da cui si evince che il fenomeno carsico si sviluppa di preferenza lungo le strutture distensive, si è ritenuto opportuno eseguire un rilevamento strutturale di dettaglio secondo i metodi classici della geologia strutturale, attraverso cui si sono acquisiti dati relativi sia a strutture tettoniche distensive che compressive in modo tale da poter avere dei dati comparativi. A tal fine si sono individuate quattro stazioni di misura (Fig. 2), corrispondenti a zone di faglia, opportunamente distribuite nell'area in esame in base alla qualità dell'affioramento, all'accessibilità e all'abbondanza di strutture tettoniche (faglie, giunti e stiloliti), compressive e distensive. Per ciascuna zona si è ricostruita la stima

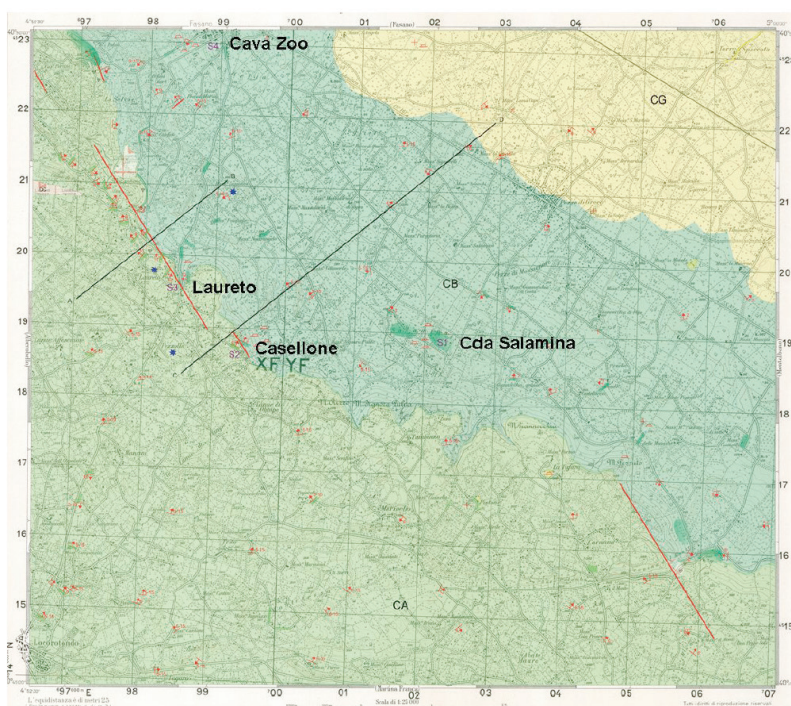


Fig. 2 Posizionamento delle stazioni di misura. Da Sud: Cava Cava Salamina- Casellone, Laureto, Cava Zoo (F. 190 Carta geologica d'Italia, mod.)

Fig. 2 Positioning of the measuring stations. From the South: Quarry-Salamina-Casellone, Laureto, Quarry Zoo (190 F. Geological Map of Italy, mod.)

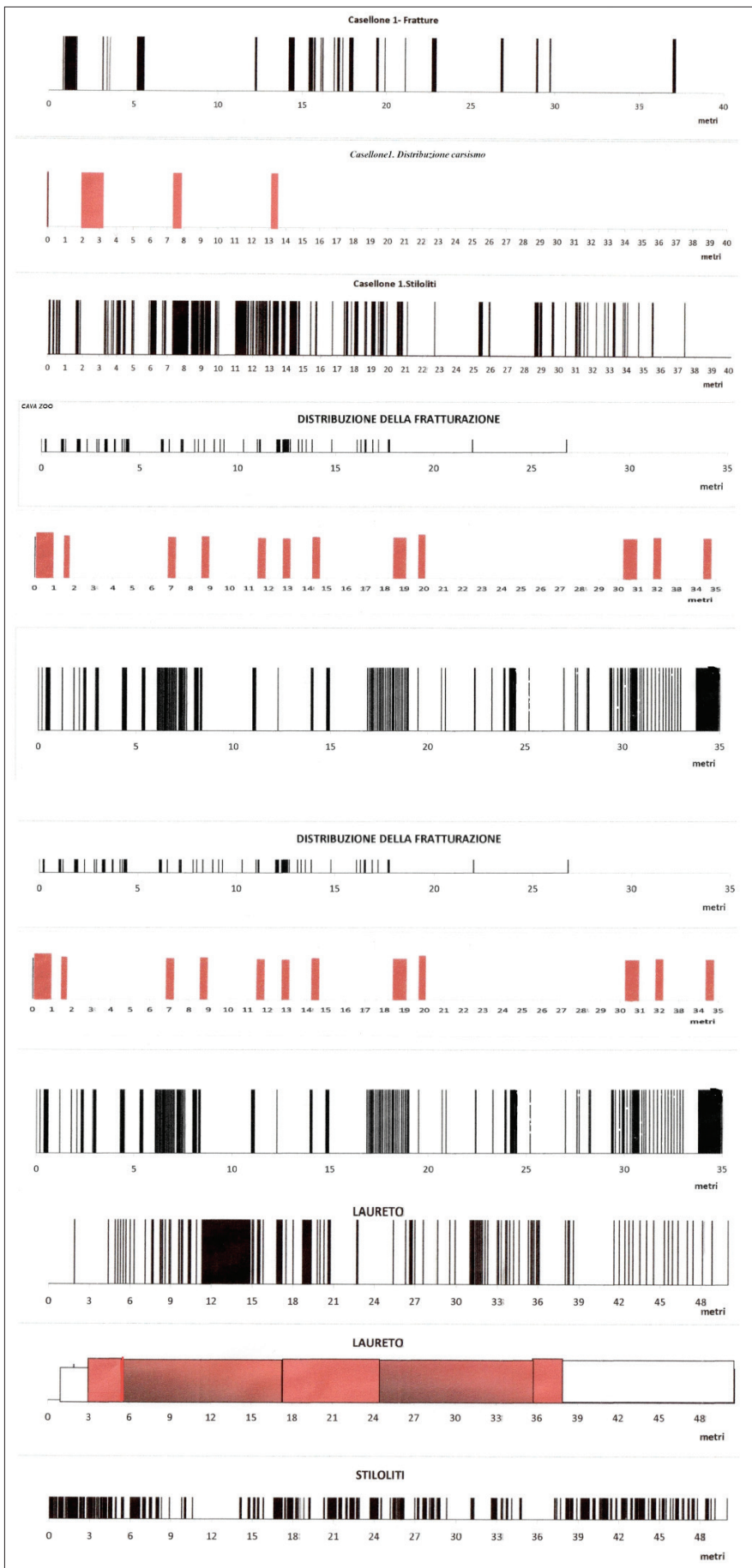


Fig. 3 Scanline riferite alle quattro stazioni di misura. In tutte le figure (3a -3d), si osserva dall'alto: -distribuzione della fratturazione (giunti /faglie) lungo la scanline (le linee verticali nere indicano la presenza di una frattura); -distribuzione del carsismo lungo la scanline; le zone in rosso indicano le aree dove c'è carsificazione; – distribuzione delle stiloliti. Si osservi come il fenomeno carsico sia principalmente diffuso in corrispondenza della zona maggiormente deformata

Fig. 3 Scanline referring to the four stations. In all the figures (3a-3d) is observed from above: -distribution of fracturing (joints / faults) along the scan line (vertical black lines indicate the presence of a fracture); – Distribution of karst along the scanline, the areas in red indicate areas where there carsificazione; -distribution of stiloliti. Note how the karst is mainly distributed at the most deformed area



della permeabilità per un confronto con la distribuzione e del fenomeno carsico presente nelle stazioni e con i dati dell'analisi strutturale.

Discussione

I dati raccolti e le relative correlazioni, ci hanno permesso, oltre che di confermare quanto già noto in letteratura, ossia che il fenomeno carsico si concentra maggiormente nelle zone soggette a deformazione (Fig. 3a-3d), soprattutto di asserire che il fenomeno si distribuisce in maniera diversa a seconda della struttura tettonica interessata.

Si è infatti osservato che il processo carsico è maggiormente diffuso, a parità di altre condizioni, lungo le stiloliti tettoniche e questo è in accordo con la loro genesi. Esse infatti si formano per un processo di *pressure-solution* che comporta dissoluzione del materiale solubile e arricchimento in materiale insolubile, a granulometria fine che risulta più facilmente erodibile, con conseguente "ampliamento" del vuoto. L'ampliamento del vuoto determina a sua volta una maggiore circolazione idrica che incrementa sempre di più l'evoluzione del processo carsico.

In campagna si è potuto osservare, ovviamente in luoghi diversi, i vari stadi collegati al processo di dissoluzione lungo una stilolite, dallo stadio iniziale fino alla formazione di una vera e propria cavità, spesso anche di considerevoli dimensioni (Fig. 4-7).

Inoltre, sebbene la presenza del carsismo sia risultata particolarmente diffusa lungo tali discontinuità, un'altrettanta abbondanza del fenomeno la si è riscontrata anche in definiti livelli orizzontali.

In pratica, l'acqua, che si è già infiltrata lungo le stiloliti, quando incontra i piani della stratificazione, staziona in tali livelli che o per composizione (una maggior percentuale di materiale argilloso) o per granulometria (un livello più micritico) o per la congiunzione con un'altra discontinuità (stratificazione) diventano, temporaneamente, i nuovi siti della dissoluzione. In realtà si osserva che, sebbene al contatto con tali nuove discontinuità il processo agisca orizzontalmente, esso riprende la sua azione nuovamente lungo i piani stilolitici, perché il fenomeno della *pressure solution* che è alla base della loro origine "spiana" la strada al processo dissolutivo.

Per quanto riguarda le zone di faglia invece, si è riscontrato che lungo di esse il processo agisce con modalità diverse.

Le zone di faglia studiate sono tutte riconducibili a movimenti trascorrenti prevalentemente sinistri e solo in un caso con una forte componente diretta (località Laureto Fig. 8); per ciascuna di esse si è ricostruita la stima del rapporto di permeabilità secondo il modello di Chaine et

alii. 1996 (Fig. 9), da cui si è ricavato che si tratta di sistemi conduttivi o al massimo di sistemi intermedi conduttivi/barriera (località Laureto). Tale carattere conduttivo faceva presupporre, anche in base ai dati di letteratura, che il fenomeno carsico fosse maggiormente concentrato lungo tali strutture mentre in realtà esso è risultato maggiormente presente lungo le stiloliti tettoniche (cfr. fig. 3) che però dall'analisi strutturale sono risultate successive all'evento deformativo che ha determinato le faglie. Al contrario, nell'unica zona di faglia con un'alta componente diretta (zona Laureto, Fig. 3), che dalla ricostruzione della permeabilità presentava un carattere intermedio conduttore/barriera (Fig. 9) si è riscontrata un'ampia diffusione del fenomeno carsico, presente però sia all'interno della zona di faglia che lungo le stiloliti tettoniche, che in tale area sono risultate contemporanee all'evento deformativo stesso. Se da un lato ci si aspettava tale risultato considerando la natura della zona di faglia (trascorrente distensiva), dall'altro la ricostruzione della permeabilità di Chaine (1996) non faceva presupporre una tale distribuzione del fenomeno ben più abbondante che in zone di faglia più conduttive (Fig. 9). Tale situazione può spiegarsi con il fatto che le zone di faglia distensive hanno solo nelle fasi iniziali della loro formazione una forte propensione alla circolazione idrica mentre con il tempo, la presenza di un ampio spessore di cataclasite che tende a cementificarsi, a causa proprio dei fluidi circolanti, diventa un ostacolo per la circolazione stessa, arricchendosi di materiale argilloso.

Nella zona di Laureto, la diffusione del carsismo nella zona di faglia (conduttrice/barriera secondo Chaine) può essere spiegata per una concomitanza di fattori favorevoli che hanno ad ogni modo agito in tempi diversi. In un primo tempo il carsismo si è impostato sia lungo la zona di faglia (zona distensiva) che ha agito come conduttrice lungo le stiloliti tettoniche contemporanee alla faglia stessa; poi è seguita una fase in cui la zona di faglia ha agito come barriera a seguito della cementificazione della cataclasite, ma in tale fase il processo ha continuato ad agire prevalentemente lungo le stiloliti tettoniche giustificando in questo modo un'alta diffusione del fenomeno in tale area che dall'analisi della ricostruzione della permeabilità, rispetto alle altre, (Chaine et al., 1996) è ad uno stadio intermedio tra conduzione e barriera.

In conclusione, dallo studio dei caratteri delle quattro zone di faglia studiate e dalla distribuzione del carsismo si evince che quando in un'area è presente un sistema di faglie a carattere distensivo (diretto o trascorrente, come nel nostro caso), non si ha una grande diffusione del fenomeno in esame come è naturale aspettarci, mentre quando siamo in presenza di un'abbondanza di stiloliti esso si imposta di preferenza lungo di esse, a ragion del fatto che lungo di esse il fenomeno della *pressure solution* agisce in

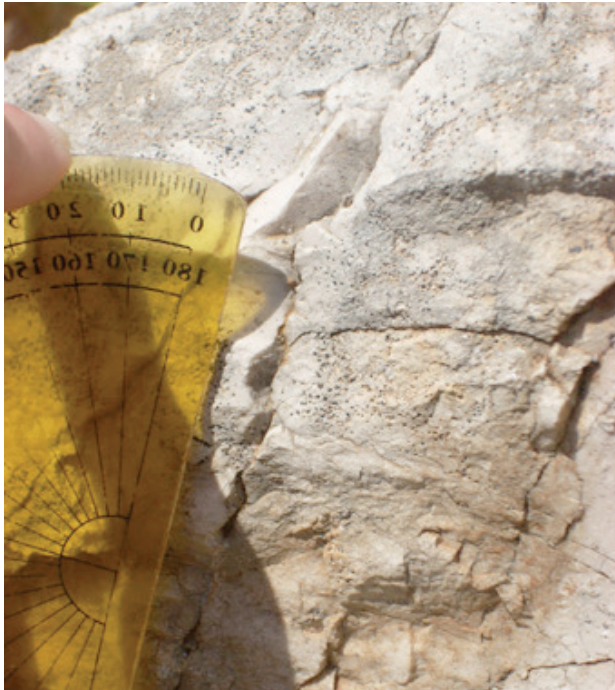


Fig. 4 Stylolite. Stadio iniziale della dissoluzione; lungo il suo asse è possibile osservare l'arricchimento in materiale insolubile costituito da materiale in genere fine

Fig. 4 Stylolite. Initial stage of dissolution, along its axis it is possible to observe the enrichment material consists of insoluble material in general fine



Fig. 5 Stylolite. Il processo di dissoluzione continua ad agire. Si noti come i picchi stilolitici iniziano a perdere in parte la loro forma originaria presentando i "denti" più arrotondati

Fig. 5 Stylolite. The dissolution process continues to act. Notice how the stylolite peaks begin to lose some of their original form, presenting the "teeth" more rounded



Fig. 6 Stylolite. I picchi stiloliti sono quasi del tutto arrotondati, ma la forma originaria della discontinuità è ancora riconoscibile

Fig. 6 Stylolite. Stylolite peaks are almost completely rounded, but the original form of the discontinuity is still recognizable



Fig. 7 Stylolite. La stilolite che interessa l'intera parete, alta oltre 20 m, è totalmente carsficata, e riempita di materiale insolubile. Cava Zoo

Fig. 7 Stylolite. The stylolite affecting the entire wall, more than 20m high, is totally interested from karst and filled with insoluble material. Quarry Zoo

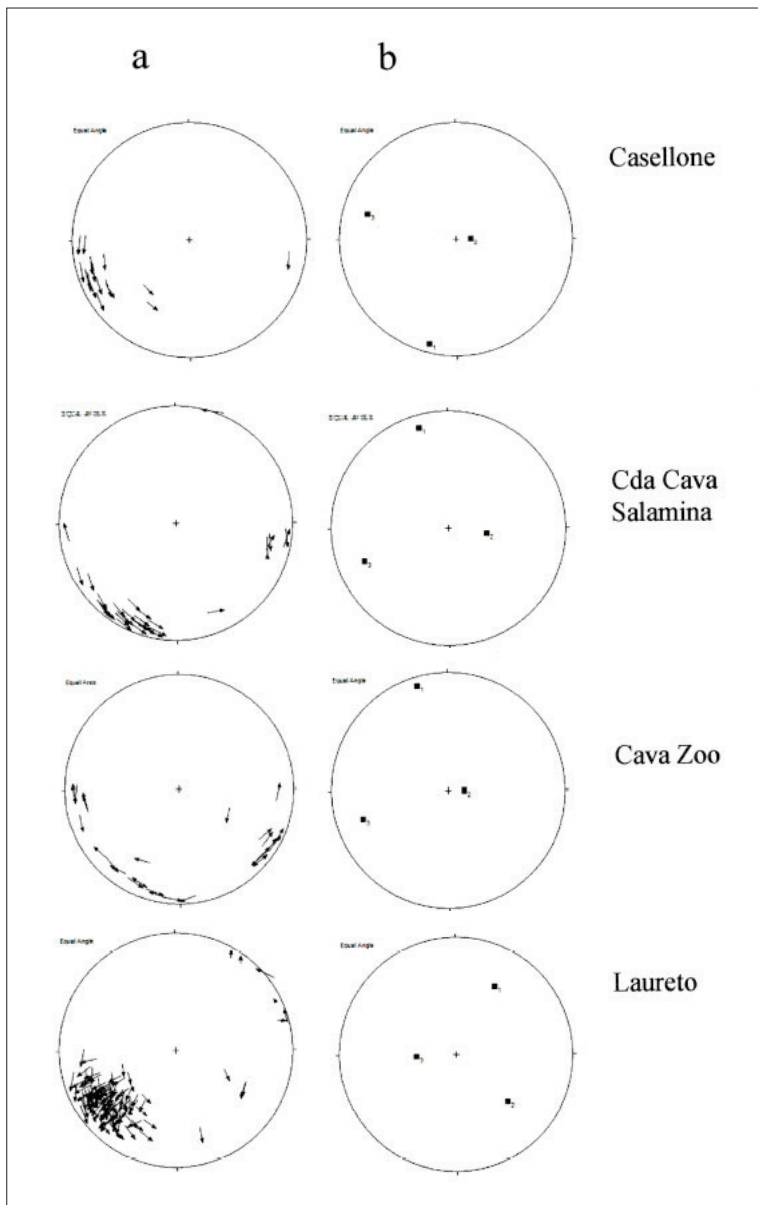


Fig. 8 Diagrammi dei movimenti e degli autovettori riferiti alle quattro zone di faglia studiate. Nelle prime tre stazioni le faglie sono di tipo trascorrente a componente prevalentemente sinistra mentre a Laureto la faglia è trascorrente sinistra ma con una forte componente diretta

Fig. 8 Diagrams of the movements and the eigenvectors related to the four fault zones studied. In the first three stations the faults are transcurrent in the left part while Laureto the fault is transcurrent in the left, but with a strong direct component

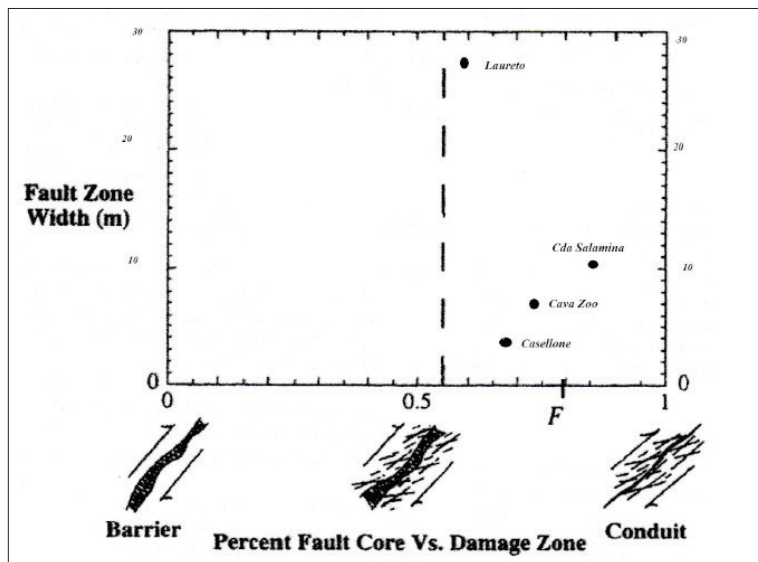


Fig.9 Schema del rapporto della stima di permeabilità per le quattro zone studiate (da Chaine, 1996)

Fig. 9 Diagram of the relationship of the estimated permeability for the four areas studied (from Chaine, 1996). This reconstruction shows that the fault zones showing all conductive systems as already suggested by the relationship between damage zone and fault core

modo localizzato e non diffuso consentendo un più rapido arricchimento di materiale fine. Inoltre si è riscontrato che quando erano presenti due sistemi di stiloliti, solo quello maggiormente rappresentato, presentava le maggiori evidenze di dissoluzione.

Questa situazione è solo di ordine statistico e non legata a condizionamenti strutturali (trattandosi sempre di stiloliti) ed è da relazionarsi al fatto che la loro maggiore diffusione aumenta la probabilità che il flusso idrico si instauri lungo di esse piuttosto che lungo le stiloliti meno rappresentate. Inoltre una volta che lungo una stilolite inizia il processo di dissoluzione che comporta "allargamento" della zona, aumenterà la probabilità che l'acqua si infiltri di preferenza lungo di esse.

Lungo i giunti invece non sono stati osservati fenomeni di dissoluzione sebbene non si esclude che anche lungo di essi il processo possa verificarsi dal momento che sono discontinuità lungo cui si può avere circolazione idrica.

Conclusioni

Da tale studio, che almeno per la Puglia risulta essere il primo, possiamo asserire che il fenomeno carsico si distribuisce preferenzialmente lungo le stiloliti tettoniche in virtù proprio del fenomeno della *pressure solution* che produce un arricchimento lungo i loro piani di elementi insolubili fini che sono più facilmente erodibili.

Tale preferenza la si riscontra anche in presenza di livelli di stratificazione, più o meno argillosi dove il processo di instaura solo temporaneamente ma successivamente riprende lungo il piano stilolitico poiché qua trova le condizioni migliori per la sua evoluzione.

Inoltre si è riscontrato che anche quando le zone di faglie hanno un carattere distensivo e si comportano come conduttori idraulici nei confronti della circolazione idrica (Chaine et alii., 1996) il fenomeno carsico, diversamente da quanto già dimostrato da altri autori, non è così particolarmente diffuso come lo è quando c'è presenza di stiloliti tettoniche, che sono strutture deformative compressive. Questo perché lungo di esse la *pressure-solution* non agisce o comunque non agisce in modo diffuso come nelle stiloliti. Pertanto nelle zone di faglia si riscontra che i processi dissolutivi sono meno intensi e con molta probabilità più lenti rispetto alle stiloliti tettoniche che possono essere quasi sicuramente considerate, a fronte di tale studio, il luogo preferenziale lungo cui agisce di preferenza la dissoluzione carsica.

I giunti invece, non sembrano mostrare una buona propensione alla diffusione del carsismo ma questo non esclude che il processo possa ad ogni modo verificarsi anche lungo di essi.

In sintesi possiamo confermare il legame tra deformazione e carsismo e ritenere che il fenomeno predilige strutture tettoniche compressive, come le stiloliti poiché lungo di esse si ha la contemporanea presenza di due fattori determinanti per il suo sviluppo:

- 1) la presenza di acqua
- 2) la dissoluzione, legata alla *pressure solution*.

Questo lavoro si propone come un'indagine preliminare ma non esaustiva sull'argomento. Sono attualmente in corso ulteriori verifiche e acquisizione di dati in altre aree.



BIBLIOGRAFIA

- BINI A., RIGAMONTI I., UGGERI A., 1993 – *Evidenza di tettonica recente nell'aerea Monte – Campo dei Fiori-Lago di Varese*; il Quaternario 6(1): 3-14
- BOENZI F., RADINA B., RICCHETTI G., VALDUGA A., 1971 – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, F° 201, Matera*. Serv. Geol. d'Italia, pp. 48
- CHAIINE J., EVANS J., FORESTER C., 1996 – *Fault zone architecture and permeability structure* – Geology Vol. 24 ,n. 11: 1025-1028
- CUCCHI F., FORTI F., 1988 – *La stazione di misura della dissoluzione superficiale a Borgo Grotta Gigante (Carso Triestino, Italia)*. Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. 27: 87-93
- CUCCHI F., ZINI L., *Le acque del carso classico*. Mem. Ist. It. Spel., Vol. 19 (2)
- CUCCHI F., 1978 – *Indagini strutturali su alcune cavità del Montello Nordorientale*. Mondo Sotterraneo. 2 (1): 11-17, Continental Lithosphere Tectonics 13/5: 1309-1321
- FERRARESE F., MENEGHEL M., 1992 – *Aspetti dell'influenza strutturale sulla morfogenesi carsica del Montello (Treviso)*. Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan, Vol 30: 45-59
- FORTI F., TOMMASINI T., 1964 – *Il Carso del Monte Spaccato*. Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. 4: 29-77
- FORTI P., PICCINI L., SAURO U., DE WAELE JO. 2007 – *Il processo carsico*. Società Speleologica Italiana, Progetto PPT 2007
- MENICHETTI M., 1989 – *Evoluzione spaziale e temporale del sistema carsico del Monte Cucco nell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Atti XV Congr. Naz. Spel.-1987, 731-762
- MENICHETTI M., GALDENZI S., 1992 – *Il carsismo della Gola di Frassassi*. Mem. Ist. It. Spel., Vol. 4(2), 65-92
- PARISE M., 2008 – *Elementi di Geomorfologia Carsica della Puglia*. Atti del 45 Corso CNSS-SSI di III livello di Geomorfologia Carsica, 92-118
- PICCINI L., 1999 – *Geomorfologia e Speleogenesi carsica*. Quaderno didattico della Società Speleologica Italiana n° 1, pp. 40
- SAURO U., 1991 – *Morfologia carsica*. In: Castiglioni G.B. "Geomorfologia", UTET, pp. 436
- SAURO U., 1994 – *Il carsismo marino della costa*. In: Le Grotte di Polignano, Federazione Speleologica Pugliese
- TOGNINI P. 1994 – *Analisi strutturale della Valle del Nosè in relazione alla carnificazione profonda*. Tesi di laurea anno 1993-1994, Relatore: A. Bini; Correlatore G.B. Siletto
- VIGNA B., CALANDRI G. 2001 – *Gli acquiferi carbonatici*. Quaderni didattici della SSI. Erga Edizioni Genova, pp. 48
- ZEZZA F., ZEZZA T., 1999 – *Il carsismo in Puglia*. Adda Editore, Bari, pp. 253