

Umberto Aviani

## TETTONICA DELL'AREA PRESSO MEZZANA (PREALPI GIULIE) E SUA INFLUENZA SUI FENOMENI CARSICI SUPERFICIALI

### TECTONICS OF THE AREA NEAR MEZZANA (JULIAN PREALPS) AND ITS INFLUENCE ON SURFACE KARST PHENOMENA

**Riassunto breve** - Sulla base di un rilevamento geologico-strutturale di dettaglio, vengono analizzati i condizionamenti delle forme di dissoluzione da parte delle famiglie di discontinuità di un'area carsica presso Mezzana (San Pietro al Natisone, Ud). Viene analizzata la relazione esistente tra le famiglie e la geomorfologia, con particolare attenzione alle cavità naturali e alle forme carsiche di superficie, le quali mostrano evidenti allineamenti lungo direzioni preferenziali. Alcune microforme carsiche superficiali vengono descritte in dettaglio e vengono proposte alcune considerazioni sulla loro genesi.

**Key words:** Carsismo superficiale, Discontinuità tettoniche, Dissoluzione selettiva, Forme di dissoluzione sottocutanea.

**Abstract** - In a karst area near Mezzana (San Pietro al Natisone, Ud, NE Italy) different discontinuity families are analyzed through a detailed structural-geological survey. The correlation between these families and the geomorphology of karst features is described, with particular attention to natural caves and surface karst phenomena, that show evident alignments on preferential directions. Some surface karst micro-features are described in detail, and some considerations on their genesis are here proposed.

**Key words:** Surface karst, Tectonic discontinuities, Selective dissolution, Subsoil rock forms.

## 1. Introduzione

Le Valli del Natisone (Prealpi Giulie, Friuli) sono caratterizzate da rocce carbonatiche di piattaforma e di scarpata mesozoiche e da una potente successione clastica maastrichtiano-eocenica inferiore (flysch). Caratteristica del flysch delle Prealpi Giulie è la presenza di megabanchi carbonatici con potenze di diverse decine di metri derivati da enormi frane sottomarine (TUNIS & VENTURINI 1997). I megastrati presentano una granulometria decrescente dalla base al tetto, passando da calciruditi a calcareniti e a calcari marnosi e marne.

Per quanto riguarda l'assetto tettonico, le strutture più significative sono rappresentate da una serie di sovrascorrimenti ad orientazione dinarica (circa NW-SE) che hanno provocato un raccorciamento delle unità e un avanzamento significativo verso la pianura (TUNIS & VENTURINI 1997). Infine, si segnala che questi lineamenti sono stati ripresi in modo diverso dalle fasi alpine di compressione N-S.

L'area di studio (fig. 1) è posta sul fianco sinistro della valle del fiume Natisone, a una quota media di circa 400 m s.l.m., a NW dell'abitato di Mezzana (comune di San Pietro al Natisone, Udine). L'area si sviluppa lungo il megabanco carbonatico del Monte Ioanaz (Formazione del Flysch di Grivò; TUNIS & VENTURINI 1997; CARULLI

2006) ed è sede di diffusi fenomeni carsici superficiali e profondi. Nell'area sono infatti presenti diverse grotte, parecchie delle quali di recente scoperta.

Nell'occasione delle esplorazioni e dei rilievi di queste cavità, effettuati dalla Società di Studi Carsici A.F. Lindner, è stato realizzato uno studio di dettaglio sulle discontinuità presenti nell'area e sulla loro influenza sui fenomeni carsici superficiali e profondi (fig. 2).



Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio.  
- Location of the investigated area.



Fig. 2 - Piccole forme di dissoluzione superficiale. Cavità di dissoluzione (a) e scannellature su un masso di calcarenite (b)  
- *Small exokarstic forms. Solution pit (a) and rillenkarren on a calcarenite boulder (b).*



## 2. Geomorfologia

Nell'area indagata affiorano rocce che appartengono alla Fm. del Flysch di Grivò, potente unità torbidityca che occupa una parte importante delle Valli del Natisone e delle Prealpi Giulie Meridionali (TUNIS & VENTURINI 1997). La sequenza inizia con il potente Megastrato del M. Ioanaz per proseguire con alternanze di torbiditi silicoclastiche e carbonatiche, calcareniti e conglomerati. All'interno dei singoli megastrati possono essere in genere distinte diverse unità interne, a granulometria decrescente, in funzione della diminuzione di energia cinetica dell'evento gravitativo che li ha generati (frana sottomarina). La geomorfologia è fortemente influenzata da queste unità, dal momento che i livelli calcarenitici e calciruditici massicci presentano una resistenza all'erosione molto maggiore rispetto ai livelli marnoso-argillosi. Possono così formarsi gradini morfologici che indicano il diverso comportamento meccanico delle rocce, in particolare in corrispondenza dei megastrati.

La fratturazione è un altro elemento che influenza le forme superficiali: le discontinuità tettoniche sono infatti linee di debolezza lungo le quali i fenomeni di alterazione vengono accentuati. Data la prevalenza delle litologie carbonatiche, molte delle discontinuità sono messe in evidenza dal carsismo (dissoluzione selettiva). A questo proposito è opportuno ricordare che anche le unità silicoclastiche (non direttamente carsificabili) presentano spesso cemento calcitico, per cui è possibile la loro alterazione da parte delle acque meteoriche per isolamento ed asporto dei grani silicatici.

Un esempio di dissoluzione selettiva è mostrato in fig. 3, relativamente a scannellature superficiali su un masso calcarenitico (karren, CASTIGLIONI 1986).



Fig. 3 - Erosione selettiva sulla calcarenite (b: particolare di a). Le scannellature si interrompono in presenza di una frattura della roccia, dove l'asportazione di materiale risulta maggiore a causa della maggiore superficie reattiva e del maggiore tempo di ritenzione dell'acqua percolante.

- *Selective erosion on calcarenite (b: detail of a). Karren break off on a fracture in the rock, where the material removal is greater because of the greater reactive surface and the greater retention time of the percolation water.*



### 3. Famiglie di discontinuità

La stratificazione è ben identificabile nelle alternanze silicoclastiche oppure alla base o al tetto dei megastrati (fig. 4). All'interno delle unità carbonatiche essa è indistinta e per lo più mascherata (almeno in superficie) dalla copertura vegetale. Gli strati sono poco inclinati ed immergono generalmente verso SW. Sono state inoltre riscontrate almeno tre famiglie di discontinuità subverticali.

L'analisi statistica delle giaciture è riportata nelle figg. 5 e 6, dove sono evidenziate le tre principali famiglie di

fratture subverticali e la stratificazione. Le famiglie 1 e 2 (fig. 6b) appartengono ad un unico sistema coniugato, mentre la famiglia 3 sembra essere dovuta a un regime di sforzi con direttrice ruotata di 90°.

Le famiglie 1-2 (rispettivamente con direzione NE-SW e NNE-SSW) influenzano notevolmente la geomorfologia e l'idrografia superficiale (figg. 7-8). Considerando un'area più ampia, è forse la famiglia 3 quella predominante (direzione NW-SE), tanto che tutte le faglie indicate sulla Carta Geologico Tecnica (REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA 2008) hanno direzioni compatibili con quest'ultima.



Fig. 4 - Stratificazione: gli strati nel Flysch di Grivò (306/18), a valle dell'abitato di Mezzana (a) e un piano di strato con orientazione 290/15 (b) nella calcarenite (megastrato del M. Ioanaz) visibile in un affioramento presso la "Grotta della Paura".

- Stratification: strata in the Flysch di Grivò Fm. (316/18), downstream the Mezzana village (a), and a 290/15 oriented stratum (b) in a calcarenite outcrop ("megastrato del M. Ioanaz") near the "Grotta della Paura" cave.



Tutte le famiglie sono sede preferenziale di fenomeni carsici più o meno sviluppati che favoriscono l'identificazione delle discontinuità stesse (figg. 9-13).

La presenza di due famiglie di discontinuità tettoniche è confermata dall'analisi geomorfologica della cartografia (fig. 7), nonché dallo studio dei rilievi delle cavità naturali e dagli allineamenti di doline osservati.

Le cavità naturali mostrano allineamenti principalmente legati ai sistemi di discontinuità descritti (fig. 14). Solo per fare qualche esempio, le grotte 2229/1015FR, 2236/1022FR e 2237/1023FR mostrano morfologie legate alla famiglia 1, la grotta 2232/1018FR ha un

allineamento compatibile con la famiglia 2 mentre la cavità 2234/1020FR presenta una morfologia attribuibile all'incrocio delle famiglie 2 e 3.

Si propone, come confronto, lo studio tettonico della Grotta di San Giovanni d'Antro, situata di fronte all'area di studio, sul fianco destro della valle del fiume Natisone (fig. 15), in quanto si tratta della cavità naturale più estesa e significativa delle Valli del Natisone. Si può notare la presenza delle stesse famiglie di discontinuità (cfr. anche PONTON & TURCO 1997), e in particolare della famiglia 3 che influenza notevolmente la geometria dei vani della grotta.

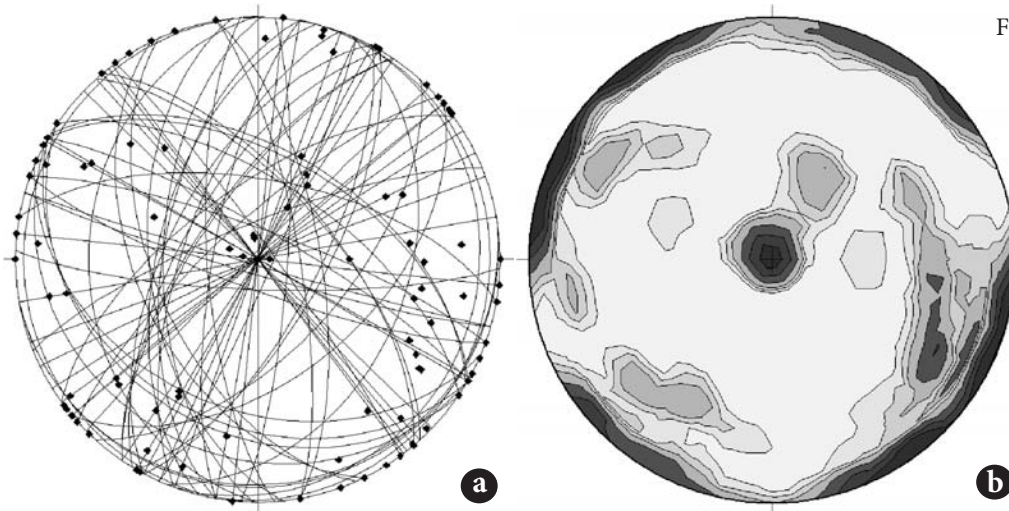


Fig. 5 - Rappresentazione stereografica delle discontinuità (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore), con poli e grandi cerchi (a) e con linee di equal frequenza dei poli (b).  
 - *Stereographic projection of discontinuities (Schmidt net, lower hemisphere), with poles and great circles (a) and frequency distribution (b).*

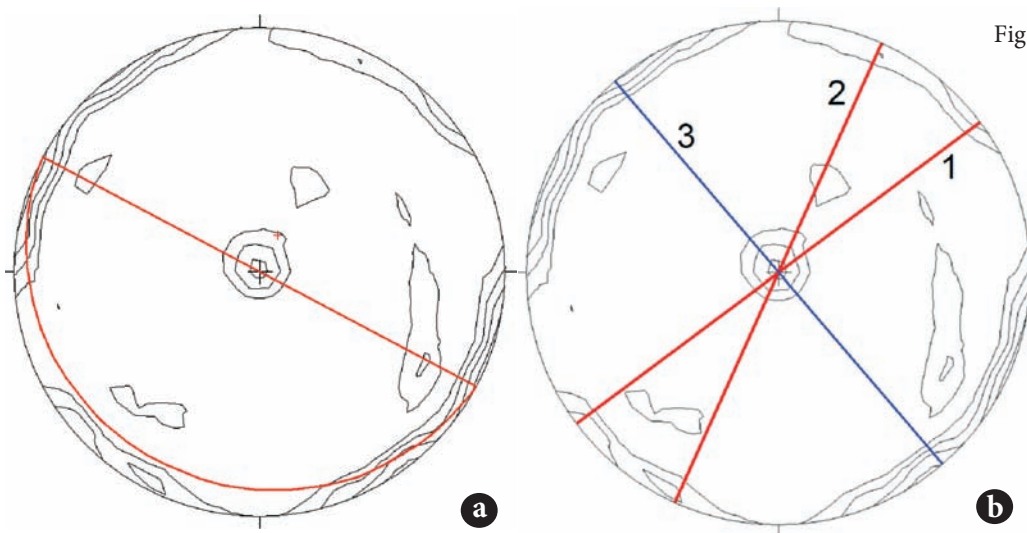


Fig. 6 - a: giacitura media della stratificazione nell'area di studio (circa 300/10). b: grandi cerchi relativi alle giaciture medie delle famiglie di fratture 1, 2 e 3. Le famiglie 1 e 2 possono essere considerate parte di un unico sistema coniugato con orientazione media NE-SW.  
 - *a: average orientation (about 300/10) of bedding planes in the study area; b: great circles of average orientations of fracture families n. 1, 2, and 3. Families 1 and 2 can be considered a single conjugate, NE-SW oriented system.*



Fig. 7 - Influenza dei sistemi di fratture sulla geomorfologia e idrografia superficiale. Riquadro a tratteggio nero: l'area di studio. Cartografia di base: Carta Topografica per Escursionisti (Ed. Tabacco), Foglio 041.  
 - *Fracture patterns have a profound influence on geomorphology and superficial hydrography. Dashed square: the investigated area. Base map: Carta Topografica per Escursionisti (Ed. Tabacco), Sheet 041.*

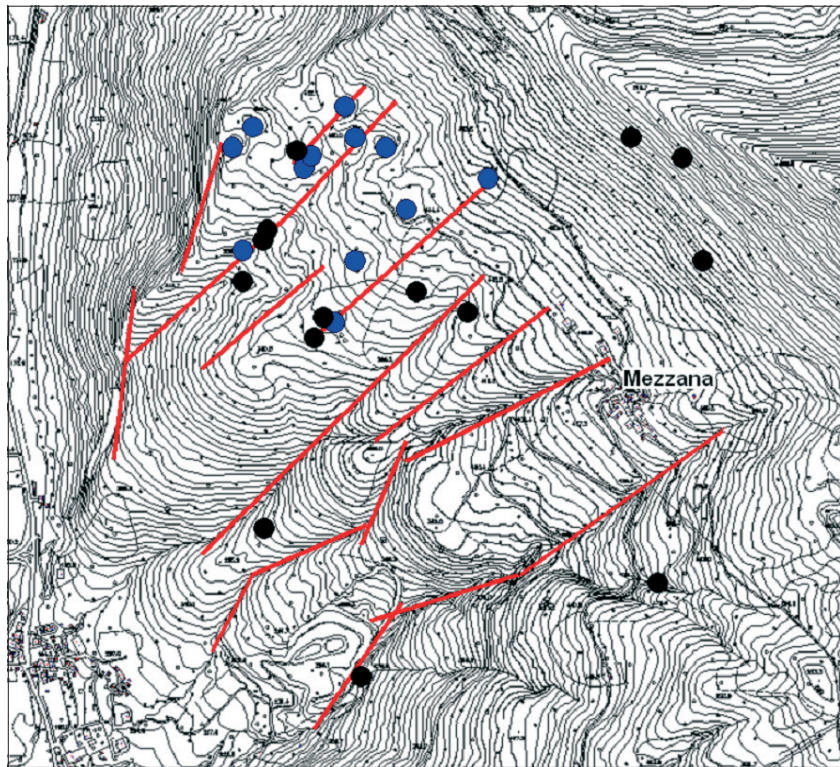


Fig. 8 - Posizionamento delle grotte e delle doline nell'area di studio. Le linee rosse rappresentano lineamenti preferenziali legati alla fratturazione.  
 - Caves and dolines location in the investigated area. Red lines represent preferential lineations related to fracturation.



Fig. 9 - Frattura 230/70 (famiglia 1). Le discontinuità nell'area di studio sono evidenziate dall'erosione selettiva e dai fenomeni carsici di superficie e dalle cavità.  
 - 230/70 oriented fracture (family 1). Selective erosion and karst phenomena highlight the discontinuities in the study area.



Fig. 10 - Famiglia di fratture numero 1: fratture isoorientate in un affioramento di calcarenite (a) e frattura verticale (b) evidenziata dall'erosione asimmetrica (in giallo la stratificazione).

- Fracture family n. 1. a: iso-oriented fractures in a calcarenite outcrop; b: vertical fracture emphasized by asymmetric erosion (yellow lines indicate the bedding planes).



#### 4. Solchi poligonali

Presso la cavità (in fase di accatastamento) mostrata in fig. 16 sono state osservate insolite forme di dissoluzione superficiale, definite d'ora in poi "solchi" o "canali" poligonali. Data la loro peculiarità, queste forme sono state analizzate in dettaglio ed è stato proposto un modello qualitativo per la loro formazione, riconducibile alla litologia ed allo stato di fratturazione interna della roccia.

La grotta in questione è situata al tetto del megastrato del M. Ioanaz, dove si ha il passaggio graduale verso le facies di decantazione successive all'evento gravitativo. La litologia è costituita da un calcare marnoso a grana

fine, contenente una apprezzabile quantità di argilla (le superfici bagnate con HCl dopo l'effervescenza cambiano colore dal grigio al giallo per la dissoluzione della sola frazione carbonatica). Le superfici carsificate in questa zona hanno un aspetto che ricorda le strutture di disseccamento (fanghi poligonali). In realtà esse derivano dalla dissoluzione selettiva lungo superfici di rottura concoide diffuse di diverso ordine, dovute alle sollecitazioni meccaniche subite dalla roccia. Queste piccole forme dissolutive appartengono alla classe dei fenomeni carsici sottocutanei (subsoil rock forms), derivati dall'azione di acque a moto laminare su rocce carbonatiche coperte da spessori variabili di suolo o sedimento (GINÉS et al. 2009).

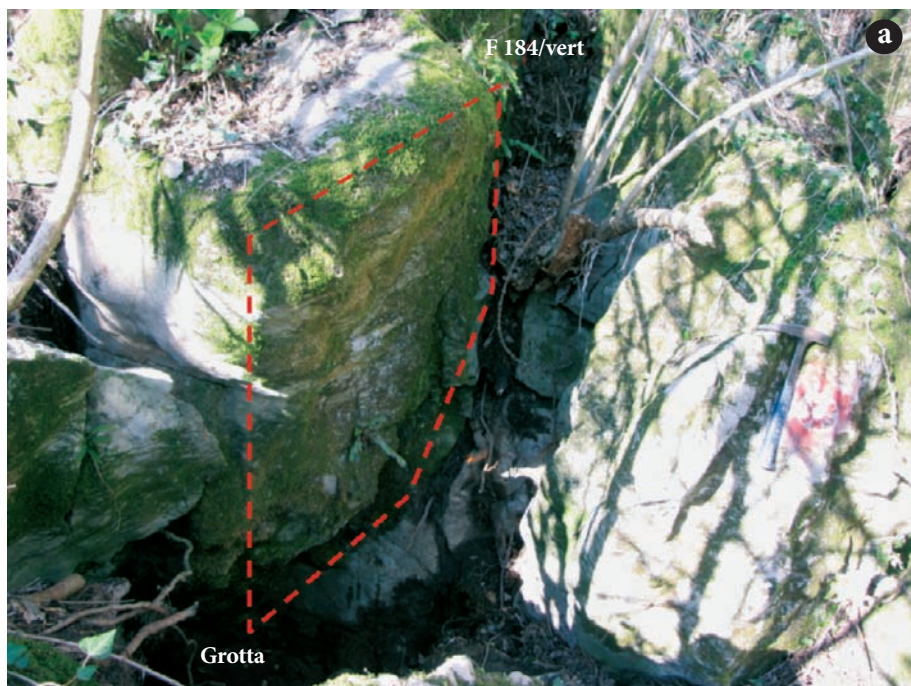


Fig. 11 - Famiglia di fratture numero 2: frattura 184/vert carsificata sulla quale si è imposta una cavità naturale accessibile (a) e frattura 190/vert carsificata (b).

- Fracture family n. 2: 184/90 oriented karstified fracture, along which a cave has been developed (a), and 190/90 karstified fracture (b).



#### 4.1 Analisi dei solchi

Le superfici carsificate mostrano un reticolo di canali complesso (fig. 17a-b) che genera una serie di “isole” poligonali a loro volta interessate dal fenomeno, pur se a scala inferiore (fig. 18). L'aspetto generale ricorda i frattali (ogni parte è simile al tutto), come avviene molto spesso in natura. I solchi hanno profondità di 3-7 mm (primo ordine), 1-2 mm (secondo ordine) e inferiori al millimetro se gerarchicamente inferiori. Nel seguito, la dicitura “primo, secondo e terzo ordine”, è riferita ai canali dove l'azione dissolutiva è stata rispettivamente più o meno pronunciata.

La roccia si presenta compatta, ma ad un esame dettagliato mostra innumerevoli fratture ad apertura praticamente nulla. La caratteristica curvatura delle fratture (superfici concoidi) e la loro frequenza dipendono probabilmente dalla tessitura fine della roccia e dalla sua bassa durezza (calcare marnoso). Le superfici di frattura (fig. 19a-b), pur non essendo vere e proprie discontinuità, influenzano notevolmente i processi dissolutivi da parte delle acque percolanti. Si riconoscono varie fratture, a volte mineralizzate, a cui sono attribuibili i diversi ordini di canali sulla superficie esposta all'attacco acido della soluzione percolante.

Le fratture principali, lungo le quali si suddivide il campione in seguito a percussione, sono mineralizzate con patine di idrossidi vari di ferro (limonite) e manganese (psilomelano), oppure presentano microcristalli di calcite dalla lucentezza caratteristica (figg. 20a-b, 21).

La roccia ha subito, durante la sua storia geologica, stress meccanici che hanno portato a rottura porzioni della stessa e che hanno permesso la migrazione dei





Fig. 12 - Famiglia di fratture n. 3: foro di dissoluzione impostato lungo una frattura 124/65 (a) e gradino morfologico impostato lungo una frattura 290/vert (b).

- Fracture family n. 3: solution pit set along a 124/65 fracture (a) and morphological terrace on a 290/90 fracture (b).



fluidi. Tuttavia il fenomeno non è stato tale da portare le superfici di rottura ad una apertura apprezzabile ad occhio nudo, o alla separazione fisica dei clasti.

L'influenza delle fratture sulla genesi dei solchi è ben evidente in fig. 22 (a-b). In seguito a percussione, i campioni si rompono in corrispondenza dei canali di primo ordine, mettendo in evidenza le superfici curve di frattura mineralizzate, meccanicamente più deboli. Queste superfici sono di fatto zone di aggressione preferenziale da parte della soluzione acida percolante, pertanto in corrispondenza di esse il fenomeno di corrosione viene accentuato, sia per la maggiore superficie reattiva che per il maggiore tempo di contatto (dissoluzione selettiva).

In fig. 23a si può osservare in dettaglio l'aspetto di queste fratture, che si intersecano variamente; in particolare sono visibili le superfici mineralizzate che sono all'origine dei solchi principali. Tutte le superfici di rottura hanno carattere concoide e si presentano curve (fig. 23b).

#### 4.2 Modello geometrico

La struttura poligonale dei canali di corrosione sottocutanea descritti è dovuta in primo luogo alla caratteristica di fratturazione della roccia. Le singole superfici di discontinuità hanno orientazioni varie,



Fig. 13- Famiglia di fratture numero 3: “trincea” carsica (in blu la sezione) impostata lungo una frattura 120/vert (a) e frattura con orientazione 266/80 (b).

- Fracture family n. 3: karst “trench” (the blue line highlightes the profile) set along a 120/90 oriented fracture (a), and 266/80 fracture (b).



persistenze diverse e una geometria per lo più curva (a causa per lo più della granulometria e della mineralogia della roccia).

Il piano esposto all’azione delle acque è invece generato da una frattura più importante, sulla quale si è impostata anche la cavità naturale.

Per descrivere qualitativamente la forma del reticolo di canali osservato si è tentato un approccio geometrico, per mezzo delle seguenti considerazioni e semplificazioni:

1. La microfratturazione è estesa a tutta la massa rocciosa, e le singole fratture hanno orientazioni casuali. Questo è ragionevolmente valido nell’intorno dell’area che presenta il fenomeno.
2. La superficie delle singole fratture è curva e modellizzabile tramite una sfera.

Si consideri ora uno spazio  $(x, y, z)$  riempito da un certo numero di superfici sferiche, costruito in questa maniera:

1. La posizione dei centri delle sfere  $(x_i, y_i, z_i)$  è casuale.
2. Il raggio delle singole sfere ha un valore casuale compreso tra un valore minimo ed uno massimo.

Questo spazio rappresenta in modo semplificato la massa rocciosa e le superfici delle sfere le singole micro-discontinuità a geometria curva. Se si considera un piano di taglio generico (la discontinuità principale, es. faglia), la traccia delle fratture (intersezione delle superfici di discontinuità con il piano) è composta da cerchi di varia posizione e dimensione (entrambi casuali), come mostrato in fig. 24a.

È possibile tracciare una rete di “canali” di primo ordine evidenziando le tracce di “frattura” presenti sul piano, in modo tale da rispettare la gerarchia delle

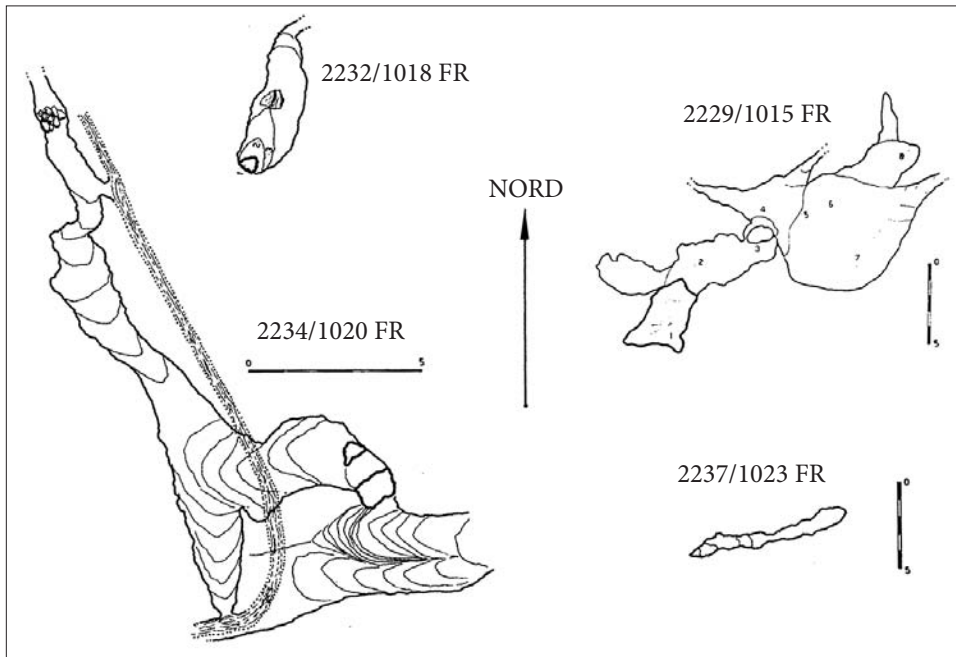


Fig. 14 - Rappresentazione in pianta di alcune cavità naturali analizzate. Si osserva che le direzioni preferenziali di sviluppo sono compatibili con le famiglie di discontinuità principali.  
 - Maps of some of the analyzed caves. It has to be noted that the preferential lineations are compatible with the main discontinuity families.

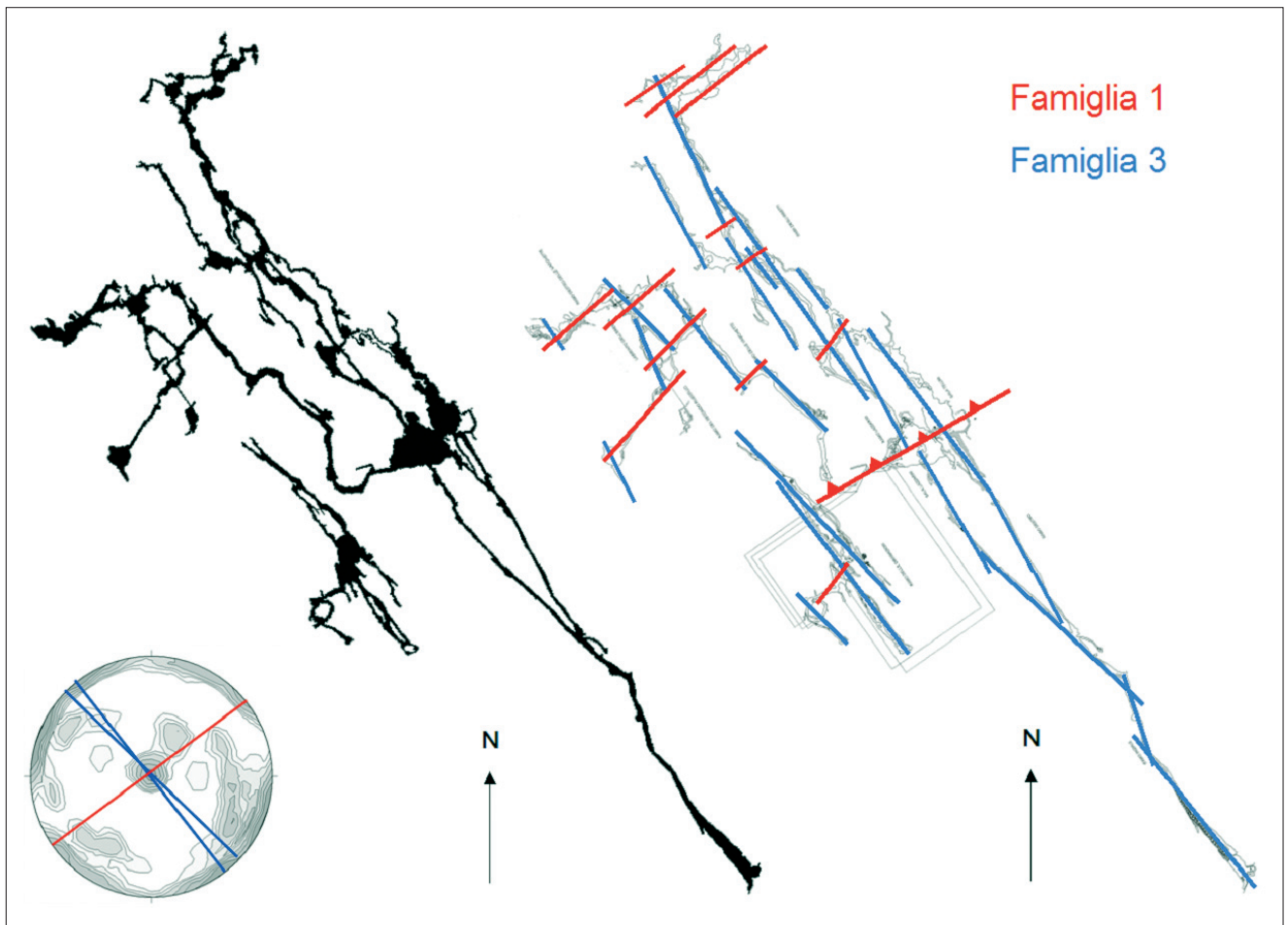


Fig. 15 - Rilievo della Grotta di San Giovanni d'Antro (4/43FR) situata sul fianco opposto della valle del Fiume Natisone, di fronte all'area di studio. Sulla destra è riportata l'interpretazione strutturale, con indicate le fratture che influenzano lo sviluppo della cavità. Mantenendo la notazione precedente, queste corrispondono alle famiglie 1 e 3, dove quest'ultima risulta nettamente predominante  
 - Map of the San Giovanni d'Antro cave (4/43 FR), located on the opposite side of the Natisone valley, in front of the study area. The structural interpretation is shown on the right, where the fractures influencing the cave geometry are highlighted. With the previous notation, these fractures belong to the families 1 and 3, where the family 3 is the main one.



Fig. 16- Grotta di recente scoperta impostata lungo l'intersezione di due fratture (famiglia 1, 40/75 e famiglia 3, 144/70). La stratificazione è circa orizzontale.

- A recently discovered cave set along the intersection of two fractures (family 1, 40/75, and family 3, 144/70). Stratification is approximately horizontal.



Fig. 17- Parete di ingresso della grotta (v. figura precedente) che presenta una inusuale forma di dissoluzione superficiale (a). Sono presenti solchi poligonali di diversa gerarchia e con le orientazioni più varie (b). L'aspetto ricorda quello delle strutture di disseccamento (fanghi poligonali).

- The wall of the cave entrance (see fig. 16), showing an unusual dissolution form (a). Polygonal channels with different depths and orientations are observed (b); the structure shape is similar to desiccation forms (mudcracks).



Fig. 18- Particolare della figura precedente. Sono visibili i solchi poligonali di primo, secondo e terzo ordine (v. testo). Le incisioni maggiori hanno una profondità massima di circa 5 mm.

- Detail of the previous figure. Channels of first, second and third order (see text) are visible on the surface. Greater notches are about 5 mm deep.



Fig. 19- Frammenti di roccia freschi (circa 10 cm) che mostrano diversi tipi di fratture (a, b). Quelle principali color ocra (limonite) danno origine ai solchi di primo ordine, quelle secondarie (grigie) alle scannellature di secondo ordine. Le fratture sono concoidi (carattere particolarmente evidente in b) e presenti in tutta la massa, indice questo di stress meccanico diffuso. L'apertura è praticamente nulla e l'orientazione è casuale.

- Fresh rock samples (about 10 cm) showing different types of fractures (a, b). Main ones, ocher coloured (limonite), and secondary ones (grey) originate first and second order channels, respectively. Fractures are conchoidal (a character mostly evident in b), and are diffused in the whole rock. This indicates a diffuse mechanical stress. Fracture apertures are practically null and the orientations are random.

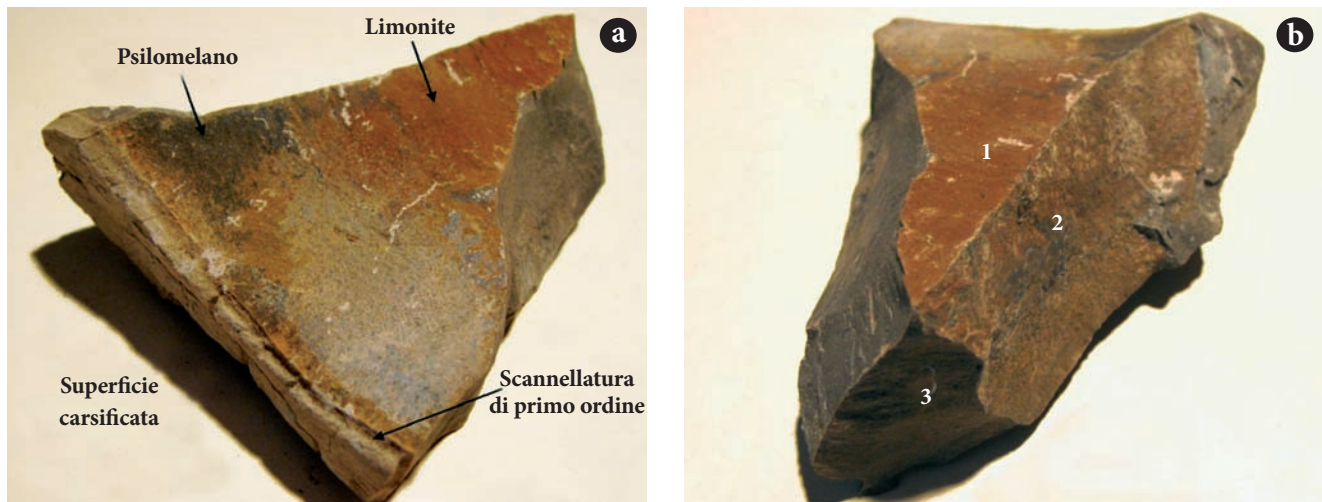


Fig. 20 - a: le fratture più importanti sono riempite da patine di idrossidi vari di ferro (limonite) e manganese (psilomelano), distinguibili dalla colorazione rispettivamente ocre e nerastra. b: tre fratture limonitizzate (1, 2, 3) diversamente orientate.

- Main fractures are mineralized with hydrous ferrous oxides minerals (limonite) and manganese oxides (psilomelane), distinguishable by the ocher- and blackish color, respectively (a). b: three differently oriented- limonitized fractures (1, 2, 3).

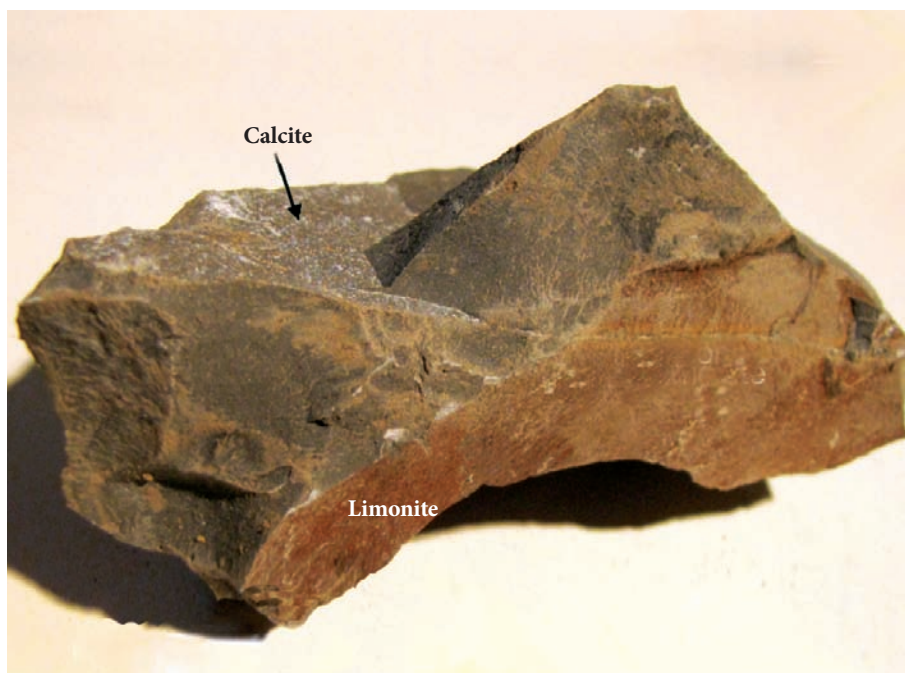


Fig. 21- Frammento di roccia in cui sono visibili due fratture, mineralizzate rispettivamente a calcite e a limonite. Le altre facce del campione (superfici di rottura) sono attribuibili a microfratture secondarie.

- Rock sample with two mineralized fractures (with calcite and limonite, respectively). Other rupture surfaces of the sample are attributable to secondary microfractures.

singole discontinuità (fig. 24b). Per fare questo si considerano circa equivalenti cerchi con raggio simile e si incomincia da quelli più grandi, utilizzando un approccio stocastico (metodo Monte Carlo). Completata le reti di primo ordine, si costruiscono analogamente le reti di secondo ordine (fig. 25a) e di terzo ordine (fig. 25b). Il risultato finale è molto simile all'aspetto naturale delle superfici carsificate del calcare, oggetto di questo studio.

Passando al caso reale, è possibile concludere che le superfici di discontinuità ad apertura relativamente maggiore saranno più evidenziate dalla dissoluzione se-

lettiva; la bassa persistenza di queste superfici (quindi, la loro interruzione dopo pochi cm) fa sì invece che le tracce delle discontinuità non proseguano indefinitamente, per cui il reticolo generato assume un aspetto a poligoni.

## 5. Conclusioni

L'analisi geomorfologica dell'area carsica di Mezzana ha mostrato come la morfologia superficiale e quella sotterranea siano influenzate profondamente dalla

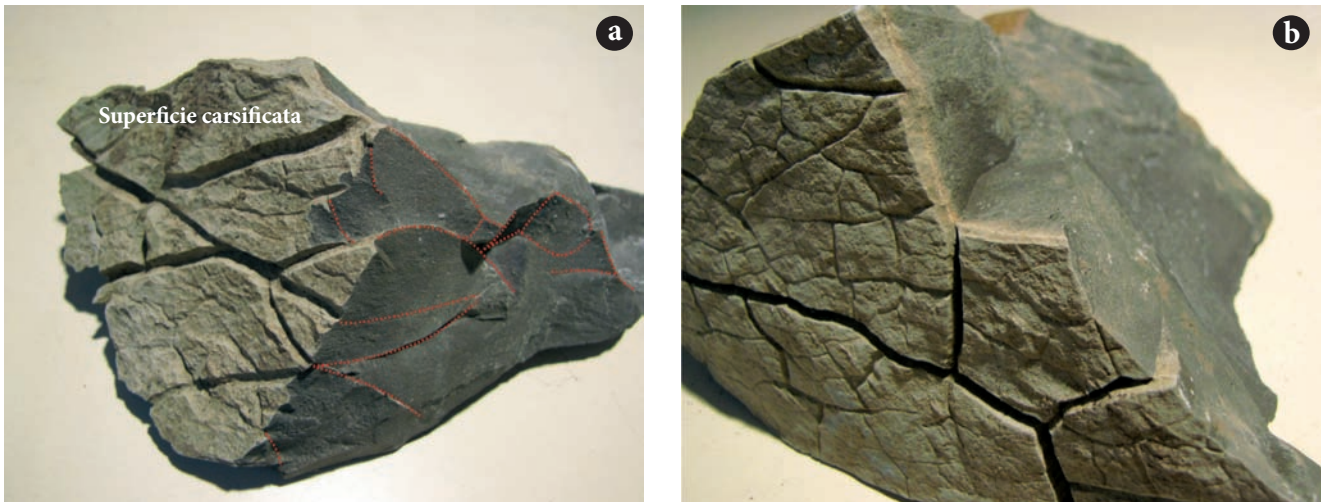


Fig. 22- Frammento di roccia (circa 15 cm) con superficie a solchi poligonali. Sulla parte fresca sono evidenziate in rosso le tracce delle principali superfici curve di frattura (a). Altro frammento (b) in cui è evidente l'impostazione dei solchi di dissoluzione lungo fratture ad apertura pressoché nulla. Le aree a maggiore debolezza sono quelle su cui è rotto il campione (superficie fresca) e su cui si sono impostati i canali più profondi.

- Rock sample (about 15 cm) with polygonal channels on a face (a). On the fresh side, main fracture traces are highlighted by the red dashed lines. In another sample (b), the setting of channels along fractures with practically null aperture is clear. Weaker areas correspond to rupture surfaces of the sample (fresh surfaces). Deeper channels are set along these surfaces.



Fig. 23 - a. Analisi di dettaglio su un frammento di roccia. Canale di primo ordine (1) in sezione longitudinale, impostatosi lungo la frattura limonitizzata (3), parallela alla pagina e sulla quale si è frammentato il campione dopo la percussione. La linea a tratteggio rosso rappresenta la traccia della superficie concoide (mineralizzata a psilomelano, visibile come patina grigio scuro) sulla quale si è impostato il solco di primo ordine (2), di cui è visibile la sezione trasversale. Il solco di secondo ordine (4) in sezione trasversale, si è impostato lungo una frattura secondaria, di cui è evidenziata la traccia con il tratteggio blu. Campo della foto: circa 5 cm.

- a. Detailed analysis on a rock fragment. A first order channel in longitudinal section (1) has developed on the limonitized fracture (3), which is parallel to the page and corresponds to the rupture surface of the sample after the percussion. Dashed red line represents the trace of the conchoidal surface, mineralized with psilomelane (dark grey patina), along which the second order channel in transversal section (2) has developed. The second-order channel in transversal section (4) is set along a secondary fracture highlighted by the blue dashed line. Length of represented area: about 5 cm.

Fig. 23 - b. Frammento in cui è particolarmente evidente il carattere concoide delle fratture limonitizzate (tipico delle rocce marnose) su cui si sono impostati i solchi principali. Sulla superficie carsificata è inoltre evidente il reticolo di solchi di secondo ordine dovuto alla microfratturazione.

- b. A sample where the conchoidal character of limonitized fractures is particularly evident. On these surfaces, typical of marly rocks, greater channels have developed. The second-order reticulum of channels, due to microfracturation, is visible on the karstified surface.

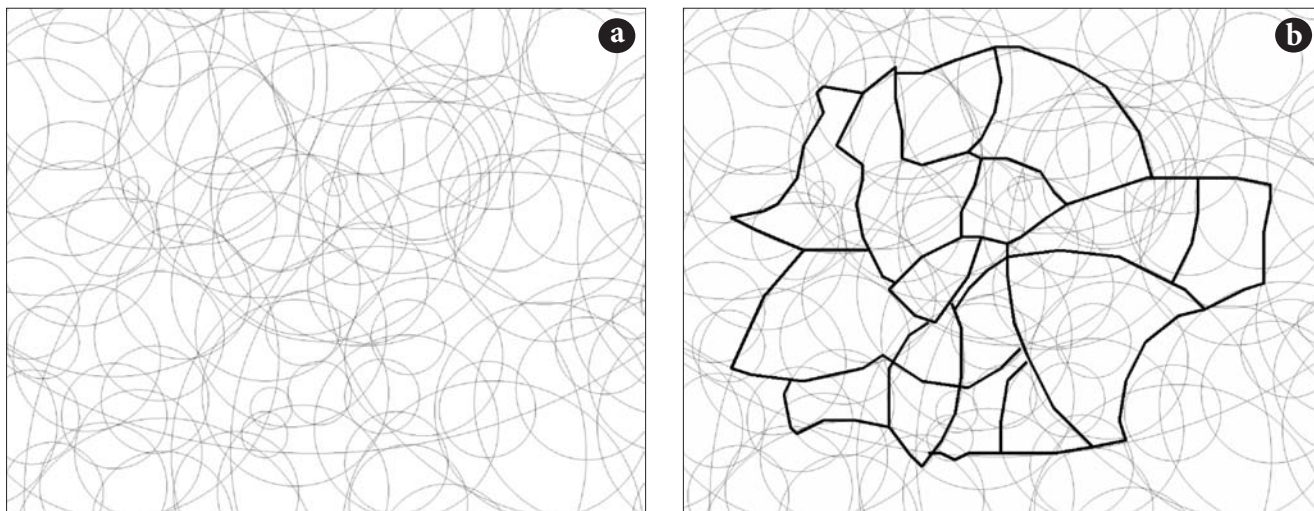


Fig. 24- Sezione di una porzione di spazio geometrico contenente infinite superfici sferiche di centro e raggio casuali (a). Tracciamento della rete di primo ordine (b) utilizzando le linee ipotetiche di frattura, rispettando la geometria dei cerchi e la loro gerarchia (dimensione).

- The section of part of a geometric space containing infinite spherical surfaces with random sizes and positions (a). First-order channel net drawing (b) along the hypothetical fracture lines, respecting the circles geometry and their hierarchy, or dimension.

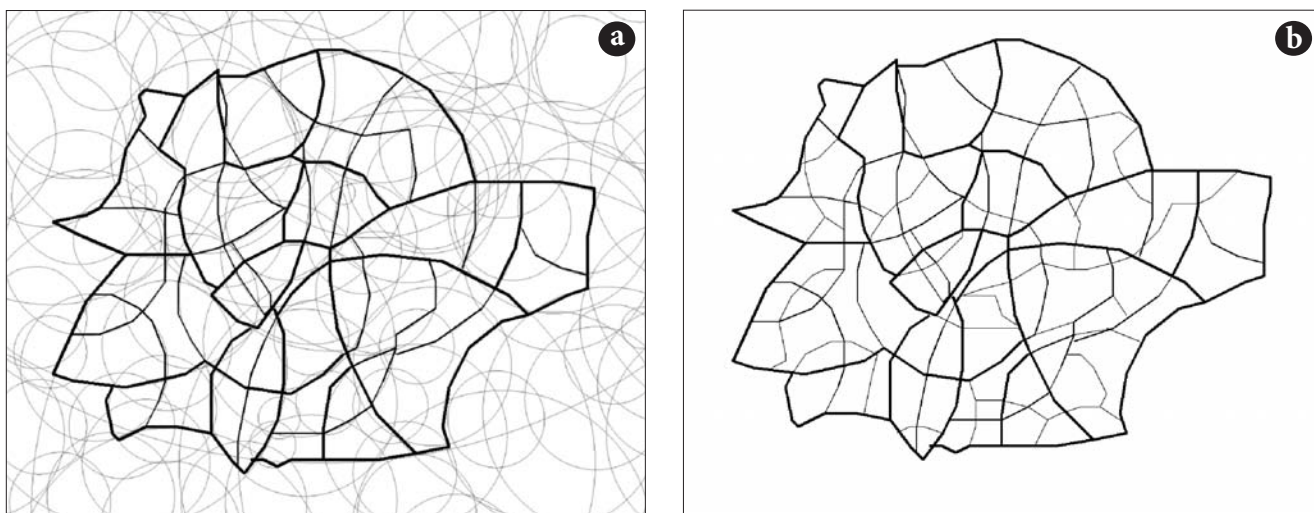


Fig. 25 - Tracciando le linee di secondo ordine (a) e di terzo ordine (b), l'aspetto si avvicina sempre di più a quello naturale presentato dalla superficie carsificata.

- Drawing the second order (a) and the third order (b) nets, the surface appears increasingly similar to the natural karstified surface.

tettonica. Nell'area sono presenti diverse famiglie di fratture subverticali, in particolare si osservano un sistema coniugato con direttrice NE-SW e un sistema orientato NW-SE.

Le stesse orientazioni sono seguite dagli alvei dei torrenti e dalle strutture carsiche, come allineamenti di doline, assi di sviluppo delle grotte, posizione degli ingressi delle cavità.

In generale le famiglie di discontinuità possono essere estese anche oltre l'area di studio, come mostrato nelle analisi della cartografia.

Nelle litologie e grana fine, lo stato di fratturazione interna della roccia viene evidenziato dalla dissoluzione

selettiva; in particolare si osserva localmente una forma peculiare di corrosione sottocutanea dalla geometria poligonale, i cui lineamenti seguono le principali discontinuità del calcare marnoso.

*Manoscritto pervenuto il 01.VII.2011 e accettato il 01.X.2011.*

### Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento al prof. F. Cucchi e al dott. M. Ponton per gli utili commenti forniti in fase di stesura del testo.



## Bibliografia

- CARULLI, G.B. 2006. *Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia*. Firenze: SELCA.
- CASTIGLIONI, G.B. 1986. *Geomorfologia*. UTET.
- GINÉS, A., M. KNEZ, T. SLABE & W. DREYBRODT, cur. 2009. *Karst Rock Features - Karren Sculpturing*. Postojna, Ljubljana: Carsologica 9.
- PONTON, M., & S. TURCO. 1997. La grotta di San Giovanni d'Antro: geologia dell'area ed evoluzione della cavità. In *Il fenomeno carsico delle Valli del Natisone*, cur. G. MUSCIO, 119-126. Udine: Mem. Ist. It. Spel. s. 2, 9.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA. 2008. *Carta Geologico Tecnica in scala 1:5000, Elemento 067022 - Pulfero*. Trieste.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1984. Stratigrafia e sedimentologia del flysch maastrichtiano-paleocenico del Friuli orientale. *Gortania. Atti Museo Friul. St. Nat.* 6: 5-58.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1986. Nuove osservazioni stratigrafiche sul Mesozoico delle Valli del Natisone (Friuli orientale). *Gortania. Atti Mus. Friul. Storia Nat.* 8: 17-68.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1987. New data and interpretation on the geology of the southern Julian Prealps (eastern Friuli). *Mem. Soc. Geol. It.* 40: 219-29.
- TUNIS, G., & S. VENTURINI. 1997. La Geologia delle Valli del Natisone. In *Il fenomeno carsico delle Valli del Natisone*, cur. G. MUSCIO, 35-48. Udine: Mem. Ist. It. Spel. s. 2, 9.

---

Author's address - Indirizzo dell'Autore:  
- Umberto AVIANI  
Dipartimento di Geoscienze  
Università degli Studi di Trieste  
via Weiss 8. I-34100 Trieste  
e-mail: [umberto.aviani@phd.units.it](mailto:umberto.aviani@phd.units.it)