

ALFREDO BINI*, MARCO CONFALONE*, GISBERTO LIVERANI*

ANALISI MORFOMETRICA DI FORME CARSIICHE SUPERFICIALI I. CREPACCI E CORRIDOI CARSIICI DELL'ALPE DI MOGAFIENO (Grigna Settentrionale, Lombardia)**

INTRODUZIONE

Il fenomeno carsico di alta e media montagna è oggetto in questi ultimi anni di numerose ricerche. La maggior parte dei lavori sin qui pubblicati è però essenzialmente descrittiva; infatti è mancata sinora un approccio quantitativo ai fenomeni, tale da mettere in relazione la genesi delle forme carsiche superficiali con la struttura. Abbiamo perciò intrapreso una serie di ricerche finalizzate a tale scopo, scegliendo delle aree carsiche tipiche per alcune morfologie. La prima area scelta è situata in Grigna Settentrionale sul versante orientale: l'Alpe di Mogafieno, caratterizzata da un grande sviluppo di forme carsiche allungate quali i crepacci carsici, i corridoi carsici (*bogaz*) e le vallette nivocarsiche. Su questi elementi sono state compiute analisi morfometriche e strutturali in modo da studiare le relazioni intercorrenti tra tali parametri.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

La zona carsica dell'Alpe di Mogafieno è situata sul versante sudorientale della Grigna Settentrionale (fig. 1) poco ad ovest del Pialeral, tra le quote 1800 e 1474 m s.l.m. Essa è costituita da un pendio piuttosto uniforme immergente a 40° con un'inclinazione media di 19°, che rappresenta il fianco meridionale della Foppa del Ger. A sud l'Alpe di Mogafieno è delimitata dalla ripida scarpata della Valle dei Grassi Lunghi.

Dal punto di vista geologico l'area è costituita da Calcere di Esino (Ladinico), formazione carbonatica di piattaforma, di notevole spessore (1000 m), caratterizzata da calcari bianchi, grigi o nocciola con facies in prevalenza biomicritiche e biosparitiche (alghie, gasteropodi e crinoidi). In particolare all'Alpe di Mogafieno affiora la parte bassa della formazione (140÷160 m al di sopra del limite inferiore) e si osservano oltre alle facies bioclastiche e a quelle ceroidi ricristallizzate, calciruditi anche relativamente grossolane. La stratificazione è generalmente indistinta ed è costituita da banchi spessi anche alcuni metri (1÷10 m). La giacitura è subparallela al pendio (34°/26°), per cui l'area carsica dell'Alpe di Mogafieno si è impostata su estese superfici di bancatura.

* Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano.

** Il presente lavoro rappresenta un approfondimento delle ricerche svolte nell'ambito delle sottotesi di laurea in Scienze Geologiche da parte di Marco Confalone e Gisberto Liverani.

Si ringraziano Ugo Sauro, Mirko Meneghel, Franco Cucchi e Severino Belloni, per la lettura critica del manoscritto; Enrico Vetri per le elaborazioni grafiche e Stefano Rossi per la fattiva collaborazione nella redazione del testo.

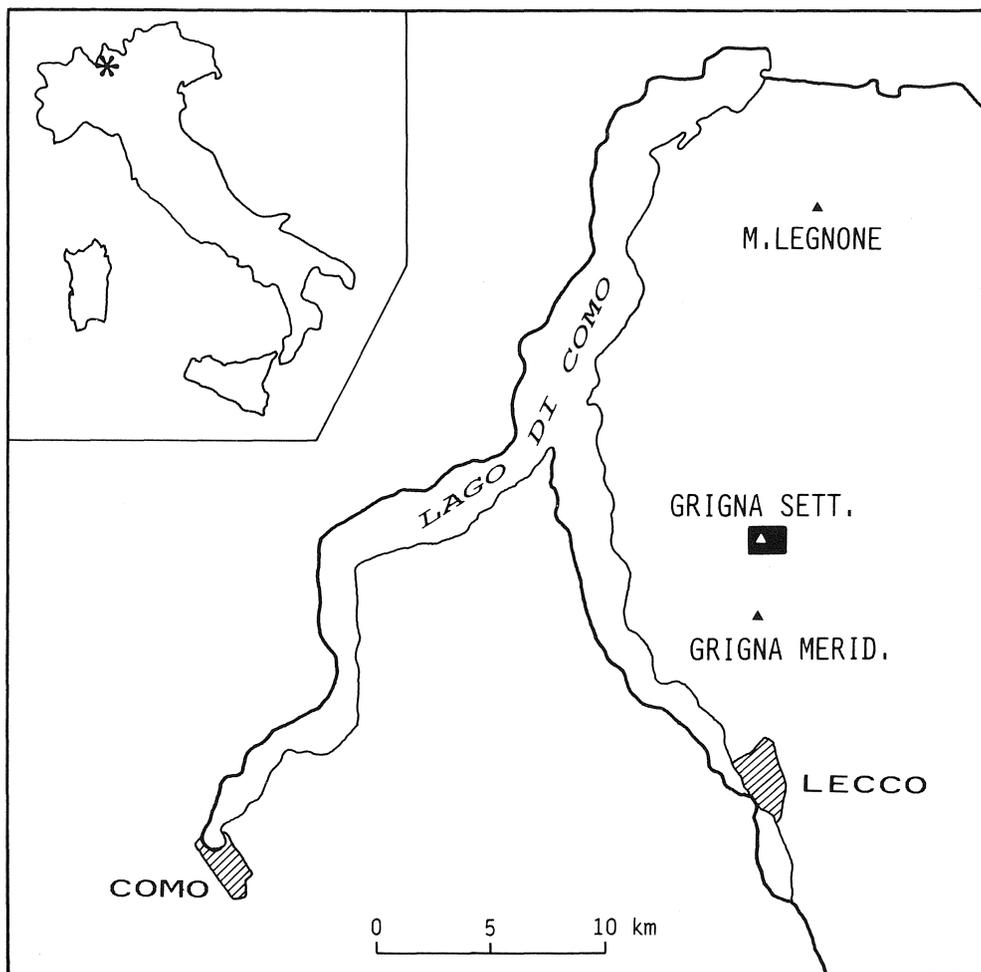


Fig. 1 - Localizzazione dell'area studiata.

Il limite con la sottostante Formazione di Buchenstein (calcari stratificati sottili, con selce in noduli ed intercalazioni di tufiti; Ladinico), da ritenersi scarsamente carsificabile, decorre poco a sud del crinale dell'Alpe di Mogafieno con la Valle dei Grassi Lunghi. Tale limite è dislocato da una serie di faglie ad andamento NE-SW che, in complesso, abbassano il settore orientale. I rapporti fra queste formazioni sono visibili in fig. 2.

Sul fianco nordorientale della Foppa del Ger si indentano nel Calcare di Esino lingue della Formazione di Wengen (marne, marne siltose e siltiti grigio scuro con nella parte inferiore calciruditi fini e calcareniti a clasti carbonatici; Ladinico) assolutamente non carsificabile.

Tali formazioni appartengono all'Unità Strutturale della Grigna Settentrionale, interessata da un'ampia sinclinale con asse WNW-ESE di cui l'Alpe di Mogafieno rappresenta il fianco SW.

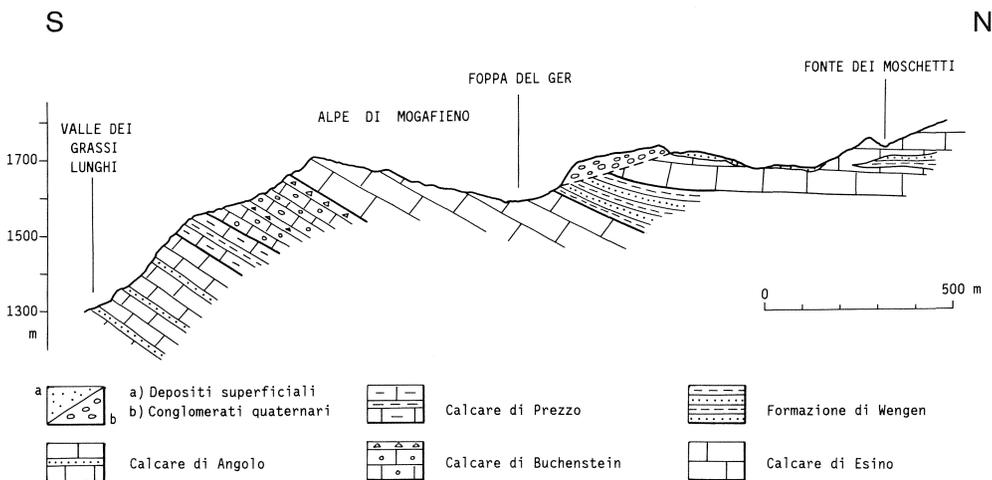


Fig. 2 - Sezione geologica passante per l'Alpe di Mogafieno.

Sul versante nordorientale della Foppa del Ger, sopra le formazioni ladiniche, affiorano i Conglomerati del Pialeral (Quaternario?) costituiti da clasti in gran prevalenza di Calcare di Esino, a spigoli vivi, disposti in banchi e lenti conformi al pendio e interpretabili geneticamente come una falda detritica di versante in ambiente periglaciale.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE

La morfologia del versante orientale della Grigna Settentrionale è essenzialmente dovuta a processi glaciali e periglaciali (fig. 3 e 4).

Durante le glaciazioni quaternarie il versante era occupato da uno o più ghiacciai locali, che hanno formato un circo maggiore, esteso all'intero versante e divisibile in due parti principali, ed alcuni circhi minori. La Foppa del Ger e la valle ad ovest dell'Alpe di Mogafieno sono appunto due circhi minori posti a quota inferiore rispetto al circo maggiore.

Le forme glaciali non sono particolarmente evidenti, sia per la scarsa importanza del ghiacciaio locale, sia per il successivo intervento di processi morfogenetici di diverso tipo che le hanno obliterate.

Si hanno poche testimonianze delle glaciazioni più antiche ad eccezione di alcuni scarsi affioramenti di tilliti nella zona dell'Alpe Prabello. Durante il massimo del Würm il versante era occupato da un unico ghiacciaio che scendeva verso Pasturo come è testimoniato dai depositi glaciali presenti sotto i Comolli e a NE del Pialeral. Durante le avanzate minori invece, avvenute nel tardo e postglaciale, erano presenti due ghiacciai: uno a nord centrato sul Passo della Capra ed uno a Sud centrato sulla Bocchetta di Releccio. Durante questa fase è stata formata la grande morena che a partire quasi dal Sasso di Grigna scende formando la costa del Pialeral lungo la Valle di Parolo. In seguito ghiacciai minori erano presenti in Foppa del Ger e nella valle ad ovest dell'Alpe di Mogafieno. Durante questa fase sono state formate le piccole morene presenti in Foppa del Ger.

Il circo minore della Foppa del Ger ha una forma irregolare e asimmetrica, dovuta

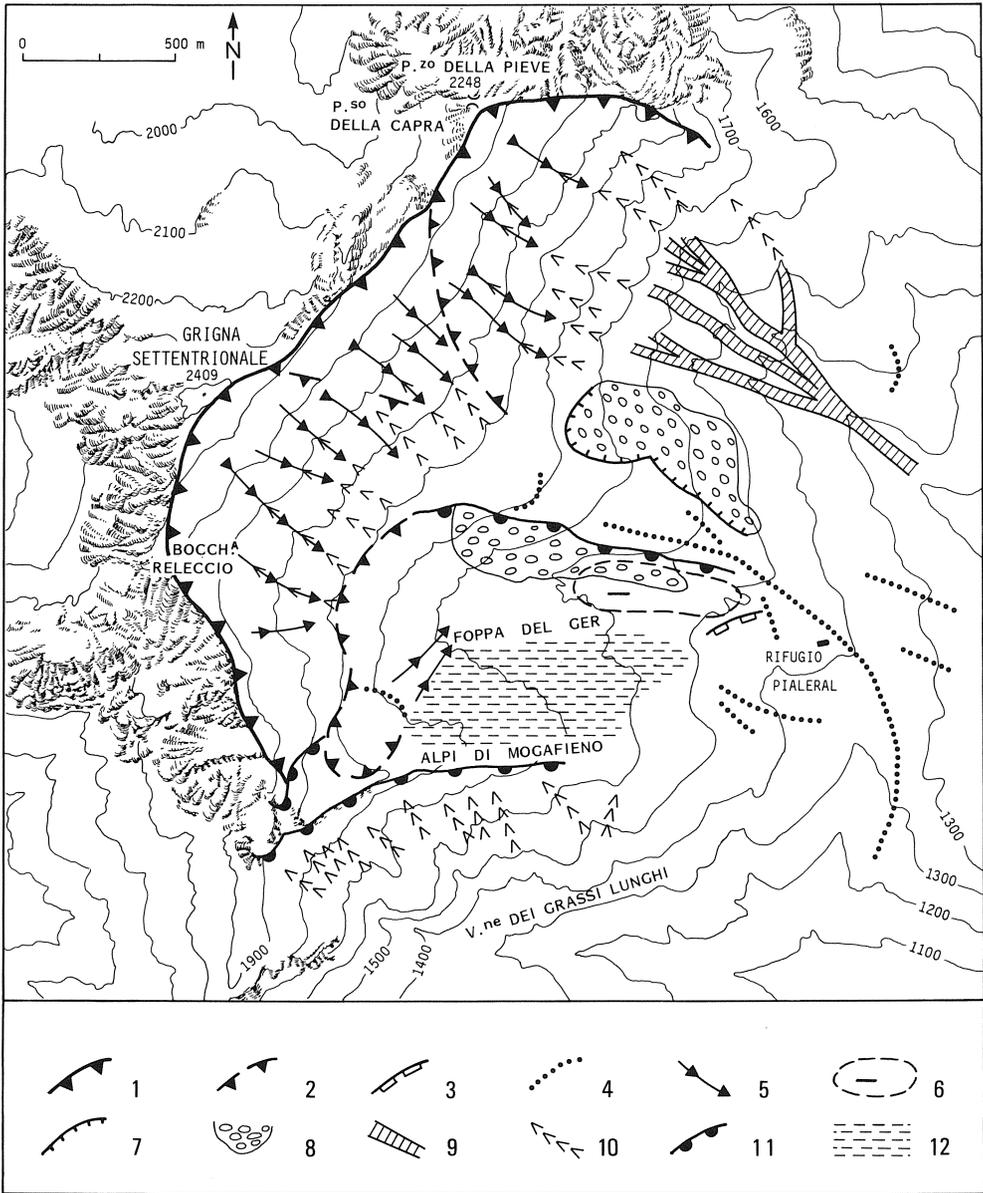


Fig. 3 - Schizzo geomorfologico del versante orientale della Grigna Settentrionale.



Fig. 4 - Il versante orientale della Grigna Settentrionale. L'Alpe di Mogafieno è l'area coperta di mughli al centro in basso; la Foppa del Ger è la valle immediatamente a destra.

all'immersione relativamente blanda verso NE delle superfici di bancatura del Calcare di Esino, che ne costituisce la testata e il versante destro. Il versante sinistro, invece, è costituito dalla ripida parete dei Conglomerati del Pialeral i cui banchi presentano giacitura verso SE.

Il regolare pendio dell'Alpe di Mogafieno si è formato perciò lungo le superfici di bancatura per effetto dell'esarazione glaciale.

A valle la Foppa del Ger è delimitata da una soglia e da un gradino compreso tra le quote 1500 e 1425, re-inciso a forra.

Tutta la parte alta del versante orientale della Grigna Settentrionale, al di sopra dell'isoipsa 1900 m, all'interno del circo maggiore costituisce un versante regolarizzato in ambiente periglaciale, e presenta una inclinazione media di 35°. Lungo questo versante si è poi sovrapposta l'erosione da parte dei corsi d'acqua temporanei, che hanno inciso una serie di ripidi solchi spesso in corrispondenza di linee di frattura. L'azione delle acque incanalate è comunque limitata alle parti più ripide in quanto l'assorbimento per fratture più o meno carsificate nel Calcare di Esino è abbastanza elevato. In ogni caso le acque scompaiono non appena confluiscono nel fondo poco inclinato della Foppa del Ger, costituito essenzialmente da conoidi alluvionali. In pratica la Foppa del Ger è una grande depressione glaciocarsica riempita di sedimenti.

I versanti della grande placca di Conglomerato del Pialeral sono interessati da imponenti fenomeni di crollo con rilascio gravitativo di estese parti dei versanti. Tali fenomeni sono più intensi sul versante a NE, rispetto a quello esposto a SW che costituisce il fianco sinistro della Foppa del Ger.



Fig. 5 - Panoramica della parte bassa dell'Alpe di Mogafieno.

Di origine strettamente legata alla struttura (litologia e tettonica) è invece la ripida scarpata che delimita a sud l'Alpe di Mogafieno verso la Valle dei Grassi Lunghi. Tale versante è interessato da intensi fenomeni di rilascio gravitativo, testimoniati anche dalla presenza di doline troncate dall'arretramento della parete in corrispondenza dell'Alpe di Mogafieno.

Da quanto detto finora è chiaro che non tutte le superfici di affioramento di Calcarea di Esino presentano caratteri tali da permettere lo sviluppo del carsismo. L'unica superficie a bassa inclinazione (19°) del versante orientale della Grigna Settentrionale, tale cioè da favorire lo sviluppo di forme carsiche superficiali e l'infiltrazione delle acque in profondità, è quella dell'Alpe di Mogafieno.

Il pendio dell'Alpe di Mogafieno, per quanto uniforme nell'insieme, si presenta in dettaglio estremamente tormentato per l'alta densità di forme carsiche (fig. 5). Tra queste prevalgono di gran lunga le forme orientate (solchi di vario tipo, forma, dimensioni, orientazione e genesi), mentre sono in netto subordine le depressioni (doline) di dimensioni sempre molto modeste (fig. 6). La maggior parte delle piccole forme carsiche presenti è di età postglaciale würmiana, infatti la superficie dell'Alpe di Mogafieno si presenta poco o nulla dissecata là dove è stata denudata più di recente della copertura di suolo o della sottile copertura di depositi glaciali. Le forme di maggiori dimensioni, come i *bogaz* e le vallette nivocarsiche, invece sono probabilmente ereditate.

La vegetazione dell'Alpe di Mogafieno è costituita dal cespuglieto alpino rappresentato dall'alleanza *Erico-Pinion* caratterizzata dalla presenza di pino mugo, rododendro, ginopro nano e sorbo.

STATO DI FRATTURAZIONE DELLA ROCCIA

Per poter mettere in relazione lo sviluppo delle forme carsiche orientate con lo stato di fratturazione della roccia sono state eseguite cinque stazioni di rilevamento strutturale, distribuite in modo il più possibile uniforme sull'area.

In ogni stazione sono state misurate tutte le discontinuità (fratture e superfici di strato) intersecate da una retta, materializzata da una bindella; per ogni stazione sono stati usati due stendimenti di bindella grossomodo ortogonali tra loro. La lunghezza di tali stendimenti è funzione della spaziatura e del numero di discontinuità, che per ogni stazione deve essere di $80 \div 100$ discontinuità (SCESI e SAIBENE, 1988).

Tutti i dati sono stati riportati su stereogrammi di Schmidt, emisfero inferiore; le aree di densità sono state determinate con contatore di Dimitrijevic. Le discontinuità sono state raggruppate in famiglie principali indicate con la lettera K e famiglie secondarie indicate con la lettera F. Alcune famiglie principali sono state suddivise a loro volta in sottofamiglie. Di ogni famiglia è stato calcolato il piano medio (riportato in diagrammi ciclografici), considerato come rappresentativo della famiglia. Dall'analisi degli stereogrammi (fig. 7) risulta che le famiglie di discontinuità più importanti sono la K1 e la K2, ben evidenti in tutte le stazioni (eccetto la 2 dove la K2 è appena accennata).

La famiglia K1, che presenta la massima densità di discontinuità, possiede una immersione media di 220° e inclinazione media di 71° . È comunque divisa in un certo numero di sottofamiglie; la più importante delle quali possiede una giacitura media $204^\circ/70^\circ$ ed è presente in tutte le stazioni. La seconda sottofamiglia K1 per importanza ha giacitura media $248^\circ/71^\circ$ ed è presente nettamente solo nella stazione 5.

La famiglia K2 include essenzialmente discontinuità verticali con direzione media $41^\circ \div 221^\circ$. Segue come importanza la famiglia K3 composta anch'essa da discontinuità verticali con direzione media $17^\circ \div 197^\circ$, quindi le famiglie K4, K5, K6, K7 tra cui la K7 presenta un'importanza particolare in quanto coincide con le superfici di bancatura ($34^\circ/26^\circ$).

Sempre dall'analisi degli stereogrammi si deduce che la direzione dello sforzo principale (σ_1) nell'area in esame è $29^\circ \div 209^\circ$. Questa direzione concorda con gli elementi strutturali della Grigna Settentrionale e con la stessa struttura sinforme cui l'Alpe di Mogafieno fa parte.

CREPACCI CARSICI O KARREN SU FRATTURA (KLUFTHARREN): DESCRIZIONE E MORFOMETRIA

Rappresentano le forme carsiche dominanti dell'Alpe di Mogafieno. Si osservano entrambi i tipi di crepacci descritti in letteratura (PERNA e SAURO, 1978; SWEETING, 1972):

- *crepacci veri e propri* o "grykes", la cui sezione trasversale si chiude a cuneo verso il basso lungo la frattura generatrice (fig. 8);
- *crepacci a trincea* o "trenches", che terminano bruscamente contro una superficie di bancatura, spesso in corrispondenza di una cavità di interstrato (SAURO, 1974; PERNA e SAURO, 1978) (fig. 9).

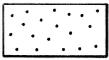
Questi ultimi sono prevalenti all'Alpe di Mogafieno.

Spesso i crepacci, incrociandosi a rete, formano veri e propri campi a crepacci, al cui interno rimangono isolati blocchi rocciosi di dimensioni metriche, con superficie grossomodo coincidente con un piano di strato, di pianta rettangolare o romboidale a seconda degli angoli tra i crepacci, denominati *Karren piatti* (*Flachkarren*, in tedesco;

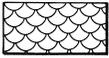
LEGENDA

MORFOLOGIA DI VERSANTE

DEPOSITI CONNESSI ALLA DINAMICA DEI VERSANTI



Detriti non cementati, in falde e coni (Attuale)



Frane di crollo (Attuale)



Breccie calcaree monogeniche ben cementate, con clinostratificazione incrociata, in erosione (preWurmiano)



Aree non carsificabili

MORFOLOGIA CARSIKA



Scannellature (rillenkarren)



Corridoio (bogaz)



Solchi a doccia (rinnenkarren)



Crepacci (kluftkarren)



Dolina semisferica
a) con bordo netto; b) poco netto



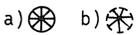
Dolina asimmetrica



Dolina troncoconica



Gruppo di piccole doline

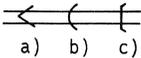


Dolina a imbuto



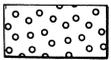
Karren ruiniforme (chicot)

FORME DI ORIGINE MISTA



Valletta nivocarsica
a) con fondo a V; b) arrotondato; c) piatto

MORFOLOGIA GLACIALE



Depositi glaciali



Cordone morenico

IDROGRAFIA



Sorgente

ALTRI SIMBOLI



Limite inferiore del Calcarea di Esino



Giacitura degli strati



Stazione di rilevamento strutturale

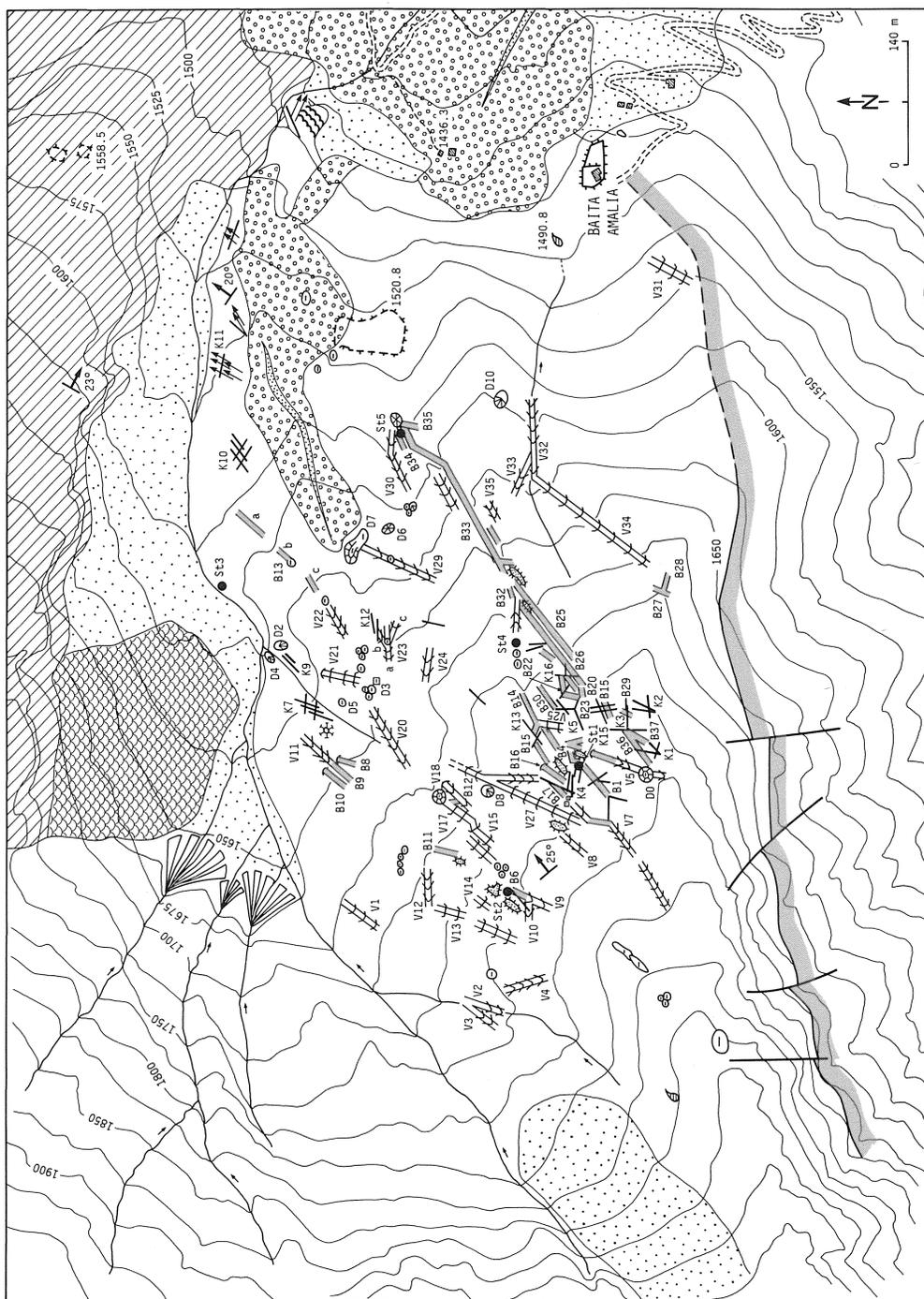


Fig. 6 - Carta geomorfologica dell'Alpe di Moggierno.

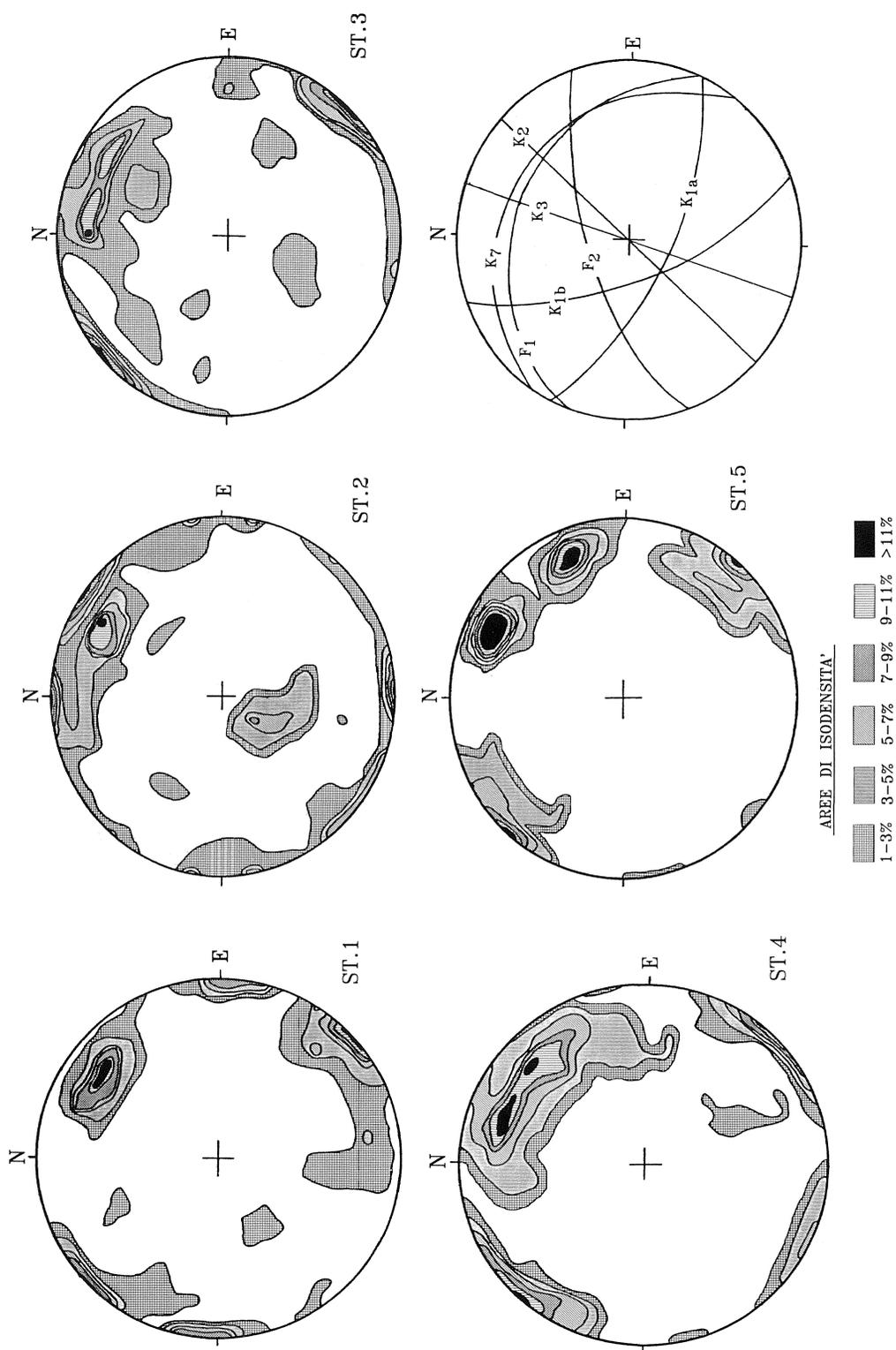


Fig. 7 - Stereogrammi di Schmidt, emisfero inferiore, relativi alle cinque stazioni di rilevamento e stereogramma ciclografico relativo al totale di tutte le stazioni.



Fig. 8 - Crepaccio asimmetrico tipo *gryke* impostato su una frattura K1. Sulla parete non strapiombante si osservano solchi a doccia, ubicati essenzialmente in corrispondenza delle fratture che intagliano la parete opposta, appartenenti alla famiglia K2. Si osservi l'assenza di vegetazione all'interno.

Clints, in inglese) (fig. 10).

Queste forme sono state oggetto di misure morfometriche, in particolare di ogni crepaccio sono stati misurati i seguenti parametri:

- orientamento, ossia l'azimut dell'immersione del fondo del crepaccio (elemento lineare); se quest'ultimo era orizzontale sono stati riportati i due valori azimutali di orientamento;
- inclinazione; questo parametro è stato misurato in un numero limitato di casi (non riportati in Tab. I) poiché il suo rilevamento è risultato difficoltoso e impreciso. La scarsa lunghezza dei crepacci e l'impossibilità oggettiva di riguardare a filo con il fondo dei crepacci, peraltro di norma assai irregolare, hanno fatto sì che l'errore di parallasse commesso potesse essere dell'ordine delle decine di gradi;
- lunghezza; anche la misurazione di questo parametro ha presentato difficoltà sia per la gradualità con la quale spesso i crepacci si estinguono lungo le fratture, sia per la presenza di vegetazione o detriti che a volte ne occultano la prosecuzione. Perciò il numero dei dati di lunghezza è piuttosto basso;
- profondità e larghezza; questi due ultimi parametri, nonostante le irregolarità di forma presentate da alcuni crepacci, sono stati misurati in quasi tutti i casi, effettuando eventualmente più misure per crepaccio. Tutti i dati relativi ai 150 crepacci misurati, suddivisi in raggruppamenti che riflettono le associazioni spaziali tra crepacci, sono riportati in Tab. I.

La lunghezza (l) dei crepacci è piuttosto modesta (l max.=12 m, l med.=6 m), con



Fig. 9 - Crepaccio a trincea (*trenches*), la cui orientazione forma un angolo piccolo con il pendio. Si osservi il fondo occupato da vegetazione.

valori relativamente poco dispersi. La profondità (d) (fig. 11) varia da un minimo di 25 a un massimo di 300 cm con un valore medio di 98.7 cm ($\sigma=67.9$ cm) e moda di circa 50 cm (50% delle misure è compreso tra 25 e 75 cm). La media è probabilmente sottovalutata: spesso infatti il fondo dei crepacci è coperto da detriti e/o da vegetazione oppure è occultato da un "ponte" di detriti che ostruisce il crepaccio a una profondità inferiore a quella reale. La larghezza (w) (fig. 11) presenta una dispersione di valori relativamente bassa attorno a una media di 44.65 cm ($\sigma=35.72$, w min.=10 cm, w max.=200 cm). Anche in questo caso la moda compresa tra 15 e 30 cm, non coincide con la media ma risulta spostata verso valori inferiori: vi sono cioè sia per larghezza che per profondità ampie code costituite da un numero esiguo di dati corrispondenti a valori elevati o



Fig. 10 - *Karren* piatto o *clint*. La sommità coincide con una superficie di strato. La parete di sinistra, leggermente strapiombante, si sviluppa lungo un crepaccio impostatosi su una frattura K1.

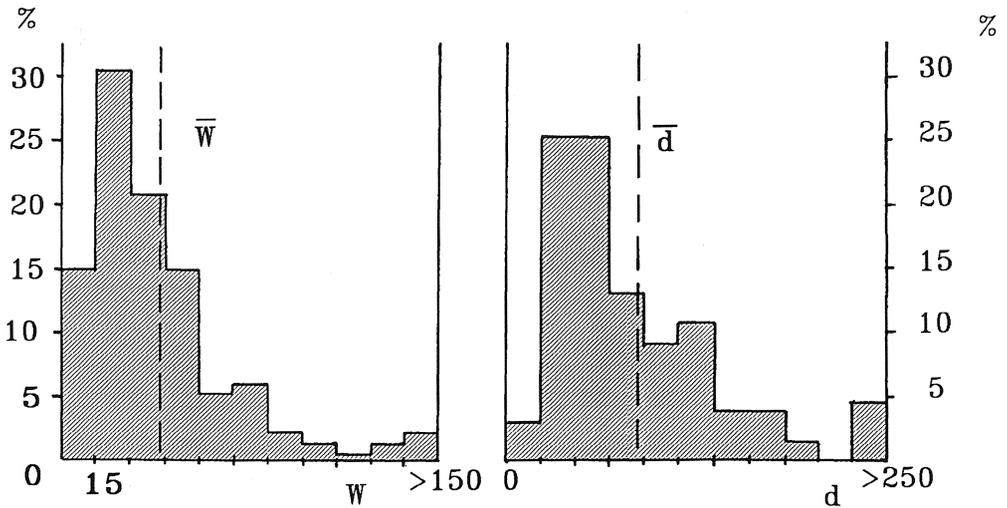


Fig. 11 - Istogrammi delle frequenze percentuali dei valori di larghezza (w) e profondità (d) dei crepacci (w=133 dati; d=134 dati).

molto elevati. Problematica si è talvolta rivelata pure la misura della larghezza, per la frequente presenza di allargamenti osservabili sia in pianta che in sezione. Nei crepacci tipo *grykes* in particolare si nota un progressivo restringimento della sezione a partire dagli orli. Tali forme sono perlopiù sviluppate, come si vedrà meglio in seguito, su fratture trasversali al pendio con elevata inclinazione ma non verticali. Al contrario nei crepacci a trincea (che sono in netta prevalenza) si ha a volte un improvviso allargamento alla base dovuto alla coalescenza del crepaccio stesso con una cavità d'interstrato suborizzontale. Per risolvere tali problemi non si è tenuto conto degli allargamenti irregolari che si scostano dalla forma ideale cui maggiormente si avvicina la forma reale esaminata, mentre nel caso di variazioni regolari si è valutata una media approssimativa.

Come si nota la larghezza media è ben inferiore alla profondità media. La correlazione tra i valori di profondità e di larghezza di 133 crepacci (quelli di cui sono stati misurati entrambi i parametri in questione), conferma che i crepacci sono per la grandissima parte (87%) più profondi che larghi, ma esclude l'esistenza di una relazione (il coefficiente di correlazione R è infatti estremamente basso: 0.09) né lineare né di altro tipo tra i due parametri. Non esiste quindi una forma comune alle sezioni di tutti gli elementi.

Ancora meno significativi sono i risultati che si ottengono confrontando i dati di lunghezza con quelli di profondità e larghezza (grafici non riportati). I valori di R sono infatti in entrambi i casi tendenti a 0; non si evidenzia quindi nei crepacci alcuna tendenza ad aumentare la propria sezione all'aumentare della lunghezza.

I dati di maggior interesse sono quelli di orientamento. La variabilità di orientazione dei crepacci dà luogo a frequenti intersezioni. I crepacci spazialmente associati tra loro e in rapporti di intersezione sono stati riuniti in raggruppamenti contrassegnati con numeri romani (k I, k II, k III, ... k XVI), corrispondenti ad altrettanti campi a crepacci (vedi Tab. I).

La disposizione tipica dei crepacci è quella a reticolo, che porta all'individuazione dei *clints*; a volte invece (es.: k VII) si osserva un'unica trincea ad andamento spezzato, con tronchi vicarianti lunghi, subparalleli alla direzione di massima pendenza del pendio (32°) e uniti da brevi tronchi con direzione 100°÷250°.

Una disposizione simile si osserva anche nel caso di alcuni *bogaz*, che presentano tronchi subparalleli e vicarianti, uniti da crepacci ad andamento trasversale. In corrispondenza dei punti di incrocio dei crepacci (o tra crepacci e *bogaz*) vi sono sempre depressioni più o meno marcate, a dimostrazione del fatto che le linee subverticali di intersezione costituiscono vie preferenziali per l'infiltrazione dell'acqua in profondità. A volte si osservano veri e propri pozzi con profondità anche superiori ai 10 m (pozzi di *lapiaz* o *karrenholen* o *lapies wells*; SWEETING, 1972).

La variabilità nell'orientazione dei crepacci (fig. 12) tende a far escludere un condizionamento esclusivo da parte del pendio, che è orientato in media 40°/19°. Il massimo assoluto di frequenza (14.1%) si ha nell'intervallo tra 41° e 50° (con picco più pronunciato tra 46° e 50°), dovuto essenzialmente alla presenza di un'importante famiglia di fratture (K2) il cui piano medio è orientato 41°÷221°.

Altri massimi relativi sono nelle classi di orientazione tra 11° e 20°, 101° e 110°, 121° e 130°, 281° e 290°, 301° e 310°, 341° e 350°, separati da zone di minimo più o meno marcate, anche in corrispondenza di azimut molto prossimi a quello del pendio. Nell'intervallo 31°÷40° ad esempio sono stati rilevati 7 elementi, di cui solo 2 tra 36° e 40°.

È possibile dunque suddividere la maggior parte dei crepacci in famiglie di diversa orientazione (all'interno delle quali si considerano dispersioni in un senso o nell'altro di 5°÷10°) contrassegnate dalla lettera C e da un numero d'ordine in base alla relativa frequenza.

Come si può osservare nel diagramma polare della fig. 12 esiste una corrispon-

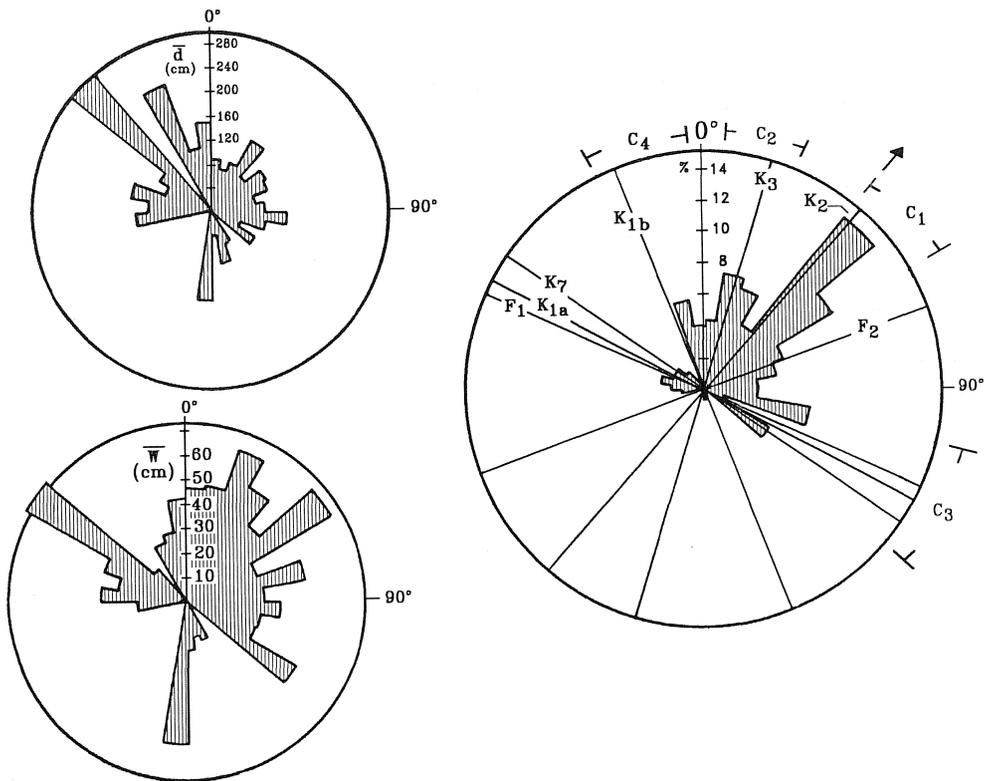


Fig. 12 - (a destra) Distribuzione della frequenza di orientazione dei crepacci. Sono riportate anche le direzioni dei piani medi delle famiglie di discontinuità (si confronti con lo stereogramma ciclografico di fig. 7 per l'inclinazione delle discontinuità), con una freccia l'immersione media del pendio e le famiglie di crepacci con diversa orientazione.

Fig. 13 - (a sinistra) Distribuzione dei valori di profondità (d) e larghezza (w) dei crepacci secondo l'orientazione. (Confrontare con la fig. 12 per le discontinuità, l'immersione media del pendio e le famiglie di crepacci).

denza piuttosto buona tra le orientazioni delle famiglie di crepacci e le direzioni delle famiglie di fratture (C1 è impostata in corrispondenza di K2; C2 di K3; C3 di K1a; C4 di K1b), tenendo conto anche del fatto che ogni famiglia di fratture comprende piani aventi orientazione con dispersione fino a 15° rispetto a quello medio. I piani di fratturazione sono infatti, ad eccezione di K7 ed F1, verticali o subverticali, quindi tutti con giacitura tale da favorire lo sviluppo dei crepacci carsici.

Se si esamina la distribuzione dei valori di profondità e larghezza dei crepacci secondo l'orientazione (fig. 13), si nota che questi parametri morfometrici variano da una famiglia all'altra, in funzione quindi, in ultima analisi, dell'orientazione delle fratture lungo le quali si sono impostati i crepacci.

La famiglia C1 (azimut variabile da 40° a 60°), costituita da crepacci orientati con massima frequenza a 48° , presenta valori di larghezza da mediamente a molto elevati (w med. = 53.9 ± 8.6) comprendendo tra l'altro il massimo valore (220 cm), mentre i valori di profondità sono di solito inferiori alla media generale (d med. = 89.1 ± 9 cm). I cre-

pacci che seguono le fratture di K2 sono quindi relativamente larghi rispetto alla loro profondità (w/d medio=0.66). Tali caratteri si accentuano maggiormente in C2 (crepacci orientati da 11° a 25° , con valore modale 15°), controllata dalle fratture di K3 ($K3$ med.= $17^\circ \div 197^\circ$). Il rapporto medio tra w e d è ancora più elevato (0.82), con scarti sempre piuttosto notevoli dei valori di w , e profondità generalmente basse (78 cm in media, tre suoi valori superiori al metro).

C3 e C4 si discostano nettamente dall'andamento delle due famiglie appena descritte. La prima famiglia (azimut da 105° a 130° , con due valori modal corrispondenti a 110° e 125°), essendo impostata su fratture non verticali disposte ortogonalmente al pendio e ai piani di bancatura (K1, avente piano medio orientato $204^\circ/70^\circ$), è costituita da crepacci, perlopiù del tipo *grykes*, asimmetrici (il fianco a monte è strapiombante) e a fondo orizzontale o suborizzontale (sul diagramma a rosa si evidenziano infatti due piccoli massimi relativi, diametralmente opposti a quelli già citati). Carattere saliente di C3 è il basso rapporto medio w/d (0.5), dovuto essenzialmente a valori bassi di larghezza (w med.= 41.5 ± 6.2 cm). I valori di profondità sono poco dispersi (la deviazione standard, pari a 43 cm è sensibilmente inferiore a quella generale) attorno a un valore prossimo a quello medio di tutti i crepacci (93 cm).

I crepacci della famiglia C4 (con azimut compreso tra 340° e 357°) controllati da K1b, hanno una sezione ancora più stretta di quella di C3. La loro profondità è in media elevata (118.6 ± 23 cm), mentre la larghezza è sempre molto modesta (w med.= 30.7 ± 4.5 cm, senza valori superiori a 60 cm): ne risulta un w/d medio particolarmente basso (0.38).

GENESI DEI CREPACCI CARSICI

La genesi dei crepacci carsici è stata oggetto di numerosi studi che hanno messo in evidenza ora l'opera dell'acqua di ruscellamento (BÖGLI, 1956), ora l'azione della copertura di suolo e della vegetazione (WILLIAMS, 1966; PERNA e SAURO, 1978), ora la litologia (SWEETING, 1966; LEWIS, 1983), ora lo stato di fratturazione (GOLDIE, 1981). Una sintesi generale delle conoscenze in cui viene messa in luce l'azione delle acque capillari che risalgono lungo le fratture a partire da cavità di interstrato è riportata in PERNA e SAURO (1978).

Le analisi condotte all'Alpe di Mogafieno e in particolare le relazioni tra orientazione e morfometria suggeriscono che i diversi rapporti di intersezione tra fratture, pendio e superfici di bancatura abbiano condizionato l'evoluzione dei crepacci. Essa si sarebbe quindi svolta con modalità diverse nei due casi: fratture subparallele alla massima pendenza e fratture ad essa grossomodo trasversali (fig. 14).

A) *Linee di frattura formanti angoli piccoli ($<30^\circ$) con la linea di massima pendenza della superficie topografica (famiglie K2 e K3).*

L'evoluzione dei crepacci corrispondenti (C1 e C2) segue nelle sue linee generali lo schema proposto da PERNA e SAURO (1978). La dissoluzione avviene inizialmente lungo la linea di intersezione tra una frattura e una superficie di strato. L'acqua che scorre lungo la condotta così formata tende a risalire per capillarità in modo pressoché uniforme lungo tutta la frattura. Quest'ultima viene allargata anche dall'alto soprattutto per opera dell'acqua di fusione nivale. È scarsa invece l'importanza dell'acqua di ruscellamento superficiale che, scorrendo subparallelamente in solchi a doccia non viene catturata se non in piccola parte dalle fessure in questione. Il crepaccio, una volta formatosi per fusione di fori (allineamenti di fori sono talvolta visibili sulla prosecu-

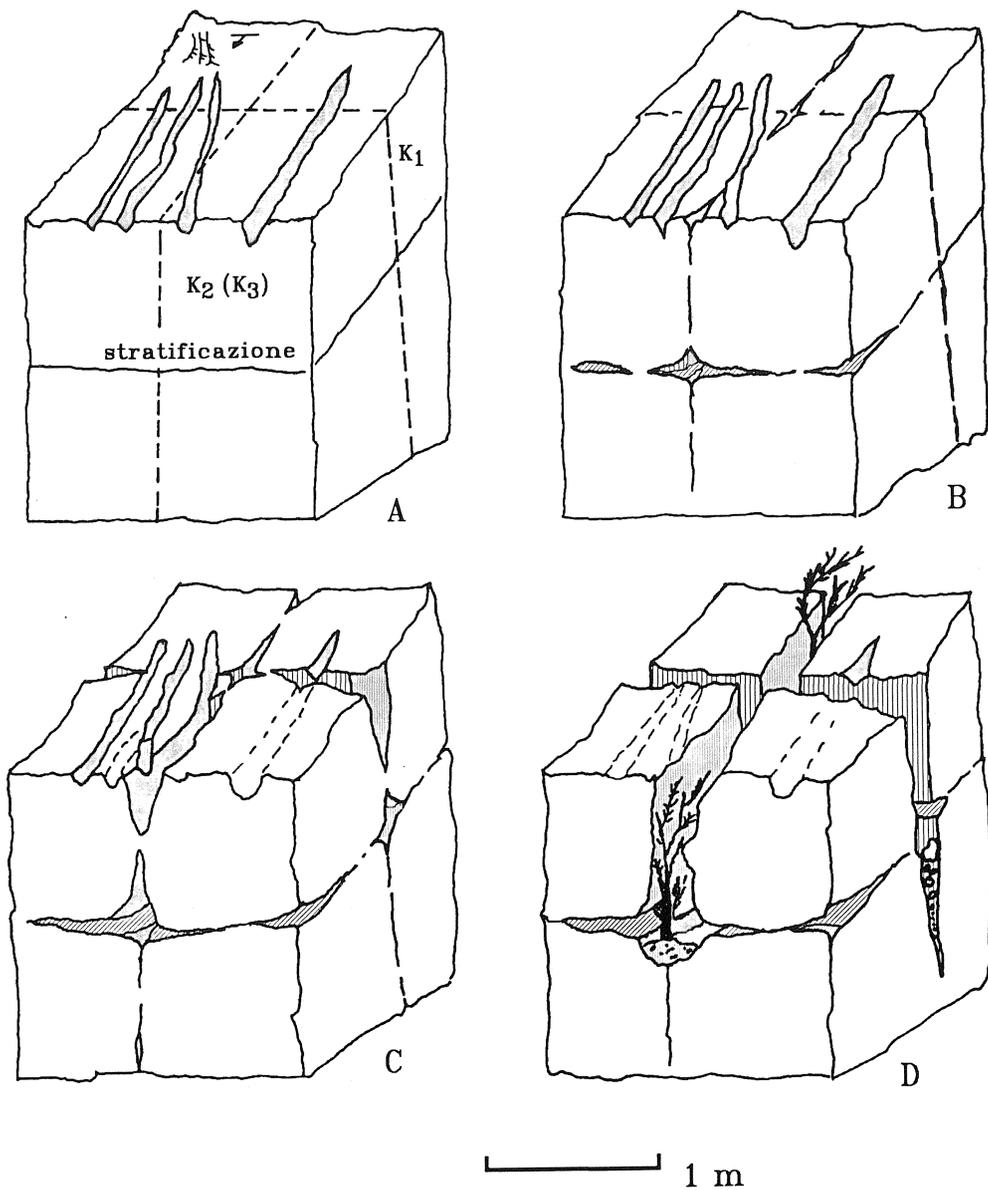


Fig. 14 - Schema del processo di formazione dei crepacci dell'Alpe di Mogafieno. Si noti la diversa evoluzione delle forme sviluppate lungo le fratture longitudinali (K2 e K3) rispetto a quella dei crepacci che seguono le fratture trasversali (K1).

zione di crepacci o in posizione ad essi parallela), si approfondisce lentamente rispetto alla cavità di interstrato originale. L'acqua che si raccoglie al fondo tende infatti a scorrere rapidamente esercitando una modesta azione corrosiva in senso verticale, soprattutto se, sul fondo, si è formato un deposito residuale protettivo che può essere colonizzato dalla vegetazione. La dissoluzione lungo le pareti continua invece ad essere attiva. Ne risultano forme a trincea in genere larghe (talvolta molto larghe, come nei *bogaz*) e relativamente poco profonde, in funzione della profondità del piano di strato. Il flusso d'acqua lungo il fondo viene interrotto quando il crepaccio (o il *bogaz*) è tagliato da un crepaccio trasversale. La linea di intersezione verticale cattura così l'acqua del segmento a monte.

B) Linee di frattura formanti angoli prossimi a 90° con la linea di massima pendenza della superficie topografica (K1a e K1b).

Lo sviluppo dei crepacci corrispondenti (C3 e C4) avviene principalmente dall'alto verso il basso, con un meccanismo in cui è meno importante il ruolo dei piani di strato. Spesso d'altra parte i crepacci di queste famiglie sono di tipo *grykes* e il loro fondo non coincide con un piano di strato. La carsificazione di queste fratture è inizialmente difficoltosa, e probabilmente tardiva rispetto alle altre. Quando però in corrispondenza di una frattura trasversale si genera, eventualmente con altri processi (es. gelifrazione) un modesto solco, questo è in grado di catturare una grande quantità di acqua fluente sulla superficie in direzione ad esso perpendicolare (SWEETING, 1972). L'approfondimento del solco, che avviene in modo disuniforme, per fori, è perciò piuttosto rapido. Contemporaneamente si forma anche in questo caso una cavità allungata all'intersezione tra la frattura e il piano di strato più prossimo alla superficie, che può fondersi con il crepaccio sovrastante. In tal caso dalla superficie vi perviene una notevole quantità d'acqua. Oltre alle acque di scorrimento superficiale sono evidentemente di grande importanza, nelle fasi evolutive avanzate, le acque di fusione nivale. Data l'immersione verso S delle fratture trasversali infatti, i crepacci asimmetrici che vi si impostano godono di un'insolazione pressoché nulla e ospitano neve per periodi particolarmente lunghi, la cui fusione avviene perciò in modo lento. L'acqua, comunque arrivata sul fondo dei crepacci, tende a stagnarvi (l'intersezione tra frattura e piano di strato è suborizzontale) ed esercita quindi un'efficace azione corrosiva verso il basso, "superando" anche il piano di strato. Si spiega così la buona, talora notevole profondità (>2 m), che caratterizza i crepacci trasversali, soprattutto in relazione alla loro scarsa larghezza. Il modesto allargamento degli elementi in questione è forse dovuto a una azione biochimica debole: per i motivi sovraesposti infatti la vegetazione al loro interno è scarsa, tanto che il fondo dei crepacci più profondi ne è completamente privo. Di contro, l'asimmetria dei crepacci trasversali ne favorisce un debole allargamento: sulla parete non strapiombante si formano in alcuni casi solchi a doccia che fanno arretrare l'orlo corrispondente caratterizzato da un irregolare profilo a festoni.

CORRIDOI CARSICI O BOGAZ

All'Alpe di Mogafieno costituiscono piccoli canyon rettilinei a fondo grossomodo piatto, con lunghezza di diverse decine di metri, o anche superiore, e larghezza e profondità dell'ordine di alcuni metri (fig. 15, 16 e 17).

Anche per queste forme sono state effettuate misure di orientamento, inclinazione, lunghezza, larghezza e profondità per un totale di 46 *bogaz*. Ovviamente, date le dimensioni dei *bogaz* tali misure si sono dimostrate molto più agevoli.



Fig. 15 - *Bogaz* di piccole dimensioni (B5).

I *bogaz* possono avere una sezione trasversale variabile (fig. 18): alcuni, almeno per certi tratti, presentano pareti verticali o subverticali, sezione rettangolare e sono più profondi che larghi. In altri le pareti sono collassate e di conseguenza presentano un'inclinazione minore per cui la larghezza dei *bogaz*, misurata sempre in corrispondenza degli orli, risulta maggiore della profondità. La sezione più diffusa è intermedia tra le due precedenti, costituita cioè da pareti subverticali che verso l'alto diminuiscono di inclinazione raccordandosi più dolcemente con il pendio.

Inoltre la sezione può essere asimmetrica con una parete molto meno inclinata dell'altra tanto da essere, in alcuni casi, ricoperta da suolo. Nel caso invece del *bogaz* 33, di dimensioni eccezionali (lunghezza: 265 m, larghezza: 20 m), si osserva che la parete sinistra è molto inclinata, mentre la destra è incisa, per un tratto, da un altro *bogaz* di di-

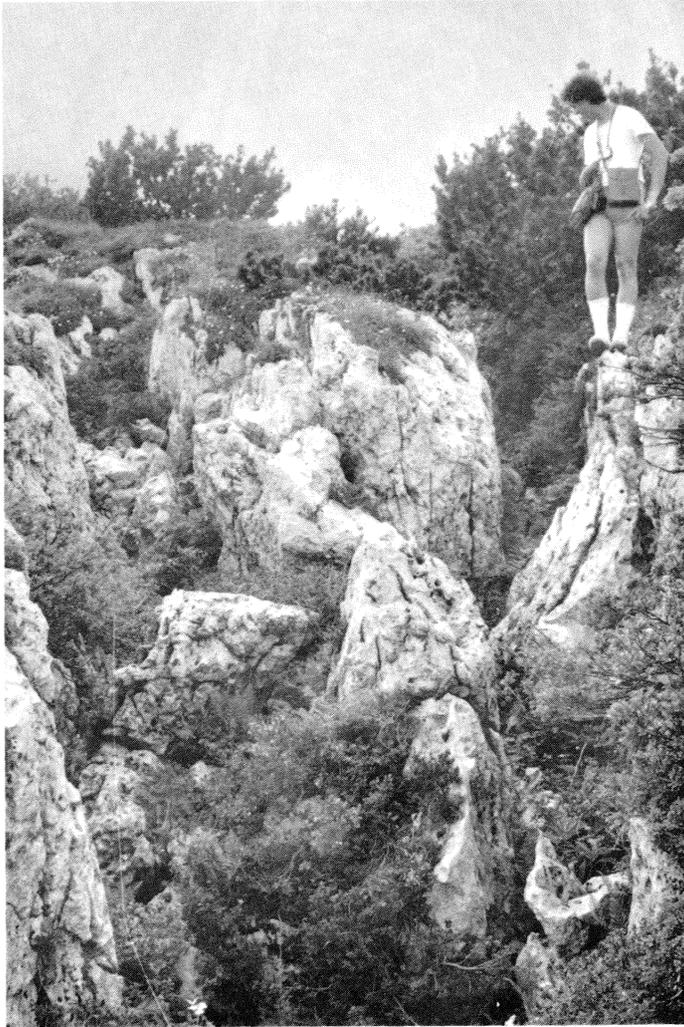


Fig. 16 - Confluenza di due *bogaz* (B36 e B37): si notino i blocchi di roccia staccati dalle pareti.

mensioni minori (larghezza 4 m, profondità 3 m) che si estende parallelamente e in posizione rialzata rispetto al fondo del *bogaz* principale. Il fondo dei *bogaz* è in genere piatto e occupato da detriti di crollo o di crioclastismo. Lo sviluppo planimetrico dei *bogaz* è in genere rettilineo, ma poiché sono intersecati da crepacci, spesso accade che i *bogaz* si sviluppino per qualche metro, lungo la direzione della frattura che controlla il crepaccio, per poi riprendere la direzione seguita prima dell'intersezione. Ne risulta così uno sviluppo planimetrico a segmenti. Anche il profilo longitudinale risulta condizionato dall'intersezione con i crepacci. Infatti spesso in corrispondenza di questi incroci si formano depressioni che fanno assumere al *bogaz* un profilo "a denti di sega". Queste depressioni possono essere semplici inghiottitoi con il fondo completamente



Fig. 17 - *Bogaz* di grandi dimensioni (B33). Esso deriva dalla fusione di due piccoli *bogaz* paralleli (visibili di fianco alla persona seduta). A sinistra, in secondo piano, si intuisce la confluenza di un altro *bogaz* minore.

ostruito da detriti, oppure veri e propri pozzi (simili ai pozzi di *lapiaz*), profondi parecchi metri.

I *bogaz* possono essere isolati, oppure derivare dalla coalescenza di due o più crepacci subparalleli o con andamento anastomizzato. Talvolta sembrano rappresentare la continuazione di una valletta nivocarsica che si approfondisce sempre più, aumentando contemporaneamente l'inclinazione dei versanti, mentre raramente succede l'inverso, cioè il passaggio da un *bogaz* ad una valletta. Bisogna inoltre aggiungere che alcune piccole doline asimmetriche passano lateralmente ad un *bogaz* di piccole dimensioni, impostato su una delle famiglie di fratture che ha contribuito a determinare la dolina.

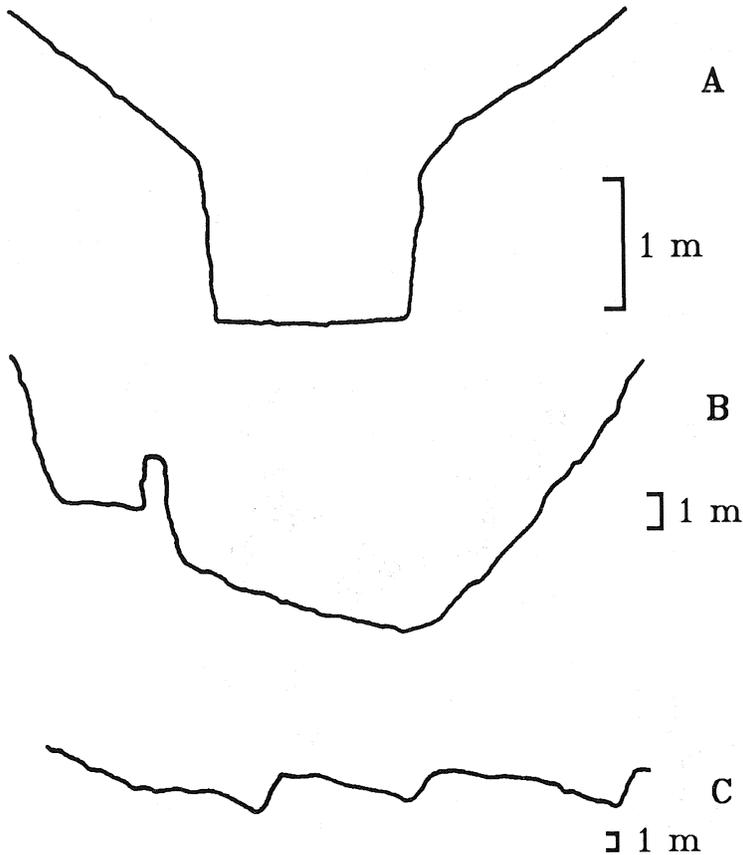


Fig. 18 - Sezioni di alcuni *bogaz*: A) sezione trasversale di B12; B) sezione trasversale di B33; C) sezione longitudinale della parte centrale di B33.

Le forme residuali ruinformi (*chicot*), poste in rilievo (fig. 19) tra i *bogaz*, sono molto irregolari ed a pianta allungata. La loro genesi è probabilmente legata all'approfondimento dei *bogaz* circostanti e al collasso dovuto all'azione combinata del carsismo e del gelo.

La lunghezza media dei *bogaz* è di 26.1 ± 7.8 m; non considerando il *bogaz* B33 lungo 265 m, la lunghezza media diviene 18.9 ± 3 m. Nell'istogramma di fig. 20 si osserva che il 55% delle misure è compreso tra 5 e 15 m, valori abbastanza diversi da quelli delle due medie precedenti. La larghezza media è di 4.3 ± 0.7 m; anche in questo caso i valori sono piuttosto dispersi, con il 47.7% delle misure compreso tra 1 e 3 m. La profondità media è di 2.5 ± 0.2 m.

La distribuzione delle profondità dei *bogaz* è invece più regolare, il grafico si avvicina maggiormente ad una curva gaussiana, e quindi il valore medio è prossimo ai valori modali (il 44.4% delle misure è compreso tra 1.5 e 2.5 m).

Riguardo all'orientazione dei *bogaz* (fig. 21) si osserva che il 50% delle misure è compreso tra i 40° e i 60° di azimut. Le percentuali maggiori però non sono distribuite in maniera simmetrica attorno all'immersione media del pendio, ma sono spostate verso



Fig. 19 - *Chicot* determinato da fratture K1.

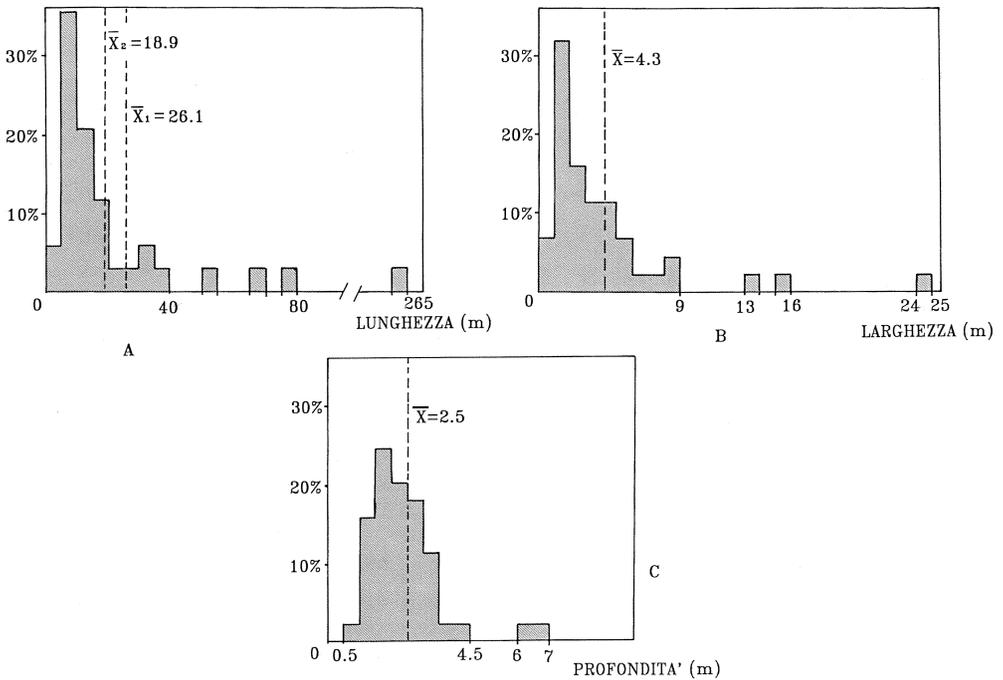


Fig. 20 - Istogrammi delle frequenze percentuali dei parametri dei *bogaz*: A=lunghezza dei bogaz (X_1 =lunghezza media calcolata su tutti i *bogaz*; X_2 =lunghezza media calcolata senza il B33); B=larghezza; C=profondità.

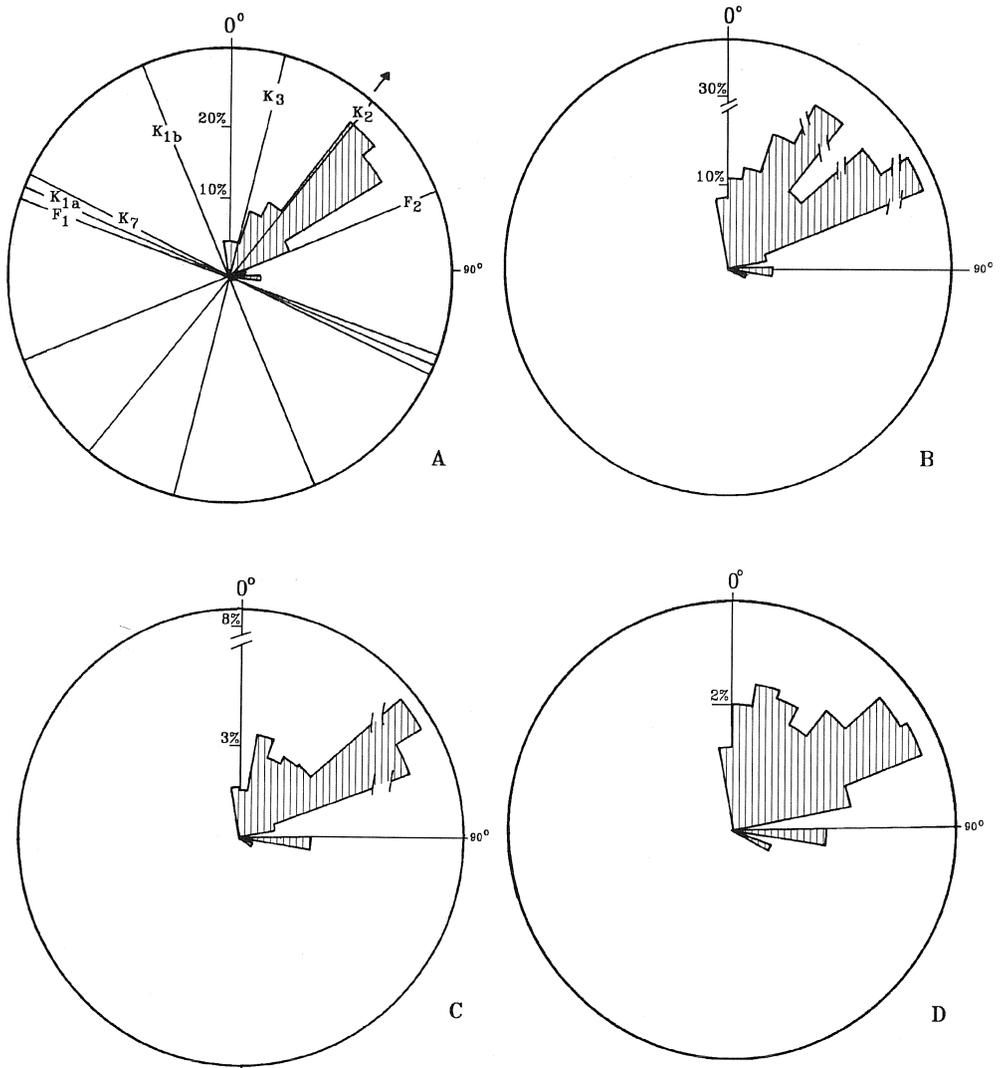


Fig. 21 - Distribuzione dei parametri dei *bogaz*: A) frequenza di orientazione; B) lunghezza; C) larghezza; D) profondità. Sono raffigurate anche le direzioni dei piani medi delle famiglie di discontinuità (si confronti lo stereogramma ciclografico di fig. 7 per l'inclinazione delle discontinuità); la freccia indica l'immersione media del pendio.

valori azimutali maggiori, cioè verso la direzione media della famiglia di discontinuità K2.

I *bogaz* più lunghi si osservano tra 30° e 40° , e tra 50° e 60° di azimut; i massimi valori sono però compresi tra 60° ÷ 70° per la presenza del *bogaz* 33. Le correlazioni tra i vari parametri morfometrici forniscono coefficienti non validi: tra larghezza e lunghezza il coefficiente di correlazione è 0.76, tra lunghezza e profondità è 0.59 e tra profondità e larghezza è 0.63.

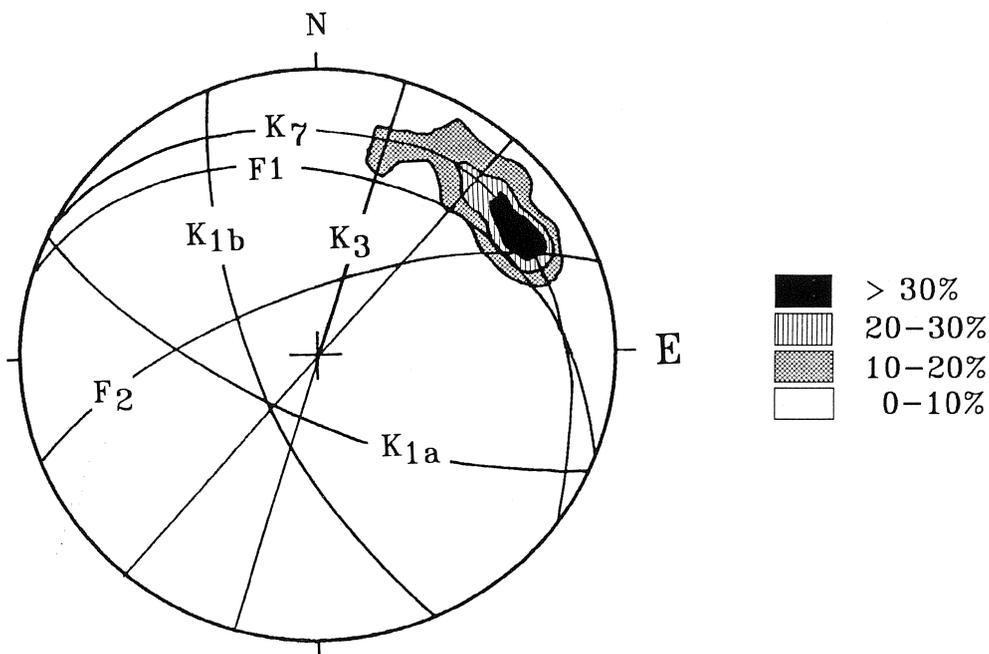


Fig. 22 - Stereogramma ciclografico di Schmidt in cui sono riportati i piani medi delle famiglie di discontinuità e le aree di densità dei *bogaz* (intersezioni con la sfera).

Poiché per i *bogaz* è stato possibile misurare le inclinazioni del fondo si è potuto proiettare i singoli tratti rettilinei dei *bogaz* su uno stereogramma ciclografico di Schmidt, come intersezioni con la sfera di riferimento. Le aree di densità sono riportate in fig. 22. Si può osservare come l'area di densità delle intersezioni sia allungata lungo il piano che rappresenta le superfici di bancatura (K7), presenti un massimo posizionato alle intersezioni delle famiglie K7 e K2, F2 e K7 e comprenda anche le intersezioni K2-F1 e F1-F2. Un massimo secondario è localizzato sulla intersezione K7-K3.

Il massimo di densità dei *bogaz* è perciò spostato rispetto alla giacitura media del pendio in corrispondenza di incroci di discontinuità in cui evidentemente la permeabilità è maggiore. Si deve osservare inoltre che, a differenza dei crepacci che pur avendo il massimo di densità coincidente con quello dei *bogaz* presentano una certa dispersione, i *bogaz* si allungano solo in direzione $40^{\circ} \div 60^{\circ}$ senza alcuna dispersione.

GENESI DEI BOGAZ

Precedentemente è stato messo in evidenza come i valori di orientazione dei *bogaz* siano abbastanza concentrati, con il massimo di frequenza compreso tra 40° e 60° di azimuth. In questo intervallo rientrano anche l'immersione media del pendio (40°) e il piano medio della famiglia K2 (41°), mentre la giacitura della bancatura è prossima a questi valori ($34^{\circ}/26^{\circ}$). La vicinanza dei valori azimutali di questi tre fattori impedisce di distinguere perfettamente quale dei tre sia il più influente; si può però escludere un'azione esclusiva del pendio sulla genesi dei *bogaz* in base ai diagrammi presentati in

precedenza ed in particolar modo al diagramma ciclografico di Schmidt (fig. 22).

I *bogaz* derivano dall'allungamento e approfondimento dei crepacci carsici per opera della corrosione carsica, eventualmente con il concorso di altri agenti fisici, quali la degradazione meccanica e il crioclastismo (SWEETING, 1972).

All'Alpe di Mogafieno è senz'altro importante il fatto che la stratificazione sia a franapoggio, con gli strati grossomodo paralleli alla giacitura del versante. Questa disposizione ha facilitato la genesi di forme carsiche allungate secondo il pendio.

Tra tutti i crepacci carsici presenti, solo quelli sviluppati su fratture subparallele alla linea di massima pendenza del versante sono aumentati di dimensioni sino a formare dei *bogaz*. È però importante osservare che il controllo esercitato dal pendio è secondario rispetto al ruolo della fratturazione associata alla stratificazione. Infatti dai diagrammi relativi ai crepacci ed ai *bogaz* si osserva che:

- i crepacci hanno una distribuzione di frequenza più dispersa dei *bogaz*, sono comunque più frequenti in corrispondenza delle famiglie di discontinuità K2 e K3 mentre sono scarsi in corrispondenza di F2. Ciononostante sono più profondi in corrispondenza di K3 e F2;

- i *bogaz* sono più numerosi in corrispondenza di K2 e secondariamente di F2 ma sono più lunghi in corrispondenza di K2 e F2, più larghi solo in corrispondenza di F2 e più profondi in corrispondenza di F2 e K3.

In conclusione quindi i *bogaz*, ed in parte anche i crepacci, sono relativamente indipendenti dall'immersione del versante, e dipendono strettamente dalle caratteristiche della fratturazione e dai rapporti tra fratturazione e stratificazione. A questo proposito infatti si osserva che solo i crepacci a trincea (*trenches*), ossia sviluppatasi con il concorso di cavità di interstrato, si evolvono in *bogaz*.

VALLETTE NIVOCARSICHE

All'Alpe di Mogafieno sono presenti numerose vallette di origine nivocarsica, poco profonde, con fondo in roccia e che iniziano improvvisamente sul versante prive di bacino di alimentazione (fig. 23). In base alla loro sezione trasversale tali vallette si possono suddividere in tre gruppi (fig. 24):

- vallette a fondo concavo,
- vallette con profilo a V,
- vallette a fondo piatto.

Esistono però vallette con profilo intermedio tra quello concavo e quello piatto, oppure vallette che sembrano far transizione ai *bogaz*. Più frequenti sono le vallette con profilo concavo (51.2%), quindi quelle con profilo a V (29.3%) ed infine quelle con fondo piatto.

Lo sviluppo planimetrico è in genere abbastanza rettilineo, benché più tortuoso di quello dei *bogaz*. Anche le vallette inoltre possono essere intersecate da crepacci. Sono localizzate generalmente in posizione isolata oppure in associazione con altre forme; spesso infatti sono in stretta relazione con i *bogaz*, di cui possono formare la parte iniziale a monte, oppure, più raramente, la loro prosecuzione a valle. Lungo il loro sviluppo, come per i *bogaz*, si possono trovare inghiottitoi. Spesso le vallette confluiscono in doline di piccole dimensioni con fondo piatto per la presenza di sedimenti.

Sono state misurate 41 vallette.

La lunghezza media è di 48.4 ± 7.0 m; la maggior parte delle misure (54.5%) è però compresa tra i 15 e i 40 m, con il massimo di frequenza (21.2%) tra 20 e 25 m, cioè molto discosto dal valore medio (fig. 25a). La larghezza media è di 7.9 ± 0.9 m; la maggior parte

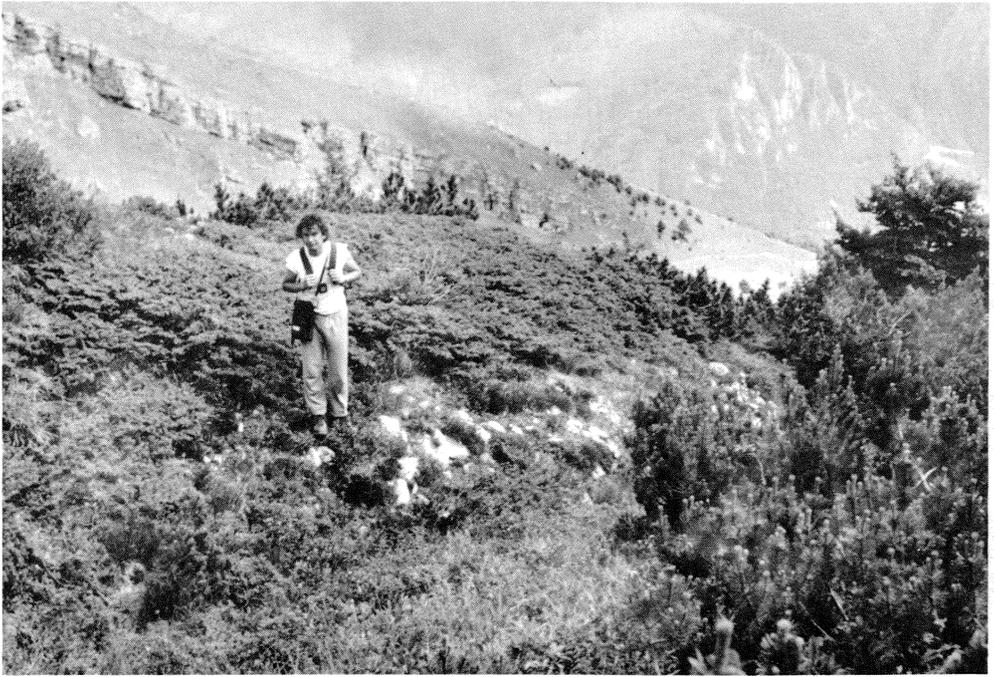


Fig. 23 - Valletta nivocarsica (V24).

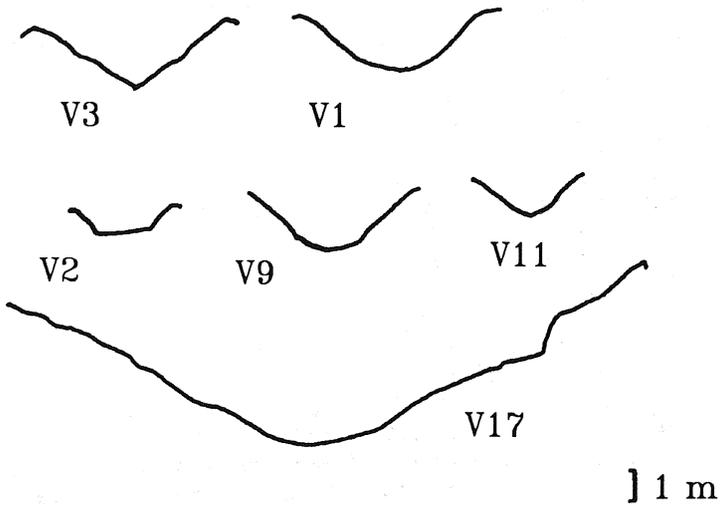


Fig. 24 - Sezioni trasversali di alcune vallette nivocarsiche.

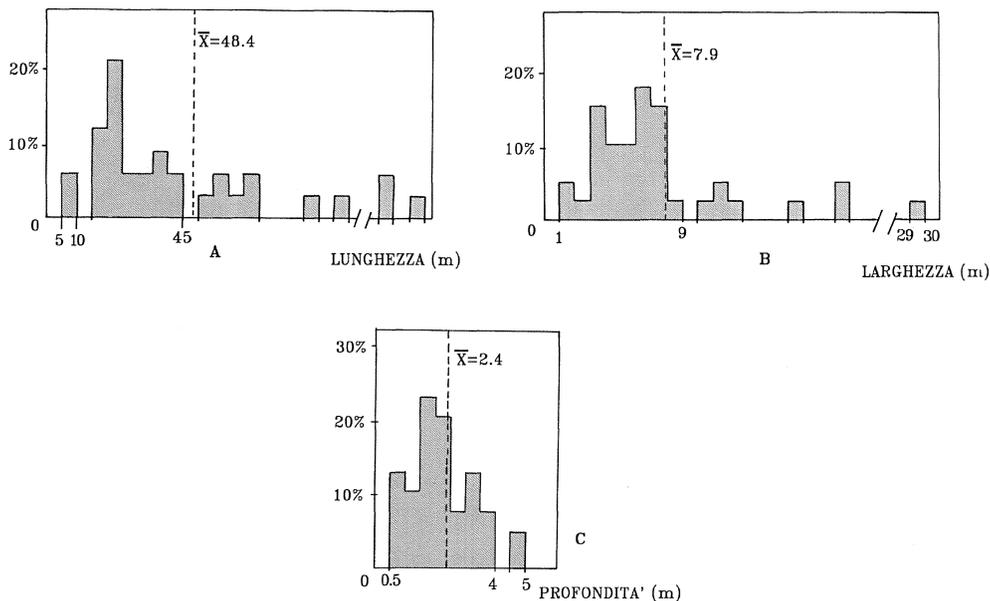


Fig. 25 - Istogrammi delle frequenze percentuali dei parametri delle vallette nivocarsiche: A) lunghezza; B) larghezza; C) profondità.

delle misure (69.2%) è compresa tra i 3 e gli 8 m, con il massimo di frequenza (17.9%) fra 6 e 7 m, prossimo cioè al valore medio (fig. 25b). La profondità media è di 2.4 ± 0.2 m; la maggior parte delle misure (43.6%) è compresa tra 1.5 e 2.5 m con il massimo di frequenza (23.1%) compreso tra 1.5 e 2 m, molto prossimo al valore medio (fig. 25c).

Riguardo all'orientamento (fig. 26), la maggior parte delle vallette (59.4%) è compresa tra 20° e 60° con il massimo compreso tra 30° e 40° , molto vicino alla immersione media del pendio (40°).

Vi sono però percentuali abbastanza elevate in corrispondenza di valori azimutali che si discostano nettamente da quello medio del pendio: due massimi infatti, entrambi con il 9.5% delle misure, sono localizzati tra 10° e 20° e tra 100° e 110° . Infine è importante notare che è presente anche un massimo secondario (2.4%) tra 330° e 340° che, anche se dovuto ad una sola misura, ha una certa importanza in quanto è nettamente isolata dalle altre.

Poiché anche per le vallette è stato possibile misurare le inclinazioni del fondo, si è potuto proiettare i singoli tratti rettilinei delle vallette su uno stereogramma ciclografico di Schmidt, come intersezioni con la sfera di riferimento. Le aree di densità sono riportate in fig. 27. Si può osservare un'ampia area che presenta il massimo di densità in corrispondenza degli incroci tra i piani medi della famiglia K2 con F1 e K7 (coincidente con la stratificazione), ma che comprende anche gli incroci tra i piani medi di K3 con F1 e K7 e di F2 con F1 e K7. Aree di minore densità sono centrate all'incrocio dei piani medi di F1 con K7 e di K1b con F1 e K7. Da questa disposizione si deduce che per la genesi delle vallette nivocarsiche sono estremamente importanti le famiglie di discontinuità poco inclinate e subparallele alla giacitura del versante. L'esistenza di un'area localizzata all'incrocio delle due famiglie poco inclinate sottolinea il fatto che tali famiglie di discontinuità sono molto più importanti delle famiglie subverticali.

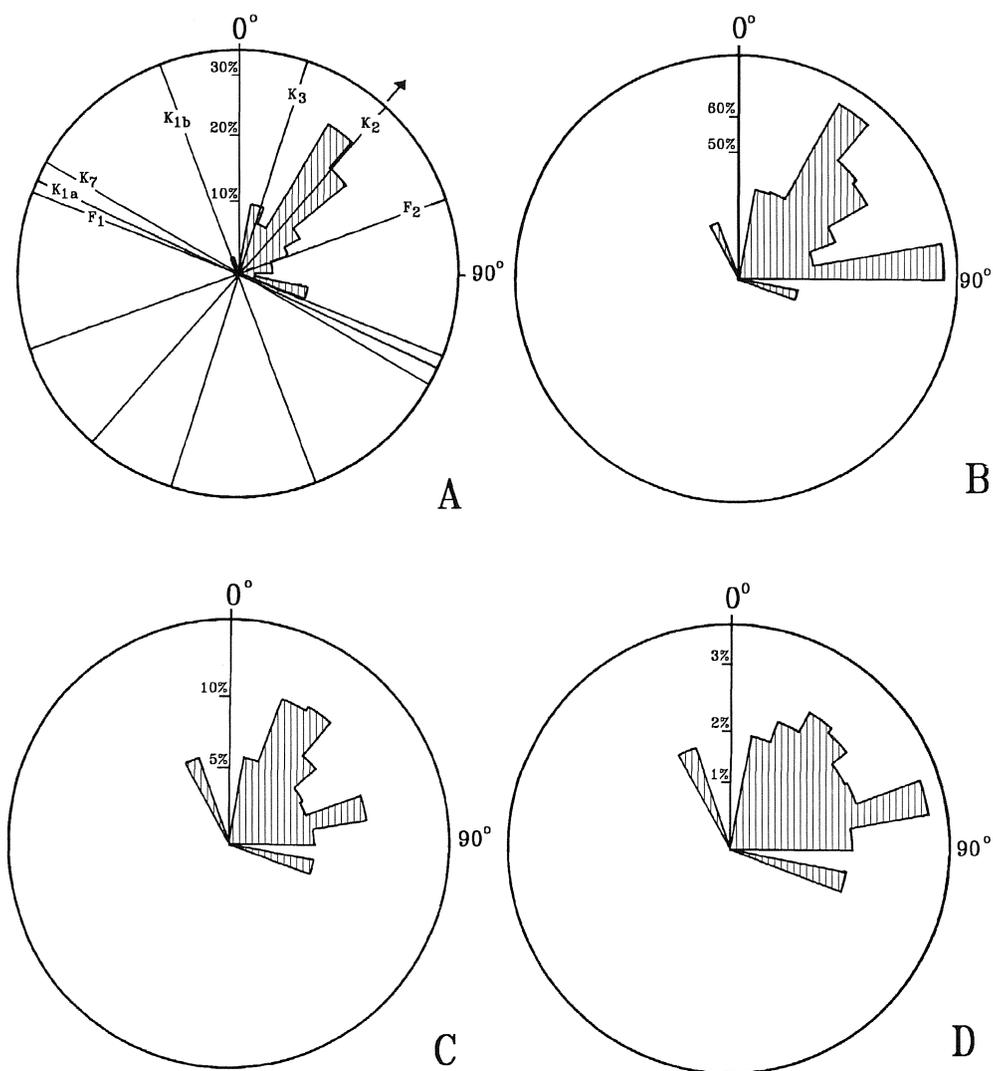


Fig. 26 - Distribuzione dei parametri delle vallette nivocarsiche: A) frequenza di orientazione; B) lunghezza; C) larghezza; D) profondità. Sono raffigurate anche le direzioni dei piani medi delle famiglie di discontinuità (si confronti con lo stereogramma ciclografico di fig. 7 per l'inclinazione delle discontinuità); la freccia indica l'immersione media del pendio.

Le vallette più lunghe, più larghe e più profonde sono localizzate tra 30° e 40° di azimut (fig. 26).

Si osservano alcune eccezioni con numerosi massimi in corrispondenza di altri valori azimutali coincidenti con le aree di frequenza e densità prima illustrate. In linea generale si osserva nel caso delle vallette una maggiore dispersione dei valori rispetto ai *bogaz*. Inoltre, a differenza di quanto osservato per i crepacci e i *bogaz*, esiste una certa relazione lineare tra i parametri morfometrici delle vallette: larghezza e profondità pre-

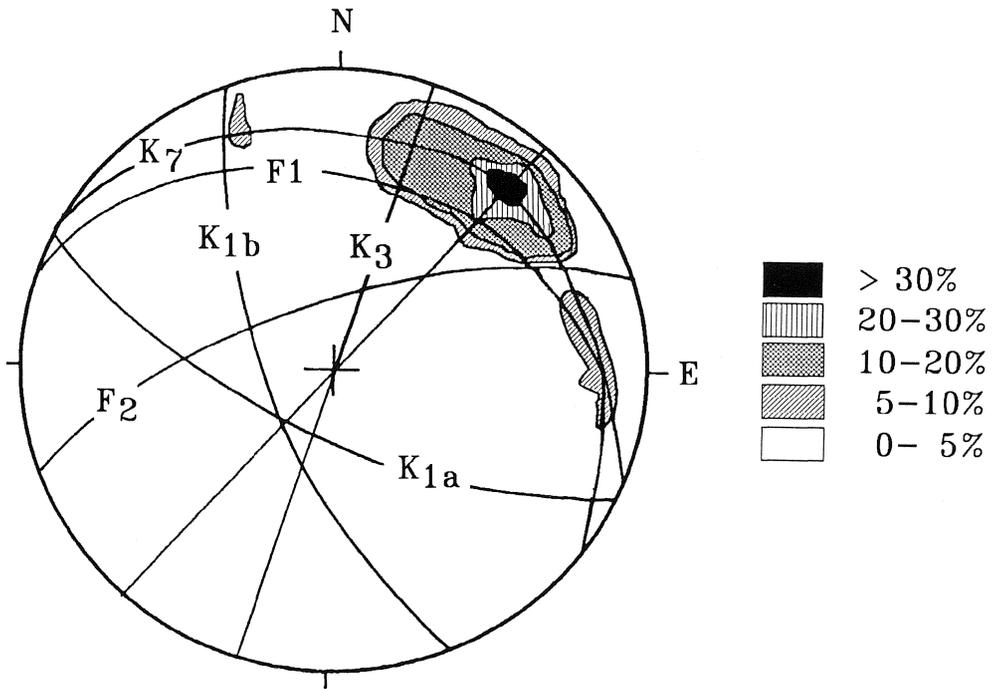


Fig. 27 - Stereogramma ciclografico di Schmidt in cui sono riportati i piani medi delle famiglie di discontinuità e le aree di densità delle vallette (intersezioni con la sfera).

sentano un buon coefficiente di correlazione ($R=0.89$) (fig. 28b) ottenuto eliminando il dato della valletta V34 che si discosta nettamente dagli altri valori (con V34: $R=0.78$, fig. 28a). Non esistono relazioni invece tra profondità e lunghezza ($R=0.27$) e tra larghezza e lunghezza ($R=0.45$). Le vallette quindi tendono ad essere tanto più larghe quanto più sono profonde a differenza dei crepacci, fatto questo che induce a ritenere che i meccanismi genetici tra queste forme siano differenti.

GENESI DELLE VALLETTE NIVOCARSICHE

In ambienti di media-alta montagna come l'Alpe di Mogafieno, la copertura nevosa può essere spessa anche alcuni metri e permanere sino a giugno. Le acque di fusione sono perciò molto abbondanti e determinanti per la morfogenesi di tutte le forme carsiche. In particolare la genesi delle vallette nivocarsiche è legata all'azione corrosiva delle acque di fusione nivale organizzate in piccoli ruscelli direttamente sotto la copertura di neve.

Sul pendio, coperto di neve, i rivoli di fusione si organizzano in piccole reti di drenaggio per confluire poi in ruscelli di maggiori dimensioni. L'azione corrosiva delle acque di fusione, che è già estremamente lenta a causa della bassa temperatura, si esplica principalmente in corrispondenza dei ruscelli maggiori, originando vallette che perciò iniziano direttamente dal pendio e sono prive di bacino di alimentazione.

Il pendio ha perciò una funzione essenziale nel controllo delle vallette: il massimo

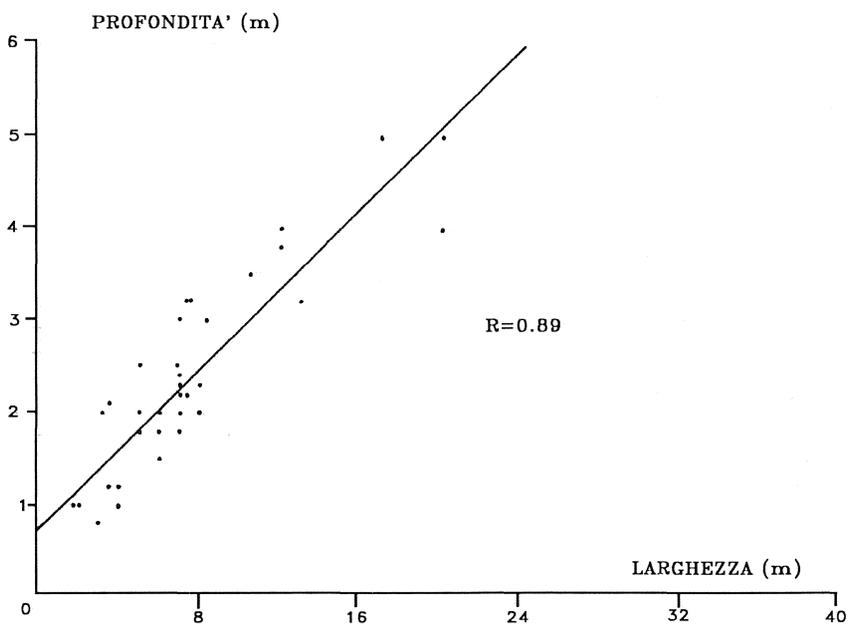
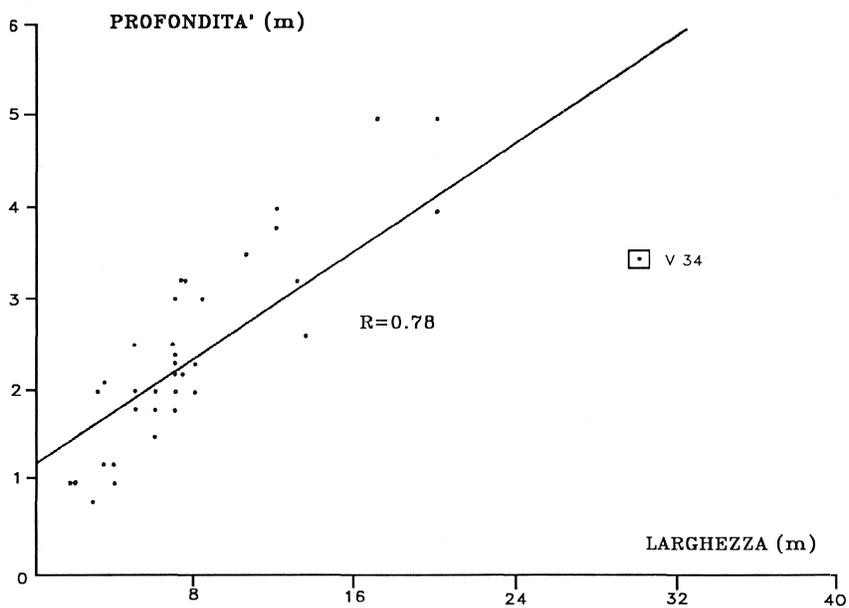


Fig. 28 - Correlazione tra profondità e larghezza delle vallette: A) profondità-larghezza, calcolata con tutte le vallette; B) profondità-larghezza, calcolata senza la V34.

di frequenza cade infatti tra 30° e 40°, in corrispondenza del valore medio del pendio.

È però importante, come si è già detto, il controllo strutturale esercitato essenzialmente dalle famiglie di discontinuità poco inclinate. Questo fatto differenzia nettamente le vallette dalle altre forme lineari discusse in precedenza. Crepacci e *bogaz* infatti si originano a partire da discontinuità subverticali per corrosione carsica ad opera di acque meteoriche o di fusione nivale in movimento verticale verso il basso; l'azione di acque incanalate è del tutto secondaria, specie nel caso dei crepacci. Le vallette nivocarsiche invece sono dovute solo ad acque incanalate, sono prive di sviluppi verticali e il loro fondo ha un profilo longitudinale regolare lungo il quale le acque non vengono assorbite se non in minima parte. Solo in corrispondenza di incroci con fratture subverticali (crepacci) possono essere presenti inghiottitoi molto più rari che nei *bogaz*. Il fondo delle vallette inoltre, a differenza dei *bogaz*, è sempre coperto da uno strato sia pur minimo di suolo e da vegetazione erbacea. Le vallette tendono perciò a svilupparsi lungo i piani delle fratture con giacitura poco discosta da quella del pendio.

L'indipendenza delle vallette dalle discontinuità verticali è ulteriormente confermata dalla grande dispersione dei valori di lunghezza, larghezza e profondità rispetto ai valori azimutali di orientamento delle vallette stesse.

Il fatto che vallette e *bogaz* possano essere associati è del tutto casuale: se una valletta nel suo sviluppo intercetta un *bogaz*, termina e le sue acque sono convogliate nel *bogaz* ed assorbite.

ALTRE FORME CARSICHE PRESENTI

All'Alpe di Mogafieno sono presenti sia pure con minore frequenza altre forme carsiche che non sono state oggetto di misure morfometriche.

A) Scannellature (*rillenkarren*)

Non sono molto frequenti e si riscontrano perlopiù sulle pareti dei crepacci quando queste sono regolari e non perfettamente verticali e lungo le ripide placche poste a valle della soglia della Foppa del Ger.

B) Solchi a doccia (*rinnenkarren*)

Hanno un andamento in prevalenza rettilineo, talora debolmente sinuoso. La loro sezione trasversale è in genere svasata (a V) con profondità e larghezza dell'ordine rispettivamente dei 10 e dei 15 cm; ma si osservano anche, raramente, docce a U con profondità e larghezza fino a 35 e 27 cm. Le creste tra i solchi sono piuttosto larghe e talora arrotondate. Il loro profilo longitudinale spesso non è continuo, ma caratterizzato da una successione di conchette poco profonde, in corrispondenza delle quali i versanti del solco assumono una maggiore inclinazione o addirittura, in alcuni casi, risultano sottoescavati. I solchi a doccia sono disposti subparallelamente alla linea di massima pendenza (40°) su superfici regolari poco o mediamente inclinate (20°÷30°), denudate più di recente dalla copertura di suolo e ove lo sviluppo dei crepacci carsici è scarso. Queste condizioni si verificano solamente nella parte più bassa dell'Alpe di Mogafieno. I crepacci presenti in questo settore sono di modeste dimensioni e sono di genesi posteriore alle docce in quanto le tagliano rendendo inattivi i tratti a valle, oppure nel caso che i crepacci siano subparalleli alle docce, ne determinano la cattura deviandone il corso. Nella parte alta dell'Alpe di Mogafieno dove i crepacci e i *bogaz* sono molto sviluppati le docce sono assenti.

C) Doline

All'Alpe di Mogafieno sono presenti anche alcune doline (ne sono state misurate 14; troppo poche però per un'analisi statistica valida). Si tratta di forme di piccole dimensioni (i valori medi del diametro massimo, D_m ; del diametro minore, d_m e della profondità sono rispettivamente di 10, 7.3 e 3.6 m), con morfologia variabile (conica, semisferica, troncoconica) e caratterizzate da una marcata asimmetria dei versanti. Il loro perimetro è perlopiù ellissoidale (D_m/d_m compreso tra 1 e 1.71), essenzialmente a causa della disposizione su una superficie inclinata (doline di pendio). L'asimmetria del profilo (sia in senso longitudinale che trasversale) è dovuta alla presenza dei piani di bancatura immergenti a franapoggio ed a fratture. L'influenza di queste ultime è in alcuni casi preponderante; sono osservabili infatti doline con una o due pareti verticali che potrebbero essere considerate anche come forme di transizione ai *bogaz*. Le doline sono diffuse soprattutto nella parte medio-bassa della zona esaminata.

CONCLUSIONI

L'analisi delle forme carsiche orientate come crepacci, *bogaz* e vallette nivocarsiche mette in evidenza come i fattori condizionanti la loro genesi ed evoluzione siano le discontinuità della roccia e la direzione di massima pendenza della superficie topografica.

Tutte le forme esaminate si sviluppano all'incrocio di discontinuità in quanto zone a permeabilità maggiore. A seconda delle forme varia il tipo di discontinuità implicate: superfici di bancatura e fratture subverticali per crepacci e *bogaz*, cioè per forme con drenaggio delle acque verticale; superfici di bancatura, fratture poco inclinate ed eventualmente fratture subverticali per le vallette, cioè per forme con scorrimento delle acque sul fondo.

La direzione di massima pendenza della superficie topografica, ossia il pendio, seleziona quali incroci possano essere preferenzialmente carsificati: all'Alpe di Mogafieno che presenta un pendio con un'inclinazione di circa 20° , vengono carsificati o si sviluppano di preferenza gli incroci la cui retta ideale di intersezione tra i piani medi delle famiglie di discontinuità sia subparallela alla immersione del pendio stesso. In pratica, a partire dalla immersione media del pendio, esiste un certo intervallo di azimut in entrambi i sensi entro il quale si assiste ad una maggiore carsificazione: non vengono carsificati o vengono carsificati solo parzialmente gli incroci le cui rette abbiano un azimut differente da questo intervallo.

In una zona con pendenze prossime allo zero non si dovrebbe assistere ad alcuna direzione preferenziale e perciò le forme orientate dovrebbero distribuirsi con maggiore regolarità nella rosa dei venti, in dipendenza ovviamente della struttura. Uno degli sviluppi futuri di questa ricerca perciò sarà il confronto tra aree carsiche con diversi rapporti di giacitura della stratificazione e del pendio.

La litologia, piuttosto uniforme all'Alpe di Mogafieno, non sembra avere una particolare importanza nel condizionare lo sviluppo delle forme carsiche orientate studiate.

BIBLIOGRAFIA

- BÖGLI A., 1956 - *Der Chemismus der Lösungsprozesse und der Einfluss der Gesteinsbeschaffenheit auf Entwicklung des Karstes*. Int. Geogr. Union, Rep. Commis. Karst Phenom. (Rio de Janeiro): 7.
- GOLDIE H. S., 1981 - *Morphometry of the Limestone pavements of Farleton Knott (Cumbria, England)*. Trans. Brit. Cav. Res. Assoc. 8 (4): 207-224.
- LEWIS K., 1983 - *A morphometric and geological study of limestone pavements in South Wales*. Trans. Brit. Cav. Res. Assoc. 10 (4): 199-204.
- PERNA G. e SAURO U., 1978 - *Atlante delle microforme di dissoluzione carsica superficiale del Trentino e del Veneto*. Mem. Museo Trident. Sc. Nat. 22: 1-176.
- SAURO U., 1974 - *Le cavità planari suborizzontali nel quadro della morfogenesi dei campi solcati*. Atti XII Congr. Naz. Speleol., San Pellegrino Terme: 197-204.
- SCESI L. e SAIBENE L., 1988 - *Verifica sperimentale della validità del rilevamento geologico strutturale per fini applicativi*. Le Strade 90 (1249).
- SWEETING M. M., 1966 - *The weathering of limestones, with particular reference to the Carboniferous Limestones of northern England*. In: DURY G. H., (ed.) - *Essays in Geomorphology*. Heinemann, London: 177-210.
- SWEETING M. M., 1972 - *Karst Landforms*. Macmillan, London: 1-362.
- WILLIAMS P. W., 1966 - *Limestone pavements with special reference to West Ireland*. Trans. Inst. Brit. Geogr. 40: 155-172.

Indirizzo degli Autori:

ALFREDO BINI, MARCO CONFALONE e GISBERTO LIVERANI, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano, via Mangiagalli 34 - 20133 MILANO

Tab. I - Misure dei crepacci carsici. (I trattini indicano i dati non rilevati)

gruppi di crepacci	numero	orientamento	lunghezza (cm)	larghezza (cm)	profondità (cm)
K I	1	50	-	17	-
	2	125-305	320	140	180
	3	0	-	25	-
	4	315	-	20	-
	5	50	-	20	-
	6	25	-	100	150
	7	305	450	87	45
	8	25	-	35	70
K II	9	10	-	40	50
	10	15	-	25	25
	11	35	-	40	30
	12	85	-	35	45
	13	0	-	40	45
	14	15	-	55	45

segue **Tab. I** - Misure dei crepacci carsici. (I trattini indicano i dati non rilevati)

gruppi di crepacci	numero	orientamento	lunghezza (cm)	larghezza (cm)	profondità (cm)
crepacci associati a B1	15	35	-	50	50
	16	85	-	25	50
	17	335	-	30	300
	18	315	-	15	300
	19	40	-	20	45
	20	53	-	220	180
	21	110	-	80	120
K III	22	96-276	1200	80	70
	23	8	-	25	62
	24	55	940	130	75
	25	175-335	200	-	-
	26	50	-	-	-
	27	105	-	30	35
	28	115	-	20	25
K IV	29	345	-	15	100
	30	125-305	800	85	160
	31	5	-	40	160
	32	115-295	-	50	100
	33	60	-	15	80
	34	50	600	45	115
	35	47	-	40	50
K V	36	60	-	40	280
	37	0	-	35	400
	38	108	-	30	100
	39	77	1150	45	200
	40	110-290	-	15	100
	41	25	-	20	92
K VI	42	95-275	-	28	190
	43	280	-	30	40
	44	270	-	10	50
	45	110-290	-	40	170
	46	57	-	25	110
	47	105-285	-	20	145
ass. a V8	48	55	300	25	60
ass. a B6	49	40	-	65	275
ass. a V9	50	10	-	25	90-200
crepacci associati a B7	51	35	-	100	50
	52	12	-	65	50
	53	45	-	70	50
	54	50	-	35	50

segue **Tab. I** - Misure dei crepacci carsici. (I trattini indicano i dati non rilevati)

gruppi di crepacci	numero	orientamento	lunghezza (cm)	larghezza (cm)	profondità (cm)
K VII	55	32	400	85	260
	56	285	-	40	150
	57	285	-	-	-
	58	30	-	30	160
	59	295	-	-	-
	60	35	450	17	250
	61	280	-	25	150
ass. a V14	62	48	-	30	35
ass. a V18	63	44	-	-	-
	64	24	-	-	-
ass. a V20	65	30	400	65	65
K VIII	66	100	-	-	-
	67	50	-	40	75
	68	350	-	25	75
K IX	69	47	-	15	80
	70	47	-	15	75
	71	47	-	-	-
K X	72	64	300	95	90
	73	130-310	-	15	60
	74	60	-	110	135
	75	52	-	20	110
	76	65	-	17	110
	77	122-302	-	55	100
K XI	78	55	-	40	75
	79	45	-	13	25
	80	130	-	20	60
crepacci associati a B13	81	52	-	15	40
	82	43	-	5	50
	83	103	-	18	55
	84	30	-	10	40
	85	70	-	25	50
	86	50	-	40	55
ass. a V22	87	70	-	-	-
	88	72	-	40	60
ass. a D6	89	110	-	10	80
K XII	90	75	-	25	57
	91	90	-	10	40
	92	77	-	15	60
	93	90	-	10	40

segue **Tab. I** - Misure dei crepacci carsici. (I trattini indicano i dati non rilevati)

gruppi di crepacci	numero	orientamento	lunghezza (cm)	larghezza (cm)	profondità (cm)
ass. a V13	94	0	500	60	40
ass. a V24	95	45	-	70	75
K XIII	96	47	-	55	110
	97	20	-	30	40
	98	122	-	-	-
	99	65	-	45	75
	100	70	-	50	130
	101	128	-	30	40
K XIV	102	110-290	-	20	100
	103	30	-	110	24
	104	43	870	65	135
	105	98	-	20	132
	106	110	-	35	120
ass. a B18	107	130	-	-	-
K XV	108	5	-	35	70
	109	57	-	50	90
	110	155-335	-	17	60
	111	0	-	55	170
	112	295	-	30	70
	113	345	-	24	120
	114	345	-	40	150
	115	60	-	50	60
	116	66	-	32	120
	117	70	-	14	130
	118	345	-	15	130
K XVI	119	120-300	-	-	-
	120	87-267	-	40	300
	121	90-270	-	25	110
	122	5-185	-	60	150
	123	51	-	55	75
ass. a B22	124	49	-	90	60
ass. a B23	125	172-352	-	20	40
	126	170-350	-	15	90
	127	105	-	8	80
ass. a V28	128	25	450	170	105
ass. a rinn. e rundkarr.	129	94	-	-	-
	130	77	-	60	50
	131	80	-	20	30

segue **Tab. I** - Misure dei crepacci carsici. (I trattini indicano i dati non rilevati)

gruppi di crepacci	numero	orientamento	lunghezza (cm)	larghezza (cm)	profondità (cm)
ass. a B24	132	127	-	70	-
continua da K XV	133	80	-	150	60
	134	347	-	60	140
	135	57	-	200	130
	136	43	-	15	60
ass. a B26	137	27	-	50	60
	138	20	-	50	75
	139	16	-	25	50
	140	15	-	60	70
	141	7	-	45	50
	142	12	-	60	80
	143	15	-	90	50
	144	15	-	30	70
	145	19	-	50	230
ass. a B28	146	99	-	45	120
	147	345	-	35	100
	148	345	-	25	60
ass. a B34	149	105	-	50	60
	150	310	-	25	55

Tab. II - Misure dei *bogaz*. La=larghezza media; P=profondità media; Lt=lunghezza totale. (I trattini indicano i dati non rilevati)

sigla	lungh. (m)	largh. (m)	prof. (m)	orient.	incl.
B-2	-	1.05	1.2	40	-
B-1	31	0.85	1.7	55	23
B0	13	5.8	3	20	23
B1	76.4	2	4.5	54	16
		3.5	2		
		9	4.2		
		La= 4.8	P=3.5		
B2	8	2	1.8	48	-
B3	8	1.8	0.7	3	-
			1.8		
B4a	7.5	1.85	3.5	48	29
B4b	5.2	1.2	2	80	-
B5	13	1.05	1.8	15	-
B6	10	1.65	2.6	25	-

segue **Tab. II** - Misure dei *bogaz*. La=larghezza media; P=profondità media; Lt=lunghezza totale. (I trattini indicano i dati non rilevati)

sigla	lungh. (m)	largh. (m)	prof. (m)	orient.	incl.
B7	32.9	4.2	1.8	37	-
B8	8	3	2.1	30	-
B9	25.3	6.4	2.8	44	20
B10	68	3	1.7	37	14
B11	51	3.5	2.3	30	20
B12	11	1.5	1.2	358	-
B13a	18	4.4	2.5	40	-
B13b	4	2.8	2	25	-
B13c	15	5.2	2	45	-
B14a	11	12	4	58	26
	4	6	2.4		
	5	La= 9	P=3.2		
	Lt= 20				
B14b	2.5	0.5	0.7	115	-
B15	-	-	-	54	-
B16	7	1.3	2.1	57	-
B17	-	4.8	1.9	55	-
B18	8.5	-	4.2	45	-
B19	20	2.9	2.7	65	-
B20	-	4.7	3.1	65	-
B21	-	0.5	2.7	42	-
B22	8	3.5	2.2	50	-
B23	15	1.3	2.8	10	-
B24	7	1.8	1.5	0	-
B25	-	25	4	54	-
B26a	-	14	2.8	55	-
B26b	-	8	3.4	55	-
B27	-	2.5	1.3	41	-
B28	-	3.5	1.5	95	-
B29	-	3	2.5	41	-
B30	15	2.5	2.5	35	-
B31	9	4	2.5	44	-
B32	24	6	3	55	-
B33	265	20	7.5	66	-
		20	8.5		
		6	3		
		La=16	P=6.5		
B34	-	1.5	2	42	-
B35	15	1.2	1.2	66	-
B36	40	9	7	55	-
B37	20	3.5	2.5	50	-

Tab. III - Misure delle vallette nivocarsiche. La=larghezza media; P=profondità media. (I trattini indicano i dati non rilevati)

sigla	lungh.	largh.	prof.	orient.	incl.	tipo di valletta
V1	37.7	6	2	40	19	fondo concavo
V2	21.1	4	1	22	17	fondo piatto
V3	44.3	7	2	45	26	fondo a V
V4	19.7	6	1.8	340	16	fondo concavo
V5	8.1	6	1.5	20	23	fondo a V
V6	68.9	7.5	2.2	35	21	fondo concavo
		7.3	2.25			
		La= 7.4	P=2.2			
V6b	52.8	6.9	2.5	47	18	fondo a V
V7	88	8	2.3	48	16	fondo concavo
V8	62	12	4	50	22	fondo concavo
V9	56	5	2	20	27	fondo concavo
V10	21.3	12	3.8	80	-	fondo conc.-piatto
V11	18	3.5	1.2	44	20	fondo concavo
V11b	10	3	0.8	37	14	fondo piatto
V12	40	3.5	2.1	85	8	fondo a V
V13	42	7	1.8	25	25	fondo concavo
V14	23	1.8	1	37	-	fondo piatto
V15	150	7	2.2	40	22	fondo conc.-piatto
V16	23	10.5	3.5	35	-	fondo piatto
V17	32	20	5	40	-	fondo concavo
V18	70	17	5	47	-	fondo piatto
V19	-	-	-	58	-	fondo concavo
V20	60	7	2.4	58	-	fondo concavo
V21	25	4	1.2	15	-	fondo piatto
V22	26	5	2.5	45	-	fondo a V
V23	30	7	3	74	-	fondo concavo
V23b	-	2	1	45	-	fondo concavo
V23c	-	4	1	103	-	fondo concavo
V24	22	7.1	2	104	12	fondo a V
V25	-	8.3	3	20	-	fondo piatto
V26	-	-	-	70	-	fondo a V
V27	150	7	3.4	40	-	fondo piatto
		8	3			
		La= 7.5	P=3.2			
V28	20	7.3	3.2	105	-	fondo a V
V29	-	20	4	24	20	fondo concavo
V30	40	7	2.3	55	-	fondo a V
				95		
V31	22	13	3.2	34	-	fondo concavo
V32	100	8	2	83	-	fondo a V
V33	20	5	1.8	105	-	fondo a V
V34	160	30	3.5	40	25	fondo concavo
V35	35	6	1.5	62	-	fondo a V
V35b	-	3.2	2	55	-	fondo concavo
V36	-	5	3	66	-	fondo concavo