

FRANCO CUCCHI (\*), FABIO FORTI (\*) & PAOLO FORTI (\*\*)

## MOVIMENTI RECENTI NEL CARSO TRIESTINO DA ANALISI DI CONCREZIONI STALAGMITICHE

ABSTRACT: CUCCHI F., FORTI F. & P., *Recent movements in the Karst of Trieste (Italy) suggest by stalagmites axis analysis* (IT ISSN 0084-8948, 1983).

The axis deviation from verticality of stalagmites in the Grotta Gigante (Trieste-Italy) and the structural study of karstic area nearby the cave suggest Olocenic movements in the Karst of Trieste. This movements appear to consist of basculages with axis directed E-W, NE-SW and NW-SE accompanied by a upcast of « areal member » higher southward than northward.

RIASSUNTO: CUCCHI F., FORTI F. & P., *Movimenti recenti nel Carso triestino da analisi di concrezioni stalagmitiche* (IT ISSN 0084-8948, 1983).

Le deviazioni dalla verticalità degli assi delle stalagmiti della Grotta Gigante (Trieste-Italia) e lo studio della situazione geostutturale dell'area in cui si apre la grande cavità carsica indicano che nell'Olocene si sono verificati movimenti di uno degli « elementi areali » del Carso Triestino. Questi movimenti risultano essere consistiti prevalentemente in basculaggi secondo assi E-W, NE-SW e NW-SE, con un sollevamento complessivo dell'elemento areale maggiore a Sud che a Nord.

TERMINI-CHIAVE: Neotettonica, carsismo, dinamica morfologica, Carso Triestino.

### 1. PREMESSA

Nell'ambito delle ricerche sull'evoluzione tettonica recente del Friuli-Venezia Giulia e di quelle sulle deviazioni dalla verticalità degli assi delle stalagmiti svolte rispettivamente da ricercatori degli istituti di Mineralogia e di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste e dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Bologna afferenti al Progetto Finalizzato Geodinamica — Sottoprogetto Neotettonica (U.O. 6.2.10, resp. G. B. CARULLI e U.O. 6.3.3, resp. P. FORTI), è stato eseguito uno studio statistico delle disomogeneità di accrescimento degli assi delle stalagmiti della Grotta Gigante corredato dall'analisi statistico-strutturale dell'area del Carso Triestino in cui la grotta si apre.

Le deviazioni degli assi sono state analizzate da P. FORTI mentre F. CUCCHI e F. FORTI hanno rilevato

la situazione geostutturale; il presente rapporto è frutto della costante collaborazione fra gli autori <sup>(1)</sup>.

### 2. GEOLOGIA

L'area oggetto dello studio (fig. 1) è ubicata sul fianco sud-occidentale dell'« Anticlinale del Basso Carso », struttura a carattere regionale che ha direzione assiale circa NW-SE. L'inclinazione degli strati in territorio italiano (la proiezione assiale dell'anticlinale è ubicata in Jugoslavia) aumenta progressivamente da NE a SW fino a divenire, al margine dell'altopiano del Carso Triestino, da molto inclinata a subverticale.

La Grotta Gigante (VG 2) si apre nei cosiddetti « Calcarei di Aurisina », litotipi carbonatici cretaccici generalmente costituiti da calcari micritici ricchi di resti organici (per lo più Rudiste). Sono frequenti le variazioni verticali e laterali a litotipi più o meno fossiliferi; talvolta si rinvencono orizzonti calciruditeici o calcarenitici, biosparitici e a microfossili (Foraminiferi).

Nei dintorni della cavità la stratificazione ha potenza generalmente metrica, localmente decimetrica: la frequenza della fessurazione segue gli stessi ritmi. La direzione degli strati è E-W con inclinazione da 15° a 23° verso Sud.

Visto lo scopo della ricerca, a definizione della situazione strutturale sono stati rilevati in due stazioni, distanti circa 175 metri, 50 piani di discontinuità; i 100 piani sono stati riportati in un unico diagramma statistico (fig. 2). L'analisi ha messo in evidenza i seguenti grandi sistemi di fessurazione:

N-S subverticale (con campo di variazione della direzione di  $\pm 15^\circ$  e dell'inclinazione da 85° verso E a 75° verso W);

(\*) Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Trieste.

(\*\*) Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Bologna.

<sup>(1)</sup> Il rapporto è stato presentato al V Convegno di Speleologia del Friuli-Venezia Giulia, tenutosi a Trieste nei giorni 30-31 Ottobre 1981.

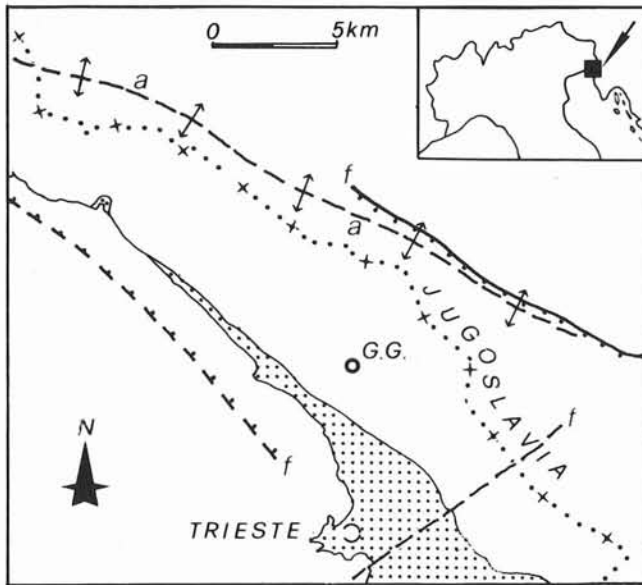


FIG. 1. - Schema tettonico del Carso Triestino; *a* = « Anticlinale del Basso Carso »; *f* = faglia o sovrascorrimento.

NE-SW subverticale (con campo di variazione della direzione da N-35°E a N-60°E e dell'inclinazione da 85° verso SE a 80° verso NW);

NNE-SSW inclinato di circa 35° verso ESE (con campo di variazione della direzione di ± 5°);

E-W subverticale (con campo di variazione della direzione da N-80°E a N-112°E e dell'inclinazione da 85° verso S a 80° verso N);

SE-NW subverticale (con campo di variazione della direzione da N-130°E a N-157°E e con inclinazione di circa 85° verso NE).

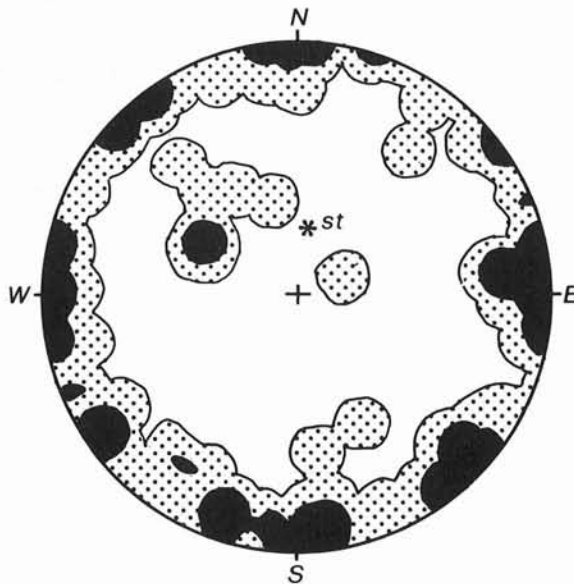


FIG. 2. - Diagramma statistico dei sistemi di discontinuità; rappresentazione polare su reticolo di Schmidt, emisfero inferiore. Aree di egual frequenza: retino = 2-6%, nero = > 6%; l'asterisco indica il polo della stratificazione.

Questa situazione strutturale è caratteristica di tutto il Carso Triestino centrale, fatte salve tanto alcune minime variazioni angolari quanto la presenza locale di altri sistemi o l'assenza, sempre locale, di alcuni dei sistemi qui rilevati.

È da notare che del sistema NE-SW subverticale fanno parte anche piani di faglia, come messo in evidenza da tracce di movimenti lungo queste superfici di discontinuità; la definizione delle caratteristiche geometriche dei movimenti (comunque limitati) è d'altronde molto difficile visto l'incarsimento e la mancanza di orizzonti guida. Va ricordato a questo proposito che la morfologia della Grotta Gigante è condizionata tanto da superfici di discontinuità del grande sistema N-S quanto da piani orientati NE-SW.

### 3. ANALISI DEGLI ASSI DELLE STALAGMITI

La Grotta Gigante è una vastissima caverna (fig. 3), turisticamente attrezzata, cui si accede tramite una galleria. L'ingresso è a quota 265, il fondo a quota 160; la caverna, alta in alcuni punti quasi 90 m, ha pianta subellissoidale con asse maggiore di circa 130 m ed asse minore di 65 m circa.

Le stalagmiti considerate poggiano tutte sui detriti a blocchi provenienti dai grandi crolli di volte e pareti che risultano essere avvenuti in tutta l'area del Carso classico all'inizio dell'Olocene, e precisamente, secondo studi radiometrici effettuati nelle vicine Grotte di Postumia (Jugoslavia), circa 12 000 anni fa (GOSPODARIC, 1972). Fra l'altro le caratteristiche morfologiche delle stalagmiti sono quelle tipiche, nella nostra regione, dell'« ultima generazione », cioè di quei depositi di concrezionamento formati negli ultimi 10 000-8 000 anni. Questi dati temporali sono in accordo inoltre con la supposta età di svuotamento della cavità, sicuramente occlusa in epoca precedente i grandi crolli da depositi mobili (argille e

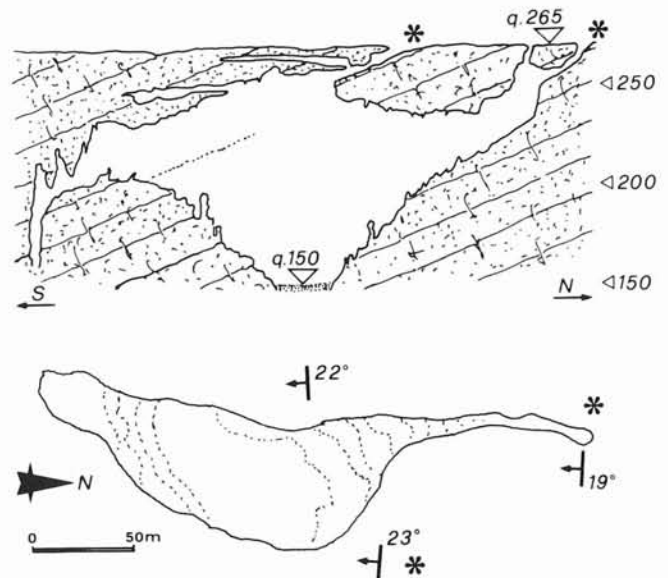
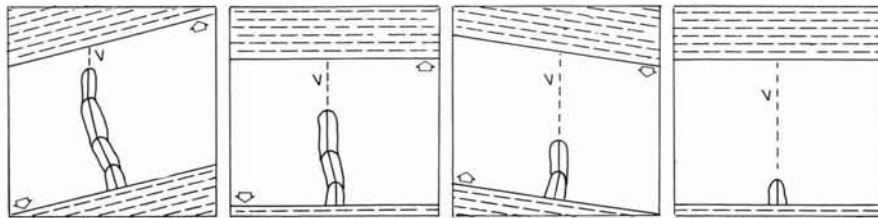


FIG. 3. - Sezione e pianta della Grotta Gigante (VG 2). Gli asterischi indicano le stazioni di misura delle discontinuità.

FIG. 4. - I basculaggi dell'elemento volumetrico contenente la cavità sono « fotografati » dalle modalità di crescita delle stalagmiti.



sabbie prevalentemente) cui si tende a dare un'età rissiano-würmiana (ANDREOLOTTI, 1966).

Base delle osservazioni condotte è l'esistenza in grotta di un sistema (stalattite-gocchia che cade-stalagmite) che per le sue caratteristiche permette la conservazione, all'interno dell'asse di accrescimento della stalagmite, di tracce di eventuali movimenti del sistema (fig. 4). Infatti, poiché la goccia cade sempre lungo la verticale, le variazioni di posizione nello spazio del volume roccioso in cui si sviluppa la cavità sono registrate da successive bande di accrescimento della stalagmite secondo direzioni che seguono i movimenti stessi (GOSPODARIC, 1977).

Per giungere alla puntuale definizione quantitativa dei movimenti cui è stata sottoposta l'area della grotta e alla loro successione cronologica, sarebbe stato necessario procedere al sezionamento di un grande numero di stalagmiti ed alla loro successiva analisi di dettaglio tridimensionale, sfruttando gli strumenti e le metodologie messe a punto in questi ultimi anni (FORTI & POSTPISCHL, 1980). Ma questo tipo di analisi non poteva essere eseguito in una grotta turistica ed il notevole impegno richiesto dall'attuazione di simili complesse metodologie ha fatto optare per un'analisi più semplice che, pur non permettendo di raggiungere i medesimi risultati, consente di evidenziare l'esistenza di movimenti lungo direzioni privilegiate nell'area in oggetto (FORTI & POSTPISCHL, 1980).

All'interno della grotta si è proceduto quindi sola-

mente alla misura diretta delle declinazioni dei piani lungo i quali si sono avute le maggiori deviazioni dalla verticalità degli assi delle stalagmiti. Sono state misurate le declinazioni delle discontinuità ben identificabili, che, come risulta da prove di sezionamento effettuate in precedenti studi (FORTI & POSTPISCHL, 1979) sono in numero molto minore di quelle riscontrabili sulle sezioni. Infatti le discontinuità visibili ad occhio nudo si generano solamente quando la perturbazione è stata tale da produrre una variazione nella direzione dell'asse della stalagmite paragonabile al raggio della concrezione stessa (figg. 5 e 6). Conseguenza di questo modo di procedere è che solo i movimenti di una certa intensità sono stati presi in considerazione e risultano quindi dall'analisi statistica.

L'analisi è stata estesa a tutte le stalagmiti esistenti e raggiungibili: sono così state considerate 311 concrezioni che presentavano almeno una discontinuità ben rilevabile. Su ciascuna di queste stalagmiti è stata misurata la declinazione del piano che conteneva la dislocazione; se le dislocazioni erano più d'una (massimo rilevato 3) l'operazione è stata ripetuta tante volte quante erano le discontinuità rilevabili che sono risultate essere nel complesso 420.

A tale proposito va osservato che l'altezza media di caduta delle gocce è quasi sempre molto grande (da 40 a 80 m) e questo fa sì che a piccoli basculaggi dell'elemento volumetrico in cui si apre la cavità corrispondano

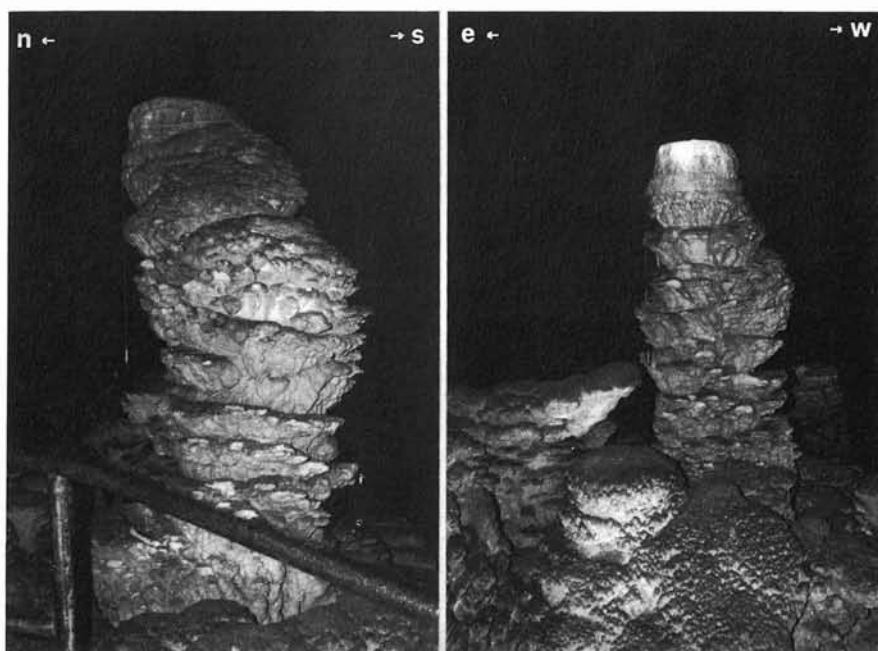


FIG. 5. - Grotta Gigante, colonna stalagmitica vista da W verso E (a sinistra) e da N verso S (a destra).

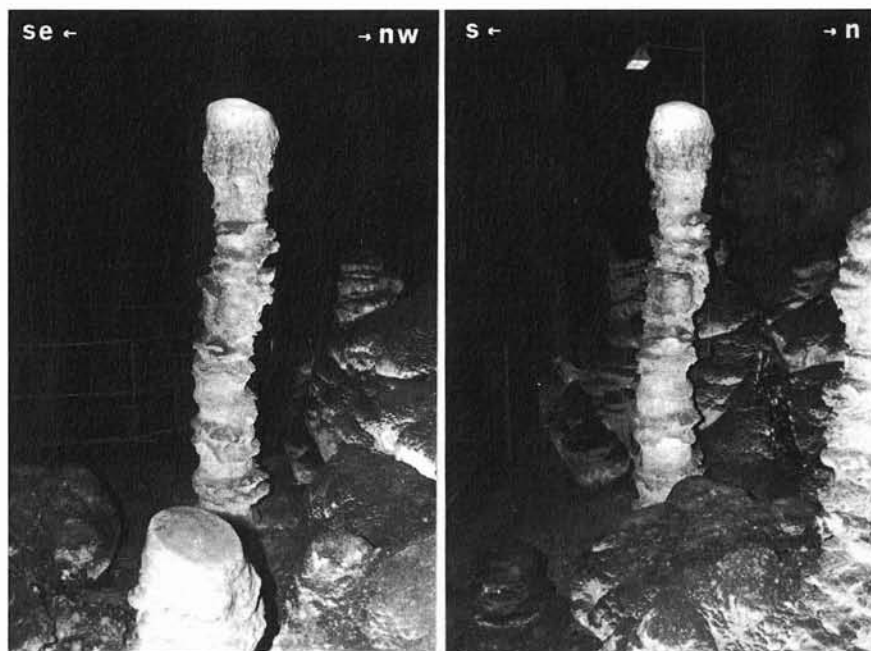


Fig. 6. - Grotta Gigante, stalagmite vista da NE verso SW (a sinistra) e da E verso W (a destra).

grandi ed evidenti dislocazioni negli assi delle stalagmiti. D'altro canto però la grande altezza di caduta porta alla polverizzazione delle gocce, con conseguente notevole allargamento delle concrezioni stesse, per cui la definizione del piano in cui sono avvenuti i movimenti risulta meno precisa. Tenuto conto di questi fattori, i limiti di confidenza delle declinazioni misurate sono stati valutati dell'ordine di  $\pm 10^\circ$ .

L'analisi statistica, eseguita mediante un collaudato programma all'elaboratore utilizzando tali limiti di confidenza, ha portato alla stesura del diagramma stellare rappresentativo delle declinazioni (fig. 7). Queste risultano confinate in quattro direzioni, che sono in ordine di frequenza N-S (31,5%), SE-NW (24,5%), NE-SW (18,7%) e E-W (15,8%); la dispersione di basculaggi lungo direzioni che non siano quelle evidenziate è del 9,5%. Quest'ultimo valore è nettamente inferiore a quello riscontrato in tutti gli altri casi finora studiati in cui si aveva sempre il 30% circa di misure disperse sull'arco dell'angolo giro. Il basso grado di dispersione fa sì che, pur essendo il campione di stalagmiti considerato non elevato, i risultati ottenuti relativamente alle direzioni di displacemento degli assi abbiano un alto grado di attendibilità.

#### 4. OSSERVAZIONI E CONCLUSIONI

La cavità si apre, secondo i recenti studi di Neotettonica elaborati per la redazione della Carta Neotettonica d'Italia dall'U.O. di Trieste, in un elemento areale isolato da elementi lineari a direzione NW-SE e NE-SW, cioè paralleli o ortogonali all'asse dell'anticlinale del Basso Carso (fig. 8). L'esame degli elementi morfotettonici ha messo in evidenza che l'elemento areale (ed in pratica tutto il Carso Triestino) ha subito dal Pliocene ad oggi

un generale innalzamento relativo, che risulterebbe maggiore a Sud che a Nord (CARULLI & alii, 1980).

Pur tenendo presenti i limiti del metodo d'indagine adottato, vista la brevità del periodo di concrezionamento che non rende necessaria l'analisi temporale dei fenomeni rilevati per identificare la successione dei movimenti, si possono trarre alcune considerazioni speculative sull'analisi effettuata.

Dall'esame delle misure statistiche (diagramma strut-

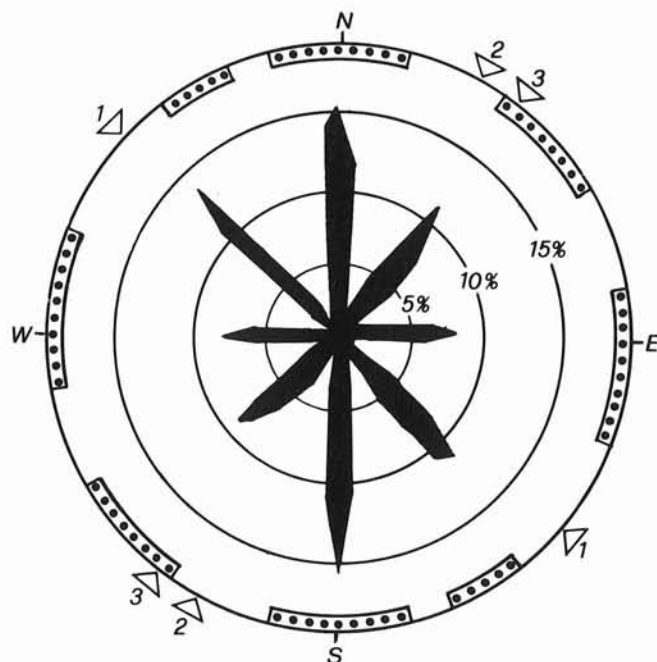


Fig. 7. - Diagramma stellare della frequenza delle distribuzioni azimutali delle discontinuità negli assi di accrescimento delle stalagmiti della Grotta Gigante. Sulla circonferenza esterna sono riportati i campi dei grandi sistemi di discontinuità (puntinato) e gli elementi lineari di fig. 8 (freccie).

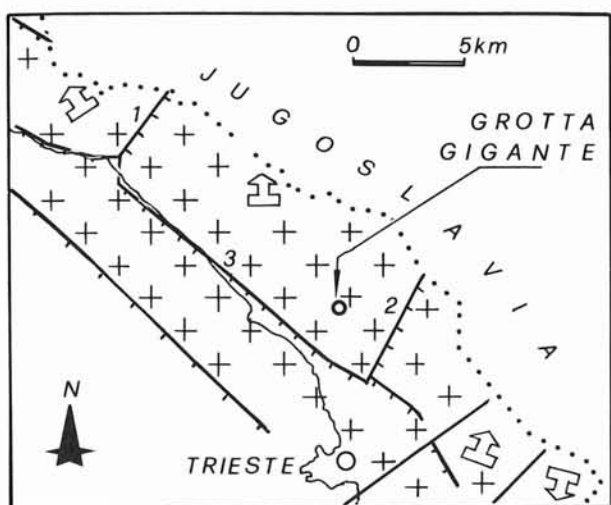


FIG. 8 - Carta neotettonica dell'area del Carso Triestino e Goriziano partim (da CARULLI & alii, 1980 ridis.). I numeri indicano gli elementi lineari, i segni positivi il sollevamento, le frecce ed i denti delle linee dentate sono rivolti verso il labbro meno sollevato: i movimenti si sono verificati in un lasso di tempo che va dall'inizio del Pliocene ad oggi.

turale di fig. 2 e stellare di fig. 7) risulta che quasi tutte le direzioni dei piani su cui sono avvenute le variazioni di direzione di accrescimento degli assi delle stalagmiti ricadono negli ambiti dei sistemi di fessurazione e quindi si possono collegare a movimenti dell'elemento volumetrico (e dei punti di volta da cui cadono le gocce) favoriti da superfici di discontinuità esistenti. L'unica direzione di deviazioni che non ricade nell'ambito dei sistemi di discontinuità rilevati nell'area è parallela ad uno degli elementi lineari neotettonici (n. 2, orientato NE-SW in fig. 8): questo dato probabilmente dipende dal fatto che in verità l'elemento lineare è la risultante di movimenti a scalinata lungo una serie di fratture perpendicolari fra loro.

Il massimo delle discontinuità assiali rilevabili è in direzione N-S, e ciò indica che secondo questa direzione sono avvenuti i movimenti prevalenti o più forti dell'elemento areale in cui la cavità si apre. I movimenti assiali che seguono in ordine di frequenza i precedenti sono orientati, come detto, circa NE-SW e NW-SE, il che conferma l'importanza assunta dagli elementi lineari nelle oscillazioni dell'elemento areale.

Inoltre si può notare, nell'ambito dei movimenti rilevati lungo queste direzioni, che le deviazioni verso NW e verso NE risultano più numerose di quelle verso SE e SW rispettivamente (fig. 7): in pratica tale prevalenza, anche se lieve, indicherebbe la tendenza dell'elemento areale a sollevarsi maggiormente a Sud che a Nord, con movimenti ben definiti come evidenziato dal basso grado di dispersione dei basculaggi.

Il basculaggio dell'elemento areale considerato, secondo un asse E-W con innalzamento complessivo maggiore verso Sud, favorito da movimenti lungo gli elementi lineari precedentemente descritti, trova quindi una conferma oggettiva. In definitiva, l'analisi statistica delle distribuzioni azimutali delle discontinuità negli assi di accrescimento delle stalagmiti dimostra da un lato il grado di attendibilità di questo tipo di misure, dall'altro la validità del modello neotettonico proposto per la parte centrale del Carso Triestino e permette nel contempo di affermare che nell'Olocene si sono sicuramente verificati movimenti dell'elemento areale in cui si apre la cavità studiata.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANDREOLOTTI S. (1966) - *I depositi di riempimento nelle cavità del Carso Triestino*. Atti Mem. Comm. Gr. E. Boegan, 5, 1965, Trieste.
- CARULLI G. B., CAROBENE L., CAVALLIN A., MARTINIS B. & ONOFRI R. (1980) - *Evoluzione strutturale plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia*. Pubbl. n. 356 P. F. Geodinamica.
- CUCCHI F., FORTI F. & SEMERARO R. (1978) - *Indizi di Neotettonica in cavità della Val Rosandra (Ts)*. Atti Mem. Comm. Gr. E. Boegan, 18, Trieste.
- FORTI P. & POSTPISCHL D. (1979) - *Derivazione di dati neotettonici da analisi di concrezioni alabastrine: I contributo*. Pubbl. n. 155 P. F. Geodinamica.
- FORTI P. & POSTPISCHL D. (1980) - *Derivazione di dati neotettonici da analisi di concrezioni alabastrine: II contributo*. Pubbl. n. 356 P. E. Geodinamica, parte III.
- GOSPORADIC R. (1972) - *Prvi podatki o absolutni starosti sige v Postojnski Jami na podlagi 14 C*. Nase Jame, 13, 1971, 91-98, Ljubljana.
- GOSPORADIC R. (1977) - *Generacije sige v nekaterih kraskih jamah Slovenije*. Arhiv IZRK, 1-31, Postojna.
- VENZO G. A. & FUGANTI A. (1965) - *Analisi strutturale delle deformazioni tettoniche del Carso Goriziano*. St. Trent. Sc. Nat., sez. A, 42 (2).