

EVIDENZE DI TETTONICA RECENTE NELL'AREA MONTE CAMPO DEI FIORI - LAGO DI VARESE (*)

A. Bini - I. Rigamonti - A. Uggeri

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano

RIASSUNTO - *Evidenze di tettonica recente nell'area Monte Campo dei Fiori - Lago di Varese* - Il Quaternario, 6(1), 1993, 3-13 - Vengono esaminate le evidenze di tettonica recente dell'area M. Campo dei Fiori - Lago di Varese (Lombardia) riferite alle morfologie carsiche ipogee ed alla serie stratigrafica plio-quadernaria. Le morfologie carsiche risultano dislocate per movimenti di *simple shear* (taglio semplice) tra gli strati; l'età principale del movimento, dedotta da datazioni radiometriche (metodo U/Th) di speleotemi, risulta antecedente a 350.000 anni. I sedimenti marini del Pliocene inferiore affiorano a quota 350 m sui fianchi della "Anticlinale Brinzio - Maroggia" ed a quota 200 m in corrispondenza della "Sinclinale Lago di Varese". I depositi continentali del Pliocene superiore e parte del Pleistocene inferiore (depositi deltizi, lacustri di contatto glaciale, fluviali) sono interessati prevalentemente da tettonica fragile (faglie, fratture e, in misura minore, pieghe) riconducibile ad un campo di sforzi unitario (σ_1 subverticale, σ_3 suborizzontale con direzione NNW-NNE), compatibile con quello delle altre evidenze. Complessivamente, dopo la trasgressione pliocenica si ipotizza un sollevamento generale dell'area accompagnato dall'accentuazione delle pieghe alpine, con formazione di zone depresse in corrispondenza della sinclinale, evidenziate da strutture distensive nei depositi continentali plio-pleistocenici. Da 350.000 anni B.P. ad oggi non sono registrati movimenti tettonici geologicamente significativi.

ABSTRACT - *Evidence of recent tectonics at Monte Campo dei Fiori - Lake of Varese (Northern Italy)* - Il Quaternario, 6(1), 1993, 3-13 - Recent tectonic phenomena affect both the karst landforms and the Plio-Quaternary stratigraphic succession of the area around Mt. Campo dei Fiori - Lake of Varese (Lombardy): Karst landforms are dislocated by simple-shear movements, which took place at bed junctions. The age of these dislocations, obtained from U/Th radiometric dating on speleothems, is older than 350.000 years. Marine sediments of Early Pliocene age outcrop at 350 m a.s.l. on the slopes of the "Brinzio - Maroggia Anticline" and at 200 m a.s.l. in the "Lake of Varese Syncline". Late Pliocene and early Pleistocene continental deposits (deltaic, lacustrine, ice contact and fluvial deposits) show evidence of brittle tectonic deformations (faults, fractures and subordinate folds) acting under a unitary field of stresses (subvertical σ_1 , and subhorizontal NNW-NNE trending σ_3). After the Pliocene transgression, a general uplifting and growth of alpine folds are hypothesized. This event brought about the development of depressions in the syncline zone, marked by extensional phenomena recorded in Plio-Pleistocene continental deposits. There is no evidence of recent tectonics from 350,000 years B.P. onwards.

Parole chiave: Neotettonica, datazione, carsismo, Varese, Italia settentrionale
Key-words: Neotectonics, dating, karst, Varese, northern Italy

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito delle ricerche sulla geologia del Plio-Quaternario e sull'evoluzione del territorio sudalpino lombardo sono state rinvenute varie evidenze di neotettonica. Solo nell'area circostante il Lago di Varese, oggetto della presente nota, si è però potuto inserire tali evidenze in un modello evolutivo della struttura indispensabile per poter ricostruire la paleogeografia del territorio.

L'area oggetto del presente studio (Fig. 1) è situata in Lombardia nord-occidentale, in prossimità della città di Varese; essa comprende il massiccio del Monte Campo dei Fiori (quota massima 1226 m) e le sue pendici meridionali, fino al Lago di Varese (quota 238 m). Dal punto di vista geografico e geologico questo settore rappresenta il raccordo tra le Prealpi Lombarde e la Pianura Padana: a Sud di esso gli elementi strutturali del margine prealpino sono infatti quasi ovunque ricoperti da depositi continentali plio-quadernari.

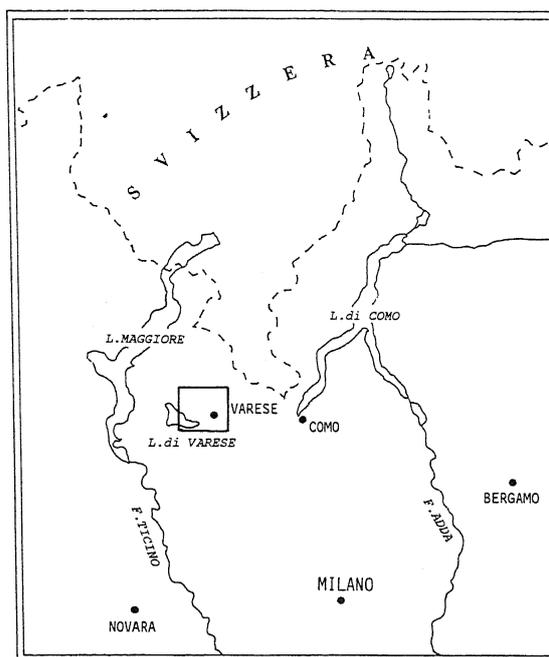


Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio.
Location map of the studied area.

(*) Lavoro presentato alle Giornate di Studio dell'AIQUA su tema: "La Neotettonica in Italia a dieci anni dalla fine del P.F. Geodinamica", Roma, 2-3 marzo 1992.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'assetto strutturale dell'area è caratterizzato dalla presenza della "Anticlinale Brinzio - Maroggia", piega aperta con asse diretto WNW-ESE, di cui il M. Campo dei Fiori rappresenta il fianco meridionale. In esso la stratificazione mantiene geometria costante, con immersioni comprese tra S e SSE ed inclinazioni tra 25° e 40°. La piega è interrotta a Nord dalla Faglia di Marzio, lineamento tettonico ercinico di importanza regionale (Casati, 1978) riattivato durante l'orogenesi alpina, mentre a Sud essa si raccorda con la "Sinclinale Lago di Varese" (Bigioggero *et al.*, 1981), in corrispondenza della conca del lago. L'ultimo elemento parzialmente affiorante è rappresentato dalla piega-faglia frontale del Varesotto, che coinvolge la serie stratigrafica fino alla Gonfolite (Oligocene-Miocene). La geometria delle pieghe è rappresentata in Figura 2.

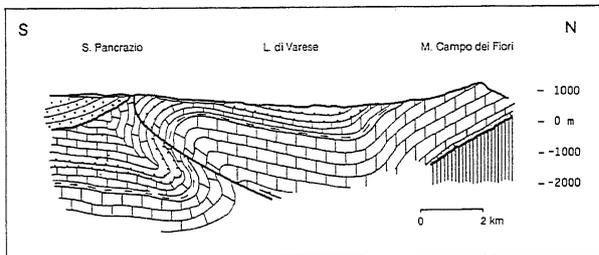


Fig. 2 - Sezione geologica (da Bigioggero *et al.*, 1981, modificata).
Geologic section (modified after Bigioggero *et al.*, 1981).

La successione è costituita da termini compresi tra il Carbonifero (micascisti, conglomerati aporfirici) ed il Pliocene inferiore (Argille di Casanova Lanza).

La parte sommitale del massiccio, in particolare, è costituita da unità Noriche, Retiche e Liassiche dolomitiche (Dolomia Principale, Dolomia del Campo dei Fiori) e calcaree (Dolomia a Conchodon e Calcare di Moltrasio), sedi di intensa carsificazione ipogea.

La successione carbonatica del versante meridionale del M. Campo dei Fiori appare coperta, fino a quote variabili tra 620 m (Velate) e 820 m (M. Morto) da depositi continentali plio-quadernari. Questi sono costituiti in gran parte da *till*, deposti in corrispondenza delle espansioni del Ghiacciaio Verbano, proveniente dalle vallate del Ticinese. Nelle parti alte del massiccio sono presenti depositi di versante costituiti in prevalenza da sedimenti provenienti dall'erosione di suoli sviluppati su calcare e delle parti alterate e sommitali dei depositi glaciali più antichi.

3. EVOLUZIONE GEOLOGICA PLIO-QUATERNARIA - ETÀ DEI DEPOSITI E DELLE FORME

Le evidenze di tettonica recente riguardano essenzialmente le forme carsiche e parte della serie stratigrafica plio-quadernaria. Ciascuno di questi elementi

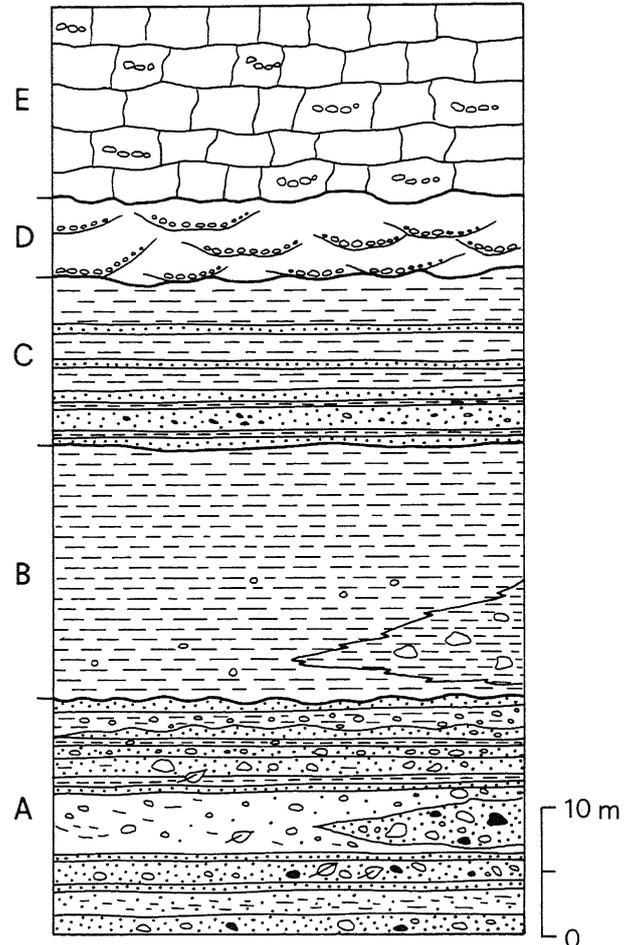


Fig. 3 - Serie stratigrafica delle unità affioranti in Valle della Fornace (da Carbonara 1991, modificata). A) Unità inferiore di Valle della Fornace; B) Unità superiore di Valle della Fornace; C) Unità di Gaggio; D) Conglomerati (Ceppo), Unità inferiore; E) Conglomerati (Ceppo), Unità superiore.

Stratigraphic sections showing the units outcropping in Valle della Fornace (modified after Carbonara, 1991). A) Valle della Fornace Lower Unit; B) Valle della Fornace Upper Unit; C) Gaggio Unit; D) Conglomerates (Ceppo), Lower Unit; E) Conglomerates (Ceppo), Upper Unit.

è così inquadrabile dal punto di vista cronologico e dell'evoluzione geomorfologica.

3.1 Morfologie carsiche

Nel massiccio del M. Campo dei Fiori sono note un centinaio di cavità carsiche, alcune delle quali di ragguardevoli dimensioni (Grotta Marelli, sviluppo 5.5 km; Grotta Via col vento, 3 km; Grotta del Frassinò, 2.5 km; Bus del Remeron, 2 km). Le più rappresentative sono state studiate in dettaglio (Uggeri, 1992; Uggeri *et al.*, 1990; Bini e Uggeri, 1992; Uggeri *et al.*, 1992), analizzando le morfologie ed i riempimenti interni e confrontandoli con le forme ed i depositi di superficie. E' stato così possibile riconoscere una lunga evoluzione del carsismo, associabile all'evoluzione geologica ed ambientale del territorio varesino.

Sono identificabili più fasi di carsificazione

probabilmente di età pre-messiniana, rappresentate da sistemi di gallerie caratterizzate da una morfologia freatica, correlabili per quota ad una serie di valli sospese che risultano troncate e disattivate da profonde valli ritenute di età messiniana. E' possibile attribuire un'età messiniana a queste incisioni vallive sulla base delle stratigrafie dei pozzi situati nei fondovalle e delle analogie con situazioni similari studiate in aree limitrofe (Bini *et al.*, 1978; Corselli *et al.*, 1985; Brambilla e Lualdi, 1986; Felber *et al.*, 1991a; 1991b). Nell'endocarso il Messiniano sembra rappresentato morfologicamente da forre ipogee che incidono i sistemi a morfologia freatica. L'espressione sedimentaria del periodo di tempo precedente al raffreddamento climatico plio-quadernario è costituita da sedimenti argillosi rossastri (suoli del tipo "terra rossa" fluitati nell'endocarso), da speleotemi massivi spesso alterati, degradati e corrosi e da rari conglomerati sia poligenici (Grotta sopra Fontana Marella) che ad elementi locali (Grotta del Frassino).

Le oscillazioni climatiche plio-pleistoceniche determinano periodiche variazioni dei processi sedimentari nell'endocarso (Maire, 1990), definibili anche cronologicamente grazie al metodo U/Th (Quinif, 1989) applicato alla calcite degli speleotemi. Una campagna di datazioni radiometriche, eseguita in collaborazione con il Politecnico di Mons, ha permesso di ricostruire nel dettaglio l'evoluzione sedimentaria dell'endocarso del M. Campo dei Fiori e di inquadrare cronologicamente le evidenze di tettonica recente.

Durante le fasi fredde il ricoprimento parziale del massiccio da parte del ghiacciaio e la scomparsa della vegetazione sulle zone emergenti causava un notevole afflusso di materiale detritico nei sistemi carsici, con formazione di riempimenti spesso assai articolati. Durante i periodi caldi la presenza di vegetazione favoriva lo sviluppo del carsismo, la formazione nell'endocarso di speleotemi suscettibili di datazione radiometrica e l'erosione lineare dei sedimenti ipogei e superficiali deposti durante i periodi freddi.

3.2 Serie stratigrafica plio-quadernaria

La serie stratigrafica plio-quadernaria (Carbonara, 1991; Uggeri, 1992) del territorio varesino è costituita (dal basso) da: argille marine plioceniche (Argille di Casanova Lanza), depositi glaciali antichi, privi di espressione morfologica e sepolti dalle unità successive (Serie della valle della Fornace), conglomerati fluviali poligenici (Ceppo *Auct.*) e depositi glaciali affioranti e con espressione morfologica, suddivisi da Da Rold (1991) in numerose allunità.

Le Argille di Casanova Lanza affiorano nella Valle del Faido, sul versante meridionale del M. Campo dei Fiori, e sui rilievi a Sud del Lago di Varese; sono inoltre state rinvenute in sondaggio in prossimità del Lago di Varese (Capolago) immediatamente al di sotto della serie della Valle della Fornace.

I depositi glaciali antichi affiorano esclusivamente sul fondo di valli particolarmente incise prossime al massiccio (Valle Olona, Valle della Fornace, Valle Luna). Essi poggiano direttamente su depositi pliocenici marini (Argille di Casanova Lanza) e sono ricoperte dai conglomerati. Sono riconoscibili diverse unità costituite in prevalenza da depositi fini di ambiente deltizio e glaciolacustre, tra cui sono intercalati dei *till* di ablazione (Fig. 3): Unità inferiore della Valle della Fornace (ghiaie e sabbie di ambiente deltizio con frammenti di tronchi); Unità superiore della Valle della Fornace (argille lacustri di contatto glaciale e diamicton glaciale); Unità di Gaggio (ghiaie, sabbie e sabbie limose di ambiente deltizio). Non esistono attualmente dati sull'età di questi depositi; essi rappresentano comunque la prima oscillazione fredda plio-quadernaria registrata in questo territorio e sono orientativamente attribuibili al Pliocene superiore.

I conglomerati poligenici (Ceppo *Auct.*) affiorano estesamente nella fascia pedemontana delle Prealpi Varesine. Nell'area del Lago di Varese essi sono costituiti alla base da arenarie, sabbie grossolane e conglomerati medio-fini, con strutture sedimentarie tipiche di ambiente fluviale a configurazione meandriforme; la parte superiore dell'unità è costituita invece da conglomerati grossolani con strutture da ambiente fluviale ad alta energia.

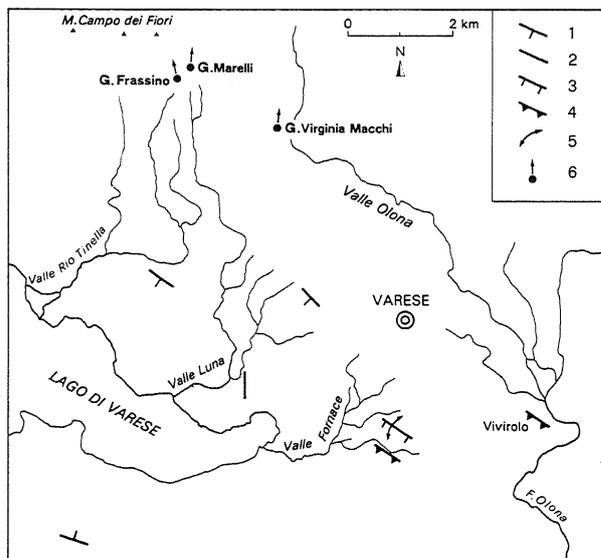


Fig. 4 - Principali elementi mesostrutturali dell'area; 1) giaciture; 2) sistemi di fratture; 3) faglie dirette; 4) faglie inverse; 5) arco di circonferenza indicante la dispersione azimutale delle direzioni; 6) dislocazioni di morfologie carsiche.

The main mesostructural features of the studied area; 1) directions and dips; 2) fracture set; 3) normal faults; 4) reverse faults; 5) azimuth spreading of directions; 6) karst forms dislocation.

La posizione stratigrafica e la collocazione cronologica di questa unità è attualmente in corso di ridefinizione. Gli Autori precedenti (Nangeroni, 1932, 1954) definiscono i conglomerati del Varesotto come Ceppo, considerato di età "Interglaciale Gunz-Mindel", ad ecce-

zione dei conglomerati del Rio Tinella (settore sudoccidentale dell'area considerata), ritenuti "pre-glaciali". In base a nuovi rilevamenti (Carbonara, 1991; Uggeri, 1992) appare chiaro che i conglomerati del Rio Tinella sono interdigerati con i conglomerati di Varese, la cui posizione stratigrafica, evidente nella Valle della Fornace, è compresa tra la serie della Fornace (Pliocene superiore) e le morene più antiche riconosciute nell'area (Pleistocene inferiore; Da Rold, 1991).

I depositi glaciali con evidenza morfologica sono costituiti dal sistema di morene dell'Anfiteatro Verbano. Essi sono stati suddivisi, nella zona frontale dell'anfiteatro in 6 unità allostratigrafiche (Da Rold, 1991). Nell'area Lago di Varese - M. Campo dei Fiori, a causa della posizione geografica e della conformazione morfologica, non sono identificabili tutte le unità;

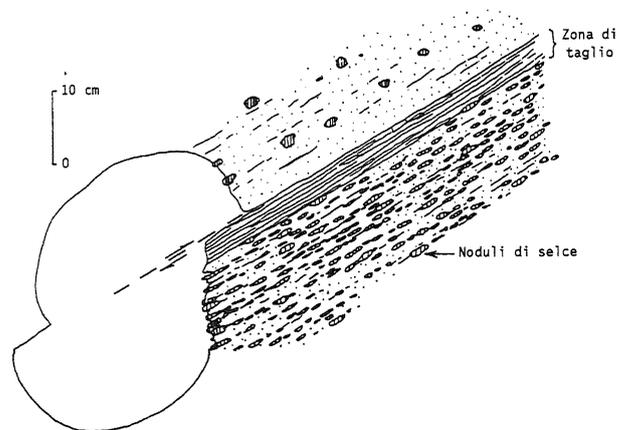


Fig. 5 - Morfologie carsiche dislocate nella Grotta del Frassino.
Dislocated karst forms in Grotta del Frassino.



Fig. 6 - Grotta del Frassino: morfologie dislocate.
Dislocated forms in Grotta del Frassino.

in particolare si riconoscono l'Alloformazione di M. Rosso (Pleistocene inferiore), l'Allogruppo di Besnate (Pleistocene medio) e l'Alloformazione di Bodio (Würm).

4. NEOTETTONICA

L'area in esame è stata soggetta ad attività tettonica recente (post-pliocenica). Le principali evidenze di tale attività sono riconducibili a: 1) Giacitura dei depositi

marini pliocenici; 2) Dislocazioni di morfologie carsiche; 3) Deformazioni fragili dei depositi continentali plio-quaternari.

1) Il Pliocene inferiore marino affiora sul versante Sud del Campo dei Fiori, nella Valle del Faido (Fig. 4) a quota 350 m, con giacitura media $230^{\circ}/20^{\circ}$, e sulla sponda meridionale del Lago di Varese, tra Inarzo e Galliate, a quota 300 m. Esso è stato inoltre rinvenuto in sondaggi eseguiti in prossimità del Lago di Varese, ad una quota

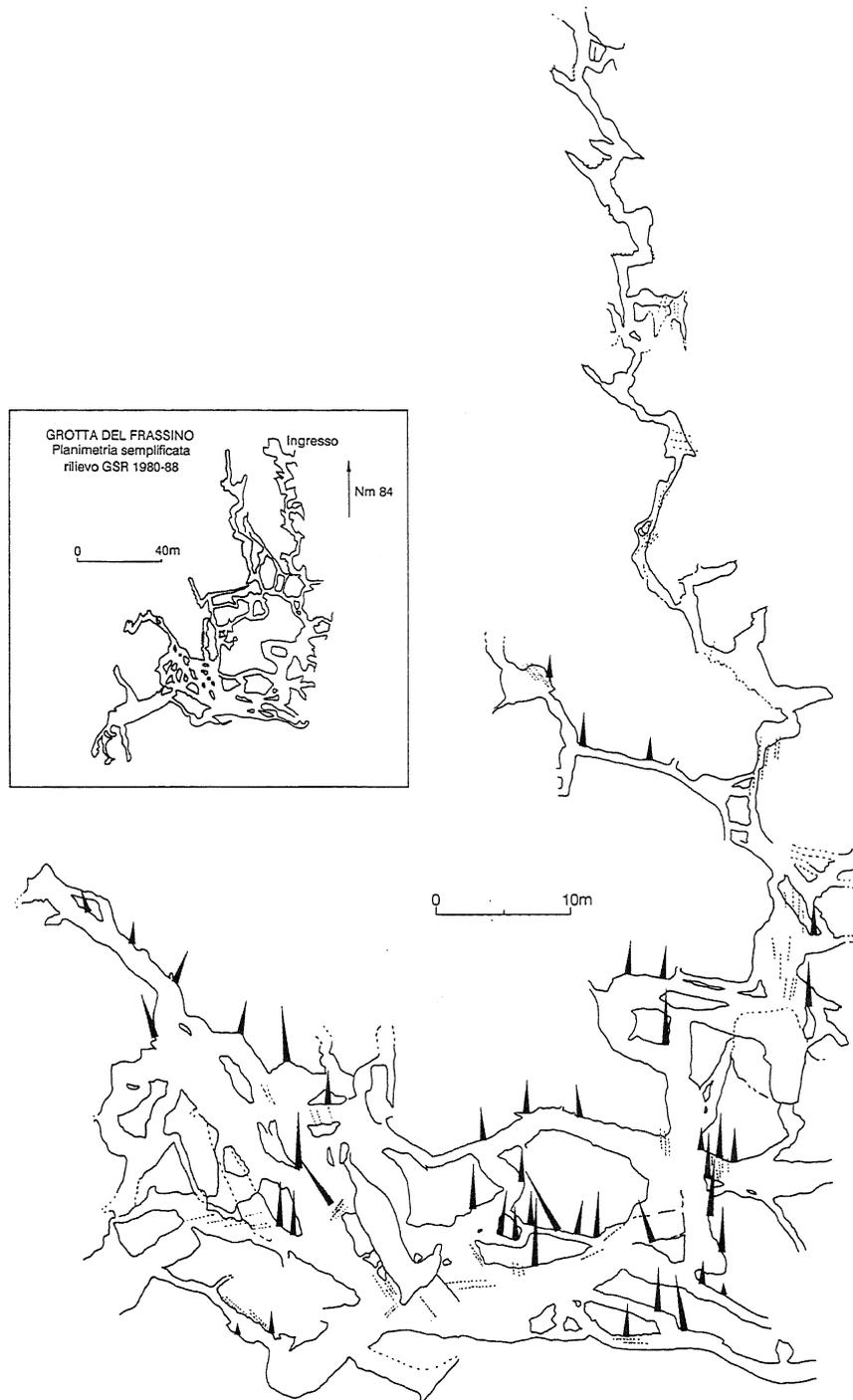


Fig. 7 - Pianta della Grotta del Frassino; lunghezza ed orientazione delle frecce indicano rispettivamente l'entità e la direzione delle dislocazioni misurate; le linee tratteggiate indicano la direzione delle fratture beanti.

Grotta del Frassino map. Arrow lengths and directions indicate the magnitude and direction of measured dislocations, respectively. Dashed lines indicate the direction of gaping fractures.

di 200 m slm. La posizione dei depositi indica un sollevamento generale dell'area dopo il Pliocene marino, con valori più elevati in corrispondenza del M. Campo dei Fiori e più limitati nella sinclinale del Lago di Varese.

2) In alcune cavità del M. Campo dei Fiori (Grotta Frassino, Grotta Marelli, Grotta Virginia Macchi, Lo Va 2464) si può osservare un disassamento di condotte carsiche freatiche in corrispondenza della discontinuità generatrice

(limite di strato), con risalita dello strato superiore rispetto a quello inferiore (Figg. 5 e 6). La dislocazione di elementi morfologici originariamente in continuità fisica, quali pareti di condotte, morfologie parietali e speleotemi, ha permesso di stabilire entità e direzione degli scorrimenti (Bini *et al.*, 1992). Essi risultano compresi tra le direzioni 340° - 10° , con rigetto massimo misurato di 70 cm. Le superfici di scorrimento mostrano andamento planare

Tabella 1 (Table 1)

Camp.	U(ppm)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ t = 0	Età (ka)
Grotta dell'Alabastro						
AB737	0.432(±0.007)	1.222(±0.027)	0.885(±0.050)	9.2	1.394	204.8(+45.2/-30.8)
Grotta del Frassino						
FR5(1)	0.435(±0.007)	1.255(±0.027)	1.119(±0.031)	16	- >350	
FR7(1)	0.213(±0.006)	1.008(±0.035)	1.161(±0.069)	63	- >350	
FR7(2)	0.390(±0.037)	1.064(±0.117)	1.240(±0.224)	18	- >350	
FR8(1)	0.383(±0.011)	1.017(±0.035)	1.189(±0.050)	53	- >350	
FR9(2)	0.377(±0.033)	1.274(±0.130)	1.303(±0.208)	25	- >350	
Grotta sopra Fontana Marella						
AB758	0.259(±0.014)	1.181(±0.087)	1.042(±0.067)	5.8	- >350	
Grotta Marelli						
MA20	0.364(±0.007)	1.029(±0.023)	0.086(±0.044)	23	1.056	229.6(+55.7/-35.5)
MA21	1.297(±0.048)	1.032(±0.032)	0.874(±0.041)	217.3	1.059	219(+48.2/-31.8)
MA22	0.927(±0.020)	1.036(±0.021)	0.909(±0.026)	69.2	1.072	250(+40.2/-28.3)
MA24	0.311(±0.031)	0.950(±0.117)	0.991(±0.115)	297	0.950	>350
Grotta On the Road						
MARNOV	0.661(±0.011)	1.022(±0.018)	0.992(±0.024)	60.5	1.076	448.2(+inf/-109)
Grotta Shangai						
AB745	0.152(±0.008)	1.074(±0.061)	0.093(±0.044)	2.42	1.076	10.5(+5.4/-5.1)
AB746	0.458(±0.008)	1.020(±0.018)	1.222(±0.103)	20		>350
Grotta Via col Vento						
VV5	0.973(±0.005)	1.003(±0.005)	1.175(±0.027)	61	1.003	>350
VV20	1.637(±0.023)	1.026(±0.011)	1.048(±0.033)	50	1.026	>350
Grotta Virginia Macchi						
VM8	0.143(±0.002)	1.692(±0.028)	0.149(±0.020)	2.355	1.727	17.4(±2.5)
VM10	0.300(±0.003)	1.119(±0.014)	0.872(±0.032)	2.939	1.212	205.8(+25.7/-20.6)

ed assenza di tectoglifi; in un caso si è osservata una fascia cataclastica dello spessore di 3-4 cm in corrispondenza della superficie di taglio. Lo strato basale dello scorrimento si presenta sistematicamente interressato da fratture beanti, con aperture variabili dal millimetro ai 10÷20 cm. I dati misurati permettono il riconoscimento di tre sistemi prevalenti di fratture con orientazione parallela, perpendicolare ed a 45° rispetto alla direzione del movimento lungo strato (Fig. 7).

5. DATAZIONI RADIOMETRICHE

Mediante il metodo U-Th applicato alla calcite degli speleotemi è stato possibile associare alla misura delle dislocazioni anche la datazione radiometrica degli eventi. I dati ottenibili sono l'età massima e l'età minima dei movimenti, registrata rispettivamente dagli speleotemi dislocati e non dislocati.

Nel caso del M. Campo dei Fiori sono stati datati radiometricamente numerosi dispositivi; in particolare (v. Tabella 1):

– nella G. Frassino 5 speleotemi, di cui 4 antecedenti ai movimenti tettonici (placche stalagmitiche interessate

da fratture beanti e stalagmiti rotte e dislocate) ed uno posteriore (stalagmite cresciuta su colonna rotta), hanno fornito età superiori al limite del metodo (>350.000 anni B.P.).

– nella G. Marelli un blocco stalattitico crollato, con ogni probabilità a causa di un terremoto, ha dato un'età radiometrica (età minima del probabile movimento) pari a 219.000 (+48,2; -31,8) anni B.P.; nella stessa cavità si osservano rare fratture beanti che interessano speleotemi la cui età è risultata superiore ai limiti del metodo (> 350.000 anni B.P.).

– nella G. On the Road un crostone stalagmitico, interessato da fratture non direttamente associabili a movimenti lungo strato, è risultato di età superiore ai limiti del metodo e, considerando il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, presumibilmente superiore a 1,5 M.a.

– nella G. dell'Alabastro, sul vicino M. Chiusarella, un livello di stalattiti rotte, con ogni probabilità a causa di un terremoto, ha fornito un'età di 204.800 (+45,2; - 30,8) anni B.P.

Altri speleotemi datati (Uggeri, 1992) non presentano evidenze certe di tettonica recente; in particolare esse sono del tutto assenti negli speleotemi del Pleistocene superiore.

Dal punto di vista tettonico i dati indicano una riattivazione, con una direzione di massima compressione compresa tra NNW e NNE, del sistema "Anticlinale Brinzio-Maroggia - Sinclinale del Lago di Varese", che si deforma secondo un meccanismo tipo scivolamento flessurale (*flexural slip folding*), con movimento per "simple shear" tra gli strati che determina il richiamo dello strato strutturalmente superiore verso la cerniera dell'antiforme e dello strato inferiore verso la cerniera della sinforme (Ramsay e Huber, 1987).

In base ai dati radiometrici, essendo assenti evidenze certe di movimenti più giovani di 350.000 anni, è

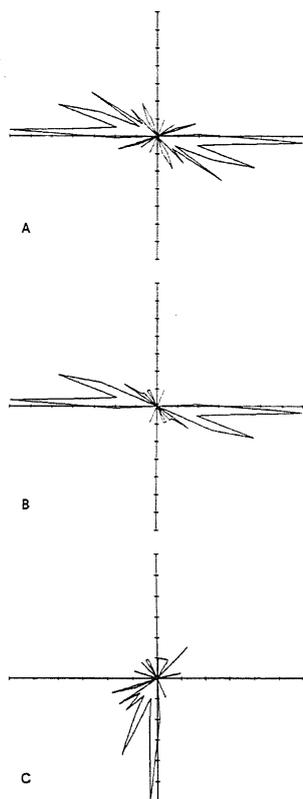


Fig. 8 - Diagrammi a rosa relativi a: 8A = direzioni del totale delle faglie misurate; 8B = direzioni relative alle faglie dirette; 8C = immersioni del totale delle faglie.

Star diagrams relative to: 8a= directions of all measured faults; 8b= directions of normal faults; 8c= dips of all measured faults.

possibile ritenere che il movimento lungo strato non sia più attivo già prima di 350.000 anni fa.

3) depositi continentali del Pliocene superiore e parte del Pleistocene inferiore (Serie della Valle della Fornace, conglomerato poligenico) sono in più punti interessati da faglie, fratture e, più limitatamente, pieghe.

6. ANALISI STRUTTURALE MESOSCOPICA

In tre località (Valle della Fornace, Vivirolo, Molino Gaggio) (Fig. 4) sono stati raccolti dati relativi alla popolazione di faglie e fratture presenti. Di ogni discontinuità è stata misurata la giacitura e, ove presenti, rigetto e *pitch* delle strie.

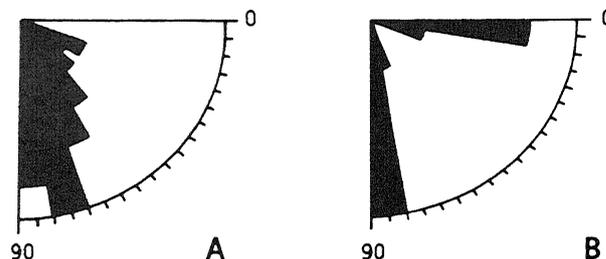


Fig. 9 - Diagrammi a rosa relativi alle inclinazioni (A); al *pitch* delle strie sulle superfici di faglia (B).

Star diagrams of: (A) dips; (B) striae pitch on fault surfaces.

Dai diagrammi a rosa delle direzioni di faglia (Fig. 8a) si osserva, nonostante una certa dispersione dei dati, la presenza di due pronunciati massimi relativi a 95°N e 110°N , corrispondenti a strutture distensive (73%; Fig. 8b); le restanti direzioni sono relative a faglie con carattere trascorrente (10%), compressivo (5%) e a geometria non valutabile (12%). Le immersioni mostrano netta asimmetria, con prevalenza a S-SW (Fig. 8c). Le inclinazioni, pur distribuite tra 25° e 90° , indicano giaciture preferenziali ad alto e medio angolo (Fig. 9a). I *pitch* delle rare strie presenti sulle superfici di faglia (Fig. 9b) evidenziano sia movimenti di *dip-slip* ($80^{\circ}\pm 90^{\circ}$) che di *strike-slip* ($0^{\circ}\pm 20^{\circ}$); di quest'ultimo non è mai stato possibile determinare il senso. Le superfici di faglia, prevalentemente planari, assumono in qualche caso andamento curvilineo; gli spostamenti lungo faglia sono sempre limitati, mediamente nell'ordine dei centimetri, con rigetto massimo misurato di 1 m.

Strie e *marker* litologici, quando presenti, hanno, permesso di individuare i meccanismi di faglia. Sono stati riconosciuti sistemi distensivi e, molto subordinati, sistemi trascorrenti e piccoli sovrascorrimenti. Le direzioni

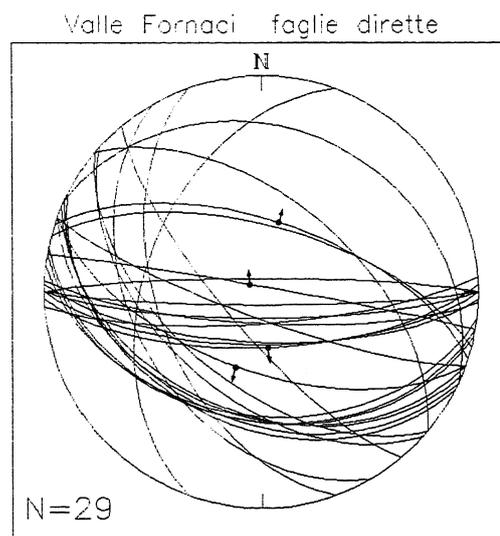


Fig. 10 - Stereogramma delle faglie dirette della Valle della Fornace (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore). Le frecce indicano il *pitch* delle strie misurate.

Stereogram of Valle della Fornace normal faults (Schmidt's net, lower hemisphere). Arrows indicate the *pitch* of the measured striae.



Fig. 11 - Faglie dirette nell'Unità inferiore della Valle della Fornace.
Normal faults in Valle della Fornace Lower Unit.

degli assi principali degli sforzi sono state ricavate sulla base dei semplici criteri geometrici proposti da Anderson (1951) e Hancock (1985). Non si è potuto utilizzare metodi numerici per l'impossibilità, nella quasi totalità dei casi, di identificare i sensi di movimento delle faglie.

Le faglie dirette (Figg. 10a e 11) indicano un asse σ_3 (sforzo principale minimo) suborizzontale, con direzione di massima estensione compresa tra 360° e 50° , ed un asse σ_1 (sforzo principale massimo) subverticale. Le asimmetrie delle inclinazioni in alcuni sistemi coniugati evidenziano un basculamento degli strati.

Tra le faglie trascorrenti è identificabile un sistema coniugato subverticale compatibile con le orientazioni degli sforzi principali dedotte dai sistemi distensivi: infatti esso indica un asse σ_2 (sforzo principale intermedio) subverticale ed un σ_3 con direzione NNE-SSW. Altre due faglie non offrono indicazioni congruenti.

Le faglie inverse, estremamente rare, mostrano un σ_3 subverticale ed una direzione di massima compressione orientata NE-SW, risultando anch'esse congruenti con il quadro delineato, per permutazione degli assi σ_1 e σ_3 .

Le fratture presentano numerosi massimi relativi di frequenza; da segnalare un sistema, quantitativamente significativo, di fratture estensionali indicanti una distensione E-W (direzione N-S, subverticale), presente sia a Vivirolo che a Molino Gaggio (Fig. 12).

Le giaciture della stratificazione sono state misurate cercando di escludere anomalie legate in modo evidente a faglie (Fig. 13). Nella Valle della Fornace si è in presenza

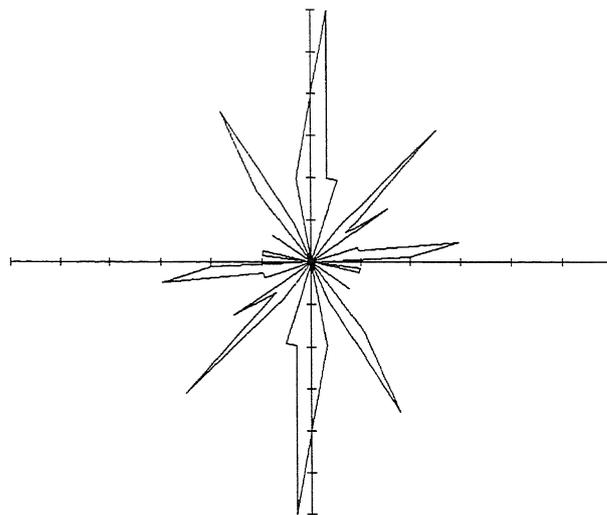


Fig. 12 - Diagramma a rosa relativo alle direzioni delle fratture della Valle della Fornace, Vivirolo e Molino Gaggio.

Star diagram showing fractures directions in Valle della Fornace, Vivirolo and Molino Gaggio.

di una certa dispersione delle giaciture dovuta principalmente a fenomeni deposizionali (clinostratificazione in ambiente deltizio-lacustre). In località Vivirolo la distribuzione delle giaciture è tale da poter essere ricondotta alla presenza di una piega aperta con asse suborizzontale debolmente immergente a 290° , indicante una direzione di massima compressione NNW-SSE. L'attendibilità

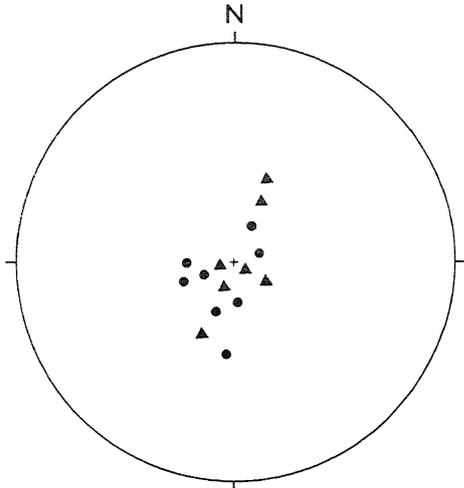


Fig. 13 - Stereogramma relativo alle giaciture della stratificazione in località: Viviolo (triangoli) e Valle della Fornace (cerchi).

Pole projection showing the dips and directions at Viviolo (triangles) and Valle della Fornace (circles).

del dato è tuttavia da valutare a causa del limitato numero di giaciture che è stato possibile misurare.

Nelle unità posteriori ai conglomerati poligenici, costituite principalmente da depositi glaciali (Alloformazioni di Monterosso, Besnate e Bodio) non si sono osservate evidenze tettoniche. L'assenza di importanti discontinuità nell'allineamento di creste moreniche e di terrazzi, unici elementi morfologici di riferimento, suggerisce infatti l'assenza di fenomeni rilevanti dopo la deposizione delle morene dell'Allogruppo di Monterosso.

Nell'insieme le deformazioni osservate sono riconducibili, pur con incertezze derivanti dalla parziale dispersione azimutale dei dati, ad un campo di sforzi unitario (σ_1 subverticale; σ_3 suborizzontale con direzione NNW-NE), se si ammette la possibilità di permutazione dell'asse σ_1 con l'asse σ_3 . Permutazioni di tale genere sono verificate abbastanza comunemente. Infatti, in presenza di faglie a superficie non planare, si creano problemi di accomodamento che portano all'instaurarsi di

locali sforzi compressivi, con formazione di faglie inverse e pieghe (Brumbaugh, 1984).

Non si può comunque escludere la ripresa in più periodi, all'interno dell'intervallo Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, dell'attività tettonica, anche in considerazione del fatto che alcuni dati non sembrano del tutto congruenti con il quadro unitario proposto (sistemi di frattura N-S, alcune faglie trascorrenti).

6. CONCLUSIONI

L'analisi fin qui svolta ha messo in luce la presenza di strutture megascopiche compressive (pieghe di età alpina riattivate) e di strutture mesoscopiche sia distensive (dominanti: faglie dirette), sia compressive (faglie inverse, pieghe), con orientazioni compatibili, che interessano depositi di età compresa tra il Pliocene inferiore ed il Pleistocene medio. La possibilità di datare, mediante il metodo U-Th, speleotemi legati ai sistemi carsici sviluppati nelle rocce carbonatiche del M. Campo dei Fiori e ricollegabili alla tettonica dell'area, permette di delineare il seguente quadro evolutivo:

A) Dopo la trasgressione pliocenica ha luogo un sollevamento generale dell'area, con dislivelli fino a 400 m; il dato deriva dalla quota di affioramento dei sedimenti pliocenici marini nella valle di Faido nel Pliocene. Il sollevamento è da mettere in relazione alla ulteriore surrezione delle pieghe alpine dell'area (sistema "Anticlinale Brinzio-Maroggia - Sinclinale del Lago di Varese") per ripresa dei movimenti compressivi in direzione variabile tra NNW e NNE (Fig. 14). Il serraggio in profondità della sinclinale porterebbe, in analogia con situazioni riconosciute nel bacino Padano (Cremaschi *et al.*, 1980; Gasperi e Pellegrini, 1984), alla creazione di zone depresse presso la superficie. Questa situazione tensionale di superficie, in corrispondenza della sinclinale, sarebbe responsabile delle strutture distensive dominanti nei depositi plio-pleistocenici, cui si associerebbero, per fenomeni di accomodamento,

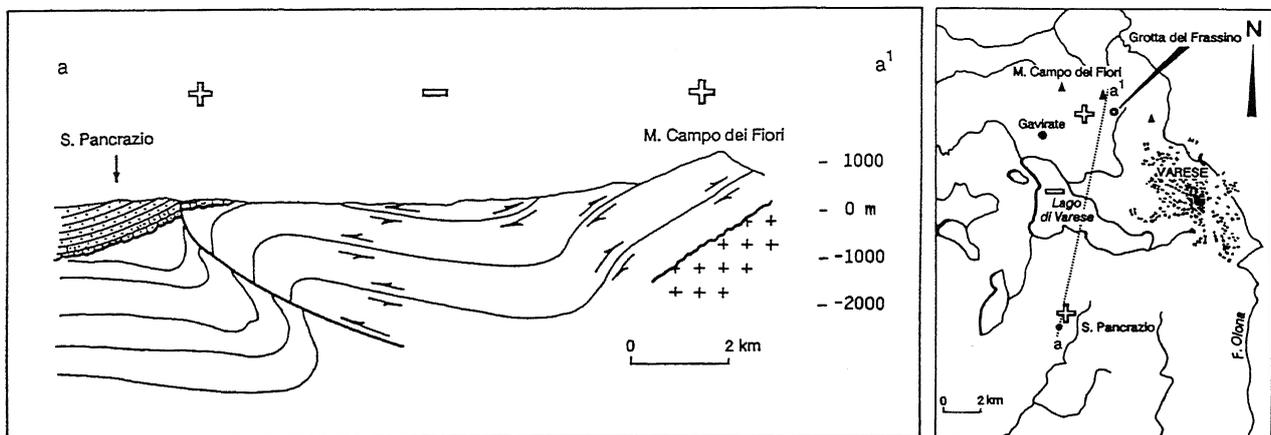


Fig. 14 - Sezione geologica interpretativa in cui sono evidenziati i movimenti tettonici plio-quadernari. *Interpretative geological section. Plio-quadernary tectonic movements are highlighted.*

strutture compressive di significato locale.

L'attività tettonica termina prima dei 350.000 anni, come testimoniato dalla datazione degli speleotemi e dall'assenza di dislocazioni nei till a partire dall'Allogruppo di Monterosso.

A supporto di tale evoluzione vi possono essere anche argomenti di carattere sedimentologico. Infatti i depositi fluviali di età Pleistocenica inferiore (Ceppo Auct.), mostrano un passaggio da regime meandriforme a *braided*. L'aumento di energia dei corsi d'acqua può essere messo in relazione ad una fase di ringiovanimento del rilievo, legata alla tettonica compressiva in atto.

B) Da 350.000 anni B.P. al termine del Pleistocene medio sono registrati esclusivamente crolli di speleotemi dovuti a terremoti.

C) Nel Pleistocene superiore non vi sono evidenze di movimenti tettonici.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Yves Quinif per le datazioni U/Th, Stefano Carbonara, Oscar Sules e Ornella Da Rold per la collaborazione sul terreno, Magda Minoli per le elaborazioni grafiche, Riccardo Bersezio, Guido Gosso e Andrea Zanchi per la rilettura critica del manoscritto.

Lavoro eseguito con fondi MURST 40% (Geomorfologia strutturale ed evoluzione del rilievo in Italia e in aree mediterranee, Resp. Naz. P.R. Federici) e C.N.R., Centro di Studio per la Stratigrafia e la Petrografia delle Alpi Centrali.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson E.M., 1951 - *The dynamics of faulting*. Oliver and Boyd, Edinburgh (II ed.), 206 pp.
- Angelier J., Colletta B. & Anderson R.E., 1985 - *Neogene paleostress change in the Basin and Range: a case study at Hoover Dam, Nevada-Arizona*. Geol. Soc. of America Bull., **96**, 347-361.
- Bigoggero B., Casati P. & Colombo A., 1981 - *Foglio 31 - Varese*. in: *Carta Tettonica delle Alpi meridionali*, di A. Castellarin, Pubbl. n. 441, Progetto finalizzato Geodinamica (S.P.5) C.N.R.
- Bini A., Cita M.B. & Gaetani M., 1978 - *Southern Alpine Lakes. Hypothesis of an erosional origin related to the messinian entrenchment*. Marine Geology, **27**, 271-288
- Bini A. & Uggeri A., 1992 - *Sedimentation en milieu periglaciaire: l'exemple de la Grotte Shangai (M. Campo dei Fiori, Varese, Lombardia, Italie)*. Actes des Journées Pierre Chevalier, Grenoble, **5**, 1991, 118-137.
- Bini A., Quinif Y., Sules O. & Uggeri A., 1992 - *Evidences de tectonique recente dans les grottes du M.Campo dei Fiori (Lombardie, Italie)*. Karstologia, n. 19, 23-30.
- Brambilla G. & Lualdi A., 1986 - *Il Pliocene della Provincia di Bergamo (Italia Settentrionale). Analisi faunistiche ed inquadramento cronologico e paleoambientale*. Boll. Soc. Paleont. Ital., **25**(3), 237-266.
- Brumbaugh D.S., 1984 - *Compressive strains generated by normal faulting*. Geology, **12**, 491-494.
- Carbonara S., 1991 - *Rilevamento geologico della zona di Varese e caratterizzazione geologico-tecnica di alcuni litotipi argillosi*. Tesi di Laurea A.A. 1990-91, Università di Milano.
- Casati P., 1978 - *Tettonismo e sedimentazione nel settore Occidentale delle Alpi Meridionali durante il tardo Paleozoico, il Triassico ed il Giurassico*. Riv. It. Paleont. Strat., **84**(2), 313-326.
- Corselli C., Cremaschi M. & Violanti D., 1985 - *Il canyon Messiniano di Malnate (Varese): pedogenesi tardo-miocenica ed ingressione marina Pliocenica al margine meridionale delle Alpi*. Riv. It. Paleont. Strat., **91**, n. 2, 259-286.
- Cremaschi M., Bernabò Brea M., Tirabassi J., D'Agostini A., Dall'Aglio P.L., Magri S., Baricchi W., Marchesini A. & Nepoti S., 1980 - *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del Bronzo, l'età romana e l'alto medio evo: geomorfologia ed insediamenti*. Padusa, 1-106.
- Da Rold O., 1991 - *L'apparato glaciale del Lago Maggiore, settore orientale*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Dip. di Scienze della Terra, Università di Milano.
- Felber M., Frei W. & Heitzmann P., 1991a - *Il canyon sepolto di età Messiniana nella regione di Novazzano (Ticino Meridionale, Svizzera)*. Boll. Soc. Tic. Sc. Nat., **79**, 11-23.
- Felber M., Frei W. & Heitzmann P., 1991b - *Seismic evidence of Pre-Pliocene valley formation near Novazzano (Ticino, Switzerland)*. Ecl. Geol. Helv., **84**(3), 753-761.
- Gasperi G. & Pellegrini M., 1984 - *Strutture geologiche e idrografia della bassa pianura modenese*. Atti Conv. "Mirandola e le terre del basso corso del Secchia", Mirandola 1983, 76-114
- Hancock P.L., 1985 - *Brittle microtectonics: principles and practice*. J. Struct. Geol., **7**(3-4), 437-457.
- Maire R., 1990 - *La haute montagne Calcaire*. Karstologia, Mémoires, n. 3, 731 pp.
- Nangeroni, 1932 - *Carta geognostica - geologica della Provincia di Varese con uno studio sulla geologia, le rocce e le forme del terreno della regione varesina*. Ann. R. Ist. Tecnico Daverio, Varese, 114 pp.
- Nangeroni, 1954 - *I terreni pleistocenici dell'anfiteatro morenico del Verbano e del territorio varesino*. Atti Soc. It. Sc. Nat., **93**, 7-106.
- Quinif Y., 1989 - *La datation uranium-thorium*.

Speleochronos, n. 1, 3-22.

Ramsay J. G. & Huber M.I., 1987 - *The techniques of modern structural geology*. Vol. 2, *Folds and fractures*. Academic Press, 700 pp.

Uggeri A., Bini A. & Quinif Y., 1990 - *Datations des sédiments de la Grotte Marelli (Italie, Lombardie, Varese)*. Spéléochronos, n. 2, 21-28.

Uggeri A., 1992 - *Analisi geologico ambientale di un*

massiccio carsico Prealpino (M.Campo dei Fiori, Varese): geologia, geologia del Quaternario, carsismo e idrogeologia. Tesi di Dottorato di Ricerca, Dip. Scienze della Terra, Università di Milano.

Manoscritto ricevuto il 12. 6. 1992

Inviato all'Autore per la revisione il 25. 9. 1992

Testo definitivo ricevuto il 14. 10. 1992