

EVIDENZE DI TETTONICA RECENTE E DI GLACIOTETTONICA NEL MENDRISIOTTO (TICINO MERIDIONALE, SVIZZERA)

A. Zanchi⁽¹⁾ - I. Rigamonti⁽¹⁾ - M. Felber⁽²⁾ - A. Bini⁽¹⁾

⁽¹⁾Dip.to di Scienze della Terra, Sez. di Geologia e Paleontologia, Università di Milano, Milano (Italia)

⁽²⁾Dip.to del Territorio, Museo Cantonale di Storia Naturale, Lugano (Svizzera)

⁽¹⁾ & ⁽²⁾ Gruppo Quaternario, c/o Dip.to Scienze della Terra, Università di Milano, Milano (Italia)

ABSTRACT - *Evidence of recent tectonics and glaciotectonics in the Mendrisiotto (Southern Ticino, Switzerland)* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 8(2), 279-290 - The detailed study of deformational structures present in the Messinian to Quaternary successions of Mendrisiotto (Southern Ticino, Switzerland) gives important new data on the local recent evolution of the Southern Alps. The Messinian *Conglomerato di Pontegana* is affected by two main sets of extensional joints and tension gashes, indicating E-W and NNW-SSE extension. The lower Pliocene *Argille di Castel di Sotto* and the Pleistocene tillites forming the lower part of the Spinee Member (*Conglomerato di Mendrisio*) are generally disrupted by E-W trending normal and normal-oblique faults, indicating an important extensional event. The stress tensor obtained using fault populations measured in these formations shows a subvertical σ_1 axis and a roughly N-S trending subhorizontal σ_3 axis. These fault systems are developed especially along the tectonic contact between the Gonfolite Group (Oligo-Miocene) and the Pliocene clays. The boundary between the two formations consists in an E-W trending, north-dipping normal fault which bounds the southern part of the Mendrisiotto region. These structures may represent the eastern pro-secution of the active ENE-WSW dextral strike-slip faults recognized west of Lago Maggiore (*Linea della Cremosina*). In another view, these structures might be related to superficial accommodation of deep folds and thrusts possibly active in the Po Plain along the southern margin of the Southern Alps. Timing of motions along these fault systems can be constrained between Upper Pliocene and the first glaciations (Late Pliocene-Lower Pleistocene). In the upper part of the Spinee Member and in the Novazzano Member (*Conglomerato di Mendrisio* - Pleistocene) compressive structures as large folds developed in still soft sediments. Water escape structures and plastic deformation of unconsolidated layers indicate folding before final diagenesis. Glaciotectonic phenomena are believed responsible for the formation of such structures. Fold systems are generally conformable to the pushing direction of a glacier coming from the Como Lake region.

RIASSUNTO - *Evidenze di tettonica recente e di glaciotettonica nel Mendrisiotto (Ticino meridionale, Svizzera)* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 8(2), 279-290 - Lo studio di dettaglio delle strutture deformative presenti nelle successioni di età compresa fra il Messiniano ed il Pleistocene, affioranti nel Mendrisiotto, fornisce alcuni importanti nuovi dati sull'evoluzione del margine meridionale del Sudalpino in questa regione. Nella fattispecie il Conglomerato di Pontegana di età messiniana registra due fasi tettoniche caratterizzate da estensione in direzione E-W e NNW-SSE, indicate dalla presenza di fratture di estensione subverticali. I depositi di età pliocenica e le tilliti pleistoceniche alla base del Membro di Spinee (Conglomerato di Mendrisio) indicano un'importante fase distensiva indotta da un regime di sforzo con asse orizzontale σ_3 orientato all'incirca N-S. Le deformazioni riconosciute nei successivi depositi glaciali e fluvioglaciali sono invece riferibili a fenomeni di glaciotettonica.

Parole chiave: Neotettonica, glaciotettonica, Alpi Meridionali, Messiniano, Pliocene, Pleistocene inferiore, Pleistocene superiore

Key words: Neotectonics, glaciotectonics, Southern Alps, Messinian, Pliocene, Lower Pleistocene, Upper Pleistocene

1. INTRODUZIONE

Durante gli studi stratigrafici relativi alle formazioni tardo-terziarie e quaternarie del Ticino meridionale (Felber, 1993) e della Lombardia settentrionale (Bini, 1987; Da Rold, 1990; Bini *et al.*, 1993) sono stati identificati numerosi depositi che presentano localmente chiare evidenze di dislocazioni tettoniche. Nella zona di Varese le strutture osservate (Bini *et al.*, 1992; Bini *et al.*, 1993) sono state messe in relazione a movimenti tettonici recenti verificatisi tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene medio. Anche nel Mendrisiotto sono stati riconosciuti diversi tipi di strutture deformative nelle numerose unità di età compresa fra il Messiniano ed il Quaternario descritte da Felber (1993), già note almeno in parte dagli studi di Vonderschmitt (1940) e di Longo (1968).

Il presente lavoro consiste nella descrizione sistematica di tali strutture e in una loro interpretazione. In base ai dati raccolti sono state riconosciute strutture sia di origine tettonica sia connesse a fenomeni di glaciotettonica.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Mendrisiotto meridionale costituisce una depressione orientata E-W compresa fra il bacino del Ceresio a W e quello del Lario a E (Fig. 1). L'area è delimitata a N dai rilievi mesozoici del Monte Generoso (Bernoulli, 1964), e a S da rilievi costituiti da depositi di età oligomiocenica appartenenti prevalentemente al Gruppo della Gonfolite (Gunzenhauser, 1985; Bernoulli *et al.*, 1987; Gelati *et al.*, 1988; Bernoulli *et al.*, 1989; Gelati *et al.*, 1991) retroscorsi verso N al di sopra del substrato mesozoico durante il Miocene medio-superiore.

L'area studiata costituisce una zona marginale rispetto alle direzioni di flusso dei principali ghiacciai pleistocenici provenienti dal Lario e dal Ceresio (Bini, 1987; Felber, 1993). Questo fatto ha permesso la conservazione di una complessa successione di depositi non o scarsamente litificati che coprono un arco di tempo compreso fra il Messiniano ed il Pleistocene superiore.

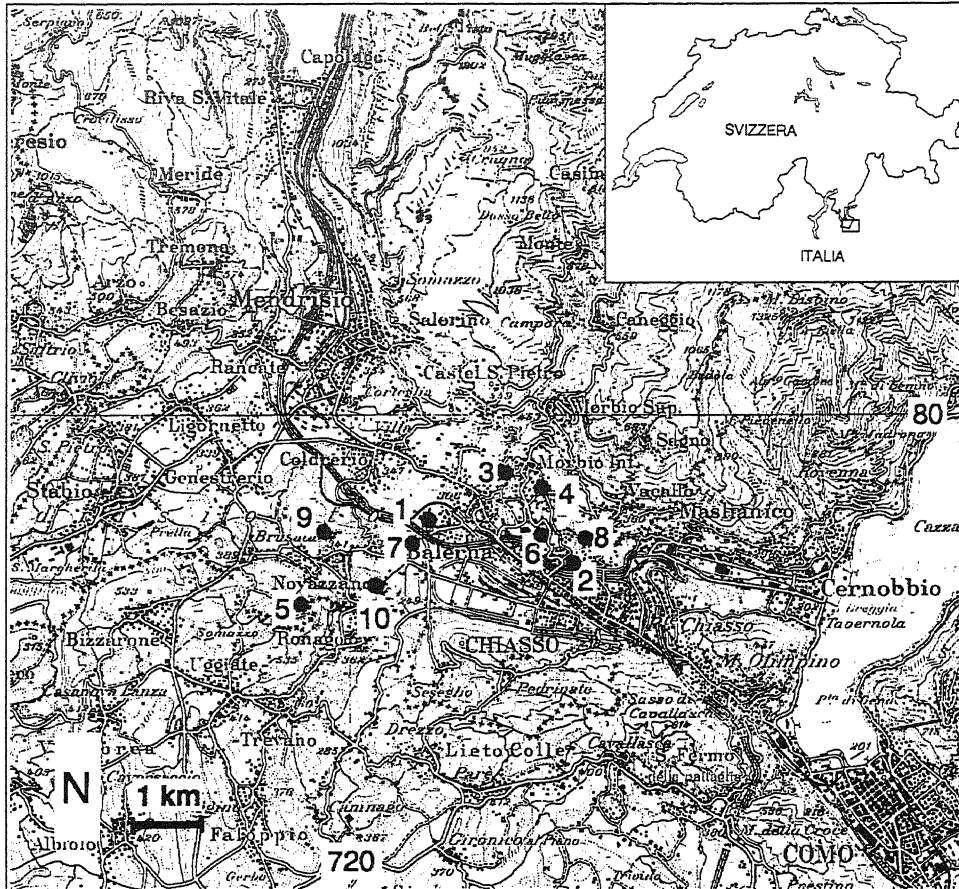


Fig. 1 - Estratto della carta nazionale svizzera, foglio Mendrisio (Riproduzione autorizzata il 19.8.1994 dall'Ufficio Federale di Topografia). Posizione geografica del Mendrisiotta e localizzazione delle sezioni descritte nel presente studio: 1 - San Antonio (Balerna); 2 - Dosso di Balbio (Morbio inferiore); 3 - Sottosassi (Morbio inferiore); 4 - Dosso di Bassora (Morbio inferiore); 5 - Valletta sup. Casate (Novazzano); 6 - Cantiere di Pascoretti (Morbio inferiore); 7 - Excava di Castel di Sotto (Novazzano); 8 - Valle di Spinee (Morbio inferiore-Vacallo) e valletta di Fontanella (Morbio inferiore); 9 - Valletta inf. Casate (Novazzano); 10 - Valle di Bassanello (Novazzano).

Extract from the Swiss National Map, Mendrisio sheet (authorised reproduction of 19.2.1994 by Federal Office of Topography). Geographical position of Mendrisiotta and location of sites described in this work: 1 - San Antonio (Balerna); 2 - Dosso di Balbio (Morbio Inferiore); 3 - Sottosassi (Morbio Inferiore); 4 - Dosso di Bassora (Morbio Inferiore); 5 - Casate upper valley (Novazzano); 6 - Pascoretti yard (Morbio Inferiore); 7 - Castel di Sotto (Novazzano) old quarry; 8 - Spinee valley (Morbio Inferiore-Vacallo) and Fontanella valley (Morbio Inferiore); 9 - Casate lower valley (Novazzano); 10 - Bassanello valley (Novazzano).

bio Inferiore); 4 - Dosso di Bassora (Morbio Inferiore); 5 - Casate upper valley (Novazzano); 6 - Pascoretti yard (Morbio Inferiore); 7 - Castel di Sotto (Novazzano) old quarry; 8 - Spinee valley (Morbio Inferiore-Vacallo) and Fontanella valley (Morbio Inferiore); 9 - Casate lower valley (Novazzano); 10 - Bassanello valley (Novazzano).

In questa successione sono state riconosciute varie unità stratigrafiche (Felber, 1993) che dalla più antica sono: Conglomerato di Pontegana, Argille di Castel di Sotto, Conglomerati di Mendrisio, Allogruppo della Colma, Alloformazione di Ligornetto-Cantù. Le strutture deformative analizzate riguardano le prime tre unità (Fig. 2).

2.1 Descrizione delle unità

Conglomerato di Pontegana - In precedenza questa unità, ritenuta prepliocenica) era divisa in "Untere Ponteganakonglomeratserie" e "Obere Ponteganakonglomeratserie" (Vonderschmitt, 1940; Longo, 1968) in base alla composizione litologica. Felber (1993), sulla base dei rapporti stratigrafici con le Argille di Castel di Sotto del Pliocene inferiore, conserva il nome di Conglomerato di Pontegana, solo per l'unità inferiore, costituita da clasti alterati di esclusiva provenienza locale ed effettivamente prepliocenica. L'unità superiore, formata da clasti non o scarsamente alterati, sia locali sia esotici, e che giace in discordanza sia sull'unità inferiore sia sulle Argille di Castel di Sotto, è stata attribuita ai Conglomerati di Mendrisio del Pliocene superiore - Pleistocene medio.

Il Conglomerato di Pontegana è costituito da ghiaie massive a tratti grossolanamente stratificate e da grossi

blocchi, a supporto di matrice carbonatica costituita prevalentemente da ghiaia fine, scarsa sabbia e più raramente da limi. I clasti sono a spigoli vivi o scarsamente arrotondati, mal selezionati e costituiti in larga maggioranza da Calcare di Moltrasio alterato. L'alterazione è precedente la deposizione delle ghiaie e non interessa la forte cementazione che caratterizza questa unità.

Questi conglomerati sono dovuti a prevalente trasporto in massa e rappresentano essenzialmente alternanze di depositi subaerei di conoide, sedimentati a più riprese allo sbocco della Valle di Muggio. I modesti livelli di sabbie con ripple, intercalati nelle sequenze grossolane, sono attribuibili a depositi fluviali di basso regime.

Il Conglomerato di Pontegana poggia sul substrato roccioso precedentemente inciso da erosione fluviale (Felber *et al.*, 1991; 1995) ed è coperto dalle Argille di Castel di Sotto (Pliocene inferiore) e/o dalle altre unità più recenti. Di conseguenza è avvalorata l'attribuzione al Messiniano del Conglomerato di Pontegana (Rutishauser, 1986).

Argille di Castel di Sotto - Questa unità è costituita da argille con subordinate sabbie e limi deposte in ambiente marino. La macro- e la microfauna, come pure la flora di questi depositi (Panzer, 1934; Premoli-Silva,

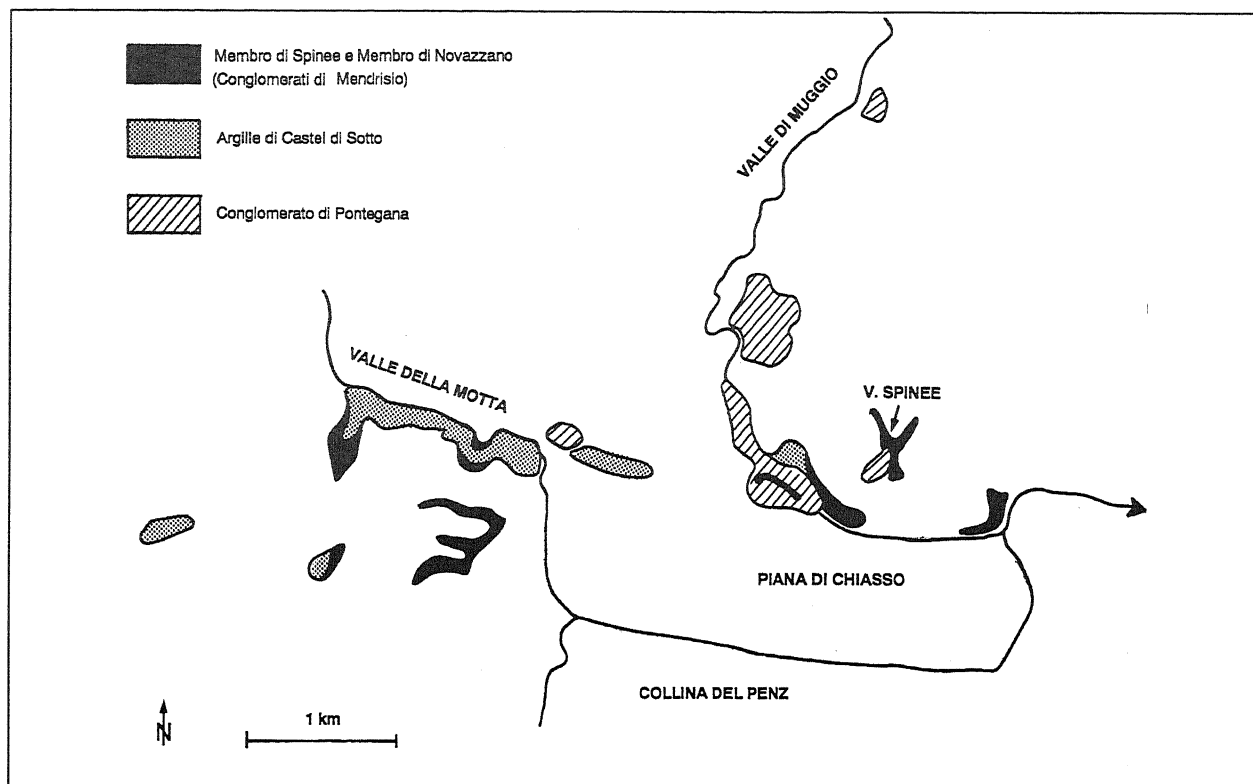


Fig. 2 - Schizzo geologico del Mendrisiotto con indicata la distribuzione areale delle tre unità stratigrafiche descritte nel presente studio (da Felber, 1993).
Geological sketch of Mendrisiotto showing the three stratigraphic units described in this paper (after Felber, 1993).

1965; Longo, 1968; Brambilla, 1992; Brambilla & Galli, 1991; Violanti, 1991; Sidler, 1992) permettono di attribuirli alla parte superiore del Pliocene inferiore.

Le Argille di Castel di Sotto poggiano sopra il Conglomerato di Pontegana, sul substrato roccioso sia mesozoico, sia oligo-miocenico della serie della Gonfolite e risultano ricoperte da tutte le unità più recenti.

Conglomerati di Mendrisio - Comprendono una serie di corpi frammentari di limitata estensione, costituiti prevalentemente da conglomerati e subordinatamente da arenarie, ghiaie e sabbie di litologia e di ambiente deposizionale molto differenti (depositi di colata, depositi proglaciali e di contatto glaciale, fluvio-glaciali, glacio-lacustri, fluviali, lacustri e deltizi). L'intervallo-tempo coperto da questi depositi si estende dal Pliocene superiore al Pleistocene medio. La modesta dimensione degli affioramenti non consente una suddivisione più precisa dei depositi in oggetto. Solo due aree di affioramento hanno una estensione e caratteristiche tali da poter costituire delle sotto-unità distinte ma non correlabili e non posizionabili stratigraficamente: il Membro di Spinee nella zona di Chiasso-Vacallo-Balerna-Morbio Inferiore e il Membro di Novazzano nell'area di Novazzano.

Il Membro di Novazzano è costituito da sabbie, arenarie, ghiaie e conglomerati di ambiente fluviale, deltizio, lacustre e glaciale presenti nell'area di Novazzano. Copre in discordanza le Argille di Castel di Sotto ed è troncato a tetto dai depositi glaciali dell'Allogruppo della

Colma e dell'Alloformazione di Ligornetto-Cantù.

Il Membro di Spinee è costituito invece da tilliti e da conglomerati in facies fluviale e di conoide. I depositi di questa unità coprono in discordanza il Conglomerato di Pontegana come pure le Argille di Castel di Sotto e sono coperti da depositi più recenti.

3. ANALISI STRUTTURALE

3.1 Metodologia

Sono state analizzate alcune centinaia di strutture, comprendenti principalmente faglie, giunti, fessure di tensione e pieghe presenti nelle successioni sedimentarie descritte in precedenza. I piani di faglia striati, per i quali è stato possibile stabilire il senso di movimento, sono stati utilizzati per la determinazione qualitativa delle direzioni principali di sforzo, secondo i metodi proposti da Angelier (1984, 1990). Assumendo il principio secondo cui il vettore di movimento osservato sul piano di faglia (stria) corrisponde alla direzione dello sforzo di taglio, può essere calcolato un deviatore medio dello sforzo, minimizzando l'angolo tra la stria misurata e la direzione teorica dello sforzo di taglio massimo, quando sono noti almeno quattro piani di faglia con orientazione diversa e movimento tra loro indipendente.

Faglie coniugate senza strie, giunti e fratture di estensione sono stati interpretati conformemente alle relazioni proposte da Hancock (1985) e da Hancock et

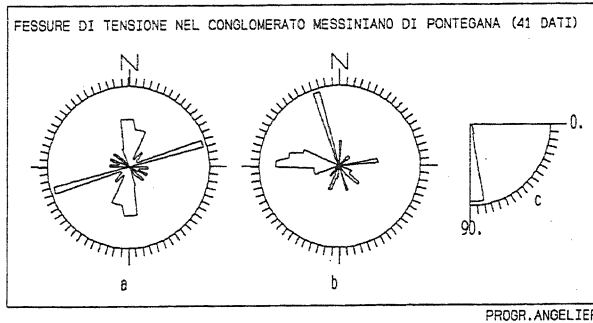


Fig. 3 - Diagrammi a rosa relativi alle strutture misurate nel Conglomerato di Pontegana (41 misure): a) direzioni; b) direzione dell'immersione; c) inclinazioni.

Rose diagrams relative to the structures measured in the Pontegana Conglomerate (41 planes): a) trends; b) dip directions; c) dips.

al. (1987) tra tali tipi di strutture e le direzioni principali di sforzo. Inoltre, sono stati preparati diagrammi a rosa di vario tipo, per fornire una rappresentazione sintetica delle caratteristiche geometriche delle strutture analizzate. La descrizione delle strutture è presentata separatamente per ciascuna unità stratigrafica.

3.2 Conglomerato di Pontegana

Nel Conglomerato di Pontegana sono state osservate una quarantina di strutture, rappresentate essenzialmente da fessure di estensione subverticali, con riempimento carbonatico di tipo fibroso. Le caratteristiche geometriche di tali strutture sono riportate nei diagrammi a rosa di Figura 3. Presso la collinetta situata ad ovest di S. Antonio (Balerna), sono state osservate fessure di estensione molto persistenti, con sviluppo longitudinale anche superiore alla decina di metri e direzione prevalentemente N-S; l'inclinazione delle strutture è prossima alla verticale. Lungo il sagrato della chiesa di S. Antonio sono presenti alcune fessure con disposizione *en échelon*, indicanti una zona di taglio di tipo trascorrente destro orientata NW-SE ed evidenziata da un piano di movimento che collega le fessure di tensione (Fig. 4).

Al Dosso di Balbio (Morbio Inferiore), allo sbocco

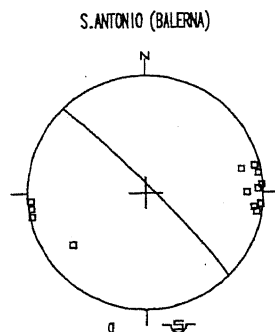


Fig. 4 - Esempi di strutture osservate nel Conglomerato di Pontegana presso la località di S. Antonio (Balerna). I quadratini indicano i poli delle fessure di tensione, la proiezione ciclografica rappresenta un piano di movimento con componente trascorrente destra che collega alcune fessure di tensione disposte *en échelon*. Reticolo di Schmidt, emisfero inferiore.

Examples of structures association in the Pontegana Conglomerate near San Antonio (Balerna): squares are poles to tension gashes, the great circle is a dextral strike-slip fault linking *en échelon* tension gashes. Schmidt's stereonet, lower hemisphere.

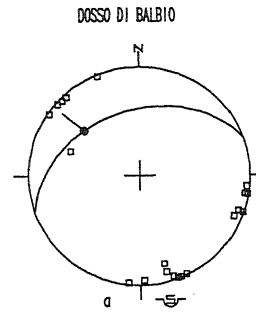


Fig. 5 - Esempi di strutture osservate nel Conglomerato di Pontegana in località Dosso di Balbio (Morbio Inferiore). Il circolo nero con linea lungo la ciclografica del piano di faglia indica la direzione ed il senso di movimento del blocco assente; gli altri simboli sono come in Figura 4.

Examples of structures measured in the Pontegana Conglomerate near Dosso

di Balbio (Morbio Inferiore). Slickenside lineations are black dots with line indicating the sense of motion of the hanging wall; other symbols as in Figure 4.

della Valle di Spinee, sul lato idrografico destro, sono invece presenti due principali sistemi di fessure di tensione subverticali, orientati N-S ed ENE-WSW (Fig. 5). Un piano di taglio diretto ENE-WSW, con movimento normale sinistro, è stato misurato nello stesso sito e risulta associato al secondo sistema di fratture.

In località Dosso di Bassòra (Morbio Inferiore) sono state osservate fratture subverticali di sviluppo metrico

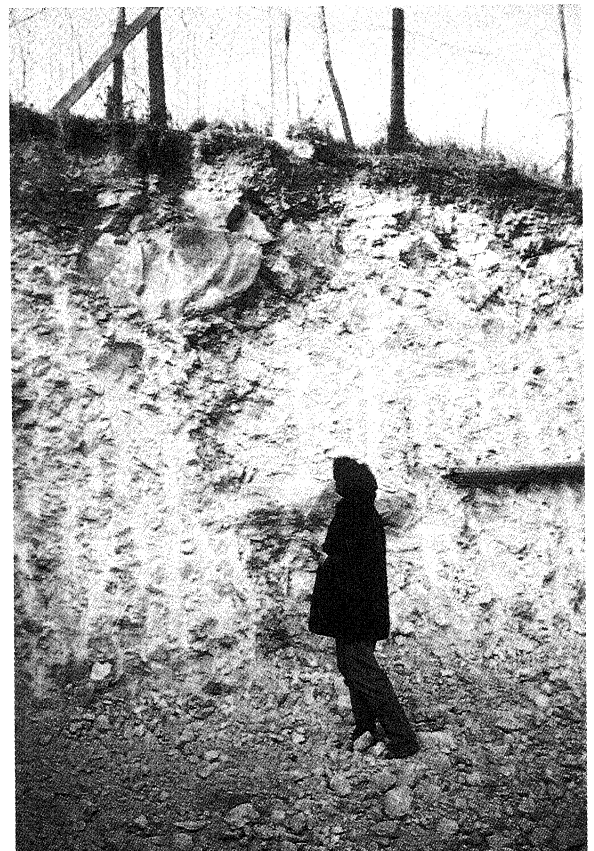


Fig. 6 - Frattura riempita nel Conglomerato di Pontegana osservata nel cantiere di Dosso di Bassòra (Morbio Inferiore) orientata E-W (Foto M. Felber).

E-W trending fracture in the Pontegana Conglomerate near the Dosso di Bassòra yard (Morbio Inferiore) (Photo M. Felber).

orientate circa E-W (Fig. 6).

Lungo l'ampia parete di Sottosassi (Morbio Inferiore), alta 45 m, sono presenti fratture aperte di sviluppo decametrico con orientazione compresa fra NW-SE e N-S, parallele o sub-parallele alla parete stessa (Fig. 7). Queste strutture sono connesse a rilasci gravitativi lungo il bordo della parete stessa e risultano con molta probabilità impostate su sistemi di fratturazione di analoga orientazione.

Considerando le geometrie delle strutture osservate, il Conglomerato di Pontegana indica la presenza di due differenti stati di sforzo con asse σ_3 orizzontale orientato E-W e NNW-SSE.

3.3 Argille di Castel di Sotto

I depositi del Pliocene inferiore sono generalmente ricchi di strutture di tipo fragile rappresentate da faglie e da fratture. Nel Mendrisiotto è stato possibile misurare un centinaio di strutture (Fig. 8). In quasi tutti i siti analiz-



Fig. 7 - Fratture aperte (rivestite dalla vegetazione) presenti nel Conglomerato di Pontegana lungo il bordo sommitale della parete di Sottosassi (Morbio Inferiore). L'orientazione delle strutture è compresa fra NW-SE e N-S (Foto M. Felber).

NW-SE to N-S trending open joints in the Pontegana Conglomerate at the top of the Sottosassi wall (Morbio Inferiore) (Photo M. Felber).

zati sono presenti faglie con strie di movimento.

Il sito più significativo è presente nella valletta superiore di Casate (Novazzano) dove i depositi pliocenici sono in contatto tettonico con il Conglomerato di Como (Gruppo della Gonfolite) (Fig. 9); il contatto è rappresentato da una faglia distensiva diretta circa E-W ed immergente verso N (Fig. 10a). Le numerose faglie secondarie con strie di movimento sono state utilizzate per la determinazione numerica della direzione degli assi principali di sforzo. Il tensore dello stress (Fig. 10b) è stato determinato sia con metodo iterativo sia tramite inversione diretta (Angelier, 1990). Gli assi principali di sforzo mostrano un

regime di tipo distensivo, indicato da un asse σ_1 subverticale e da un asse σ_3 suborizzontale orientato NNE-SSW. Gli assi principali di sforzo ottenuti attraverso la determinazione numerica risultano leggermente obliqui rispetto all'orizzontale; è da notare che, tuttavia, il valore della rotazione dell'asse σ_1 è molto prossimo a quello della stratificazione, rispetto alla quale l'asse risulta ancora perpendicolare. Tale osservazione suggerisce che i

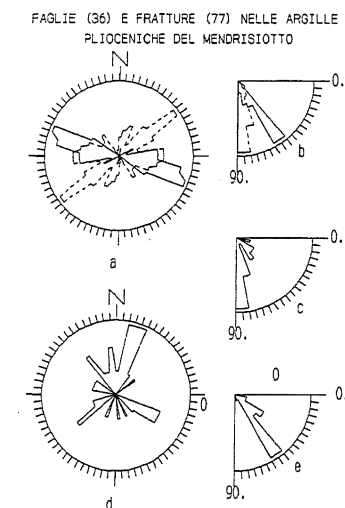


Fig. 8 - Diagrammi a rosa relativi alle strutture misurate nelle Argille di Castel di Sotto. La linea continua si riferisce alle faglie (36 misure), la linea a tratteggio ai giunti (77 misure): a) direzioni; b) inclinazioni; c) pitch delle strie; d) direzione delle immersioni; e) rake.

Rose diagrams relative to structures measured in the "Castel di Sotto" clays. Solid line refers to faults (26 measures), dashed line to joints (77 measures): a) trends; b) dips; c) pitch of slickensides; d) dip directions; e) rake.

movimenti avvenuti lungo le faglie secondarie, utilizzate per la determinazione delle direzioni di sforzo, si sono verificati quando la stratificazione era ancora orizzontale. Fenomeni di rotazione di blocchi, verificatisi con il procedere dei movimenti lungo la struttura principale, hanno successivamente causato la rotazione della stratificazione e delle faglie. Le direzioni di sforzo ottenute risultano coincidenti con quelle deducibili da sistemi di giunti coniugati, osservati in vicinanza della faglia.

In località Pascoretti (Morbio inferiore), in corrispondenza di un cantiere, è stato messo a nudo un affioramento costituito alla base dalle Argille di Castel di Sotto, che risultano ricoperte a loro volta da depositi di contatto glaciale, attribuiti per motivi geometrici al Membro di Spinee. Anche in questo caso sono presenti sistemi di piccole faglie distensive, orientate E-W. Numerosi sistemi di giunti coniugati di tipo estensionale, sempre sub-



verticali e con direzione variabile fra E-W e ENE-WSW, sono stati misurati nei pressi delle faglie. E' da notare che le strutture presenti nelle argille plioceniche proseguono per alcuni centimetri nelle sovrastanti ghiaie e til-liti del Membro di Spinee (Fig. 12). Nei citati depositi

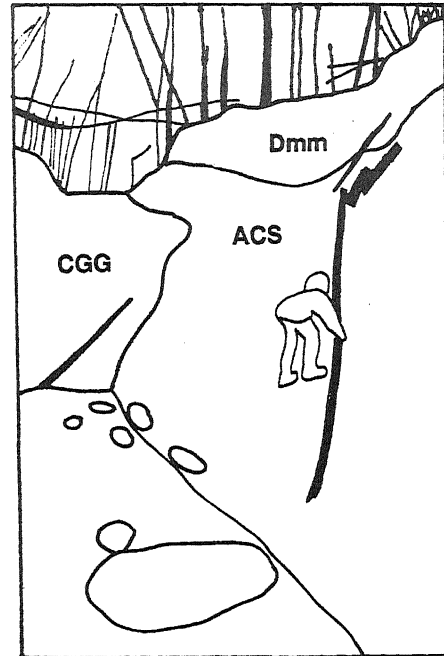
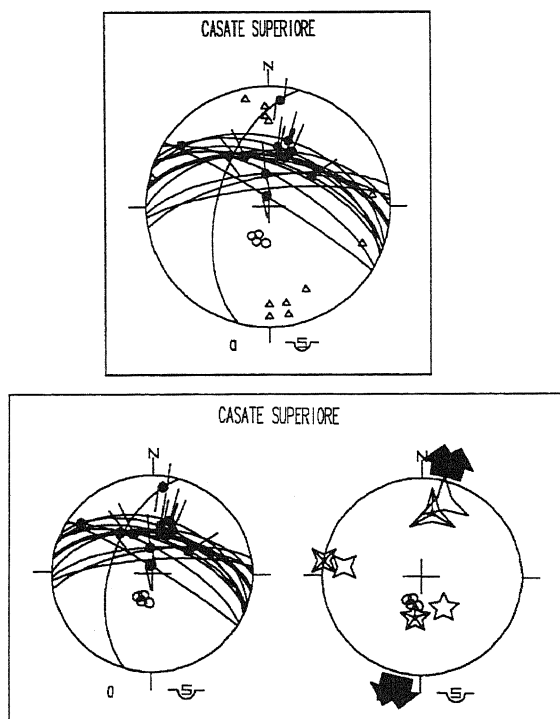


Fig. 9 - Contatto tettonico fra depositi conglomeratici del Gruppo della Gonfolite (Oligo-Miocene) e le Argille di Castel di Sotto (Pliocene inf.) nella valle superiore di Casate (Novazzano). (Foto M. Felber). CGG = Conglomerati del Gruppo della Gonfolite; ACS = Argille di Castel di Sotto; Dmm = Depositi glaciali.

Tectonic contact between conglomeratic deposits of the Gonfolite Group (Oligo-Miocene) and "Argille di Castel di Sotto" (Lower Pliocene) in the Casate upper valley ((Novazzano) (Photo M. Felber). GG = Conglomeratic deposits of the Gonfolite Group; ACS = "Argille di Castel di Sotto"; Dmm = Glacial deposits.



PROGR. ANGELIER



Fig. 10 - Esempi di associazione di faglie formatesi al contatto fra le Argille di Castel di Sotto (Pliocene inf.) e il Conglomerato di Como appartenente al Gruppo della Gonfolite (Oligo-Miocene) nella valle superiore di Casate (Novazzano): a) strutture osservate; i piccoli cerchi vuoti rappresentano i poli della stratificazione delle argille plioceniche, i triangolini i poli dei giunti. Il piano di faglia sono stati misurati nelle argille plioceniche; il cerchio nero con doppia linea indica componente di movimento di tipo trascorrente; b) esempi di determinazione del tensore degli sforzi; le stelle a 5, 4 e 3 punte corrispondono rispettivamente alle direzioni di σ_1 , σ_2 , σ_3 ricavate mediante calcolo numerico; stelle vuote: INVD (soluzione ottenuta con inversione diretta); stelle con righe interne: R4DT (soluzione ottenuta mediante calcolo iterativo)

Examples of fault associations near the contact between "Castel di Sotto" clays (Lower Pliocene) and Como Conglomerate of the Gonfolite Group (Oligo-Miocene): a) structures observed in pliocenic clays; small circles are poles to bedding, triangles to joints. Double line on the slickenside lineation indicates oblique to strike-slip motion along the fault plane. Other symbols as in previous figures. b) examples of stress tensor determinations; stress axes are represented as stars with five (σ_1), four (σ_2) and three branches (σ_3). Simple stars and complex stars correspond to INVD and R4DT inversion methods respectively, as described by Angelier (1990).

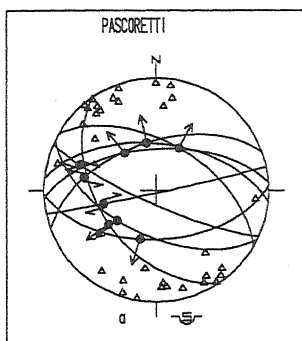


Fig. 11 - Associazione di strutture misurate nel cantiere di Pascoretti (Morbio Inferiore). La presenza di una freccia lungo il vettore di movimento indica una maggiore affidabilità nella determinazione del senso di movimento della faglia rispetto alle località precedenti. Gli altri simboli sono come nelle precedenti figure.

Structures measured in the Pascoretti yard (Morbio Inferiore). Arrows along the slickenside lineation indicate that the sense of motion of the fault is better constrained than in previous sites. Other symbols as in previous figures.



Fig. 12 - Faglie metriche distensive al contatto fra le Argille di Castel di Sotto (Pliocene inf.) ed i depositi glaciali del Membro di Spinee (Pliocene sup.? - Pleistocene inf.?) nel cantiere in località Pascoretti (Morbio Inferiore) (Foto M. Felber).

Metric extensional faults near the contact between "Argille di Castel di Sotto" (Lower Pliocene) and glacial deposits of the Spinee Member (Upper Pliocene ?-Lower Pleistocene) in the Pascoretti yard (Morbio Inferiore) (Photo M. Felber).

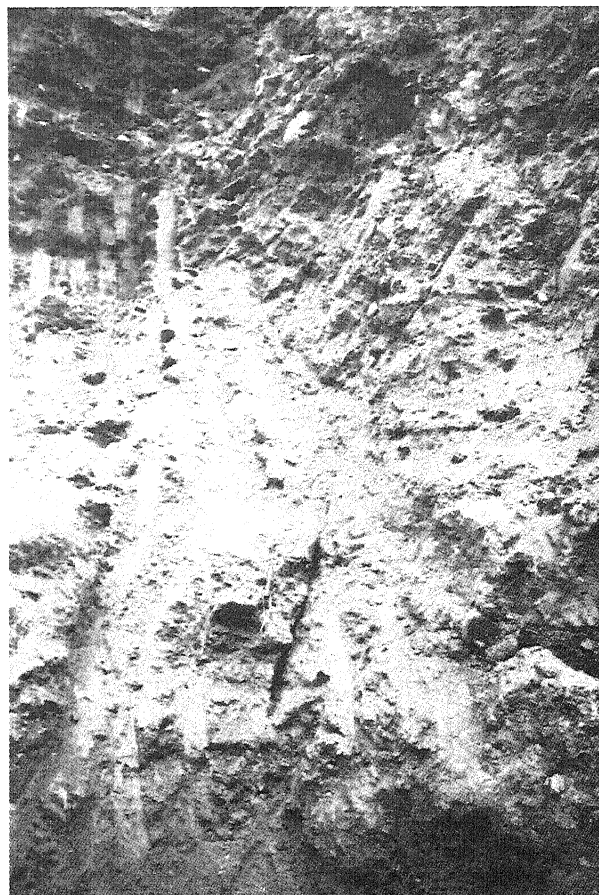
sono inoltre state osservate alcune faglie di notevole sviluppo, orientate E-W con forte componente trascorrente (*pitch* 15°W) (Figg. 12 e 13).

Piccole faglie, con rigetti da centimetrici a decimetrici, sono state osservate nella cava abbandonata di Castel di Sotto (Novazzano) (Fig. 14), lungo le ripide pareti in destra idrografica. Le faglie, di tipo distensivo, sono orientate E-W e mostrano una marcata componente obliqua di tipo trascorrente sinistro. Sono inoltre stati osservati giunti con direzione N-S e NW-SE. Queste faglie sono già state segnalate e attribuite a "tettonica di



Fig. 13 - Specchio di faglia striato (le strie sono parallele all'orientazione della matita) presente nei depositi glaciali del Membro di Spinee (Pliocene sup.? - Pleistocene inf.?) nel cantiere di Pascoretti (Morbio inferiore) (Foto M. Felber).

Fault plane with slickensides parallel to the pencil in the Spinee Member glacial deposits (Upper Pliocene?- Lower Pleistocene?), in the Pascoretti builder's yard (Morbio Inferiore) (Photo M. Felber).



assestamento" (Longo, 1968; Rutishauser, 1986).

L'ultimo sito analizzato è situato nella valletta inferiore di Casate (Novazzano), a valle della vecchia discarica (Fig. 15). Sono presenti giunti di tipo estensionale con direzioni variabili; si nota anche in tale località una prevalenza dei sistemi E-W.

Nonostante alcune piccole variazioni, probabilmente di significato locale, legate alla particolare litologia delle argille plioceniche, le strutture osservate indicano generalmente una fase distensiva, con direzione di estensione orientata tra NNE-SSW e N-S.

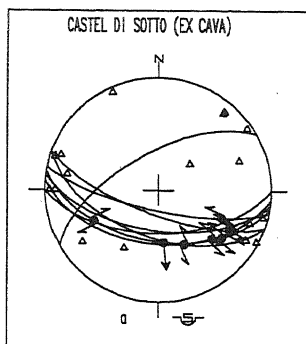
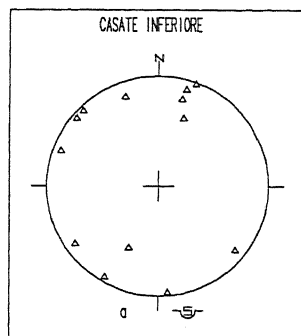


Fig. 14 - Associazione di strutture misurate nelle argille plioceniche presso la ex-cava di Castel di Sotto (Novazzano). Si nota la presenza di componenti di movimento di tipo trascorrente.

Structures measured in pliocenic clays near the Castel di Sotto old quarry (Novazzano).

Fig. 15 - Associazione di strutture misurate nelle argille plioceniche della valletta sotto la ex-discardia di Casate (Novazzano).

Structures measured in the pliocenic clays along the narrow valley below the Casate old dump (Novazzano).



3.4 Conglomerato di Mendrisio: Membro di Spinee e Membro di Novazzano

I conglomerati del Membro di Spinee e le arenarie del Membro di Novazzano mostrano in tutta l'area indagata numerose strutture deformative.

Ad eccezione delle faglie distensive osservate al contatto fra le argille plioceniche ed i depositi glaciali attribuiti al Membro di Spinee (cantiere Pascoretti di Morbio Inferiore), l'unità è caratterizzata da strutture di tipo compressivo con pieghe di dimensione da metrica a



Fig. 16 - Piega con strutture deformative legate a liquefazione ed espulsione d'acqua nella Valle di Spinee (Vacallo) (Foto I. Rigamonti).

Fold with deformational structures connected with liquefaction phenomena and water escape in the Spinee Valley (Vacallo) (Photo I. Rigamonti).

decametrica, sviluppate in sedimenti plastici sciolti di tipo prevalentemente limoso-sabbioso o arenaceo. Letti ghiaioso-con spessore metrico, risultano spesso coinvolti in queste strutture, formando spettacolari pieghe. Strutture di espulsione d'acqua e di liquefazione risultano intimamente associate a tali strutture plicative (Fig. 16). Lo studio di sezioni sottili di campioni di litotipi conglomeratici e soprattutto arenacei prelevati nei nuclei delle pieghe, indica l'assenza di fenomeni cataclastici, a conferma di una deformazione plastica avvenuta in sedimenti sciolti.

Le principali strutture deformative che interessano il Membro di Spinee sono state osservate nella Valle di Spinee (Morbio Inferiore-Vacallo) (Fig. 17). Nella parte alta della valle sono presenti pieghe con asse orientato circa E-W, associate a fratture subverticali interessate da una forte cementazione ("a" in Fig. 18). Zone di disturbo e di fratturazione sono presenti lungo tutta la valle, soprattutto in prossimità dei contatti con il sottostante Conglomerato di Pontegana. Pieghe di analogo significato, ma con asse perpendicolare a quelle precedentemente descritte sono presenti lungo il riale di Fontanella ("b" in Fig. 18 e Fig. 19), poco a monte della confluenza con il torrente Spinee.

Altre strutture di significato analogo sono state osservate nei depositi attribuiti al Membro di Novazzano situati nella Valle di Bassanello a SE dell'abitato di Novazzano ("c" in Fig. 18) e lungo le scarpate della già citata valle inferiore di Casate a NE di Novazzano (d in Fig. 18) nella parte alta della sezione. Anche in questi due siti le pieghe hanno assi tra loro perpendicolari, orientati N-S ed E-W (Fig. 20).

La presenza di pieghe di tipo plastico, associate a strutture di espulsione d'acqua implicano che la deformazione è avvenuta in sedimenti saturi d'acqua prima della diagenesi. Perché simili depositi possano essere deformati e dare origine alle strutture osservate, devono essere sottoposti a deformazioni di taglio legate ad un carico applicato rapidamente, in modo tale che i sedimenti non abbiano il tempo di drenare l'acqua contenuta. La rapida avanzata di un

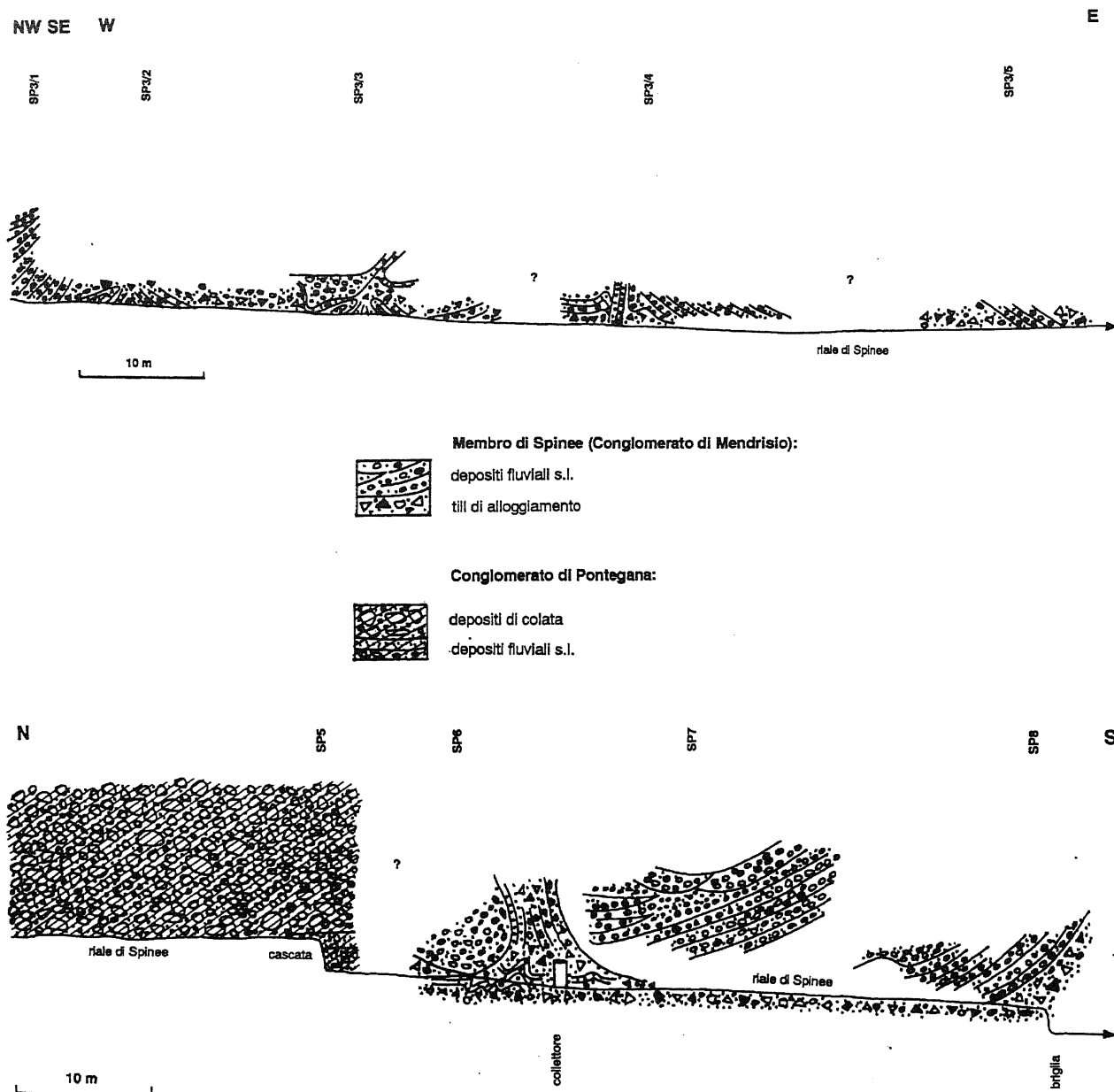


Fig. 17 - Profili lungo la Valle di Spinee (ridis. da Felber, 1993): a) tratto superiore: dal ponte sotto la Scuola media al ponticello nei pressi della confluenza con la Valle di Fontanella (Morbio Inferiore); b) tratto inferiore: dal Campo sportivo di Vacallo al Dosso di Balbio (Morbio Inferiore); SP3/1-5; SP5-8 = Sezioni rilevate e descritte in dettaglio in Felber (1993); ? = Non affiorante/rapporti non noti.

Geological sections along the Spinee valley (after Felber, 1993): a) upper part: from the bridge below the school to the little bridge near the confluence with Fontanella valley (Morbio Inferiore); b) lower part: from the stadium of Vacallo to Dosso di Balbio (Morbio Inferiore); SP3/1-5; SP5-8 = Sections described in Felber (1993); ? = Not exposed /unknown relationships.

ghiacciaio (*surge*) può spiegare questo fenomeno (Banham, 1988; Croot, 1988). I sistemi di pieghe osservati, per quanto estremamente irregolari e discontinui, sono generalmente compatibili con le direzioni di spinta provocate dall'avanzamento di un ghiacciaio proveniente dal Lago di Como (Fig. 21).

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo studio delle strutture deformative presenti nelle successioni di età compresa fra il Messiniano ed il Pleistocene,

affioranti nel Mendrisiotto, fornisce alcuni nuovi dati sull'evoluzione del margine meridionale del Sudalpino in questa regione. Le sintesi precedenti si riferiscono infatti generalmente allo studio degli eventi tettonici pre-messiniani (Mayer-Rosa, 1979, Bernoulli *et al.*, 1989; Gelati *et al.*, 1991; Seno, 1991, 1992; Castellarin *et al.*, 1992).

Le strutture osservate nel Conglomerato di Pontegana evidenziano l'esistenza di due sistemi principali di fratture di estensione, diretti N-S ed ENE-WSW ed attribuibili a due differenti direzioni di estensione, orientate E-W e NNW-SSE. Purtroppo, i pochi dati strutturali at-

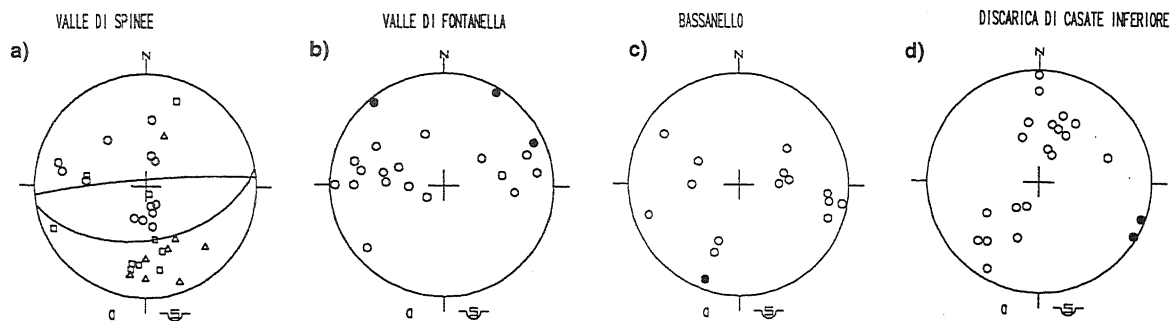


Fig. 18 - Associazioni di strutture misurate nel Conglomerato di Spinee. I piccoli cerchi pieni rappresentano gli assi delle pieghe. Gli altri simboli sono come nelle figure precedenti. a) pieghe con asse circa E-W presenti nella parte alta della Valle di Spinee (Morbio Inferiore) poco a valle della Scuola media; b) Pieghe misurate nella Valle di Fontanella (Morbio Inferiore) a monte della confluenza con la Valle di Spinee; c) Pieghe presenti nella Valle di Bassanello (Novazzano); d) Dati relativi alle pieghe presenti lungo i versanti della valletta di Casate (Novazzano) sottostante la ex-discarda.

Structure associations measured in the Spinee Conglomerate. Black circles are fold axis; other symbols as in previous figures. a) Folds in the upper side of the Spinee valley (Morbio Inferiore) downstream of the school; b) Folds measured in the Fontanella valley (Morbio Inferiore) upstream of the confluence with the Spinee valley; c) Folds in the Bassanello valley (Novazzano); d) Folds along the slope of the Casate valley (Novazzano).

tualmente disponibili su questa formazione non consentono di inquadrare l'evoluzione tettonica in un contesto di tipo regionale.

I depositi di età pliocenica hanno registrato un'importante fase tettonica di tipo distensivo, caratterizzata dalla formazione di faglie prevalentemente di tipo normale, orientate all'incirca E-W ed indicanti un asse σ_3 diretto circa Nord-Sud. Tali strutture sembrano avere uno sviluppo di tipo regionale, in quanto contatti tettonici in analoga situazione stratigrafica (Gonfolite-Argille di Castel di Sotto) e strutture deformative di analogo tipo sono stati osservati dal Lago di Como fino al Lago Maggiore. I sistemi di faglie E-W interessano, almeno in

parte, anche i depositi glaciali presenti alla base del Membro di Spinee in corrispondenza del contatto con le Argille di Castel di Sotto. L'attivazione di queste strutture risulta quindi successiva alla deposizione delle Argille di Castel di Sotto (parte superiore del Pliocene inferiore) e ai *till* basali attribuiti al Membro di Spinee (Pliocene superiore? - Pleistocene inferiore?). Le caratteristiche cinematiche delle faglie osservate nel Mendrisotto indicano in queste formazioni un regime di tipo distensivo con limitate componenti trascorrenti. Tale situazione sembra essere in buon accordo con l'evoluzione "post-tettonica" riconosciuta da Castellarin *et al.* (1992) nel settore occidentale delle Alpi Meridionali, dove sono presenti faglie trascorrenti destre ENE-WSW che dislocano le successioni plioceniche (Linea della Cremosina).

Altri autori (Bini *et al.*, 1993) hanno messo in relazione analoghe strutture distensive con fenomeni di accomodamento superficiale connessi a movimenti compressivi, legati a pieghe o sovrascorrimenti orientati principalmente E-W, attivi in profondità lungo il margine della catena sudalpina.

Le deformazioni compressive presenti nei conglomerati del Membro di Spinee e nelle arenarie del Membro di Novazzano sono invece da inquadrare in un contesto del tutto differente, legato a fenomeni glacioteettonici. Per quanto l'andamento delle pieghe sia molto irregolare, le



Fig. 19 - Piegia metrica nei conglomerati del Membro di Spinee nella Valle di Fontanella (Morbio Inferiore-Vacallo), dovuta a deformazione glacioteettonica (Foto M. Felber).

Metric fold in the conglomerates of the Spinee Member in the Fontanella valley (Morbio Inferiore-Vacallo) related to glaciotectionic deformations (Photo M. Felber).

strutture di maggiore dimensione indicherebbero una relazione fra l'orientazione delle stesse e la direzione di spinta dei ghiacciai che hanno interessato il Mendrisiotto, in particolare, con il ramo lariano del Ghiacciaio dell'Adda.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano F. Forcella e P. Heitzmann per la lettura critica del manoscritto e per i suggerimenti proposti. Inoltre, i commenti dei due referees anonimi hanno consentito la revisione finale del manoscritto.

Si ringrazia infine la direzione del Museo Cantonale di Storia Naturale di Lugano per il contributo finanziario.



Fig. 20 - Piega decametrica nelle sabbie arenacee dei Conglomerati di Mendrisio nella valle inferiore di Casate (Novazzano) dovuta a deformazione glacioteettonica (Foto M. Felber).

Decametric fold in arenaceous sands of the Mendrisio Conglomerates in the Casate lower valley (Novazzano) related to glaciotectional deformations (Photo M. Felber).

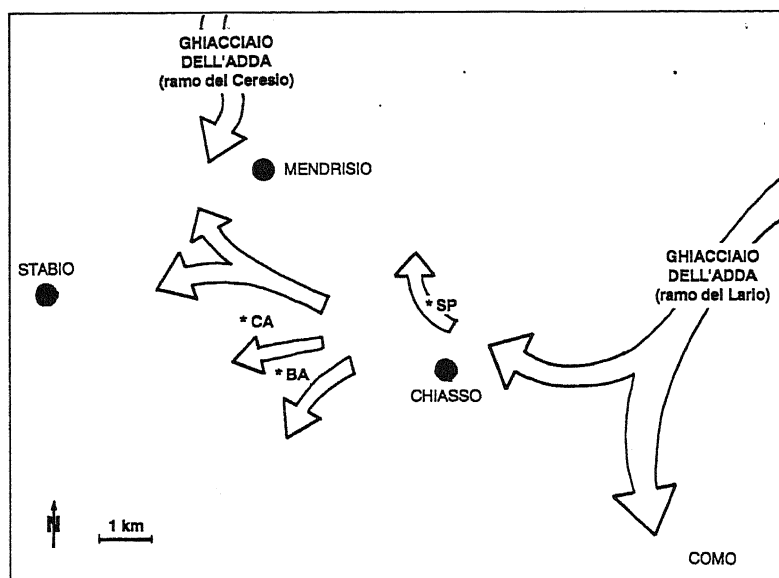


Fig. 21 - Indicazione schematica della provenienza dei ghiacciai nel Mendrisiotto. Sono indicati gli affioramenti descritti nel testo che presentano importanti deformazioni di origine glaciale: SP = Valle di Spinee (Morbio Inferiore-Vacallo); CA = Valle inferiore di Casate (Novazzano); BA = Valle di Bassanello (Novazzano).

Schematic indication of Mendrisiotto glaciers provenience. Outcrops with important glaciotectional deformations are shown in the map: SP = Spinee valley (Morbio Inferiore-Vacallo); CA = Casate lower valley (Novazzano); BA = Bassanello valley (Novazzano).

INQUA Congress, Ottawa, Canada (1987); Field Meeting, Norfolk U.K. (1988). Balkema Rotterdam, 21-25.

Bernoulli D., 1964 - *Zur Geologie des Monte Generoso. Ein Beitrag zur Kenntniss der südalpiner Sedimente*. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 118, 1-134.

Bernoulli D., Bertotti G., Gelati R., Napolitano A., Valdistorlo A. & Zingg A., 1987 - *The relations of the Gonfolite Lombarda (South-Alpine-Molasse) to the Mesozoic sequence of the South-ern Alps*. Bull. Nationales Forsch. Programm 20, 4, 13-14.

Bernoulli D., Bertotti G. & Zingg A., 1989 - *Northward thrusting of the Gonfolite Lombarda ("South-Alpine Molasse") onto the Mesozoic sequence of the Lombardian Alps: implications for the deformation history of the southern Alps*. Eclogae geol. Helv., 82(3), 841-856.

Bini A., 1987 - *L'apparato glaciale würmiano di Como*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Università di Milano, 603 pp.

Bini A., Quinif Y., Sules O. & Uggeri A., 1992 - *Les*

BIBLIOGRAFIA

Angelier J., 1984 - *Tectonic analysis of fault slip data sets*. J. Geoph. Res., 89, 5835-5848.

Angelier J., 1990 - *Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress - III. A new rapid direct inversion method by analytical means*. Geophys. J. Int., 103, 363-376.

Banham P.H., 1988 - *Thin-skinned glaciotectional structures* - In: Croot D.G. (ed.): *Glaciotectional structures. Forms and processes*. Proc. various meetings of the Glaciotectional W.G.: Field Meeting Mon, Denmark (1986);

- mouvements tectoniques récents dans les grottes du Monte Campo dei Fiori (Lombardie, Italie)*. *Karstologia*, **19**(1), 23-30.
- Bini A., Rigamonti I. & Uggeri A., 1993 - *Evidenze di tettonica recente nell'area Monte Campo dei Fiori - Lago di Varese*. *Il Quaternario*, **6**(1), 3-14.
- Brambilla G., 1992 - *Le filliti plioceniche del cantone Ticino nelle collezioni del Museo cantonale di storia naturale di Lugano: considerazioni sistematiche, cronologiche ed ambientali*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **80**(2), 63-95.
- Brambilla G. & Galli C., 1991 - *I molluschi pliocenici di Pontegana (Balerna, Canton Ticino) della collezione Sordelli (1874-79?)*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **79**(2), 67-79.
- Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J.L., Picotti V., Pini G.A., Prosser G. & Selli L., 1992 - *Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Apennines*. *Annales Tectonicae*, **6**(1), 62-94.
- Crott D.G., 1988 - *Glaciotectonics and surging glaciers: a correlation based on Vestspitzbergen, Svalbard, Norway*. In: Crott D.G. (Ed.): *Glaciotectonics. Forms and processes*. Proc. various meetings of the Glaciotectonic W. G.: Field meeting Mon, Denmark (1986); INQUA Congress, Ottawa, Canada (1987); Field meeting, Norfolk U.K. (1988). Balkema Rotterdam.
- Da Rold, 1990 - *L'apparato glaciale del Lago Maggiore, settore orientale*. Tesi di Dottorato di Ricerca, Univ. Studi Milano, 190 pp. (inedita).
- Felber M., 1993 - *La storia geologica del Tardo-Terziario e del Quaternario nel Mendrisiotto (Ticino meridionale, Svizzera)*. Tesi di Dottorato, E.T.H. Zurigo, 617 pp.
- Felber M., Frei W. & Heitzmann P., 1991 - *Seismic evidence of pre-pliocene valley formation and filling in the region of Novazzano (Southern Ticino, Switzerland)*. *Eclogae geol. Helv.*, **84**(3), 753-761.
- Felber M., Frei W. & Heitzmann P., 1991 - *Il canyon sepolto di età messiniana nella regione di Novazzano (Ticino meridionale, Svizzera)*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **79**(2), 11-23.
- Felber M., Bini A., Heitzmann P. & Frei W., 1995 - *Evidenze sismiche di valli sepolte nel Mendrisiotto e nel Piano di Magadino (Ticino, Svizzera)*. In: Proc. Symp. "CROP - Alpi Centrali", Sondrio, 20-22 October, 1993. A. Montrasio & E. Sciesa Eds. *Quad. Geodin. Alpina e Quater.*, **2**, 103-133.
- Gelati R., Napolitano A. & Valdisturlo A., 1988 - *La "Gonfolite lombarda": stratigrafia e significato nell'evoluzione del margine sudalpino*. *Riv. It. Paleont. Strat.*, **94**(2), 285-332.
- Gelati R., Napolitano A. & Valdisturlo A., 1991 - *Results of studies on the Meso-Cenozoic succession in the Monte Olimpino 2 Tunnel. The tectono-sedimentary significance of the "Gonfolite lombarda"*. *Riv. It. Paleont. Strat.*, **97**(3/4), 565-598.
- Gunzenhauser B.A., 1985 - *Zur Sedimentologie und Paläographie der oligo-miocänen Gonfolite Lombarda zwischen Lago Maggiore und der Brianza*. *Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F.* **159**, 1-114.
- Hancock P., 1985 - *Brittle microtectonics: principles and practice*. *J. Struct. Geol.*, **7**, 437-457.
- Hancock P., Al-Kahdi A., Barka A. & Bevan T., 1987 - *Aspects of analysing brittle structures*. *Annales Tectonicae*, **1**, 5-19.
- Longo V., 1968 - *Geologie und Stratigraphie des Gebietes zwischen Chiasso und Varese*. *Mitt. geol. Inst. ETH und Uni. Zürich, N.F.* **86**, 1-181.
- Mayer-Rosa D., 1979 - *Studies of Seismicity and Selected Focal Mechanism in Switzerland*. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **59**, 127-132.
- Panzer O., 1934 - *Fossili pliocenici di Balerna*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **29**, 90-99.
- Premoli-Silva I., 1965 - *Le microfauve del Pliocene di Balerna (Canton Ticino)*. *Eclogae geol. Helv.*, **57**(2), 731-741.
- Rossi S., Alberti F., Felber M. & Bini A., 1991 - *Evidenze di fluttuazioni glaciali würmiane nella bassa Valle della Breggia (Cernobbio, Como)*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **79**(2), 25-47.
- Rutishauser V., 1986 - *Das Südtessin im Neogen: zwischen Schuttstrom und Schelfmeer. Eine Fazies- und Ablagerungsraumanalyse*. *Diss. E.T.H., Zürich*, 151 pp.
- Seno S., 1991 - *Lineamenti da satellite lungo la geotraversa alpina del Canton Ticino (Svizzera)*. *Atti Tic. Sc. Terra*, **34**, 175-181.
- Seno S., 1992 - *Direzioni fluviali e tettonica recente in Canton Ticino (Svizzera)*. *Atti Tic. Sc. Terra.*, **35**, 213-230.
- Sidler C., 1992 - *Risultati delle indagini polliniche nei sedimenti pliocenici di Castel di Sotto (Novazzano, Ticino meridionale)*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **80**(1), 115-126.
- Valdisturlo A., 1986 - *Il gruppo della Gonfolite nei settori di Varese e di Como: analisi stratigrafica e paleontologica*. Tesi di Laurea 85/86, Università Milano, 429 pp. (inedita).
- Violanti D., 1991 - *I foraminiferi pliocenici di Castel di Sotto (Novazzano, Canton Ticino): considerazioni biostratigrafiche e paleoambientali*. *Boll. Soc. Tic. Sci. Nat.*, **79**(1), 49-70.
- Vonderschmitt L., 1940 - *Bericht über die Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in den Süd-Tessin. 30 September-2. Oktober 1940*. *Eclogae geol. Helv.*, **33**, 205-219.

Ms. ricevuto Febbraio 1995
 Inviato all'A. per la revisione Maggio 1995
 Testo definitivo ricevuto Settembre 1995

Ms. received: February, 1995
 Ms. sent to the A. for a revision: May, 1995
 Final text received: September, 1995