

Fig. 30 – Miloniti della Val Venosta. (a) Quarzo-miloniti presso Montoni di Agümes/ Grossmontoni. (b) Quarzo-milonite, campione 219, N di P. Chavalatsch. (c) idem. La foliazione milonitica principale (S_A) è definita dall'allineamento di miche indicate dalla freccia.

– Vinschgau mylonites. (a) Quartz mylonite from Montoni di Agümes/Grossmontoni. (b) Quartz mylonite, sample 219, N of P. Chavalatsch. (c) The same as in (b), the macroscopically visible mylonitic foliation (S_A) is marked by mica flakes (see arrow), an oblique grain fabric also develop (S_B).

l'orientazione della Posizione A dell'area (3) (fig. 32e). In fig. 32h è rappresentata la sovrapposizione delle due orientazioni, per essere più facilmente confrontate con la tessitura effettivamente misurata.

Sulla base di queste considerazioni si possono trarre le seguenti conclusioni:

a) Rotazione è il principale meccanismo di ricristallizzazione sintettonica nelle Miloniti della Val Venosta nell'area studiata;

b) durante la ricristallizzazione dinamica nel campione 219 si formano domini paralleli alla foliazione milonitica in cui sono attivi differenti sistemi di scivolamento;

c) le tessiture misurate hanno permesso di riconoscere i vari sistemi di scivolamento presenti;

d) nell'area (1) si ha scivolamento lungo le basi nella direzione «a»;

e) nell'area (3) si ha principalmente scivolamento lungo i rombi negativi α nella direzione «a» e, secondariamente, lungo i prismi di primo ordine m nella direzione «a»;

f) nell'area misurata (2) sono presenti i contributi di tutte le orientazioni precedenti.

5. – TETTONICA

La Falda dell'Ortles riveste un ruolo chiave nell'interpretazione della geometria e dell'evoluzione tettonica dell'intera area delle Dolomiti dell'Engadina. Solo in essa, infatti, sono conservati importanti spessori di sedimenti post-norici (Formazione di Kössen-Formazione di Allgäu) in cui è possibile osservare strutture plicative, lineazioni d'estensione, miloniti, ecc. che permettono un dettagliato studio strutturale di campagna e un'analisi della cinematica dei movimenti. In tutte le altre falde la presenza di grandi spessori di Dolomia Principale (> 1000 m), a maggiore competenza, limita lo sviluppo di tali strutture; nelle falde di basamento la strutturazione pre-alpina rende difficile uno studio degli effetti della tettonica alpina.

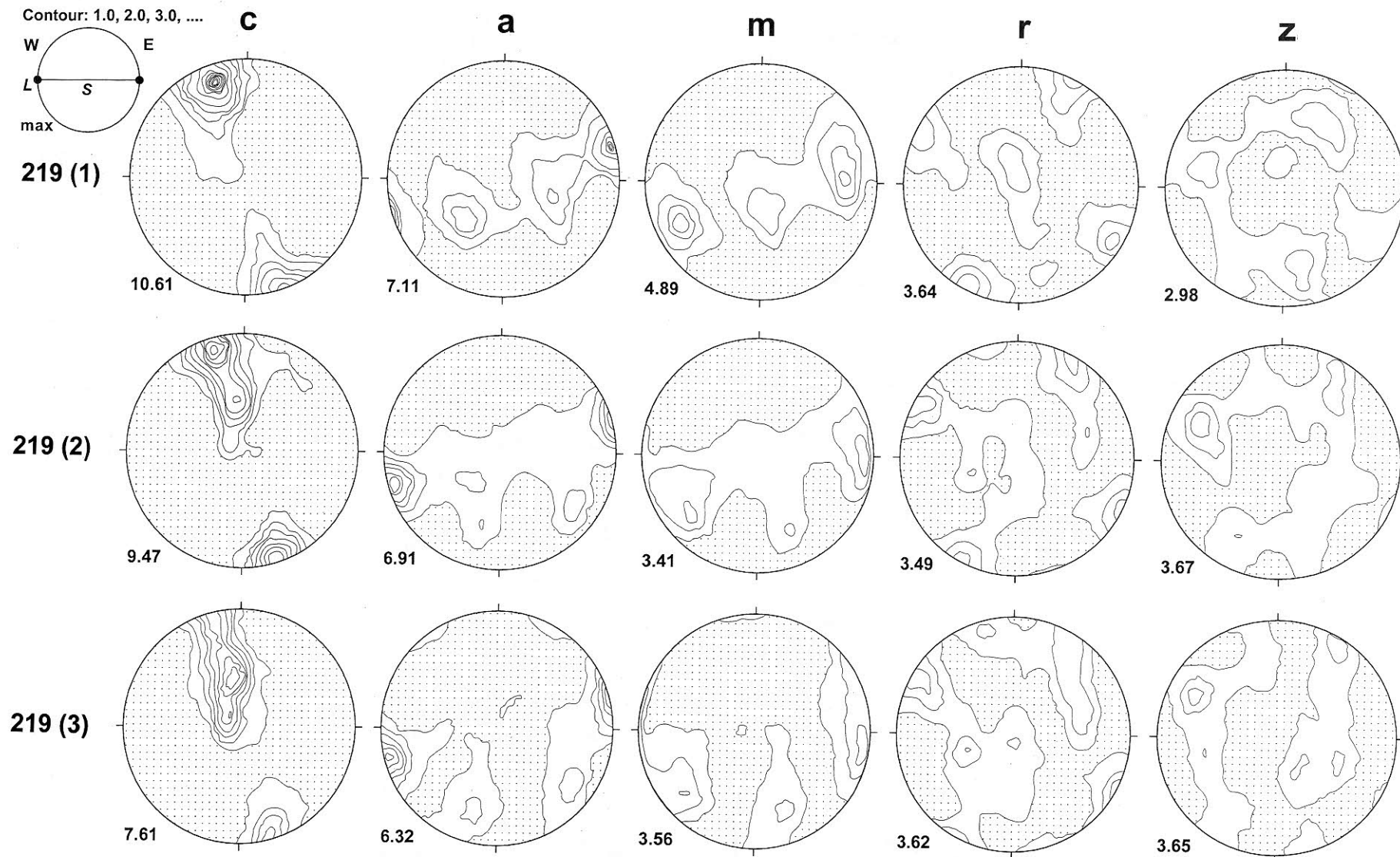


Fig. 31 – Stereogrammi rappresentanti l'orientazione degli assi c , dei prismi di secondo ordine a , dei prismi di primo ordine m , dei rombi positivi r e dei rombi negativi z nel campione 219, calcolata mediante ODF. Le isolinee rappresentano multipli di una distribuzione uniforme, l'intervallo è 1.0, aree con una distribuzione minore di 1.0 sono rappresentate con punteggiato. Semisfera di proiezione inferiore, la foliazione è orientata E-W verticale e la lineazione è orizzontale, E è a sinistra e W a destra. Il numero vicino ad ogni stereogramma rappresenta il valore del massimo della distribuzione.

– Textures from sample 219, all pole figures are calculated from the Orientation Distribution Function (ODF): c axis, a second order prism, m first order prism, r positive rhombs, z negative rhombs. The contours are given in multiples of an uniform distribution, the contour interval is 1.0, stippled areas have a density of less than 1.0. The number near each pole figure represent the distribution maximum. Equal area, lower hemisphere, foliation is E-W vertical, lineation E-W horizontal, E is on the right and W on the left. Shear sense is sinistral.

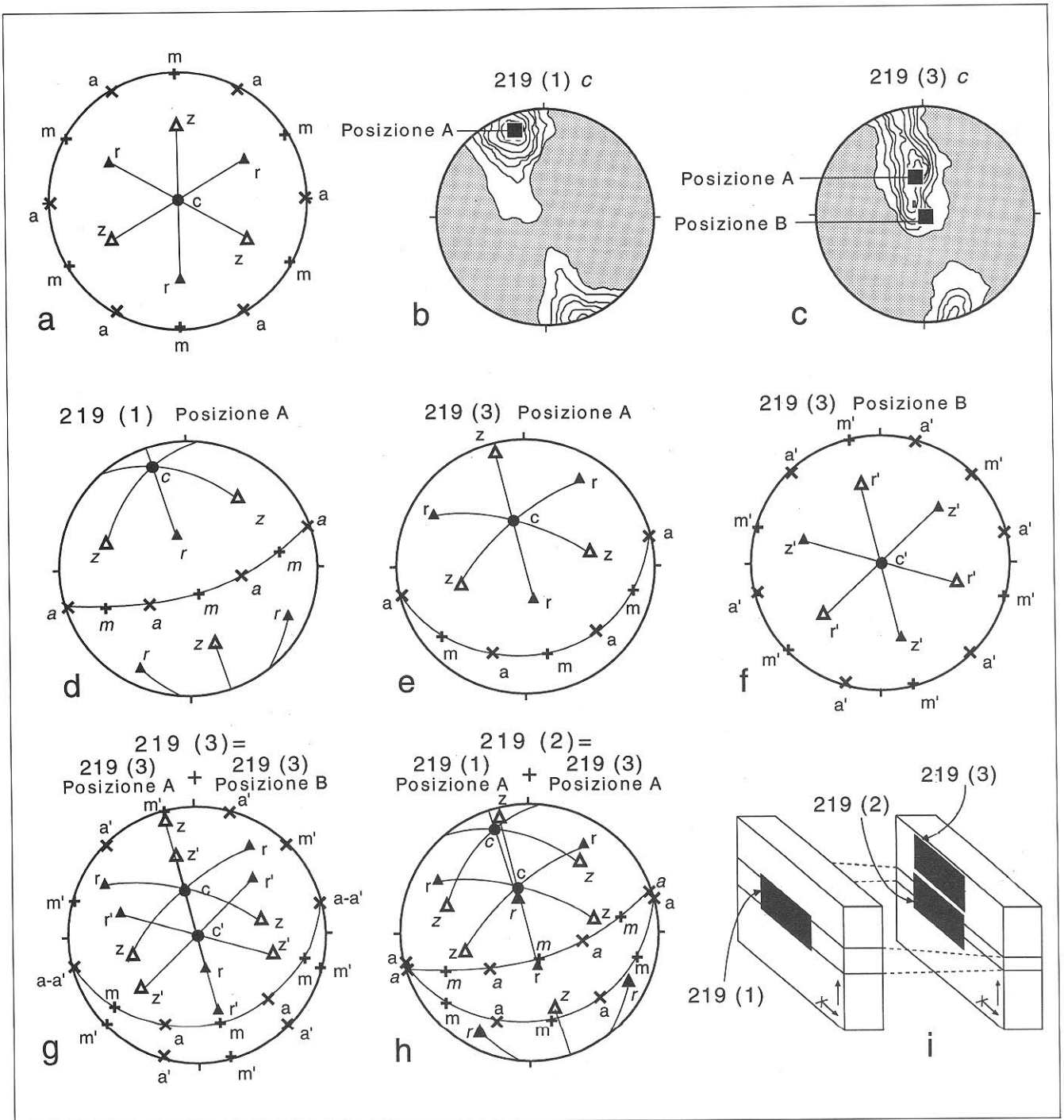


Fig. 32 - Interpretazione delle tessiture misurate nel campione 219. (a) Principali direzioni cristallografiche nel quarzo. (b) Distribuzione degli assi *c* misurati nell'area (1) (cfr. fig. 31). (c) Distribuzione degli assi *c* misurati nell'area (3) (cfr. fig. 31). (d) Orientazione cristallografica preferenziale assunta dai cristalli di quarzo nell'area (1) e corrispondente al massimo degli assi *c* indicato come «Posizione A» in (b). (e) Orientazione cristallografica preferenziale assunta dai cristalli di quarzo nell'area (3) e corrispondente al massimo degli assi *c* indicato come «Posizione A» in (c). (f) Orientazione cristallografica preferenziale assunta dai cristalli di quarzo nell'area (3) e corrispondente al massimo degli assi *c* indicato come «Posizione B» in (c). (g) Interpretazione della tessitura misurata nell'area (3) quale sovrapposizione dell'orientazione riportata in (e) e quella riportata in (f). (h) Interpretazione della tessitura misurata nell'area (2) quale sovrapposizione dell'orientazione riportata in (d) e quella riportata in (e). (i) Rappresentazione schematica delle aree misurate (1), (2) e (3) all'interno del campione 219. I in nero rettangoli rappresentano l'area misurata al goniometro a raggi X.

- Stereographic projections (equal area, lower hemisphere) showing interpretation of textures measured in sample 219. (a) Important planes and directions in quartz. (b) *c*-axis distribution from the area 1 (see also fig. 31). (c) *c*-axis distribution from the area 3 (see also fig. 31). (d) Favoured crystal orientation for the *c*-axis position indicated as «Position A» in (b), area 1. (e) Favoured crystal orientation for the *c*-axis position indicated as «Position A» in (c), area 3. (f) Favoured crystal orientation for the *c*-axis position indicated as «Position B» in (c), area 3. (g) Interpretation of the texture measured in the area 3, as the contribution of the favoured orientations reported in (e) and (f). (h) Interpretation of the texture measured in the area 2, as the contribution of the favoured orientations reported in (d) and (e). (i) Three-dimensional sketch showing the three measured areas in sample 219. Black rectangles represent the area measured with texture goniometry.

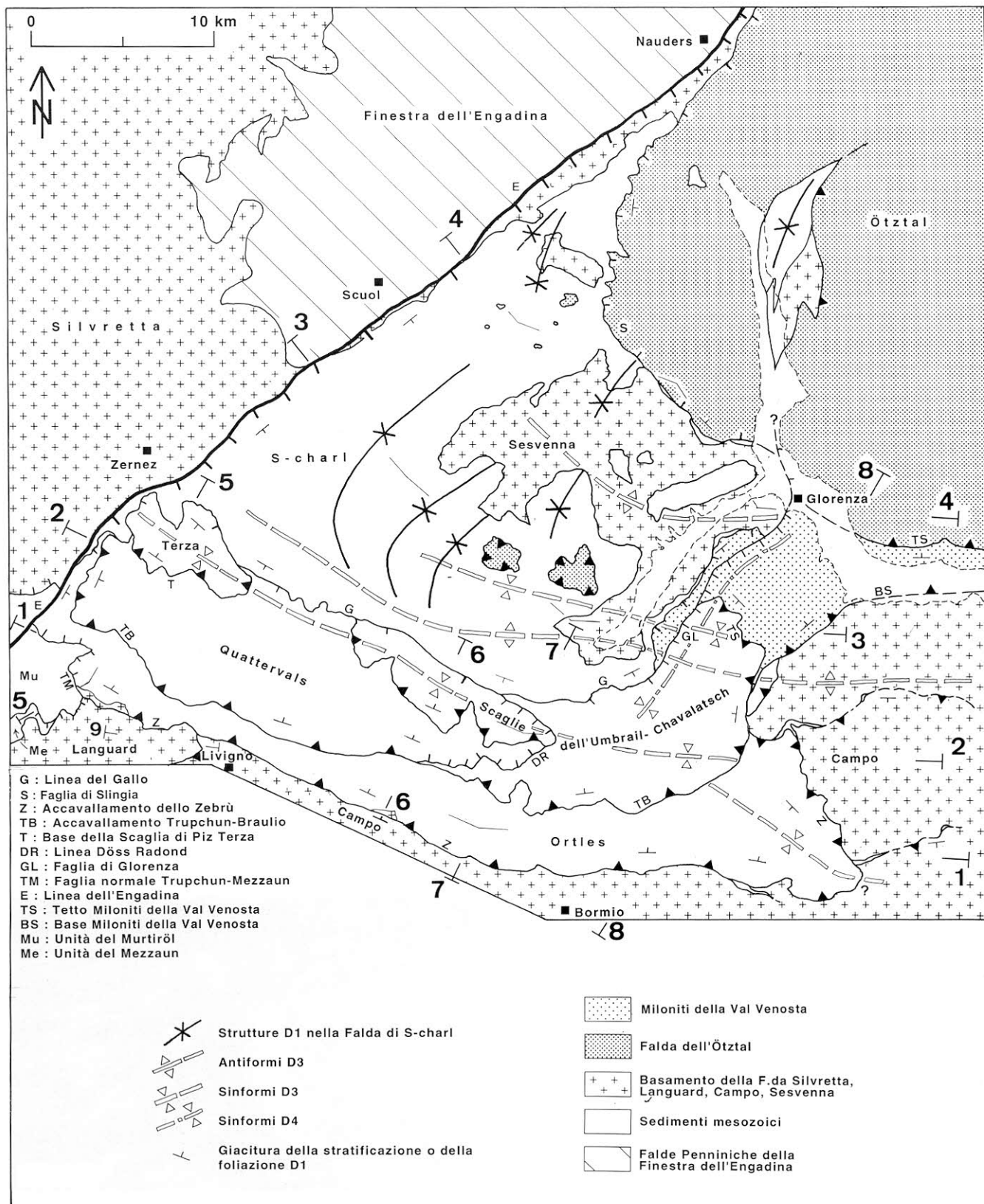


Fig. 33 – Carta strutturale delle Dolomiti dell'Engadina. L'andamento delle strutture D1 nella Falda di S-charl sono tratte da SCHMID & HAAS (1989). 1, 2, 3, 4: profili in tav. 12 e tav. 13; 5, 6, 7, 8: profili in tav. 14; 9: profilo in fig. 57b. Profilo 1: vedi anche tav. 16c.

– Structural map of the Engadine Dolomites. Trend of D1 structures in the S-charl nappe are from SCHMID & HAAS (1989). 1, 2, 3, 4: profiles in tav. 12 and tav. 13; 5, 6, 7, 8: profiles in tav. 14; 9: profile in fig. 57b. Profile 1, see also plate 16c (profile c).

5.1. – LA FALDA DELL'ORTLES

La Falda dell'Ortles affiora nella parte meridionale delle Dolomiti dell'Engadina e si estende per oltre 50 km tra l'Engadina (a W) e la Valle Solda, in Alto Adige, a E (fig. 33, tav. 1). A Est, tra il Massiccio dell'Ortles ed il Lago di Livigno, essa poggia con contatto tettonico sulle rocce del basamento della Falda di Campo e, a W di Livigno, è accavallata sulla Falda Languard. Il contatto tra la Falda dell'Ortles e le unità sottostanti è rappresentato dall'Accavallamento dello Zebrù (Hammer, 1908). In prossimità della Linea dell'Engadina, in Val Chaschauna ed in Val Trupchun, la Faglia normale Trupchun-Mezzaun taglia l'Accavallamento dello Zebrù e giustappone la Falda dell'Ortles ad unità dell'Austroalpino inferiore. La Linea dell'Engadina delimita la Falda dell'Ortles verso W.

Il contatto al tetto è anch'esso sempre tettonico. La parte centro-orientale della Falda dell'Ortles, tra Trafoi e la Valle Forcola, è sormontata da sedimenti e da rocce del basamento appartenenti alla Zona a Scaglie dell'Umbrail-Chavalatsch. La parte centro-occidentale, tra la Valle Forcola e l'Engadina, è sovrascorsa dalla Falda di Quattervals. La superficie tettonica che separa la Falda dell'Ortles dalle unità sovrastanti è riportata in letteratura con vari nomi: Linea dell'Alpisella (BONSIGNORE *et alii*, 1969), «Trupchun-Braulio Linie» (SCHMID, 1973), «Quattervals thrust» (FROITHEIM, 1988; CONTI *et alii*, 1994), in questo lavoro viene adottato il nome di «Accavallamento Trupchun-Braulio».

A scala cartografica (tav. 1) si vede come l'Accavallamento Trupchun-Braulio tagli formazioni della Falda dell'Ortles sempre più giovani andando da E verso W: tra Trafoi e il Passo dello Stelvio taglia la Dolomia Principale della Falda dell'Ortles; tra il Passo dello Stelvio e la Valle Forcola corre lungo il tetto stratigrafico della Dolomia Principale (Plattenkalk); immediatamente a W della Valle Forcola, taglia la Formazione di Kössen e corre per un lungo tratto nella Formazione di Allgäu; in Val Trupchun esso taglia infine le formazioni più giovani (Radiolariti, Calcari ad Aptici, Formazione di Chanels) della Falda dell'Ortles. La geometria risultante è schematizzata in fig. 34.

Lungo l'Accavallamento Trupchun-Braulio si ha quindi sovrascorrimento di rocce più vecchie (basamento e serie triassica della Zona a scaglie dell'Umbrail-Chavalatsch e della Falda di Quattervals) su rocce più giovani (serie triassico-cretacea della Falda dell'Ortles), le quali diventano sempre più giovani andando verso W: questo è un'ulteriore

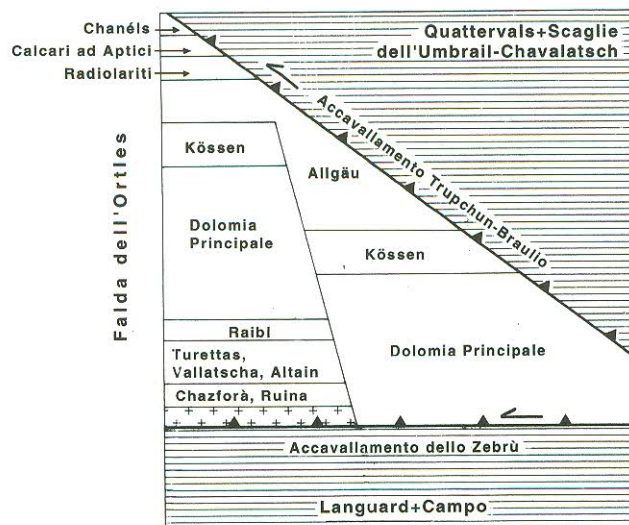


Fig. 34 – Schema litostratigrafico della Falda dell'Ortles.

– Lithostratigraphic units in the Ortler nappe.

conferma del senso di movimento verso W lungo questo accavallamento.

La situazione è invece più complicata lungo l'Accavallamento dello Zebrù. Analisi microstrutturali indicano che lungo questo accavallamento la Falda dell'Ortles è stata trasportata verso WNW rispetto alla sottostante Falda di Campo. Nel tratto centro-orientale, da Trafoi a Livigno, si vede però come sia presente una geometria atipica per una superficie di accavallamento e caratteristica invece per una faglia normale: rocce più giovani (la serie mesozoica della Falda dell'Ortles) sono a tetto di rocce più vecchie (basamento della Falda di Campo, fig. 35).

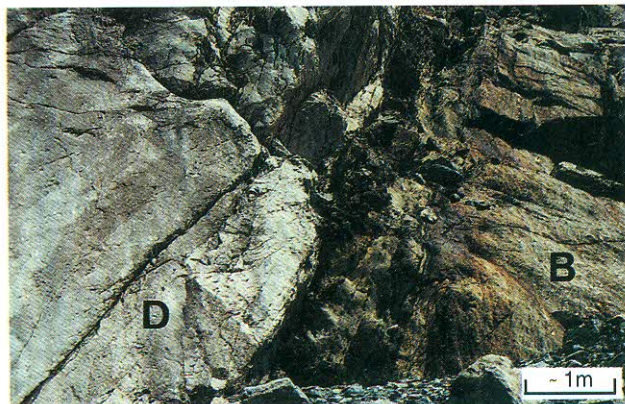


Fig. 35 – Accavallamento dello Zebrù in Val Zebrù (Vedretta della Miniera). La Dolomia principale della Falda dell'Ortles (D) è direttamente sovrascorsa sopra il basamento paleozoico della Falda di Campo (B). Vista verso E, N è a sinistra nella foto.

– Zebrù thrust in Val Zebrù (Vedretta della Miniera). View is toward the E, with N Ortler nappe the left. The Dolomia Principale of the Ortler nappe (D) is emplaced above basement rocks of the Campo nappe (B).

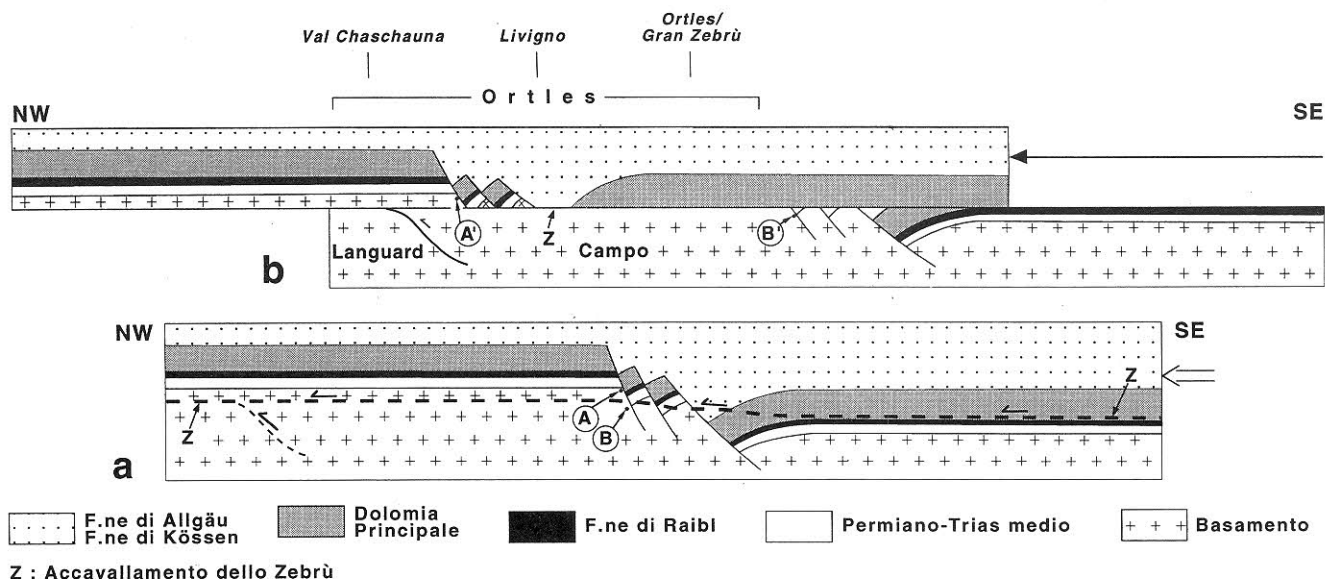


Fig. 36 – Sviluppo dell'attuale geometria lungo l'Accavallamento dello Zebù (da un'idea di N. FROITZHEIM). (a) È schematicamente riportata la situazione alla fine della fase estensionale giurassica e prima delle fasi deformative alpine; a tratteggio è indicato l'andamento dell'Accavallamento dello Zebù. A E delle faglie giurassiche esso corre inizialmente per un lungo tratto alla base della Dolomia Principale, lungo la Formazione di Raibl, interferisce quindi con queste faglie e corre, nella parte occidentale, all'interno del basamento paleozoico. (b) Durante la fase D1 i sedimenti della Falda dell'Ortles vengono trasportati verso W e si mettono in posto direttamente al di sopra del basamento della Falda di Campo e della Falda di Languard, situati originariamente in una posizione più occidentale. In questo modo può essere spiegato come: 1) La Dolomia Principale sovrascorre direttamente sopra il basamento (Val Zebù-Massiccio dell'Ortles); 2) serie stratigrafiche complete si ritrovino solamente in prossimità di faglie sinsedimentarie giurassiche (Alpe Trela, Val Chaschauna); 3) l'Accavallamento dello Zebù corra all'interno di rocce del basamento paleozoico nella sua porzione più occidentale (Val Chaschauna). A-A' e B-B' rappresentano i soliti punti prima e dopo la fase di accavallamento.

– Kinematic evolution of the Zebù thrust (after an idea of N. FROITZHEIM). (a) Reconstruction at the end of Jurassic, after extension and before Alpine deformation. Dashed is D1 Zebù thrust. East of the Jurassic normal faults the Zebù thrust runs at the base of the Hauptdolomit Formation (in the Raibl Formation), interferes with the faults and runs in basement rocks in the western area. (b) W-directed transport during D1 phase led to direct emplacement of sediments of the Ortler nappe above basement rocks of the Campo and Languard nappe, originally located in a more westerly position. This evolution explains satisfactorily: 1) The direct emplacement of the Dolomia Principale above the Campo basement, in the eastern Ortler nappe (Val Zebù-Ortler massif); 2) the presence of complete stratigraphic sections (Permian-Jurassic) only near Jurassic normal faults (Alpe Trela, Val Chaschauna); 3) because the western part of the Zebù thrust runs in basement rocks (Val Chaschauna). A-A' and B-B' indicate same points before and after thrusting.

L'attuale situazione lungo l'Accavallamento dello Zebù può essere spiegata con l'interferenza tra una superficie di accavallamento alpina e faglie normali sinsedimentarie giurassiche (fig. 36). Come vedremo in seguito, questa geometria di accavallamento ha conseguenze molto importanti nell'interpretazione della tettonica di tutte le Dolomiti dell'Engadina.

Nella Falda dell'Ortles sono state riconosciute le quattro fasi deformative già descritte in precedenza (D1, D2, D3, D4) e presenti in tutto il dominio austroalpino. Oltre a quanto già riportato è opportuno ricordare:

a) la presenza di sedimenti datati all'Aptiano-Turoniano nell'estrema parte occidentale della Falda dell'Ortles (VILLA & POZZI, 1962; CARON *et alii*, 1982), che permette di fissare un limite inferiore per l'età della fase D1;

b) rispetto alle strutture a grande scala legate alla fase D3, la maggior parte della Falda

dell'Ortles si trova nel fianco meridionale di una sinforme il cui piano assiale subverticale corre all'interno della Falda di Quattervals e nella Zona a scaglie dell'Umbrail-Chavalatsch. Per questa ragione la stratificazione e i contatti tettonici D1 nella Falda dell'Ortles immergono attualmente verso N.

Poiché le fasi D2, D3 e D4 hanno limitati effetti nella Falda dell'Ortles e non producono un'importante deformazione interna, di seguito verrà enfatizzata la descrizione delle strutture che si sviluppano durante la fase D1.

Per facilitare la descrizione della struttura interna della Falda dell'Ortles, essa è stata suddivisa in tre aree: a) parte occidentale: Engadina-Lago di Livigno; b) parte centrale: Lago di Livigno-Valle di Fraele; c) parte orientale: Valle di Fraele-Massiccio dell'Ortles.

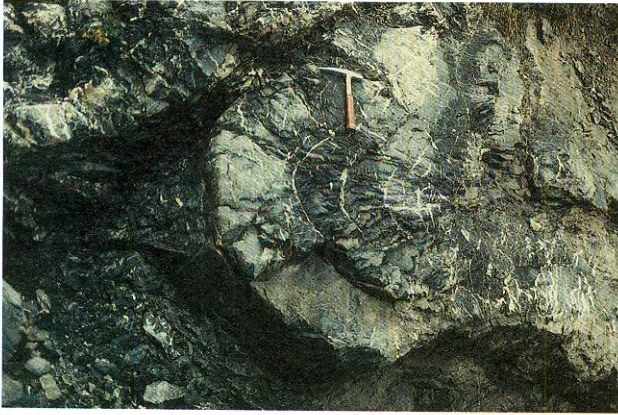
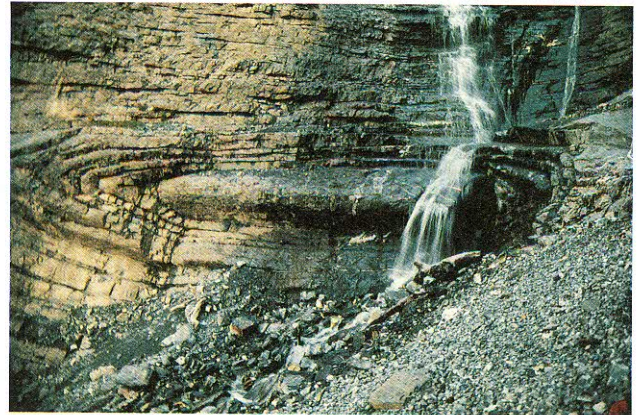


Fig. 37 – Pieghe parallele (a) e pieghe cilindriche (b) nella parte occidentale della Falda dell'Ortles (Formazione di Allgäu, Val Flin, Engadina).
– Parallel (a) and cylindrical folds (b) in the western Ortler nappe (Allgäu Formation, Val Flin, Engadine).



5.1.1.– Parte occidentale: Engadina-Lago di Livigno

In quest'area è conservata una successione stratigrafica completa di tutte le formazioni mesozoiche affioranti nella Falda dell'Ortles: tra Val Trupchun e Val Chaschauna affiorano i termini che vanno dal Permiano al Lias, nell'area a SW di Piz d'Esan sono conservati i sedimenti più giovani (Cenomaniano sup.-Turoniano inf.). Quest'area è stata inoltre interessata da un'intensa tettonica sinsedimentaria giurassica (EBERLI, 1988; FROITZHEIM, 1988).

Durante la prima fase deformativa (D1) si formano in quest'area pieghe parallele (fig. 37a) con una geometria cilindrica alla scala dell'affioramento (fig. 37b); se si considera invece l'orientazione degli assi delle pieghe nell'intera area si può vedere come essi si dispongano su di un grande cerchio (fig. 38a). Tale dispersione è stata interpretata da FROITZHEIM (1988) come dovuta ad una riorientazione degli assi delle pieghe durante una deformazione essenzialmente per taglio semplice progressivo. Alle pieghe è generalmente associato un clivaggio di dissoluzione di piano assiale. Durante questa prima fase di piegamento si formano accavallamenti di importanza locale all'interno della Formazione di Allgäu in Val Trupchun: la presenza di tali contatti tettonici ha portato alcuni autori (STAUB, 1964; EBERLI, 1985) a suddividere questa parte della Falda dell'Ortles in due differenti scaglie tettoniche. Tale distinzione non viene adottata in questo lavoro. Una serie di scaglie tettoniche si formano invece alla base della Formazione di Allgäu in prossimità della linea dell'Engadina. Date le non buone condizioni di affioramento è solamente possibile osservare vari termini della serie del Permiano-Trias medio che affiorano in modo discontinuo e con una giacitura

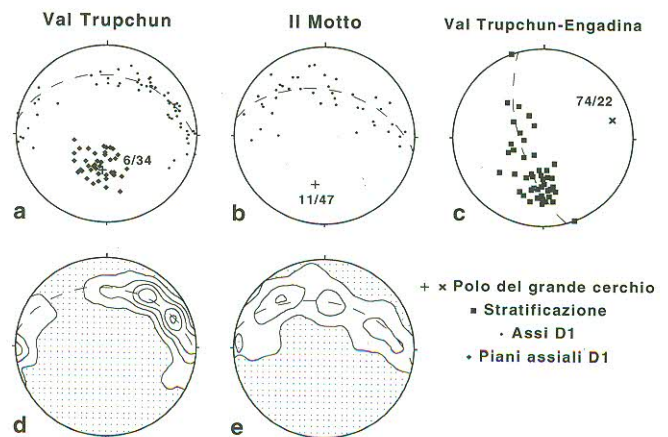


Fig. 38 – (a) Distribuzione degli assi (59 misure) e dei piani assiali D1 (40 misure) nella Formazione di Allgäu in Val Trupchun; da FROITZHEIM (1988). Gli assi risultano dispersi sul grande cerchio coincidente con la giacitura media dei piani assiali. (b) Distribuzione degli assi D1 nell'area de Il Motto; 41 misure. (c) Giacitura della stratificazione all'interno della Falda dell'Ortles nell'area Val Trupchun-Engadina; 47 misure. La stratificazione ha un'immersione verso N in Val Trupchun, avvicinandosi alla Linea dell'Engadina assume una direzione subparallela alla direzione della linea stessa (NE-SW). La stratificazione risulta perciò piegata attorno ad un asse orientato 74/22. (d) Contour dello stereogramma in (a), le isolinee rappresentano aree in cui la distribuzione è rispettivamente 1, 3, 5, 7, 9 volte la distribuzione uniforme. (e) Contour dello stereogramma in (b), le isolinee rappresentano aree in cui la distribuzione è rispettivamente 1, 3, 5 volte la distribuzione uniforme.

– Stereographic projections (equal area, lower hemisphere) of structural data from the western Ortler nappe. (a) D1 fold axes (59 data) and D1 axial planes (40 data) in the Allgäu Formation, Val Trupchun. From FROITZHEIM (1988). Fold axes scatter on a great circle parallel with the measured fold axial planes. (b) D1 fold axes (41 data) in the Il Motto area. (c) Bedding (47 data) from the westernmost Ortler nappe, between Val Trupchun and the Engadine valley. Bedding is N-Dipping in Val Trupchun and turn to ENE-dipping approaching the Engadine line. Near the Engadine line bedding strikes therefore as the line itself. (d) Contour from the stereogram in (a). The contours are given in multiples of an uniform distribution, the contour interval is 2.0, stippled areas have a density of less than 1.0 (contour lines are: 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0). (e) Contour from the stereogram in (b). The contours are given in multiples of an uniform distribution, the contour interval is 2.0, stippled areas have a density of less than 1.0 (contour lines are: 1.0, 3.0, 5.0).

complicata in Val Mela, Val Flin, Val Tantermozza, ecc. Tutte queste formazioni sono state indicate con «Scaglie tettoniche alla base della Falda dell'Ortles» nella carta geologica di tav. 1.

Più ad E, nell'area de Il Motto, pieghe D1 nella Formazione di Allgäu mostrano la distribuzione degli assi riportata in fig. 38b. Se si confrontano gli stereogrammi di fig. 38a e di fig. 38b, è possibile osservare come nel primo caso sia presente un massimo degli assi in direzione NE-SW, cioè ortogonale alla direzione di trasporto, mentre nello stereogramma di fig. 38b tale massimo non è più osservabile. Questa è un'evidenza per un minore grado di cilindricità nell'area de Il Motto rispetto alla Val Trupchun durante il piegamento.

Eccetto la Formazione di Allgäu, le altre formazioni mostrano limitati segni di deformazione durante la Fase D1. Si segnalano solo faglie normali sin-D1 nella Dolomia Principale lungo la cresta a W di P. Chaschauna (FROITZHEIM, 1988), e la struttura a scaglie tra la Formazione di Allgäu e la Dolomia Principale, che origina il «klippe» di Dolomia Principale sul P. Cassana (vedi profilo E-E' di tav. 11).

In tutta l'area la stratificazione ha un'immersione verso N, prodotto dalla fase D3.

Nella sua parte più occidentale, la Falda dell'Ortles risente inoltre degli effetti dei movimenti lungo la Linea dell'Engadina. In quest'area tale linea è una faglia normale, con abbassamento del blocco orientale e componente di trascorrenza sinistrale (SCHMID & FROITZHEIM, 1993). L'abbassamento del blocco delle Dolomiti dell'Engadina verso E produce un piegamento ed un'immersione verso SE della stratificazione nella Falda dell'Ortles (fig. 38c e profili 1 e 2 in tav. 12).

5.1.2. – *Parte centrale: Lago di Livigno-Valle di Fraele*

5.1.2.1. – Sviluppo della struttura a pieghe

La parte centrale della Falda dell'Ortles è stata intensamente piegata nel corso della fase D1. Particolare attenzione è stata rivolta al riconoscimento delle direzioni di trasporto tettonico legate a tale piegamento, utilizzando il concetto di «facing» (SHACKLETON, 1957; BELL, 1981, direzione ortogonale all'asse di una piega e contenuta nel piano assiale, nella direzione di ringiovanimento degli strati), piuttosto che quelli di «vergenza» (STILLE, 1930) e di «asimmetrie tipo S-Z» (RAMSAY, 1967).

La parte centrale della Falda dell'Ortles risulta particolarmente interessante per vari motivi:

a) è presente la serie stratigrafica completa dal Permiano al Giurassico;

b) è documentata una tettonica sinsedimentaria giurassica;

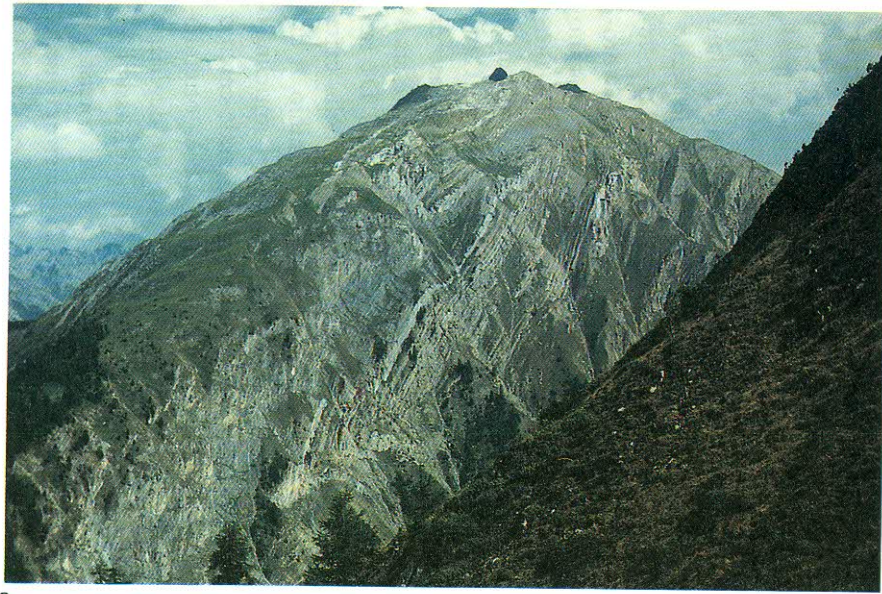
c) è l'area maggiormente deformata durante la tettonica alpina;

d) è possibile osservare l'interferenza tra accavallamenti alpini e faglie sinsedimentarie giurassiche.

Il rilevamento geologico alla scala 1:10.000 di quest'area è riportato in tav. 4, in tav. 5 ed in tav. 6: profili geologici sono riportati in tav. 7. Per ulteriori informazioni sulla geologia di quest'area si veda CONTI *et alii* (1994).

Analizziamo inizialmente la geometria del piegamento nell'area compresa tra La Parè e M. Torracchia (fig. 39, tav. 4, tav. 5). Essa è stata suddivisa in 6 domini strutturali omogenei (fig. 40): le proiezioni stereografiche degli elementi strutturali misurati nei vari domini sono riportate in fig. 41.

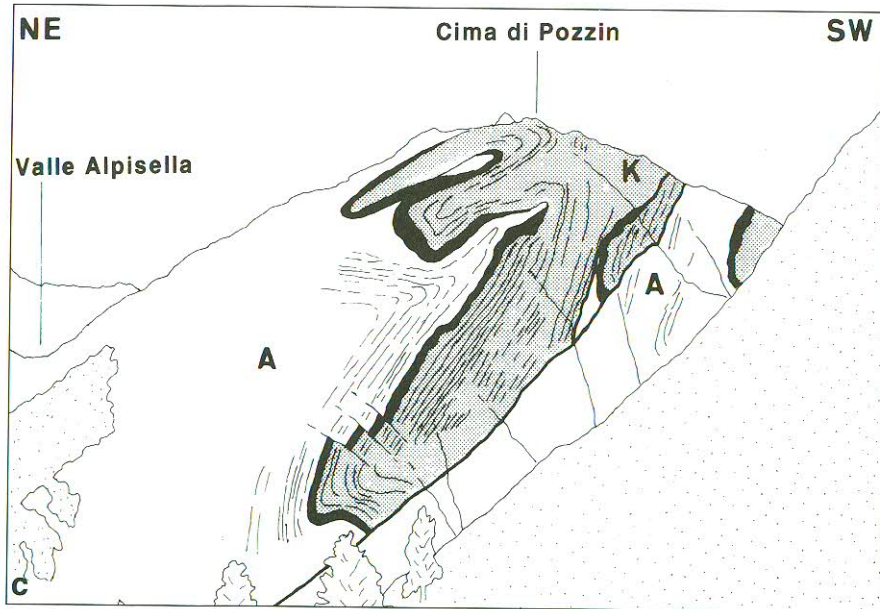
Negli stereogrammi a-f di fig. 41 è possibile osservare come gli assi e i piani assiali D1 risultino variamente orientati. Prima di fare alcuna ipotesi sulla geometria del piegamento D1 è perciò necessario studiare ed eliminare gli effetti della successiva fase D3. Consideriamo inizialmente l'area compresa tra Canale Torto e Cima di Pozzin, cioè i domini 1, 2 e 3. I piani assiali nel dominio 1 (pieghe generalmente aperte) sono debolmente inclinati verso NE, nel dominio 2 sono inclinati verso NE, nel dominio 3 (pieghe isoclinali) sono subverticali. Come vedremo in dettaglio più avanti, il piegamento D1 è legato alla messa in posto delle falde: è perciò verosimile che i piani assiali di queste pieghe si siano formati con una giacitura suborizzontale. La progressiva verticalizzazione dei piani assiali passando dal dominio 1 (Canale Torto) al dominio 3 (Cima di Pozzin), può essere perciò attribuita alla fase di piegamento D3. Negli stereogrammi g, h, i è stata ricavata la giacitura media dei piani assiali D1 nei domini 1, 2 e 3 nel seguente modo: a) dalla carta strutturale è stato ricavato per ogni dominio la direzione dei piani assiali delle maggiori anticlinali e sinclinali; b) negli stereogrammi il grande cerchio che ha come direzione la direzione così ottenuta e passa per il massimo della distribuzione degli assi rappresenta la giacitura media dei piani assiali in quel dominio. I piani assiali così costruiti corrispondono bene con quelli misurati. La giacitura media dei piani assiali D1 nei domini 1, 2, 3 è riportata



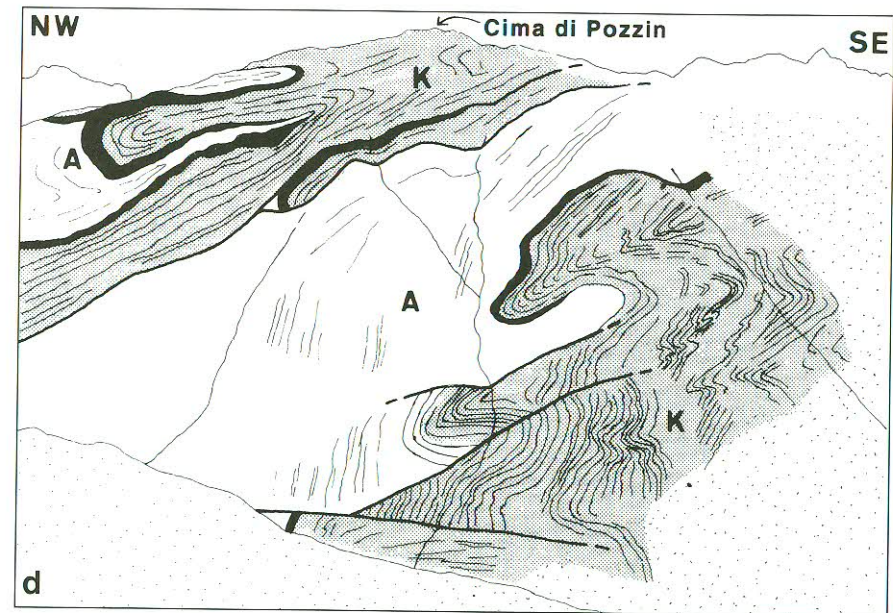
a



b



c



d

Fig. 39 – Pieghie D1 nell'area Canale Torto-Cima di Pozzin. (a) Vista verso SE. (b) Vista verso NE. (c) Disegno sulla base di (a). (d) Disegno sulla base di (b). A = Formazione di Allgäu, K = Formazione di Kössen, il Calcare di Culmet è indicato in nero.

– D1 folds in the Canale Torto-Cima di Pozzin area. (a) View toward SE. (b) View toward NE. (c) and (d) are drawn after photographs. A = Allgäu Formation, K = Kössen Formation, the Culmet limestone is in black.

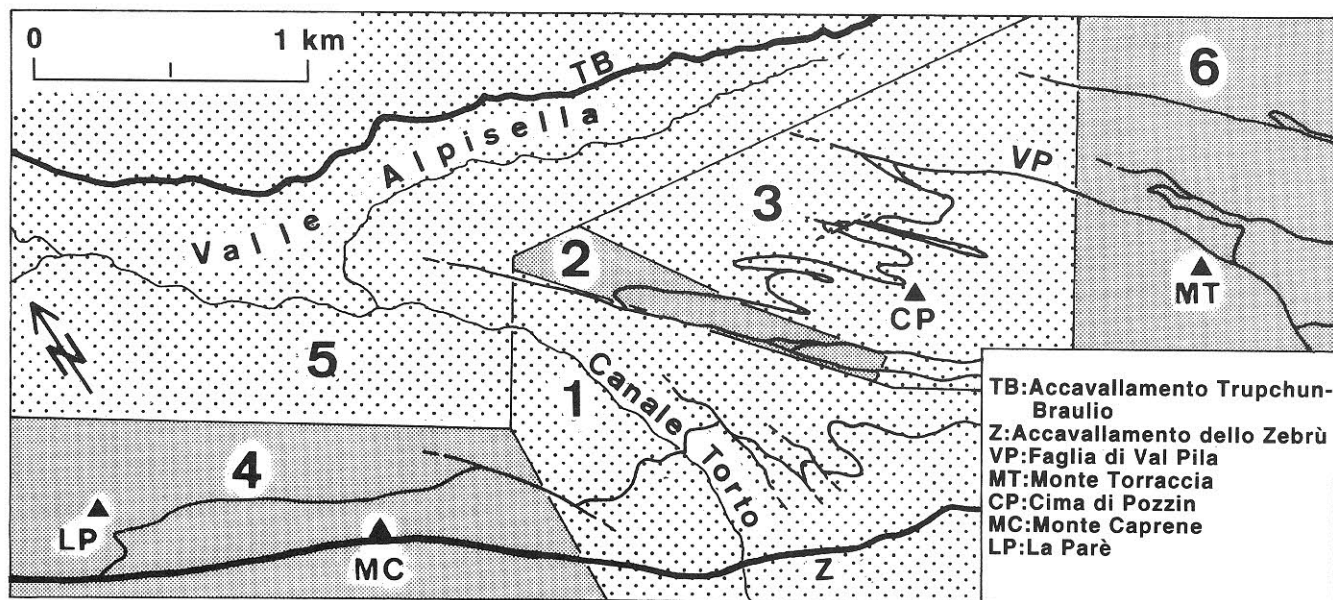


Fig. 40 – Domini strutturali (1-6) relativi alla Carta geologica dell'area La Parè-M. Torraccia (tav. 4 e tav. 5).

– Structural domains (1-6) in the geological map of the La Parè-M. Torraccia area (plate 4 and plate 5).

nello stereogramma 1 di fig. 41. I tre grandi cerchi si intersecano secondo la direzione 136/10, che rappresenta perciò l'orientazione dell'asse D3 attorno alla quale avviene il piegamento dei piani assiali D1 in quest'area.

È da notare che l'attuale orientazione degli assi D1 nei domini 1, 2 e 3 non può essere spiegata invece con un semplice piegamento attorno all'asse D3 calcolato. Ne consegue che almeno parte della dispersione degli assi non può essere attribuita alla fase D3. Siccome non è stata riconosciuta nell'area alcuna fase di piegamento posteriore a quella D3, è necessario ammettere che gli assi abbiano acquisito un certo grado di dispersione durante la fase deformativa D1.

Per ricostruire l'orientazione originaria degli assi di prima fase sono stati inizialmente eliminati gli effetti della fase D3; ciò è stato fatto effettuando una retrorotazione attorno all'asse D3 (136/10) dei piani assiali D1 e dei massimi della distribuzione degli assi (stereogramma 1, fig. 41).

Alla fine di questa retrorotazione i massimi degli assi D1 si dispongono alla periferia, ortogonalmente a questi massimi sono indicate le relative direzioni di facing (fig. 41m). Le pieghe nel dominio 1 (Canale Torto) hanno un facing verso N prima della fase D3, nei domini 2 e 3 la direzione di facing è verso NW.

Questo processo di retrorotazione è stato infine applicato a tutti i singoli assi misurati nei domini 1, 2 e 3 per i quali era nota la direzione di facing.

Tutte le direzioni di facing così ricostruite sono riportate in fig. 41n. In questo stereogramma si può vedere come esse risultino molto disperse e coprano un angolo di circa 180°; questa è un'ulteriore conferma del fatto che il piegamento D1 doveva essere anche in quest'area fortemente non cilindrico. La direzione di trasporto tettonico prima del piegamento D3 era N 320°, ricavata quale direzione nella metà dell'angolo di 180° coperto da tutte le direzioni di facing. La direzione così ottenuta è molto simile alla direzione di trasporto lungo l'Accavallamento Trupchun-Braulio. La struttura risultante è riportata schematicamente in fig. 42.

La fase deformativa D1 produce perciò una forte variazione nell'orientazione degli assi delle pieghe dell'area Canale Torto-Cima di Pozzin: le pieghe in posizione inferiore (dominio 1, Canale Torto) hanno assi orientati E-W. Quelle in posizione superiore, cioè più vicine all'Accavallamento Trupchun-Braulio (domini 2 e 3, Cima di Pozzin, fig. 40), hanno gli assi orientati NW-SE, cioè subparalleli alla direzione di trasporto.

In base alle osservazioni finora fatte si può affermare che nella parte centrale della Falda dell'Ortles, avvicinandosi all'Accavallamento Trupchun-Braulio, è possibile osservare una progressiva rotazione degli assi delle pieghe parallelamente alla direzione di trasporto e lo sviluppo di pieghe sempre più chiuse, fino ad arrivare ad isoclinali nell'area di Cima di Pozzin.

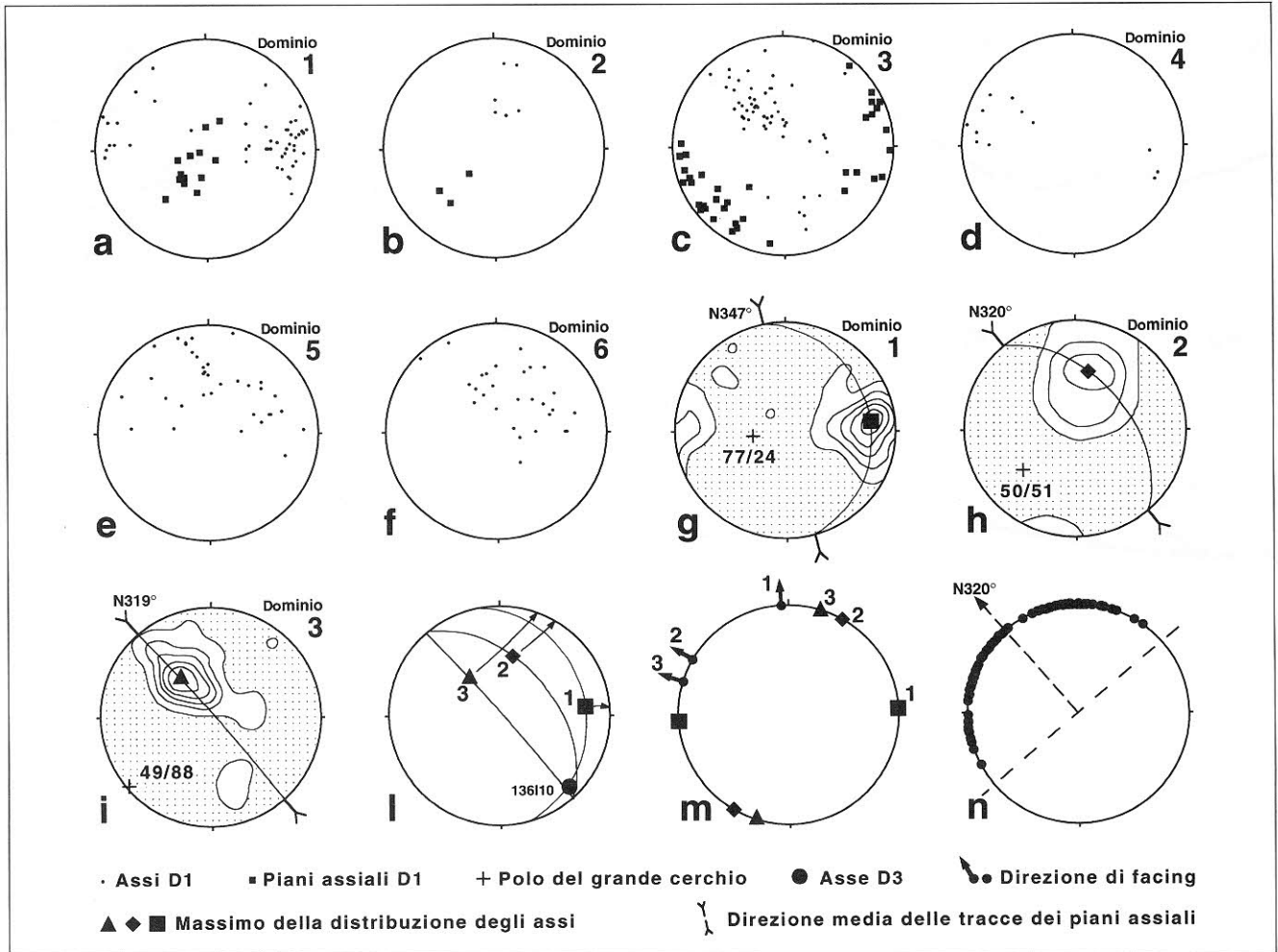


Fig. 41 – Stereogrammi degli elementi strutturali nell'area La Parè-M. Torraccia (vedi carta strutturale, tav. 5). (a) Assi D1 (49 misure) e piani assiali D1 (13 misure) nel dominio 1. (b) Assi D1 (6 misure) e piani assiali D1 (3 misure) nel dominio 2. (c) Assi D1 (54 misure) e piani assiali D1 (37 misure) nel dominio 3. (d) Assi D1 (12 misure) nel dominio 4. (e) Assi D1 (35 misure) nel dominio 5. (f) Assi D1 (28 misure) nel dominio 6. (g) Contour della distribuzione degli assi dello stereogramma (a). Il grande cerchio (77/24) rappresenta la giacitura media dei piani assiali D1 nel dominio 1 in quanto esso passa per il massimo della distribuzione degli assi ed ha come direzione (N347°) la direzione media delle tracce dei piani assiali nella carta strutturale. (h) Contour della distribuzione degli assi dello stereogramma (b) e giacitura media (50/51) dei piani assiali D1 nel dominio 2. (i) Contour della distribuzione degli assi dello stereogramma (c) e giacitura media (49/88) dei piani assiali D1 nel dominio 3. (l) I grandi cerchi rappresentano la giacitura media dei piani assiali D1 nel dominio 1, nel dominio 2 e nel dominio 3, la loro intersezione (136/10) rappresenta l'asse D3 che li ripiega. L'orientazione media degli assi D1 nei tre domini è riportata: ■ = dominio 1, ◆ = dominio 2, ▲ = dominio 3. Successivamente è stata effettuata una retrorotazione della giacitura media dei piani assiali e degli assi D1 attorno all'asse D3 (136/10). I piani assiali sono stati cioè riportati in posizione orizzontale, i massimi degli assi risultano di conseguenza alla periferia. (m) Orientazione dei massimi degli assi nei domini 1, 2 e 3 dopo la retrorotazione attorno all'asse D3 costruito. Il massimo del dominio 1 ha un'orientazione E-W, quelli del dominio 2 e 3 circa NE-SW. Con le frecce sono indicate le direzioni medie di facing per le pieghe dei domini 1, 2 e 3, costruite come direzioni ortogonali ai relativi massimi degli assi. Queste direzioni rappresentano direzioni di facing acquisite prima della fase di piegamento D3. (n) Il solito procedimento di retrodeformazione attorno al solito asse D3 è stato effettuato su tutti gli assi D1 dei domini 1, 2 e 3 (stereogrammi a, b, c), quindi per ogni asse è stata ricostruita la direzione di facing. Esse sono riportate nello stereogramma (n), in esso si vede come tutte le direzioni di facing risultino disperse su circa 180°, questo implica una geometria fortemente non cilindrica durante il piegamento. La direzione di trasporto è N320°, cioè la direzione nel mezzo dell'intervallo di 180° coperto dalle varie direzioni di facing.

– *Stereographic projections (equal area, lower hemisphere) of structural data from La Parè-M. Torraccia area (see structural map in plate 5). (a) D1 fold axes (49 data) and D1 fold axial planes (13 data) in the domain 1. (b) D1 fold axes (6 data) and D1 fold axial planes (3 data) in the domain 2. (c) D1 fold axes (54 data) and D1 fold axial planes (37 data) in the domain 3. (d) D1 fold axes (12 data) in the domain 4. (e) D1 fold axes (35 data) in the domain 5. (f) D1 fold axes (28 data) in the domain 6. (g) Contouring of fold axes from the stereogram (a). The great circle (77/24) represent the attitude of the D1 fold axial planes in the domain 1. It is constructed as the plane with the same strike (N347°) of the D1 axial planes in the structural map (plate 5) and pass through the maximum of the D1 fold axes distribution. (h) Contouring of fold axes from the stereogram (b) and attitude (50/51) of the D1 fold axial planes in the domain 2. (i) Contouring of fold axes from the stereogram (c) and attitude (49/88) of the D1 fold axial planes in the domain 3. (l) Great circles are D1 fold axial planes attitude in domain 1, 2 and 3. Their today positions can be explained with folding around a fold axis oriented 136/10. Maximum in D1 fold axis distribution is indicated by: ■ = domain 1, ◆ = domain 2, ▲ = domain 3. Back rotation around the 136/10 axis is then performed to achieve an horizontal attitude for the D1 fold axial planes. After this the three maximum of the D1 fold axis distribution come to lie on the primitive circle. (m) Position of the three maximum of the D1 fold axis distribution after back rotation. Perpendicular to this are the D1 facing directions in the domain 1, 2 and 3 respectively (arrows). (n) The same procedure of back rotation to deduce the D1 facing direction and is then carried out on each D1 fold axis of the domain 1, 2 and 3. The facing direction are indicated with a circle and are distribute quite over 180°. The middle direction is N 320°, quite parallel to the transport direction of the Trupchun-Braulio thrust.*

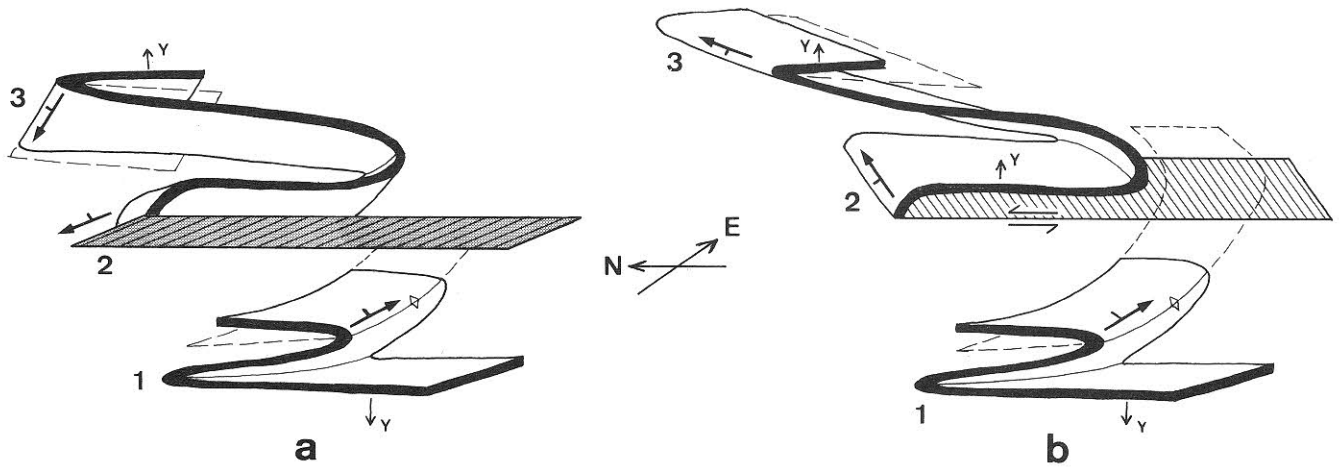


Fig. 42. Rappresentazione schematica della struttura a pieghe nell'area Canale Torto-Cima di Pozzin. (a) Situazione attuale: le pieghe del dominio 1 hanno piano assiale suborizzontale ed assi circa E-W (fig. 41a), le pieghe del dominio 2 hanno il piano assiale inclinato verso NE ed assi immergenti verso N (fig. 41b), le pieghe del dominio 3 hanno piani assiali subverticali ed assi immergenti verso NW (fig. 41c). (b) Ricostruzione alla fine della fase D1 e prima del piegamento D3, ottenuta effettuando la retrorotazione attorno all'asse D3. Mentre tutti i piani assiali sono ora orizzontali, gli assi mostrano ancora una diversa orientazione.

– Sketch showing D1 folds in the Canale Torto-Cima di Pozzin area. 1, 2 and 3 indicate respectively domain 1, 2 and 3 of fig. 40 (a) Today geometry: D1 folds in the «domain 1» have horizontal axial planes and E-W fold axes (see fig. 41a); D1 folds in the «domain 2» have NE-dipping axial planes and N-dipping fold axes (see fig. 41b); D1 folds in the «domain 3» have vertical axial planes and NW-dipping fold axes (see fig. 41c). (b) Reconstruction after D1 folding and before D3 folding, back-rotation about D3 fold axes (136/10) is performed. After back rotation D1 fold axial planes in the three domains are horizontal, D1 folds axes show nevertheless still different orientations.

Altre importanti osservazioni possono essere fatte nel dominio 5, cioè nell'area immediatamente sottostante l'Accavallamento Trupchun-Braulio. Questo dominio rappresenta l'unica area nella Falda dell'Ortles in cui sia stato riconosciuto un piegamento polifasico durante l'evento D1. In quest'area si sviluppa infatti un clivaggio di prima fase ripiegato da pieghe aperte, asimmetriche, con assi immergenti verso N, piani assiali immergenti verso E e con facing verso W (fig. 43). Queste pieghe diventano sempre più chiuse avvicinandosi all'Accavallamento Trupchun-Braulio ed i piani assiali orizzontali. Alla base dell'Accavallamento Trupchun-Braulio le pieghe hanno una geometria isoclinale e i loro piani assiali fanno transizione graduale con la foliazione presente nelle calcite-miloniti. Si può perciò legare lo sviluppo di queste pieghe all'attività dell'Accavallamento Trupchun-Braulio.

Sulla base di queste evidenze si può supporre un'evoluzione complessa in questo dominio, con lo sviluppo di pieghe successivamente ripiegate a seguito dei movimenti lungo l'Accavallamento Trupchun-Braulio. Il tutto durante un'evoluzione continua durante la fase D1.

Altre evidenze di una evoluzione polifasica durante la fase D1 nella parte centrale della Falda dell'Ortles possono essere ricavate dalla complicata

geometria della Faglia di Val Pila (tav. 4 e tav. 6). Essa si estende tra la Valle Alpisella e la Val Pila, ha un'orientazione NW-SE e giacitura subverticale (CONTI *et alii*, 1994). La faglia immerge verso NE nella sua porzione nord-occidentale (Valle Alpisella) e verso W nella parte sud-orientale (Val Pila). Poiché i piani assiali delle pieghe di prima fase nell'area Cima di Pozzin-M. Torracchia hanno una giacitura subverticale, è verosimile che la verticalizzazione della Faglia di Val Pila avvenga anch'essa durante le fasi tardive di piegamento (D3). Eliminando gli effetti di questo piegamento e riportando in posizione suborizzontale sia i piani assiali delle pieghe che la superficie di faglia, il blocco attualmente a NE della faglia risulta situato a tetto, mentre la parte a SW rappresenta il letto. La natura della Faglia di Val Pila cambia da NW a SE, in Valle Alpisella (a NW) si ha la Formazione di Allgäu al tetto e la Formazione di Kössen al letto, in Val Pila invece la Dolomia Principale giace sopra la Formazione di Kössen. Andando da NW a SE si passa perciò da una geometria tipica per una faglia diretta, con rocce più giovani sopra rocce più antiche, a quella tipica per un accavallamento con formazioni più vecchie sopra formazioni più giovani. Ugualmente difficile è stabilire quando questa faglia era attiva; si possono fare in merito le seguenti osservazioni:

a) un'età giurassica è da escludere in quanto non sono state ritrovate tracce di una tettonica sin-sedimentaria nella Formazione di Allgäu nelle immediate vicinanze della superficie di faglia;

b) la Faglia di Val Pila taglia il piano assiale di una piega D1, immediatamente a E di M. Torracchia (tav. 4), e taglia una superficie di accavallamento D1 in Val Pila (tav. 6);

c) un'attività durante le fasi D2, D3 o D4 è da escludere in quanto la Faglia di Val Pila non taglia né l'Accavallamento Trupchun-Braulio, né l'Accavallamento dello Zebrù;

d) indicatori cinematici lungo la faglia (fig. 44) indicano un senso di movimento destrale. Restaurando la Faglia di Val Pila nella posizione suborizzontale assunta prima della fase D3, tali indicatori cinematici implicano un movimento estensionale, con movimento verso E del tetto.

In base a queste evidenze è possibile proporre un'attività complessa della Faglia di Val Pila durante la fase D1. Inizialmente (fig. 45a) si ha l'accavallamento della Dolomia Principale sulla Formazione di Allgäu e il contemporaneo piegamento dei sedimenti sottostanti: in un secondo tempo essa gioca in estensione contemporaneamente alla messa in posto della Falda di Quattervals (fig. 45b). Durante la fase D3 la Faglia di Val Pila viene verticalizzata nella sua posizione attuale.

Passiamo ora alla Valle di Fraele (tav. 6). In Valle Pettini (valle laterale della Valle di Fraele) vi sono ancora evidenze di un piegamento non cilindrico a grande scala durante la fase D1, legato ad un trasporto verso NW. Il Calcare di Culmet (limite Trias/Lias) è piegato a scala decametrica (fig. 46 e tav. 6: piega tra la Valle Pettini e la Valle Alpisella). Gli assi immergono verso NE e la direzione di facing è verso SW; lungo il fianco diritto della piega gli assi di prima fase assumono dapprima

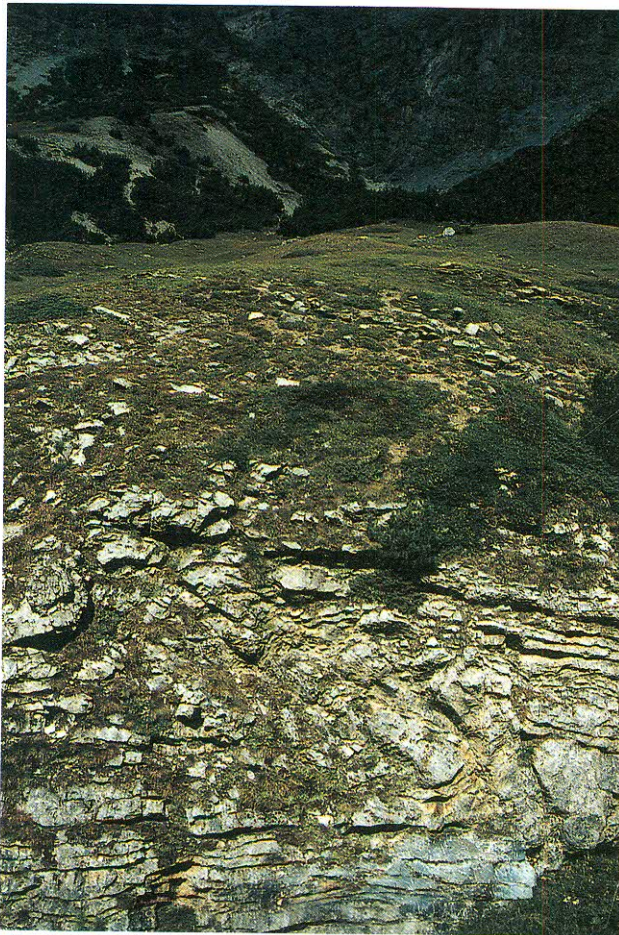
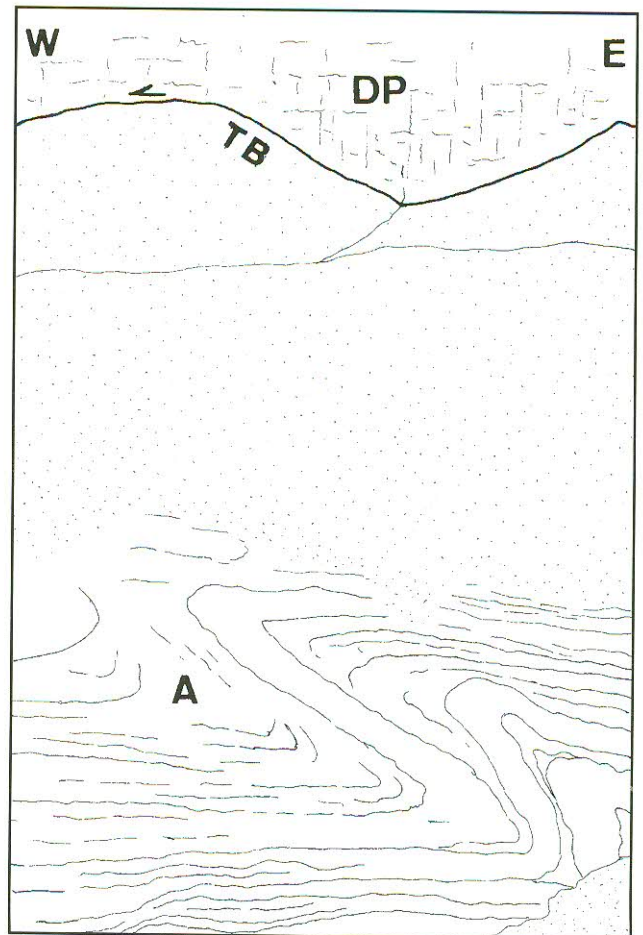
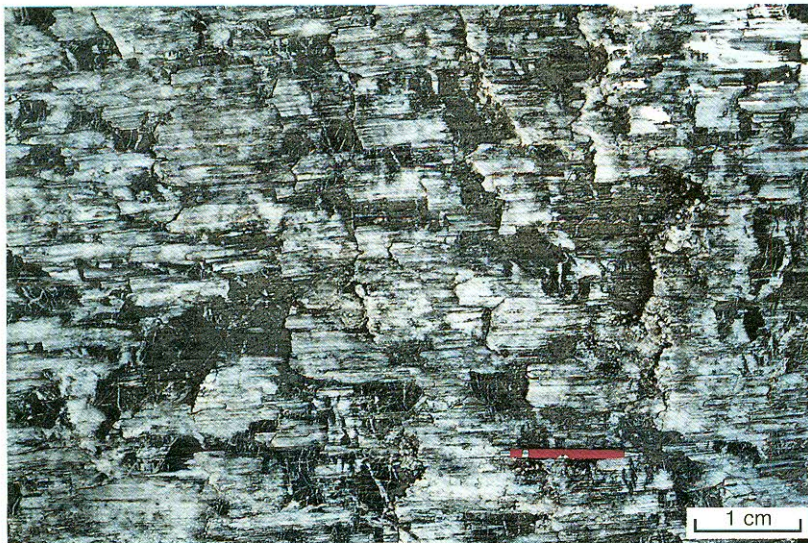


Fig. 43 – Pieghie con facing verso W nella Falda dell'Ortles alla base dell'Accavallamento Trupchun-Braulio, in Valle Alpisella. Vista verso N, E è sulla destra. DP = Dolomia Principale della Falda di Quattervals, A = Formazione di Allgäu della Falda dell'Ortles.

– *W-facing folds in the Allgäu Formation of the Ortler nappe, beneath the Trupchun-Braulio thrust, Valle Alpisella. View is toward the N, E is on the right. DP = Dolomia Principale of the Quattervals nappe, A = Allgäu Formation of the Ortler nappe, TB = Trupchun-Braulio thrust.*



b



Faglia di Val Pila

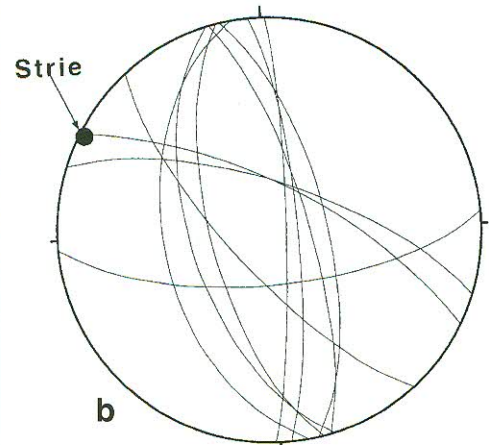


Fig. 44 – Faglia di Val Pila. (a) Crescita di fibre di calcite sulla superficie di faglia indicanti un movimento destrale. (b) Le fibre hanno una giacitura suborizzontale rappresentata dal punto nello stereogramma, i grandi cerchi indicano invece le varie giaciture della superficie di faglia.

– Val Pila fault. (a) Fibre-growth slickenside indicating right-lateral movement. (b) Stereographic projections (equal area, lower hemisphere) of the fault plane (great circle) and slickenside (circle).

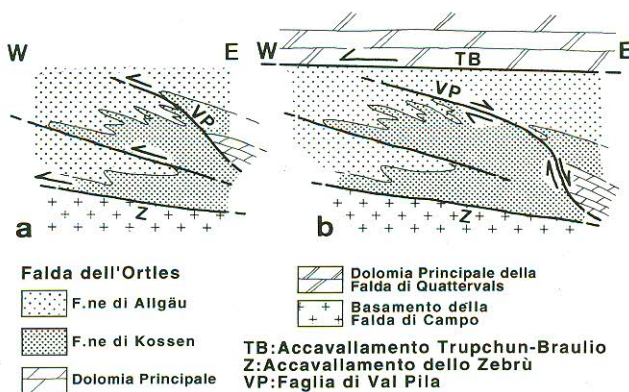


Fig. 45 – Schema dei movimenti lungo la Faglia di Val Pila. (a) Accavallamenti e piegamenti sono contemporanei all'attività lungo l'Accavallamento dello Zebrù. (b) Estensione lungo la Faglia di Val Pila legata alla messa in posto della Falda di Quattervals lungo l'Accavallamento Trupchun-Braulio.

– Sketch showing activity along the Val Pila fault. (a) Thrusting and folding in the Ortler nappe contemporaneous with thrusting along the Zebrù thrust. (b) Normal faulting occur during W-thrusting of the Quattervals nappe along the Trupchun-Braulio thrust.

un'orientazione N-S e successivamente E-W, con facing verso N. Quest'area non è interessata da piegamenti D3 a piccola scala: la dispersione degli assi di prima fase è quindi interpretabile come risultante di un piegamento non cilindrico durante la fase D1. Gli assi (fig. 46c) si dispongono su di un cerchio massimo (45/41) che ben si approssima alla giacitura del piano assiale della piega maggiore effettivamente misurato sul terreno (30/46). La fig. 46d riporta le direzioni di facing per gli assi di

fig. 46c. Queste direzioni sono state ricavate dopo aver effettuato una retrorotazione in senso antiorario attorno ad un asse orizzontale N135° degli assi misurati, eliminando gli effetti del piegamento D3 e riportando in posizione orizzontale sia il piano assiale che gli assi della piega. Le direzioni di facing risultano molto disperse e coprono un angolo di circa 150° sul cerchio massimo equatoriale. Come direzione di trasporto è stata presa la direzione mediana di tale intervallo (N310°).

L'analisi strutturale compiuta in varie aree della Falda dell'Ortles dimostra come il piegamento sia sempre associato ad un senso generale di trasporto verso NW. Poiché tale direzione è anche quella di movimento riconosciuta lungo gli accavallamenti D1 (Accavallamento dello Zebrù, Accavallamento Trupchun-Braulio) è possibile affermare che la messa in posto delle falde e il piegamento dei sedimenti della Falda dell'Ortles siano tra loro contemporanei.

5.1.2.2. – Riattivazione della Faglia sinsedimentaria giurassica di M. Torracchia ed evoluzione della parte centrale della Falda dell'Ortles

Finora abbiamo considerato la struttura a pieghe nella parte centrale della Falda dell'Ortles, è importante ricordare però che durante la fase D1 si ha anche lo sviluppo di numerose superfici di accavallamento, specialmente nell'area tra M. Pettini e Cima Doscopa (tav. 6). Alcuni di questi accavallamen-

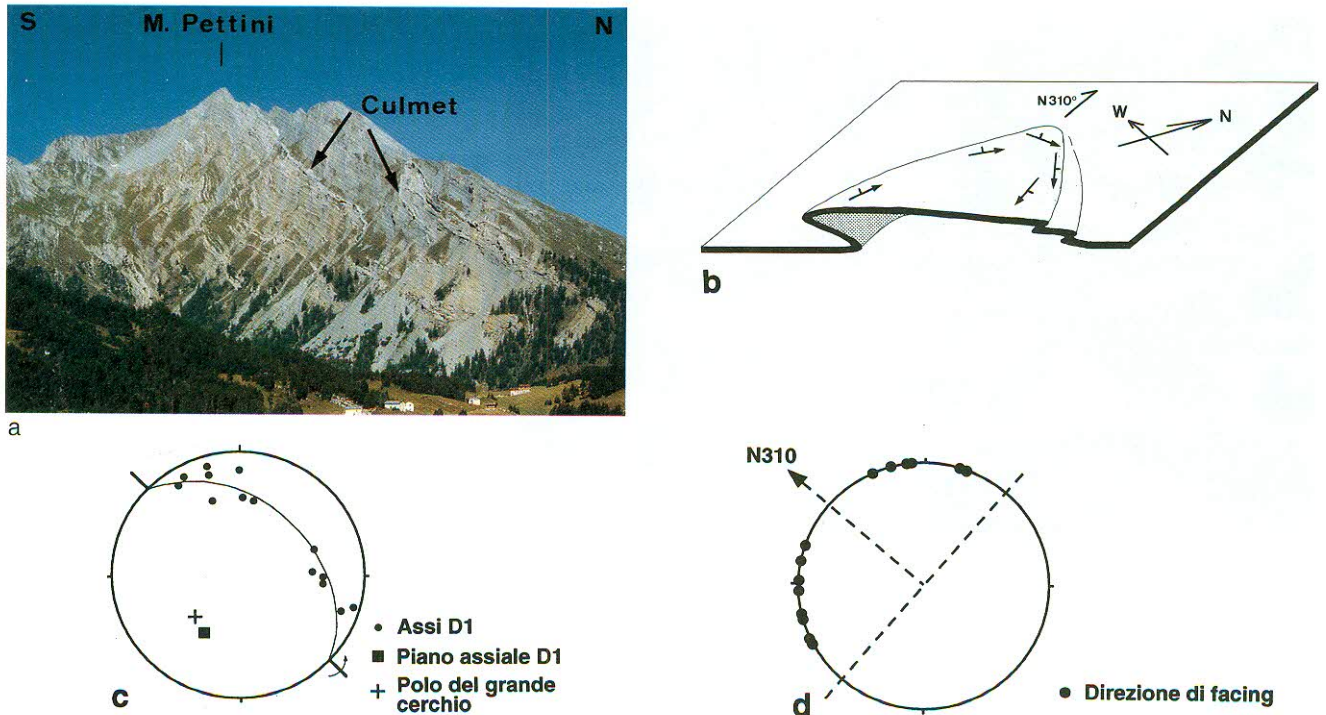


Fig. 46 – (a) Piega isoclinal nel versante E di M. Pettini, in Valle Pettini. Vista verso W. (b) Rappresentazione schematica della piega. In nero è riportato l'andamento del Calcare di Culmet. (c) Stereogramma degli elementi strutturali, cfr. tav. 6. (d) Direzione di facing per gli assi riportati in (c).
 – (a) *Isoclinal D1 fold in the eastern side of M. Pettini, Valle di Pettini. View is toward the W.* (b) *Sketch of the same fold, in black is the Culmet limestone.* (c) *Stereographic projections (equal area, lower hemisphere) of D1 structural data from the fold (see plate 6).* Facing direction for the D1 fold axes in (c).

ti interferiscono con la Faglia normale giurassica di M. Torraccia, riattivandola e invertendo il relativo bacino sinsedimentario. L'evoluzione sedimentaria e tettonica di quest'area è discussa in CONTI *et alii* (1994) e MANATSCHAL (1991), a cui si rimanda per ulteriori informazioni.

L'interpretazione di questa faglia come una faglia sinsedimentaria giurassica è basata sul fatto che la faglia ha la geometria di una faglia normale immergente verso E, tagliando in quella direzione formazioni sempre più vecchie al tetto e al footwall; l'età giurassica è documentata dalle relazioni di sovrapposizione con l'Accavallamento dello Zebrù (l'accavallamento taglia la faglia la quale è perciò pre-D1) e dalla presenza al tetto nella Formazione di Allgäu di risedimenti e megabrecce di età giurassica.

Evidenze di movimenti lungo la Faglia giurassica di M. Torraccia anche durante le fasi deformative alpine sono: a) la presenza dei depositi sinsedimentari (megabrecce) nella Formazione di Allgäu oggi in una posizione più occidentale rispetto alla superficie di faglia stessa (fig. 7 in CONTI *et alii*, 1994), essi sono stati necessariamente trasportati verso W durante la fase D1; b) ritrovamento lungo la superficie di faglia nell'area a W ed a SE di Cima

Doscopa di lenti di Gneiss Chiaro (Manatschal, 1991) e di Filladi di Bormio (tav. 6). Questa situazione, con rocce più vecchie comprese tra rocce più giovani non può essersi prodotta in una sola fase di accavallamento, ma può risultare dalla riattivazione di faglie normali precedenti (fig. 47).

Sebbene non siano stati ritrovati indicatori cinematici esattamente lungo la superficie di faglia, il fatto che superfici di accavallamento D1 a S di M. Pettini non la tagliano, ma si raccordano con essa (tav. 6), implica che la riattivazione della Faglia di M. Torraccia è avvenuta durante la fase D1, cioè con un movimento di trasporto verso W.

Sulla base di queste considerazioni e tenendo conto della geometria risultante dall'interferenza tra accavallamenti alpini e faglie normali giurassiche (fig. 36) è stata effettuata la ricostruzione di fig. 48. Per semplicità in fig. 48a la stratificazione al tetto e a letto della Faglia di M. Torraccia è rappresentata orizzontale. Essendo conservati in fig. 48a i rapporti angolari tra stratificazione e superficie di faglia presenti nel profilo di fig. 48c, ne risulta un profilo irregolare, non perfettamente concavo, per la Faglia di M. Torraccia. Con questa geometria la Faglia giurassica di M. Torraccia risulta avere un rigetto di circa 800 m.

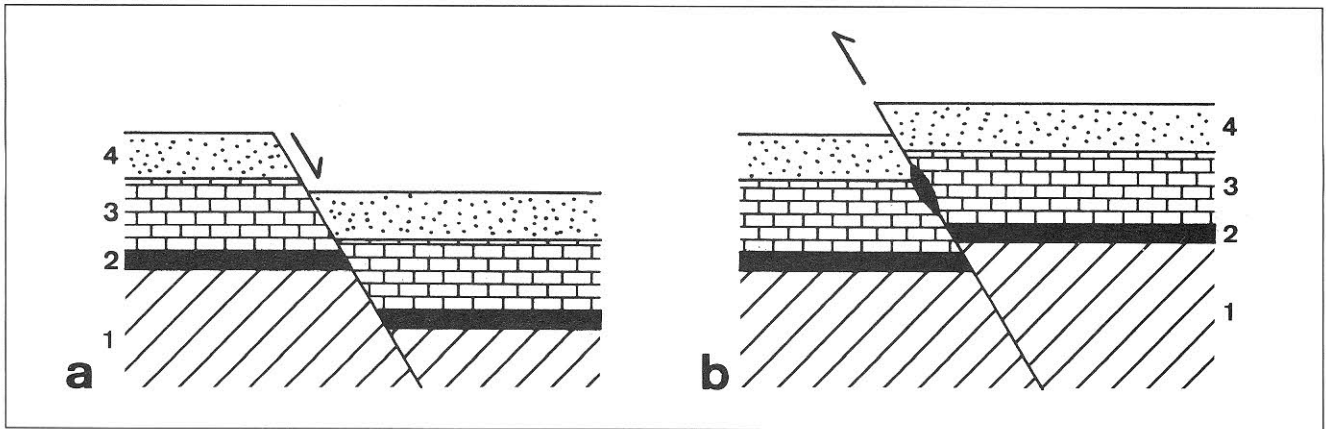


Fig. 47 – Formazione di scaglie di rocce più vecchie tra rocce più giovani lungo contatti tettonici. Tale situazione è possibile si formi quando faglie normali vengono successivamente riattivate come superfici di accavallamento. (a) Situazione alla fine dell'evento estensionale, a questo punto la formazione 3 al tetto della faglia è direttamente a contatto con la formazione 2 (in nero) al letto della faglia. (b) Durante la riattivazione scaglie della formazione 2 possono venire trascinate lungo la superficie di faglia ed in questo modo possono trovarsi all'interno della formazione 3 oppure tra la formazione 3 e la formazione 4.

– Presence along tectonic contacts of slivers of older rocks between younger rocks. This situation can be explained if normal faults are reactivated as thrust planes. (a) After normal faulting formation 3 in the hanging wall is in contact with formation 2 in the footwall. (b) During thrusting slivers of formation 2 (in black) occur and can be transported along the thrust plane. Lenses of older rock (formation 2 in this case) are therefore locate between younger rocks (formation 3 in this case).

La ricostruzione di fig. 48 è necessariamente schematica, sia per l'impossibilità di rappresentare nel profilo geologico di fig. 48c tutte le pieghe non cilindriche dell'area Canale Torto-Cima di Pozzin, sia perché non è stato tenuto conto della deformazione interna delle rocce. E' stato effettuato solo un bilanciamento delle lunghezze prendendo come livello di riferimento il Calcare di Culmet.

Come già discusso in precedenza, la Dolomia Principale al tetto della Faglia di M. Torraccia durante il raccorciamento deve essersi messa in posto prima al di sopra di rocce del basamento alla fine della fase D1a e successivamente deve essere stata traslata verso W lungo la Faglia di M. Torraccia, riattivandola. In fig. 36 abbiamo già visto schematicamente come ciò sia possibile se si ha interferenza tra accavallamenti alpini e faglie normali giurassiche. Nella ricostruzione di fig. 48a l'Accavallamento dello Zebrù corre alla base della Dolomia Principale: proseguendo verso W, esso taglia la Faglia di M. Torraccia e corre all'interno del Gneiss Chiaro del footwall. Procedendo ancora verso W, esso taglia formazioni sempre più giovani: tutta la serie dal Permiano al Trias medio e quindi la Dolomia Principale (M. Torraccia). Ad W l'Accavallamento dello Zebrù corre all'interno della Formazione di Kössen e taglia il limite Trias/Lias (Calcare di Culmet) a La Parè, entrando nella Formazione di Allgäu. Come vedremo in seguito, l'Accavallamento dello Zebrù corre nell'area di P. Chaschauna di nuovo all'interno del basamento paleozoico a causa dell'inter-

ferenza con faglie sinsedimentarie giurassiche; con questa geometria la parte della Falda dell'Ortles al tetto dell'Accavallamento dello Zebrù viene messa in posto direttamente al di sopra del basamento paleozoico della Falda di Campo e della Falda di Languard, situati originariamente in una posizione molto più occidentale (fig. 48b e fig. 36). Solamente dopo questi primi movimenti si ha la riattivazione della Faglia di M. Torraccia e il raddoppio di Dolomia Principale lungo l'accavallamento «g» di fig. 48, con scaglie di basamento cristallino nel mezzo.

In base a queste considerazioni è possibile proporre un'evoluzione in due stadi per la Falda dell'Ortles durante la prima fase deformativa alpina (D1). Durante il primo stadio (D1a) si hanno i movimenti lungo l'Accavallamento dello Zebrù, che portano al sovrascorrimento della Falda dell'Ortles sopra il basamento della Falda di Campo, in un secondo stadio (D1b) si ha la maggior parte della riattivazione della Faglia di M. Torraccia. Non vi sono molti elementi per stabilire quando avvenga la maggior parte del piegamento, se durante l'evento D1a oppure durante l'evento D1b; l'evidenza che la Faglia di M. Torraccia non sia piegata passivamente farebbe pensare che riattivazione e piegamento avvengano contemporaneamente. Come vedremo più avanti, questa ulteriore distinzione in due stadi della fase D1 può essere fatta anche in base a considerazioni regionali alla scala dell'intera Falda dell'Ortles. È importante comunque segnalare che i due eventi D1a e D1b non sono considerati come

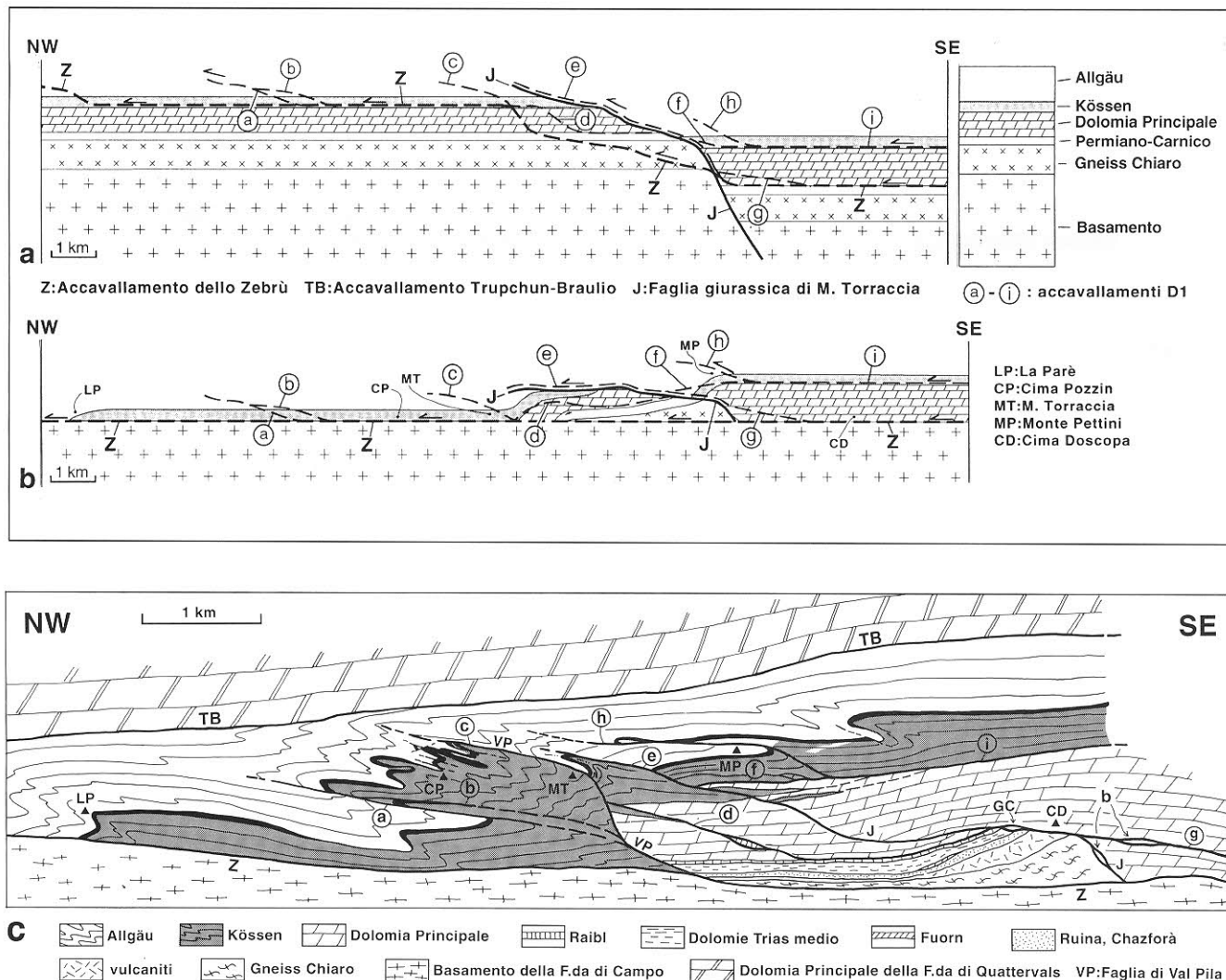


Fig. 48 – Riattivazione della Faglia giurassica di M. Torraccia. (a) Situazione alla fine della fase estensionale giurassica. (b) Situazione alla fine dei movimenti lungo l'Accavallamento dello Zebrù. (c) Situazione attuale, legenda come in tav. 6. Il profilo è orientato N110°, circa parallelo alla direzione di trasporto D1 e agli assi tardivi D3. Per eliminare gli effetti dell'immersione verso N acquisita durante la fase D3 il profilo non è stato costruito verticale, ma è stata usata una superficie di proiezione immergente verso SW di 45°, tutti i contatti litologici sono poi stati proiettati sul profilo seguendo il metodo di RAMSAY & HUBER (1987, pag. 368). Le pieghe dell'area Cima di Pozzini-M. Torraccia sono rappresentate in modo molto schematico in quanto molti assi in quest'area risultano subparalleli alla direzione del profilo. a-g: superfici di accavallamento alpine; J: Faglia giurassica di M. Torraccia; Z: Accavallamento dello Zebrù; TB: Accavallamento Trupchun-Braulio; VP: Faglia di Val Pila. C: Basamento della Falda di Campo; GC: Gneiss Chiaro; P-Tm: sedimenti del Permiano-Triassico medio; DP: Dolomia Principale; K: Formazione di Kössen; A: Formazione di Allgäu. CD: Cima Doscopa; MP: Monte Pettini; MT: Monte Torraccia; CP: Cima di Pozzini; LP: La Parè.

– Reactivation of the Jurassic M. Torraccia normal fault. (a) Reconstruction at the end of Jurassic. (b) Schematic reconstruction after W-thrusting along the Zebrù thrust. (c) Geological profile in central Ortler nappe, legend as in plate 6. The profile is constructed following the recipes of RAMSAY & HUBERT (1987, p. 368), the profile plane plunge 45° toward SW. Folds of the Cima di Pozzini-M. Torraccia area are only sketched in the profile, because the fold axes are almost parallel to the profile. a-g: thrust planes; J: Monte Torraccia Jurassic normal fault; Z: Zebrù thrust; TB: Trupchun-Braulio thrust; VP: Val Pila fault; C: Basement of the Campo nappe; GC: Gneiss Chiaro; P-Tm: Permian-middle Triassic sedimentary rocks; DP: Dolomia Principale; K: Kössen Formation; A: Allgäu Formation. CD: Cima Doscopa; MP: Monte Pettini; MT: Monte Torraccia; CP: Cima di Pozzini; LP: La Parè.

del tutto separati nel tempo, ma rappresentano piuttosto due successivi stadi di un'evoluzione continua durante la fase D1.

5.1.2.3. – Zona a scaglie della Valle di Fraelè

Nella Falda dell'Ortles in Valle di Fraelè, tra il Lago di S. Giacomo di Fraelè e la Valle Forcola si

sviluppa una complessa struttura a scaglie (tav. 6, fig. 49), con la contemporanea formazione di pieghe simili e di una marcata lineazione d'estensione orientata NW-SE (fig. 50, fig. 52a). Il senso di trasporto lungo i vari accavallamenti, riconosciuto sia in campagna (fig. 50b) che in sezione sottile (fig. 51), è verso NW, coincidente cioè con quello dell'Accavallamento Trupchun-Braulio.

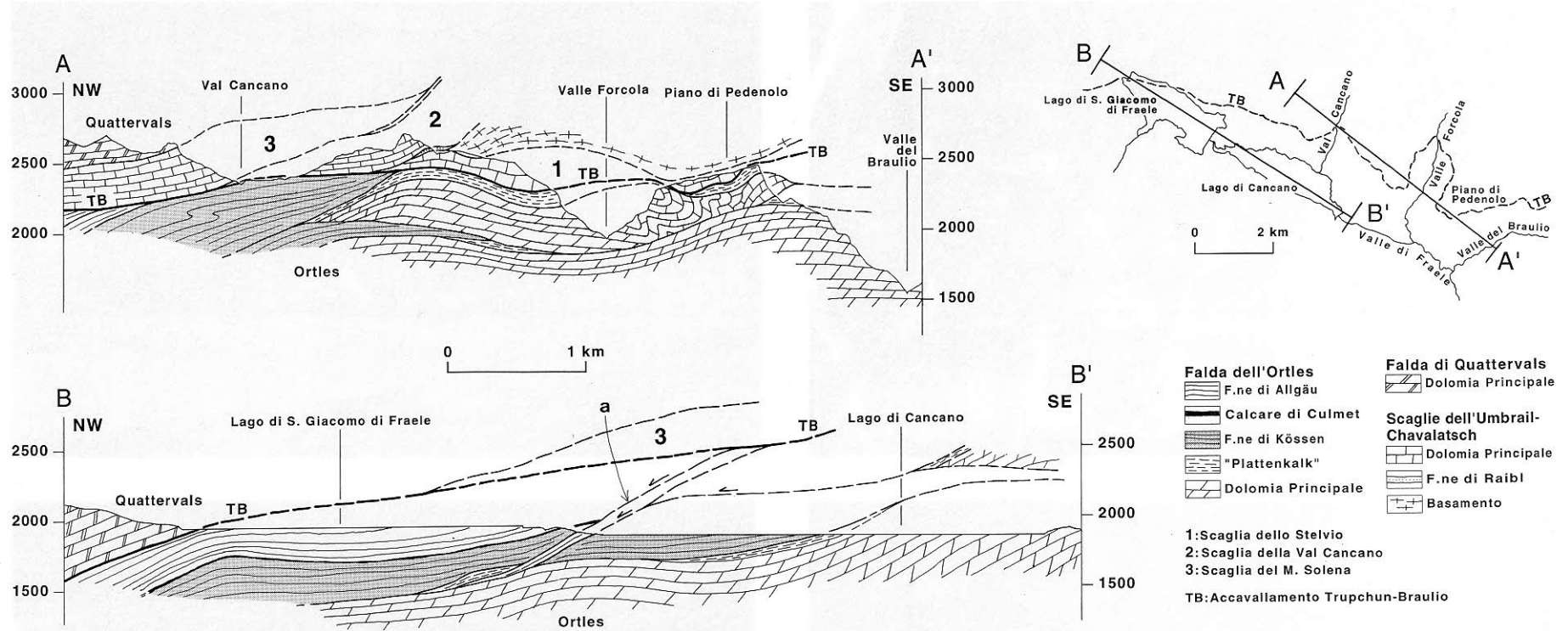
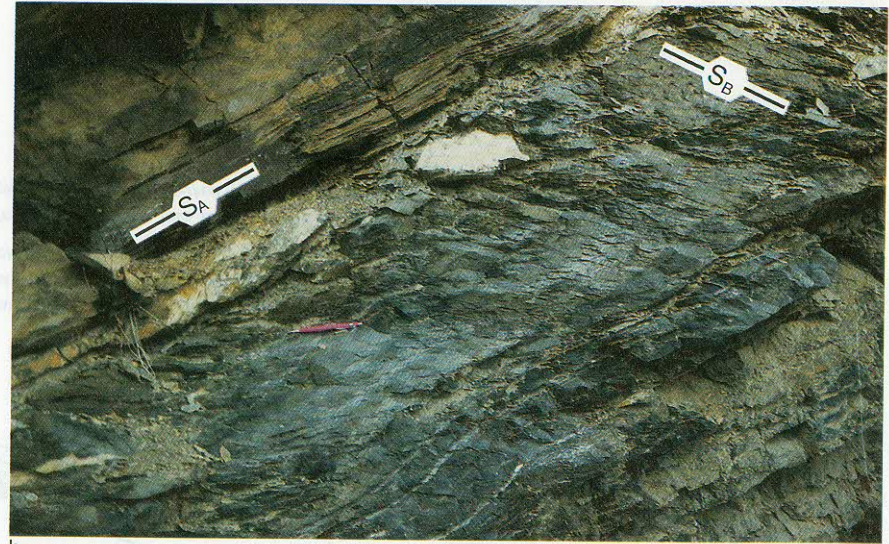


Fig. 49 - Sezioni geologiche nella Falda dell'Ortles, in Valle di Fraele. Le tracce dei profili sono riportate anche in tav. 6 (profilo 1 e profilo 2). «a» nel profilo B-B' indica la posizione dell'affioramento utilizzato per determinare il senso di trasporto del contatto tettonico, riportato in fig. 50b. Con un senso di trasporto verso NW questo contatto può venire interpretato come un «Riedel shear» sintetico relativamente all'Accavallamento Trupchun-Braulio.

- Geological cross sections in the Ortler nappe, Valle di Fraele. Both profile traces are also reported in plate 6 as trace «1» and «2». «a» in profile B-B' indicate the position of the outcrop of fig. 50b: this tectonic contact has a «top-to-the-NW» shear sense and thus can be regarded as a synthetic Riedel shear respect to the Trupchun-Braulio thrust.



a



b



c



d

Fig. 50 – (a) Pieghe isoclinali nella Formazione di Allgäu in Valle di Fraelle, sponda W del Lago di S. Giacomo di Fraelle. (b) Accavallamento all'interno della Formazione di Allgäu in Valle di Fraelle. Per la localizzazione dell'affioramento vedi anche fig. 49. Lungo il contatto tettonico si sviluppano calcite-miloniti (S_A), mentre nel footwall si ha una foliazione (S_B) obliqua indicante un senso di trasporto sinistrale (verso W). Vista verso N. (c), (d) Lineazioni di estensione lungo accavallamenti D1 in Valle di Fraelle, Plattenkalk presso la diga del Lago di S. Giacomo di Fraelle. Clasti di dolomite originariamente sferici vengono budinati ed allungati all'interno della matrice carbonatica. La forma finale di questi clasti indica talvolta rapporti assiali dell'ellisse dello strain di $X:Y:Z = 110:4:1$.

– (a) Isoclinal folds in the Allgäu Formation, Valle di Fraelle, W side of the Lago di S. Giacomo di Fraelle. (b) Thrust in the Allgäu Formation, Valle di Fraelle. See also fig. 49 for outcrop location. W is on the left and E on the right. Along this thrust calcite mylonites develop, the mylonitic foliation (S_A) is at high angle with the foliation in the footwall (S_B) and the shear sense is sinistral. (c), (d) Stretched dolomite aggregates in calcite matrix near D1 thrust. Valle di Fraelle, Plattenkalk. The undeformed dolomite aggregates are rounded, after deformation a strong elongation is recorded (axial ratio of the strain ellipse $X:Y:Z = 110:4:1$).

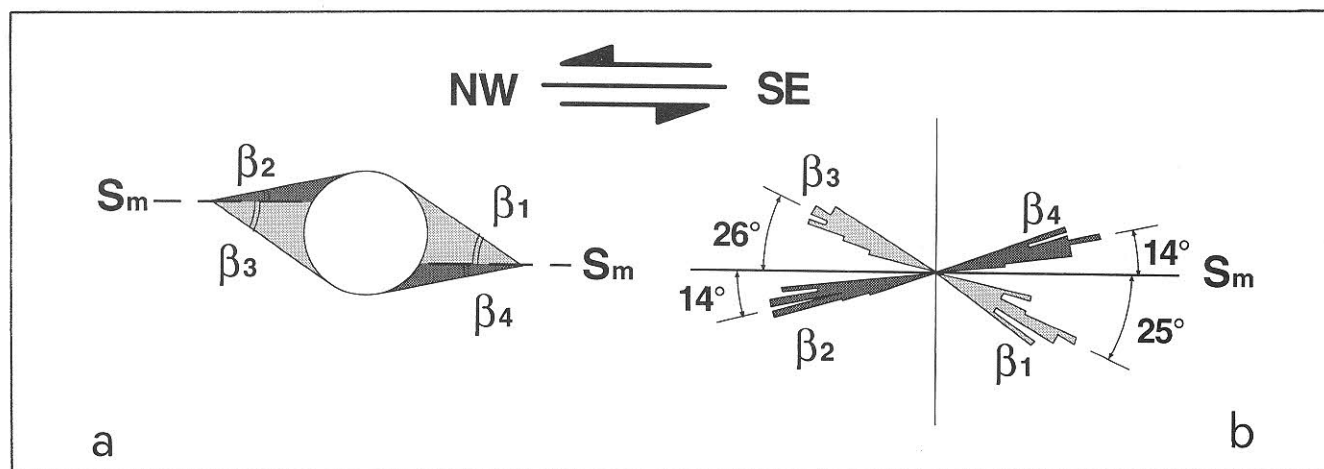


Fig. 51 – Risultati dell'applicazione del metodo di TAKAGI & ITO (1988) su porfiroclasti in calcite-miloniti lungo un accavallamento D1 in Valle di Fraele. La posizione lungo l'accavallamento da cui proviene il campione è indicata in fig. 49. (a) Definizione degli angoli misurati. (b) Orientazione ed ampiezza degli angoli misurati. Gli angoli β_1 e β_3 sono maggiori degli angoli β_2 e β_4 , questo implica un senso di taglio sinistrale. Foliiazione milonitica = 351/38, Lineazione = 323/33, sono stati misurati 25 porfiroclasti.

– Result of the TAKAGI & ITO (1988) method to determine the sense of shear from porphyroclasts in calcite mylonites. The location of the studied outcrop is indicated in fig. 49, along a D1 thrust in Valle di Fraele. (a) Definition of the measured angles, taking as reference the mylonitic foliation (S_m). (b) Results: β_1 and β_3 angles are greater than β_2 and β_4 angles, a sinistral sense of shear is hence inferred. Mylonitic foliation = 351/38, lineation = 323/33, 25 porphyroclasts measured.

Le superfici di accavallamento che delimitano le varie scaglie si raccordano verso W in un'unico sovrascorrimento che, a S del Lago di San Giacomo di Fraele, corre lungo il contatto Dolomia Principale/Formazione di Kössen. Questo accavallamento continua ancora verso W e, nell'area a E di M. Pettini, si divide in una serie di accavallamenti locali che dislocano il contatto Dolomia Principale/Formazione di Kössen.

Nel profilo A-A' di fig. 49 è possibile notare come al di sotto del basamento affiorante al Piano di Pedenolo la Dolomia Principale risulti intensamente piegata. Strutture a pieghe alla base dell'Accavallamento Trupchun-Braulio continuano verso E fino alla Valle del Braulio; ciò aveva condotto HESS (1953) e POZZI (1965) a considerare questo livello di Dolomia Principale una scaglia tettonica in posizione superiore rispetto alla Falda dell'Ortles (Hess: «Gefaltetes Zwischenelement der Ortlerzone» Pozzi: «Scaglia della Nagler»). Il profilo mostra invece come questa Dolomia Principale sia da attribuire alla Falda dell'Ortles, avendo al tetto, in Val Cancano, la Formazione di Kössen. Ancora più a W, la Formazione di Kössen si immerge al di sotto della Formazione di Allgäu affiorante nel Lago di San Giacomo di Fraele. Ne consegue perciò che la Scaglia della Nagler Auctt. è parte integrante della Falda dell'Ortles.

Le pieghe D1 nelle formazioni di Kössen e di Allgäu in Valle di Fraele hanno assi con orienta-

zione molto variabile (fig. 52b). Generalmente le pieghe a scala centimetrica-decimetrica hanno assi paralleli alla lineazione di estensione, mentre le pieghe a scala maggiore possono avere assi a grande angolo con la lineazione di estensione. In un singolo affioramento a S di M. Solena il Plattenkalk alla base dell'Accavallamento Trupchun-Braulio è deformato da pieghe decimetriche D1 i cui piani assiali, paralleli tra loro, immergono verso NE (fig. 52c). Gli assi sono invece fortemente dispersi su di un grande cerchio che si approssima molto bene alla giacitura media dei piani assiali. La lineazione d'estensione è ugualmente ben sviluppata ed orientata NW-SE. In base a questa geometria si può affermare che siamo in presenza di un piegamento D1 fortemente non cilindrico a scala decimetrica («sheath folds») che produce la forte dispersione degli assi.

In Valle di Fraele l'Accavallamento Trupchun-Braulio rappresenta il contatto tra la Falda dell'Ortles e le varie scaglie di sedimenti della Zona a scaglie dell'Umbrail-Chavalatsch, situata immediatamente al tetto della Falda dell'Ortles. Come osservabile in tav. 6 e nel profilo A-A' di fig. 49 la Zona a scaglie dell'Umbrail-Chavalatsch è costituita, andando da E verso W, da: Scaglia dello Stelvio, Scaglia della Val Cancano e Scaglia del

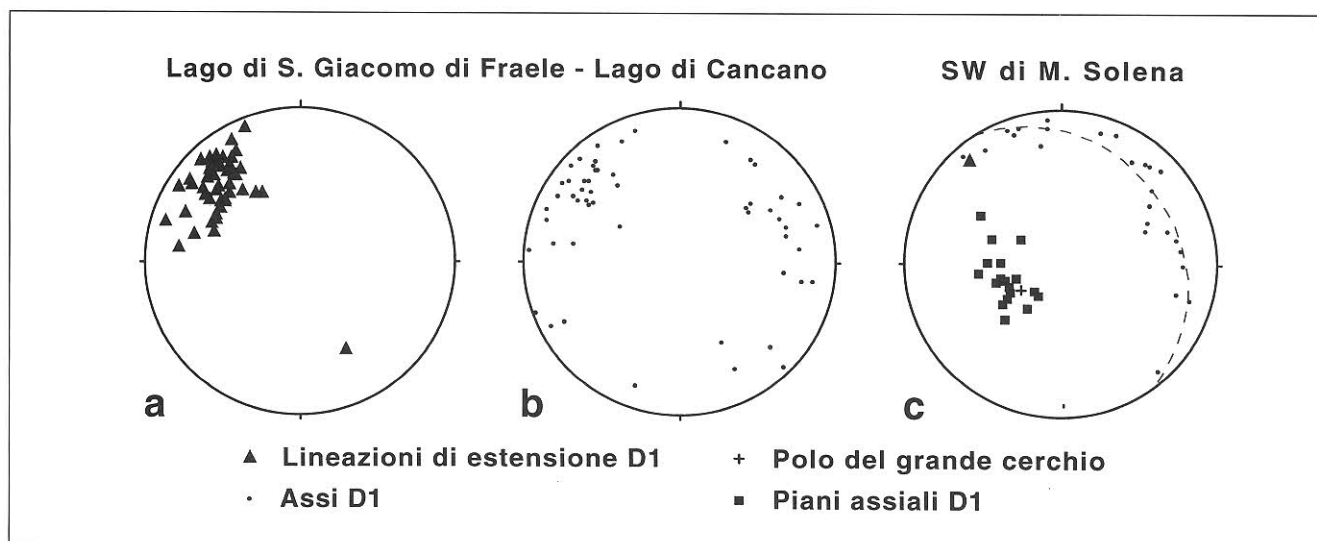


Fig. 52 – Elementi strutturali D1 nella Falda dell’Ortles in Valle di Fraele (cfr. tav. 6). (a) Lineazioni di estensione nell’area compresa tra il Lago di S. Giacomo di Fraele e il Lago di Cancano, 52 misure. (b) Assi D1 nell’area tra il Lago di S. Giacomo di Fraele e il Lago di Cancano, 55 misure. (c) Assi D1, lineazione D1 e piani assiali D1 in un singolo affioramento (Plattenkalk) a SW di M. Solena, immediatamente alla base dell’Accavallamento Trupchun-Braulio.

– Stereographic projections (equal area, lower hemisphere) of D1 structural data from the Ortles nappe in Valle di Fraele (see plate 6). (a) Stretching lineations from the Lago di S. Giacomo di Fraele-Lago di Cancano area, 52 data. (b) Fold axis from the Lago di S. Giacomo di Fraele-Lago di Cancano area, 55 data. (c) D1 fold axis, stretching lineation, and foliation from a single outcrop (Plattenkalk) SW of M. Solena, just beneath the Trupchun-Braulio thrust.

M. Solena. Esse sono costituite quasi esclusivamente da Dolomia Principale, Formazione di Raibl e basamento.

Le scaglie dello Stelvio, della Val Cancano e del M. Solena hanno una posizione intermedia tra la Falda dell’Ortles e la Falda di Quattervals. Esse diminuiscono progressivamente di spessore verso W, fino a scomparire lungo la sponda settentrionale del Lago di S. Giacomo di Fraele, ove la Falda di Quattervals poggia direttamente sulla Falda dell’Ortles.

In queste scaglie la porzione di basamento è nettamente subordinata rispetto ai sedimenti, ma diventa sempre più importante andando verso E (profilo A-A’ di fig. 49). Il basamento presente tra la Scaglia dello Stelvio e quella della Val Cancano è esiguo (SE di M. Solena, vedi tav. 6); esso diventa molto più importante nell’area del Piano di Pedenolo, ed aumenta ulteriormente di spessore verso E (M. Braulio-Pass Umbrail, tav. 1), rappresentando il basamento della Zona a scaglie dell’Umbrail-Chavalatsch. Le scaglie dello Stelvio, della Val Cancano e del M. Solena hanno una posizione geometricamente inferiore rispetto alla Falda di Quattervals; ne consegue che in Valle di Fraele-Valle Forcola una parte della Zona a scaglie dell’Umbrail-Chavalatsch è in posizione sottostante rispetto alla Falda di Quattervals.

5.1.3. – Parte orientale: Valle di Fraele-Massiccio dell’Ortles

La prima fase deformativa (D1) ha limitati effetti in quest’area, ove la Falda dell’Ortles è costituita essenzialmente da Dolomia Principale (> 1600 m di spessore secondo BONSIGNORE *et alii*, 1969), in cui si osservano solamente pieghe aperte a grande scala. La Dolomia Principale del Massiccio dell’Ortles è una serie stratigrafica continua (Dal Piazz, 1936; DAL PIAZZ, 1938; BONSIGNORE *et alii*, 1969; FURRER, 1985): viene quindi esclusa la complicata struttura interna a scaglie postulata da STAUB (1937; 1964) e KAPPELER (1938).

Le formazioni al tetto della Dolomia Principale (Plattenkalk) e alla sua base (sedimenti del Trias medio) sono invece fortemente milonitizzate a causa dei movimenti lungo gli accavallamenti Trupchun-Braulio e dello Zebrù. Solo la parte sommitale della Dolomia Principale, più ricca in calcite al passaggio con il Plattenkalk, presenta pieghe metriche e decametriche (fig. 53). Questa zona intensamente deformata alla base dell’Accavallamento Trupchun-Braulio è stata in passato considerata un’unità autonoma situata a tetto della Falda dell’Ortles e come tale cartografata: («Gefaltetes Zwischenelement der Ortlerzone» di HESS (1953) e «Scaglia della Nagler» di POZZI (1965)). Le evidenze di campagna indicano

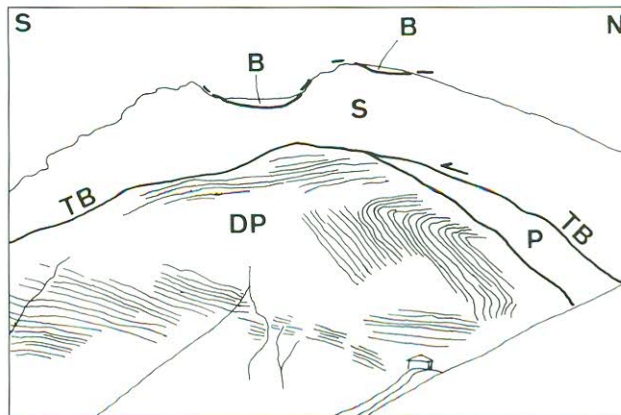
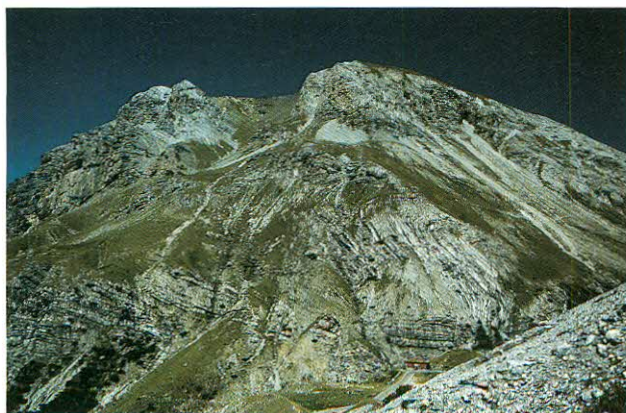


Fig. 53 – Piega D1 nella parte sommitale nella Dolomia Principale della Falda dell’Ortles. Valle del Braulio presso la II Cantoniera S.S. dello Stelvio. L’asse della piega è orientato NW-SE (300/26), parallelo alla direzione di trasporto lungo l’Accavallamento Trupchun-Braulio. DP: Dolomia Principale, P: Plattenkalk, S: Dolomia Principale della Scaglia dello Stelvio, B: Basamento della Zona a Scaglie dell’Umbrail-Chavalatsch, TB: Accavallamento Trupchun-Braulio.

– D1 folds in the Dolomia Principale of the Ortler nappe. Valle del Braulio near the «II Cantoniera» along the Stelvio road. Fold axis orientation is 300/26, parallel to the D1 transport direction of the Trupchun-Braulio thrust. DP: Dolomia Principale, P: Plattenkalk, S: Dolomia Principale of the «Stelvio slice», B: Basement rocks of the Umbrail-Chavalatsch imbricates, TB: Trupchun-Braulio thrust.

invece che questa zona a pieghe è parte integrante della Falda dell’Ortles.

Il parallelismo delle lineazioni presenti nella parte orientale della Falda dell’Ortles nelle miloniti lungo l’Accavallamento dello Zebrù e lungo l’Accavallamento Trupchun-Braulio (tav. 8, fig. 54a, b), e lo stesso senso di trasporto presente in entrambi gli accavallamenti, rende possibile una loro attribuzione alla medesima fase deformativa (D1).

5.1.4. – *Stile del piegamento D1 nella Falda dell’Ortles*

Lo stile del piegamento all’interno della Falda dell’Ortles durante la fase D1 (Fase Trupchun) cambia da W verso E, con un passaggio da pieghe aperte a pieghe isoclinali e con un progressivo aumento verso E del grado di non-cilindricismo.

Nella parte occidentale della Falda dell’Ortles (Engadina, Val Trupchun) la non cilindricità del

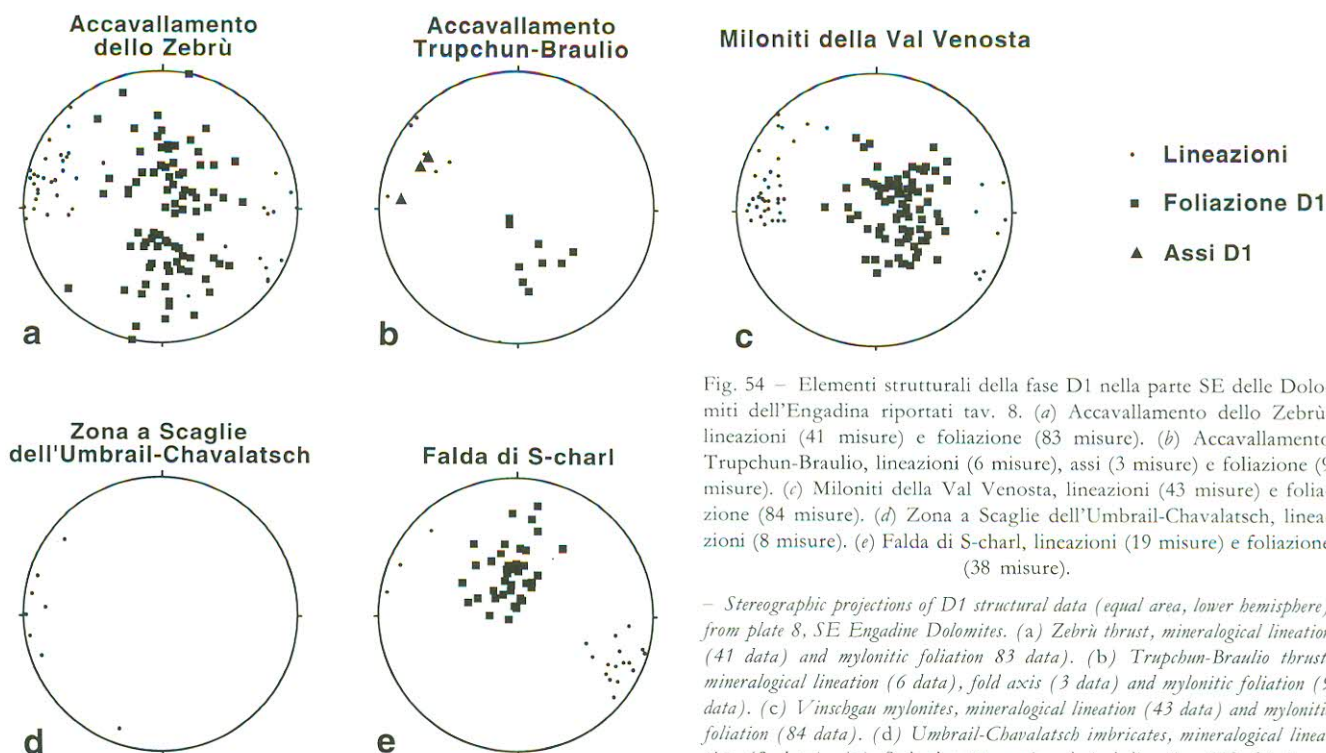


Fig. 54 – Elementi strutturali della fase D1 nella parte SE delle Dolomiti dell’Engadina riportati tav. 8. (a) Accavallamento dello Zebrù, lineazioni (41 misure) e foliazione (83 misure). (b) Accavallamento Trupchun-Braulio, lineazioni (6 misure), assi (3 misure) e foliazione (9 misure). (c) Miloniti della Val Venosta, lineazioni (43 misure) e foliazione (84 misure). (d) Zona a Scaglie dell’Umbrail-Chavalatsch, lineazioni (8 misure). (e) Falda di S-charl, lineazioni (19 misure) e foliazione (38 misure).

– Stereographic projections of D1 structural data (equal area, lower hemisphere) from plate 8, SE Engadine Dolomites. (a) Zebrù thrust, mineralogical lineation (41 data) and mylonitic foliation 83 data). (b) Trupchun-Braulio thrust, mineralogical lineation (6 data), fold axis (3 data) and mylonitic foliation (9 data). (c) Vinschgau mylonites, mineralogical lineation (43 data) and mylonitic foliation (84 data). (d) Umbrail-Chavalatsch imbricates, mineralogical lineation (8 data). (e) S-charl nappe, mineralogical lineation (19 data) and foliation (38 data).

piegamento è rilevabile solo statisticamente dalla distribuzione degli assi delle pieghe, il cui massimo rimane comunque circa ortogonale alla direzione di trasporto delle falde (fig. 38d): il grado di dispersione aumenta verso E nell'area de Il Motto (fig. 38e). Nell'area Canale Torto-Cima di Pozzin sono presenti pieghe non cilindriche a scala chilometrica, mentre in Valle Pettini esse sono osservabili anche a scala decametrica. In Valle di Fraele, infine, si riconoscono pieghe non cilindriche alla scala dell'affioramento, con assi spesso paralleli alla lineazione di estensione.

5.1.5. – *Piegamenti post-D1 nella Falda dell'Ortles*

Nella Falda dell'Ortles non sono stati osservati effetti della fase D2 (Fase Ducan-Ela). La maggiore deformazione post-D1 è legata alla fase D3 (Fase Blaisun), che comunque non altera in modo sostanziale la strutturazione acquisita durante la fase D1.

La fase D3 genera pieghe aperte a grande scala, con assi diretti WNW-ESE e piani assiali generalmente subverticali (fig. 55d), o immergenti verso S (profilo E-E' in tav. 7). Non è mai stata riconosciuta una scistosità penetrativa e solo raramente si osserva un clivaggio di dissoluzione di piano assiale.

La fase D3 è responsabile dell'attuale struttura a sinforme con piano assiale subverticale della parte orientale della Falda dell'Ortles (fig. 33, tav. 8). La parte centrale della Falda dell'Ortles si trova quasi completamente nel fianco meridionale di tale sinforme D3: ne consegue che la stratificazione e tutti i contatti tettonici D1 siano ora immergenti verso N. Questa geometria è osservabile in fig. 58, tav. 14, tav. 7, e nei «contour» di tav. 2 e tav. 3. La non perfetta coincidenza tra la traccia della sinforme nella Falda dell'Ortles e nella Zona a Scaglie dell'Umbrail-Chavalatsch (fig. 33) può essere un effetto legato al piegamento di due superfici inizialmente non parallele tra loro (fig. 56).

Non è invece chiaro a quale deformazione tardiva attribuire le pieghe che verticalizzano l'Accavallamento dello Zebrù nell'esterna parte SE della Falda dell'Ortles (tav. 3), osservabili nella parete E del Gran Zebrù (fig. 55c) e nell'alta Val Zebrù (fig. 55b). Diversamente rispetto alle normali direzioni D3, esse hanno un asse orientato NE-SW. Queste pieghe sono però tagliate da filoni e apofisi intrusive e la loro età deve essere necessariamente pre-32 Ma (ARGENTON *et alii*, 1980; DAL PIAZ *et alii*, 1988). Ulteriori deformazioni post-D1 sono legate ai movimenti lungo la Linea dell'Engadina

e lungo la Faglia di Glorenza. Questi due lineamenti sono faglie normali (con un'importante componente di trascorrenza sinistra nel caso della Linea dell'Engadina) di direzione NE-SW e con giacitura da subverticale a immergente verso SE (fig. 33). Lungo le due faglie si osserva un abbassamento verso E del tetto, cioè del blocco sudorientale, rispetto al letto. Questo movimento deforma le rocce di tetto con sinformi a grande scala ad asse parallelo alla direzione delle faglie. Come discusso da FROITZHEIM *et alii* (1994) l'attività lungo la Linea dell'Engadina è posteriore al piegamento D5 (Fase Domleschg), di conseguenza le sinformi sono indicate in fig. 33 come «sinformi post-D5».

5.2. – STRUTTURA DELLE UNITÀ SOTTOSTANTI LA FALDA DELL'ORTLES

5.2.1. – *La Falda di Campo*

Con il termine Falda di Campo (STAUB, 1924) si intende la grande estensione di rocce di basamento (filladi, paragneiss, ortogneiss, metabasiti, marmi, rocce granitoidi, ecc.) con impronta metamorfica di età ercinica o più antica affioranti a S delle Dolomiti dell'Engadina e a N della Serie del Tonale. Lungo il suo margine occidentale, la Falda di Campo è accavallata sopra la Falda Bernina (a SW) e la Falda di Languard (a NW). L'accavallamento della Falda di Campo sopra la Falda di Languard è sicuramente di età alpina ed è bene esposto in Valle Federia, alla base della Falda dell'Ortles.

Uno studio della struttura interna della Falda di Campo esula dai fini del presente lavoro, si vedano sull'argomento i lavori di SPILLMANN (1993) e HOINKES & THÖNI (1993).

5.2.2. – *La Falda di Languard*

La Falda di Languard (TRÜMPY, 1913) appartiene all'Austroalpino superiore: poggia a S sopra la Falda del Bernina e, a NE, sull'Unità del Mezzaun (fig. 2). Verso W essa è limitata dalla Linea dell'Engadina, mentre a E e a NE è sovrascorsa dalla Falda di Campo e dalla Falda dell'Ortles. Il corpo principale della Falda di Languard è composto quasi esclusivamente da rocce del basamento ercinico. In prossimità del contatto con la Falda dell'Ortles e con la Falda di Campo, la Falda di Languard è caratterizzata dalla presenza di numerose scaglie di copertura che diminuiscono progressivamente di spessore verso W (fig. 57b).