

**EVOLUZIONE DEFORMATIVA DELLE ALPI CARNICHE CENTRO OCCIDENTALI:
PALEOTETTONICA E TETTONICA NEOALPINA (***)**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 261
ABSTRACT	" 261
PREMESSA	" 261
CENNI STRATIGRAFICI	" 262
TETTONICA SINSEDIMENTARIA CARBONIFERO-PERMIANA	" 262
TETTONICA SINSEDIMENTARIA MESOZOICA	" 264
TETTONICA COMPRESSIVA ALPINA	" 265
CONCLUSIONI	" 267
BIBLIOGRAFIA	" 269

RIASSUNTO

Sulla base di un rilevamento stratigrafico-strutturale della zona di Forni Avoltri (Alpi Carniche occidentali) viene valutata l'evoluzione permo-carbonifera e permo-triassica dell'omonimo trugolo tettonico sinsedimentario, precisando gli orientamenti dei relativi sistemi di paleofaglie e l'età della loro attivazione, al fine di comprendere il ruolo da essi ricoperto durante lo sviluppo delle successive compressioni alpine. Queste ultime sono state separate, sulla base degli effetti rilevati, in due fasi distinte. La prima (mesoalpina) è collegabile alle strutture dinariche vergenti a SW dovute a sforzi massimi orientati circa NE-SW ed attivi durante il Paleogene alto. La seconda (neoalpina) è scindibile in due stadi: il più antico (Miocene ?medio-Pliocene ?inferiore) dominato da compressioni massime N-S, il più recente (Plio-?Pleistocene) caratterizzato da sforzi orientati NW-SE. Complessivamente i due stadi deformativi potrebbero rappresentare una variazione locale dello sforzo massimo, riconoscibile in tutto il comparto alpino carnico e presumibilmente riconducibile ad un σ_1 costantemente orientato NNW-SSE durante l'intera fase neoalpina.

ABSTRACT

The Forni Avoltri area is located in the western Carnic Chain which belongs to the eastern Southern Alps. The work suggests a kinematic solution to the complex Alpine tectonic setting of the western not metamorphic Palaeocarnic Chain.

It is based on both macrotectonic field mapping and mesostructural data to infer the trends of the maximum compressions and the induced deformations.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Via S.Maria 53, 56100 Pisa

(**) Via Udine 14, 33054 Lignano Sabbiadoro (UD)

(***) Lavoro eseguito con il contributo M.U.R.S.T. 40%. "Analisi strutturale dei thrust neogenico-quadernari dell'Appennino del Maghreb e delle Alpi meridionali" (Resp. Naz. G. Papani, resp. loc. C.Venturini).

The stratigraphic investigations, within the palaeotectonic and the neoalpine tectonic data, depict a complex interference pattern between the old and new deformation structures. The Late Carboniferous and the Permian-Triassic sinsedimentary block faulting compelled the Alpine maximum stresses to drive deformations following some prearranged tracks. The Neoalpine phase can be splitted up into two deformation stages with different maximum stress orientations (N-S and NW-SE). Some thrusts developed in the former stage were trascurrently reactivated during the later one. Trying to interpret the kinematics of the western Carnic Alps it has been of main significance to recognize the Forni Avoltri tectonic trough which developed in Late Carboniferous - Early Permian times as narrow N50°E trending sinsedimentary basin.

PAROLE CHIAVE: Sudalpino orientale, Alpi Carniche, tettonica alpina, cinematica alpina, paleotettonica.

KEY WORDS: Eastern Southern Alps, Carnic Alps, Alpine tectonics, Alpine kinematics, palaeotectonics.

PREMESSA

Il settore carnico-giulio costituisce la porzione orientale della Catena Sudalpina, altrimenti definita come Alpi Meridionali. Stratigraficamente comprende una successione di terreni databili dall'Ordoviciano al Miocene superiore. Il nucleo più antico (Ordoviciano-Carbonifero inf.) dimostra un evidente retaggio deformativo ercinico (CASTELLARIN & VAI, 1981; VAI *et. al.*, 1984; VENTURINI 1990, 1990a) con assi strutturali orientati N120°E (assi che durante le compressioni alpine subiscono in certi tratti ben quantificabili torsioni) e vergenza complessiva delle strutture verso SSW (SELLI, 1963; VAI, 1979; KREUTZER, 1990; VENTURINI, 1990).

Il nucleo ercinico affiorante è confinato nella porzione più settentrionale ed elevata del settore e risulta limitato verso nord dalla Linea della Gailtal, segmento orientale dell'esteso Lineamento Periadriatico.

Il settore carnico-giulio costituisce una fascia strutturale di cerniera tra le Dolomiti e le Dinaridi. Le deformazioni neogeniche ed il corrispondente raccorciamento sono qui estremamente più sensibili che nelle due zone laterali (CASTELLARIN, 1984).

I rapporti deformativi fra le tre zone strutturali, rispettivamente dolomitica, carnico-giulia e dinarica, sembrano essere guidati dalla presenza di particolari linee ancestrali subverticali di età carbonifero-triassica e mesozoica, sollecitate da riattivazioni multiple durante l'attività dei campi di sforzo d'età alpina (VENTURINI, 1990a).

Inoltre il particolare assetto strutturale e l'esasperato

raccorciamento propri della zona carnica si prospettano come il risultato dell'interazione tra le direzioni alpine di compressione succedutesi nel settore durante il Cenozoico, e gli orientamenti delle strutture fragili di volta in volta indotte e/o riattivate.

Il sovrapporsi nel tempo e nello spazio di sforzi compressivi massimi di età alpina variamente orientati, unitamente alla riattivazione di strutture sia ancestrali che più recenti ha contribuito a rendere l'evoluzione cinematica del settore carnico estremamente complessa.

Questo è accertabile sia a scala sopra-regionale quanto investigando delle aree più ridotte, comprese tra i 50 e i 100 km² che ancora offrono la potenzialità di un'indagine completa e la possibilità di formulare delle interpretazioni logiche sufficientemente documentabili. Al di sotto di tale estensione le informazioni raccolte diventano troppo frammentarie per essere interpretate.

Il settore delle Alpi Carniche centro occidentali situato a ridosso della Linea della Val Bortaglia *Auct.* ed esteso da

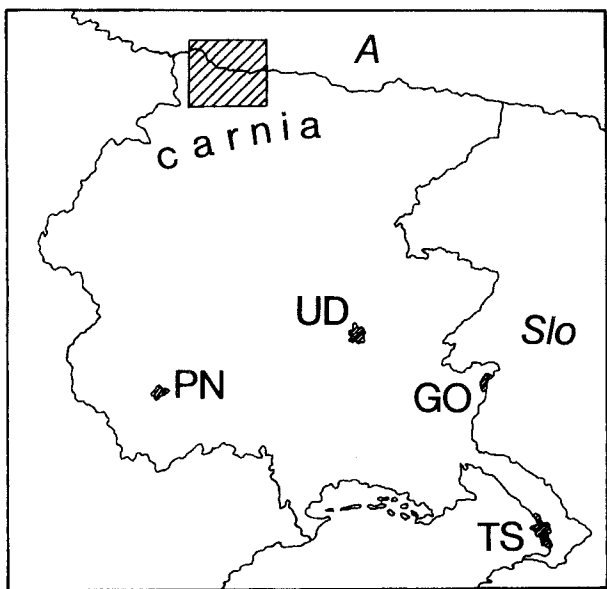


Fig. 1 - Ubicazione del settore investigato.

Ravaschetto a Forni Avoltri (Fig. 1), ben risponde a tali premesse e ricopre un ruolo di primaria importanza nell'ambito dell'evoluzione deformativa alpina del Sudalpino orientale. I primi sintetici risultati delle indagini compiute in questo settore sono stati proposti in alcuni recenti lavori generali (VENTURINI, 1990, 1990a, 1991a) riguardanti il dominio carnico nel suo complesso.

Con il presente lavoro ci si propone di documentare i dati di terreno discutendo in dettaglio le ipotesi concernenti l'evoluzione paleotettonica della zona durante l'intervallo permo-carbonifero e l'importanza che le relative strutture sinsedimentarie hanno assunto per le compressioni neogeniche.

CENNI STRATIGRAFICI

La successione stratigrafica del settore esaminato è divisibile in 3 sequenze principali (Fig. 2):

1) Sequenza ercinica (Ordoviciano-Carbonifero inf.).

Risulta composta da un insieme di formazioni ed unità informali, da debolmente a non metamorfiche, impilate in serrate scaglie tettoniche prevalentemente SSW vergenti. A loro volta tali strutture risultano ripiegate coassialmente in macroantiformi plurichilometriche orientate in origine, prima delle compressioni alpine, N120°E (VENTURINI, 1990).

Tale complesso motivo strutturale (VENTURINI, 1990, 1991a), unitamente alla saltuaria e debole impronta metamorfica ad esso immediatamente precedente, è riferibile all'evento deformativo ercinico e più precisamente alla fase asturica (leoniana), localmente denominata carnica (VAL, 1976).

2) Sequenza permo-carbonifera (Carbonifero sup.-Permiano inf.).

Risulta molto ben sviluppata nel settore carnico centro orientale. Nell'area studiata affiora in ridotti nuclei che localmente risentono marcatamente dei diastrofismi di età alpina. Nondimeno il riconoscimento dei relativi sedimenti di mare basso e/o aperto e paralici con locali *facies* continentali, deposti in netta discordanza angolare sui precedenti, risulta di estrema importanza essendo confinati in ristretti truogoli sinsedimentari. Tali fosse tettoniche risultano regionalmente impostate lungo due principali direttrici, la N120°E che ricalca gli orientamenti delle strutture compressive erciniche, e la N50°E, coniugata con la prima (VENTURINI, 1990, 1991a).

3) Sequenza permo-triassica (Permiano medio-Triassico medio).

È costituita da sedimenti che giacciono alternativamente in netta discordanza sul substrato orogenico ercinico, oppure ricoprono in *disconformity* o con deboli discordanze angolari i depositi della precedente sequenza permo-carbonifera.

Mentre le due precedenti sequenze hanno una validità essenzialmente locale, le unità della sequenza permo-triassica sono in massima parte estese, con caratteri e *facies* comuni, alla scala del Sudalpino centro orientale.

Il limite inferiore della sequenza coincide con il passaggio Permiano inferiore-medio (FLÜGEL, 1986; CASSINIS *et al.*, 1988) ed è determinato dall'insorgere dei movimenti Saalici responsabili di sollevamenti verticali modesti ma diffusi su scala sud-europea.

TETTONICA SINSEDIMENTARIA CARBONIFERO-PERMIANA

Nell'intervallo compreso tra il Carbonifero sup. ed il Permiano sup. sono documentabili due pulsazioni tettoniche. Entrambe sono espresse da movimenti verticali con tutta probabilità riconducibili a moti transtensivi (VENTURINI, 1983, 1986, 1990; MASSARI, 1986) inquadrabili nel più ampio contesto megatrascorrente destrorso attivo fin dal Carbonifero sup. tra le placche africana ed euroasiatica (ARTHAUD & MATTE, 1975, 1977; MATTE, 1986).

Nell'area carnica gli acmi delle due pulsazioni tettoniche precedono di poco l'inizio della deposizione rispettivamente delle sequenze permo-carbonifera e permo-triassica.

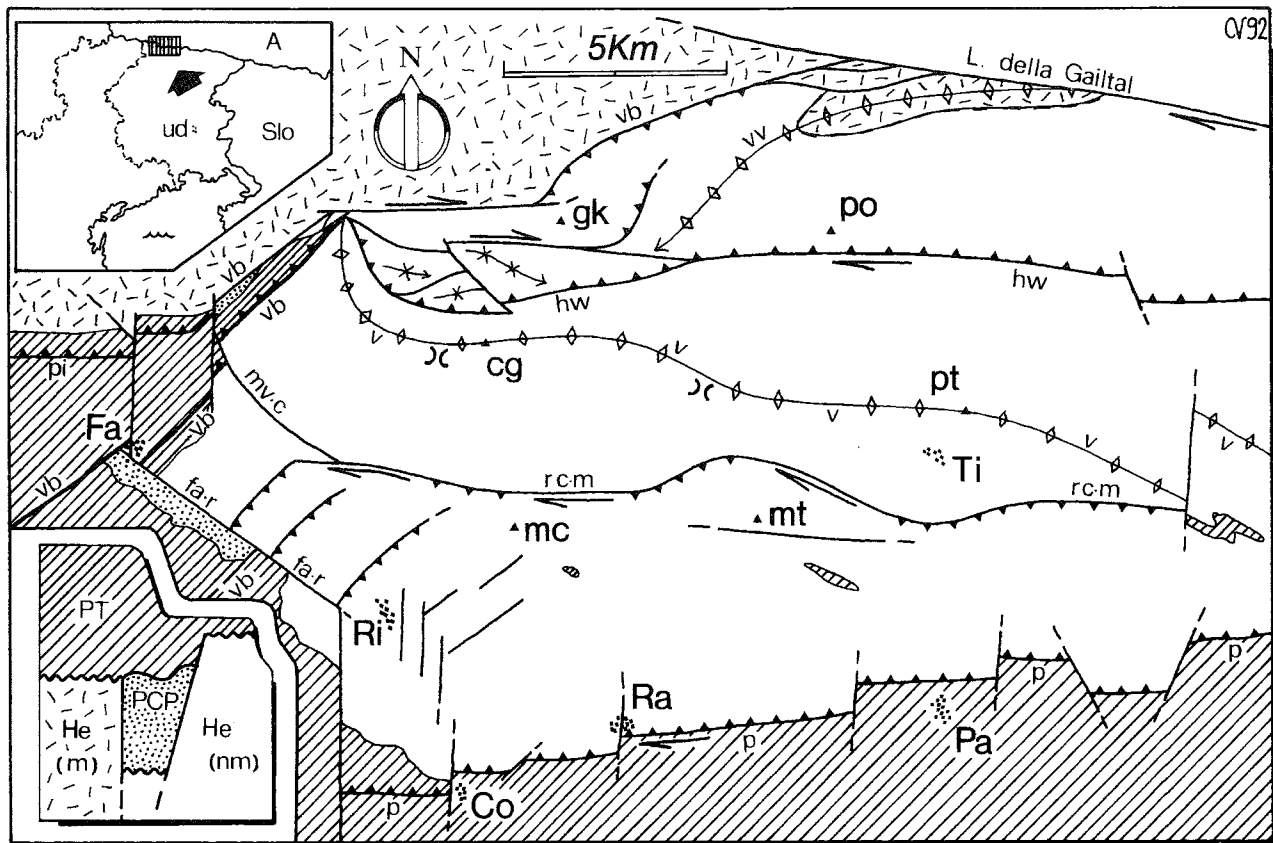


Fig. 2 - Carta geologica schematica e schema stratigrafico sintetico delle Alpi Carniche centro occidentali. **Stratigrafia:** He (m): sequenza ercinica metamorfica (Ord.- Carbon. inf.); He (nm): sequenza ercinica in *facies* normale (Ord. sup.- Carbon. inf.); PCP: sequenza permo-carbonifera (Carbon. sup.-Permiano inf.); PT: sequenza permo-triassica (Permiano ?med.-Trias med.). **Tettonica:** vb: Linee della Val Bordaglia; hw: Linea del Hocwipfel (-Polinik); pi: Linea di Pierabech; rc-m: Linea dei Rii Chiaula e Moscardo; p: Linea di Paluzza; fa-r: Linea di Forni Avoltri-Rigolato; mv-c: Linea M. Vas-Collina; vv: Antiforme (ercinica) della Val Valentina; v: Antiforme (ercinica) del M. Volaja (-M. Coglians-Cellon-Pal Piccolo-Freikofel-Pizzo di Timau-Cuestalta). **Toponimi:** Fa: Forni Avoltri; Ri: Rigolato; Co: Comeglians; Ra: Ravascletto; Pa: Paluzza; Ti: Timau; po: Polinik; gk: Gamskofel; cg: M. Coglians; pt: Pizzo di Timau; mc: M. Crostis; mt: M. Terzo.

L'area rilevata offre l'opportunità di riconoscere due sistemi di faglie riconducibili a questi due eventi tettonici.

Elementi permo-carboniferi

Linee Della Val Bordaglia

Corrispondono alla Linea della Val Bordaglia *Auct.* Si è reso necessario lo sdoppiamento della linea in due segmenti distinti denominati rispettivamente NW e SE. Per entrambi l'orientamento si attesta sui N50°E.

Riconosciuta da GORTANI (1921) viene interpretata da SCHWINNER (1925) come struttura attivata in età alpina. Interpretazione questa condivisa da SELLI (1946) che qualche anno più tardi (SELLI, 1963) ne suggerisce una precoce impostazione ercinica come sovrascorrimento di primaria importanza che accavalla verso SE la successione paleozoica debolmente metamorfica sopra quella in *facies* normale. Più tardi FRASCARI & VAI (1981) definiscono la Linea della Val Bordaglia come la ripresa in età alpina di una struttura tardo-ercinica (permo-carbonifera).

Studi recenti (VENTURINI, 1990) mediando le soluzioni proposte da SELLI (1963) e da FRASCARI & VAI (1981), considerano invece il sollevamento del settore debolmente metamorfico come dovuto a movimenti tardo-ercinici verticali attivi lungo la linea e propongono per la stessa una

energica riattivazione polifasica di età alpina.

Linea della Val Bordaglia NW

È caratterizzata da un assetto N50°E/Verticale ed è ben riconoscibile nel suo tratto settentrionale, verso il confine italo-austriaco. Osservando la cartografia geologica dell'Austria (SCHÖNLAUB, 1985) è possibile interpretarne la prosecuzione sulla base del medesimo contatto tettonico esistente tra i terreni metamorfici e gli stessi in *facies* normale (Fig. 6).

La sua prosecuzione meridionale, inizialmente sepolta da un sovrascorrimento alpino orientato E-W e vergente a sud, sembra poter ragionevolmente proseguire sotto le alluvioni del fondovalle il quale, con direzione N50°E, congiunge gli abitati di Forni Avoltri e Cima Sappada.

Complessivamente la Linea della Val Bordaglia NW, comprensiva dei tratti sepolti e presunti, si estende per quasi 20 Km, dalla Gailtal a Cima Sappada. Una sua prosecuzione in territorio veneto è presunta ma difficilmente accertabile.

Linea della Val Bordaglia SE

Linea complessa, lunga 35 Km, che con direzione N50°E ed immersione da sub-verticale a 50°NW corre a

breve distanza dalla precedente (max 3 Km) tendendo a confluire con essa verso il territorio austriaco e fondendosi in un'unica traccia o fascio di linee ravvicinate. La sua prosecuzione verso SW la porta a congiungersi ed identificarsi con la faglia Pieve di Cadore e ancora oltre nella Linea della Valsugana (HERITSCH, 1936; VENTURINI, 1990a).

In territorio carnico le due linee della Val Bordaglia individuano un settore in progressivo rapido restringimento tettonico verso nordest. Esternamente ad esse dominano i terreni paleozoici, debolmente metamorfici a NW, in *facies*

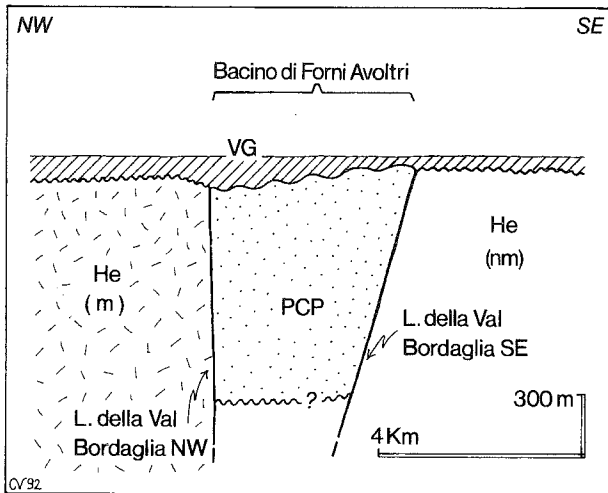


Fig. 3 - Ricostruzione palinspastica del Bacino permo-carbonifero di Forni Avoltri (sezione trasversale) i cui depositi (PCP) vengono saturati in paraconcordanza da quelli della Formazione di Val Gardena (VG). - He(m): sequenza ercinica metamorfica; He(nm): sequenza ercinica in *facies* normale (Cfr. Fig. 6).

normale a SE. Entrambe le successioni erciniche risultano ricoperte con netta discordanza angolare dalle *Arenarie della Val Gardena* (Permiano ?med.- sup.).

Al contrario, nel settore interno alle due linee fra il substrato ercinico (in *facies* normale) e la copertura permiana si interpongono i depositi della sequenza permo-carbonifera con i noti affioramenti posti a SW di Forni Avoltri (BRAGA *et al.*, 1971) e quelli, appena scoperti, ubicati nel tratto settentrionale, nei pressi di Casera Bordaglia di Sotto. Tali evidenze stratigrafiche consentono di interpretare le due linee come gli originali limiti tettonici di un bacino sedimentario di età permo-carbonifera ed orientamento N50°E. Le compressioni alpine hanno successivamente distorto e mascherato questo bacino (Fig. 3). I rigetti verticali minimi che ne hanno consentito lo sviluppo sono sull'ordine dei 500 metri.

Elementi permiani

Linea Forni Avoltri-Rigolato

È una faglia verticale orientata N120°E che separa due nuclei ad evoluzione distinta. In quello posto a SW le *Arenarie della Val Gardena*, con alla base la Breccia di Tarvisio paraconcordante sui depositi permo-carboniferi, raggiungono quasi 300 m di spessore misurabili nel Rio Alpo (VENTURINI, 1986). Nell'altro nucleo, a NE, non sembra poter superare i 200 m anche se le condizioni di affioramento non sono altrettanto ottimali.

Linea Monte Vas - Collina

Faglia ad orientamento N120°E / Verticale che verso NW si torce progressivamente fino ad assumere la direzione N155°E / Verticale con moto orario di età tardo-alpina.

Nel lembo orientale, al Monte Crostis, è segnalata una successione di *Arenarie della Val Gardena* caratterizzata da poche decine di metri di spessore. Nel lembo occidentale, esteso verso la Linea Forni Avoltri-Rigolato, gli spessori delle stesse non sono stimabili con precisione, pur superando con certezza l'esigua potenza di quelli della fascia orientale e diversificandosi da essi dal punto di vista sedimentologico.

Il quadro tettonico di età permiana superiore che emerge dall'esame stratigrafico dell'area di studio evidenzia una suddivisione in settori subsidenti orientati N120°E (Fig. 4). Il dato è in accordo con il *trend* desunto alla scala dell'intera Catena Carnica (VENTURINI, 1986, 1990). I rigetti verticali massimi non superano i 300 metri.

L'evoluzione dell'area di studio durante l'intervallo considerato è quindi così riassumibile. Nel Carbonifero superiore-Permiano inferiore si attiva il sistema di faglie N50°E con individuazione del trugolo tettonico denominato Bacino di Forni Avoltri e del contemporaneo sollevamento del settore posto ad W dello stesso (HINDERER, 1991; MENEGAZZI *et al.*, 1991).

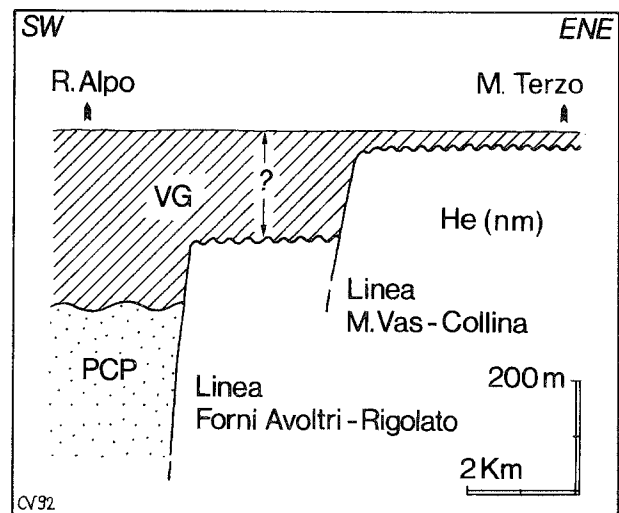


Fig. 4 - Variazioni di spessore registrate nel settore tra Forni Avoltri e Paluzza nell'ambito della Formazione di Val Gardena ed interpretazione della relativa evoluzione sinsedimentaria che risulterebbe regolata da blocchi tettonici orientati N120°E in progressiva lenta subsidenza.

Nel Permiano medio-superiore con la Fase Saalica si interrompe l'attività del sistema di faglie N50°E mentre si innescano lenti ma costanti movimenti lungo le direttrici N120°E, già nettamente attive nel settore carnico centro orientale durante il Permo-Carbonifero.

Di conseguenza muta l'intera fisiografia della zona, mentre in profondità l'intersezione a larghe maglie plurichilometriche dei due sistemi di faglie sinsedimentarie crea potenziali debolezze future lungo una configurazione a scacchiera.

TETTONICA SINSEDIMENTARIA MESOZOICA

In queste estreme zone settentrionali della Catena Sudalpina orientale non è possibile documentare eventuali

attività tettoniche sinsedimentarie di età mesozoica a causa del marcato sollevamento subito nelle ultime decine di milioni di anni. Sollevamento che, stimato dell'ordine di circa 600 m nell'ultimo milione di anni (~ 0,6 mm /a) (VENTURINI, 1991b), ha propiziato un rapido ed intenso denudamento erosivo. In altri settori della Catena Carnica sono comunque segnalate riprese dei movimenti verticali in età triassica, sia lungo il sistema di faglie N30°-50°E che N120°E (SELLI, 1963; FARABEGOLI *et al.*, 1985; VENTURINI, 1990). È quindi realistico ritenere che entrambi i sistemi presenti nell'area Forni Avoltri-Val Bortolaga, ed innescati nel Carbonifero superiore e nel Permiano medio-superiore, possano essere stati riattivati, almeno in parte, durante il Triassico articolando ulteriormente le complesse geometrie a blocchi.

Lo suggerisce la distribuzione degli affioramenti triassici a N della Linea Forni Avoltri-Rigolato (Fig. 6d). Essi risultano limitati dalle Linee della Val Bortolaga e circondati unicamente da affioramenti di basamento ercinico che si estende raggiungendo quote ben più elevate.

Questo rapporto geometrico, stratigraficamente anomalo, tra i due tipi di terreni, può essere giustificato solo richiedendo al Bacino di Forni Avoltri, orientato N50°E, un ulteriore impulso subsidente durante il Triassico.

Viene inoltre postulata per la Linea della Val Bortolaga *Auct.*, qui intesa come prosecuzione delle Linee Valsugana-Pieve di Cadore, una possibile riattivazione giurassica (VENTURINI, 1990a) sulla base di quanto suggerito per queste due ultime linee (VIEL, 1979; BOSELLINI *et al.*, 1981; WINTERER & BOSELLINI, 1981).

TETTONICA COMPRESSIVA ALPINA

Il complicato assetto tettonico della Catena Carnica, e più in particolare dell'area studiata che ne costituisce la porzione centro occidentale, è imputabile ad una sovrapposizione di eventi deformativi regolati da sforzi massimi variamente orientati nel tempo e nello spazio.

È utile ricordare che tali sforzi, succedutisi in un intervallo temporale compreso tra l'Oligocene e il Quaternario, hanno agito in un'area caratterizzata da un basamento ercinico che presentava assi strutturali orientati N120°E (VENTURINI, 1990) e risultava affetto da una frammentazione tettonica tardo- e post-ercinica, regolata da limiti verticali e sub-verticali diretti N50°E e N120°E ed interessanti anche le relative coperture.

Fase mesoalpina, compressioni NE-SW (dinariche)

Caratterizzata da uno sforzo massimo orientato circa NE-SW (COUSIN, 1981; DOGLIONI, 1987; DOGLIONI & BOSELLINI, 1987; VENTURINI, 1990, 1990a), ha determinato una serie di strutture che nel basamento sono solo raramente distinguibili da quelle erciniche, allineate lungo orientamenti pressochè coincidenti. L'analisi della copertura carbonifero-triassica consente comunque una loro precisa individuazione.

I depositi carbonatici triassici del Monte Vas, collocato tra le Linee della Val Bortolaga all'interno del trugolo tettonico di Forni Avoltri, conservano ancora ben decifrabile l'impronta deformativa dinarica modellata in un treno

di ampie pieghe pluri-tettoniche, ricostruibile alla scala dell'intero monte (Fig. 5), contenenti pieghe accessorie asimmetriche di ampiezza decametrica a vergenza costante verso SW mentre l'orientamento degli assi è N120°E.

È probabile che durante questa fase deformativa le Linee della Val Bortolaga abbiano giocato un ruolo di trascorrenza pura (*transfer fault*) a motivo sia del loro orientamento quasi parallelo rispetto agli sforzi compressivi massimi, quanto per l'intrinseca debolezza strutturale rivestita dalla fascia tra esse compresa.

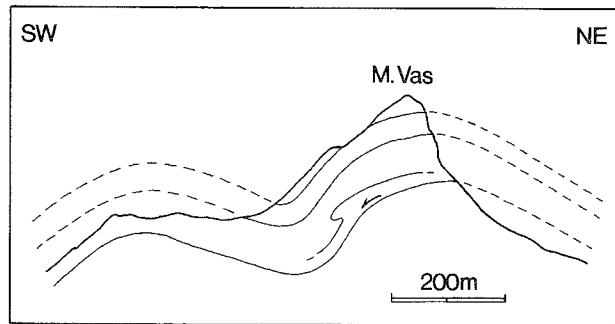


Fig. 5 - Aspetto strutturale del M. Vas (sequenza permo-triassica) dominato da ampi motivi plicativi debolmente asimmetrici riconducibili alle compressioni della Fase mesoalpina (dinarica) orientate, nel settore carnico, N30°E.

Fase neoalpina (I stadio), compressioni N-S

È durante questo stadio compressivo, realizzatosi nell'intervallo Miocene ?med. - Pliocene ?inf., che le forti deformazioni determinano il primo sensibile raccorciamento del settore carnico.

Le strutture indotte risultano ovunque tra le più chiare. Nel nucleo triassico del Monte Vas è riconoscibile un treno di pieghe pluri-tettoniche, aperte e simmetriche, orientate N90°E ed immergenti regolarmente verso W di 20°-30° per l'effetto di successive compressioni.

Sono rilevabili estesi piani di accavallamento orientati N90°E non collegati ad effetti plicativi e tuttavia innescanti ampi riallineamenti della stratificazione sulla direzione E-W. Il più importante tra questi risulta la Linea del Hochwipfel (-Polinik) estesa in direzione E-W per oltre 10 Km, immergente ad alto angolo verso N e responsabile di un sensibile raccorciamento in senso N-S stimato intorno ai 2 Km (VENTURINI, 1990). Al medesimo sistema appartiene la Linea di Pierabech, immergente a N con alto angolo e responsabile del seppellimento sotto i depositi paleozoici di parte della Linea della Val Bortolaga NW e della relativa porzione del Bacino di Forni Avoltri.

Lungo il bordo meridionale dell'area rilevata si sviluppa la Linea Comeglians-Ravaschetto, facente parte della più ampia struttura sud-vergente denominata Linea di Paluzza ed estesa per oltre 20 Km in direzione E-W. Con un piano immergente dai 60° agli 80° verso nord accavalla i terreni paleozoici antichi sopra la successione permiana (Formazioni di *Val Gardena* e a *Bellerophon*). È responsabile di un forte raccorciamento meridiano stimato intorno ai 5-6 Km (VENTURINI, 1986). È inoltre indicativo di una precedente eredità strutturale il fatto che terreni permiani (sottoscorsi da sud verso nord) possedano un deciso assetto della stratificazione orientato E-W mentre nei terreni paleozoici

antichi del lembo sovrascorso prevale ancora una netta strutturazione N120°E.

Tra le due fondamentali Linee del Hochwipfel e Comeglians-Ravaschetto si sviluppa la Linea dei Rii Chiaula-Moscardo, con caratteri di retroscorrimento sud-immergente esteso per una decina di Km in direzione E-W.

Parallelamente nell'intero settore rilevato si sviluppano due sistemi coniugati di faglie sub-verticali, orientati rispettivamente N30°E (trasc. sin.) e N140°E (trasc. des.), riconoscibili alla scala dell'affioramento e caratterizzati da rigetti limitati.

È da riferirsi a questo stadio deformativo anche l'impostazione del sistema di faglie sub-verticali orientate N-S che in particolare caratterizza il corso del Torrente Degano e la media Val Bortaglia.

Durante le medesime compressioni il sistema di faglie N50°E, che delimita il Bacino di Forni Avoltri, subì una riattivazione. L'originaria debole convergenza verso NE delle Linee della Val Bortaglia fece sì che gli effetti della trascorrenza coinvolgessero in modo drastico anche i sedimenti interni alla porzione nordorientale del bacino. Ne derivò una marcata trasposizione laterale degli stessi lungo un fitto fascio di faglie di neoformazione, anastomosate ed orientate parallelamente alle due direttrici esterne.

Una sezione trasversale alla porzione del bacino più fortemente compressa viene interpretata come una struttura a fiore positiva (VENTURINI, 1990).

Un altro motivo strutturale caratteristico di questo stadio compressivo è la torsione degli assetti ercinici, originariamente orientati N120°E. Questo è particolarmente visibile in un'area attigua al settore studiato in dettaglio

nei litotipi fittamente stratificati, e potenzialmente perciò più deformabili, della Formazione del *Hochwipfel*.

Il risultato è una configurazione dominata da una variazione continua degli assetti (120°-90°-120°-90°) sviluppata a scala chilometrica (Fig. 6b) e sovente replicata alla scala dell'affioramento (BURATTIN, 1990; MENEGAZZI *et al.*, 1991).

Fase neoalpina (II stadio), compressioni NW-SE

Questo secondo stadio deformativo della Fase neoalpina, già riconosciuto compiutamente nelle Alpi Carniche centro orientali, mostra anche in questo settore occidentale una marcata influenza con interferenze sulle precedenti strutture sviluppate alla meso- e macroscale.

I principali effetti tettonici sono rappresentati da due importanti motivi strutturali. Il primo consiste nell'inarcamento di una estesa antiforمة di età ercinica, sviluppata a scala plurichilometrica, che subisce un ripiegamento lungo un asse orientato N45°E / 60°SW. La macrostruttura costituisce l'intero massiccio del Monte Volaja e parte delle sue propaggini meridionali. Osservando la cartografia geologica austriaca (SCHÖNLAUB, 1985) è possibile ricostruire, negli omologhi terreni paleozoici, la medesima deformazione alpina con macropiegatura aperta ad asse sub-verticale che ripiega una seconda antiforمة ercinica (Antiforمة della Val Valentina, SCHÖNLAUB, 1979).

Le considerazioni cinematiche esposte nelle conclusioni portano a ritenere tali strutture come necessariamente legate a questo secondo stadio deformativo della Fase neoalpina (Fig. 6c,d).

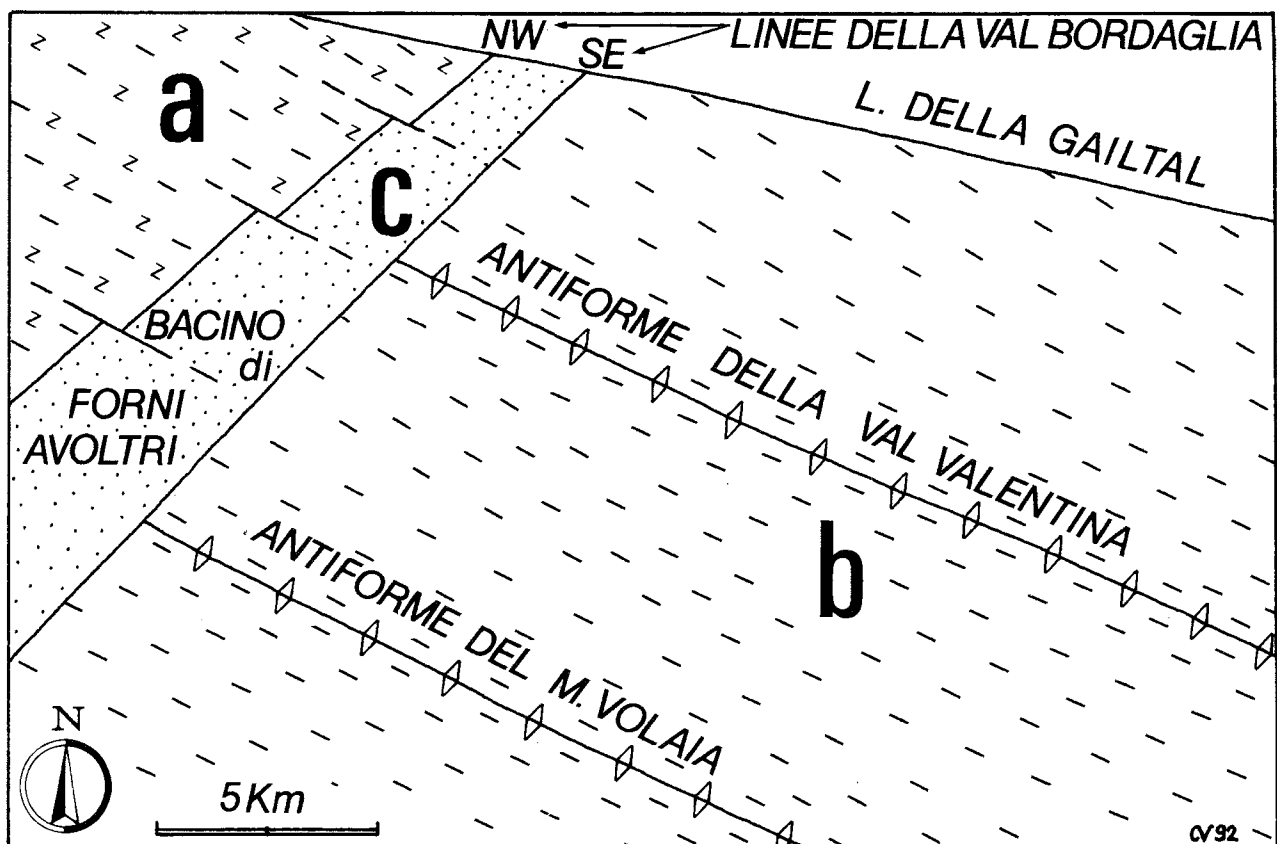


Fig. 6a - Palinspastica del settore investigato (visione in pianta) riferita all'intervallo permo-carbonifero. Le antiforمة risultano il prodotto dell'ultimo stadio deformativo dell'orogenesi ercinica. I trattini indicano la direzione della foliazione (settore a, sequenza ercinica metamorfica) o della stratificazione (settore b, sequenza ercinica in facies normale). Il settore c (puntinato) propone l'originaria estensione del bacino permo-carbonifero di Forni Avoltri.

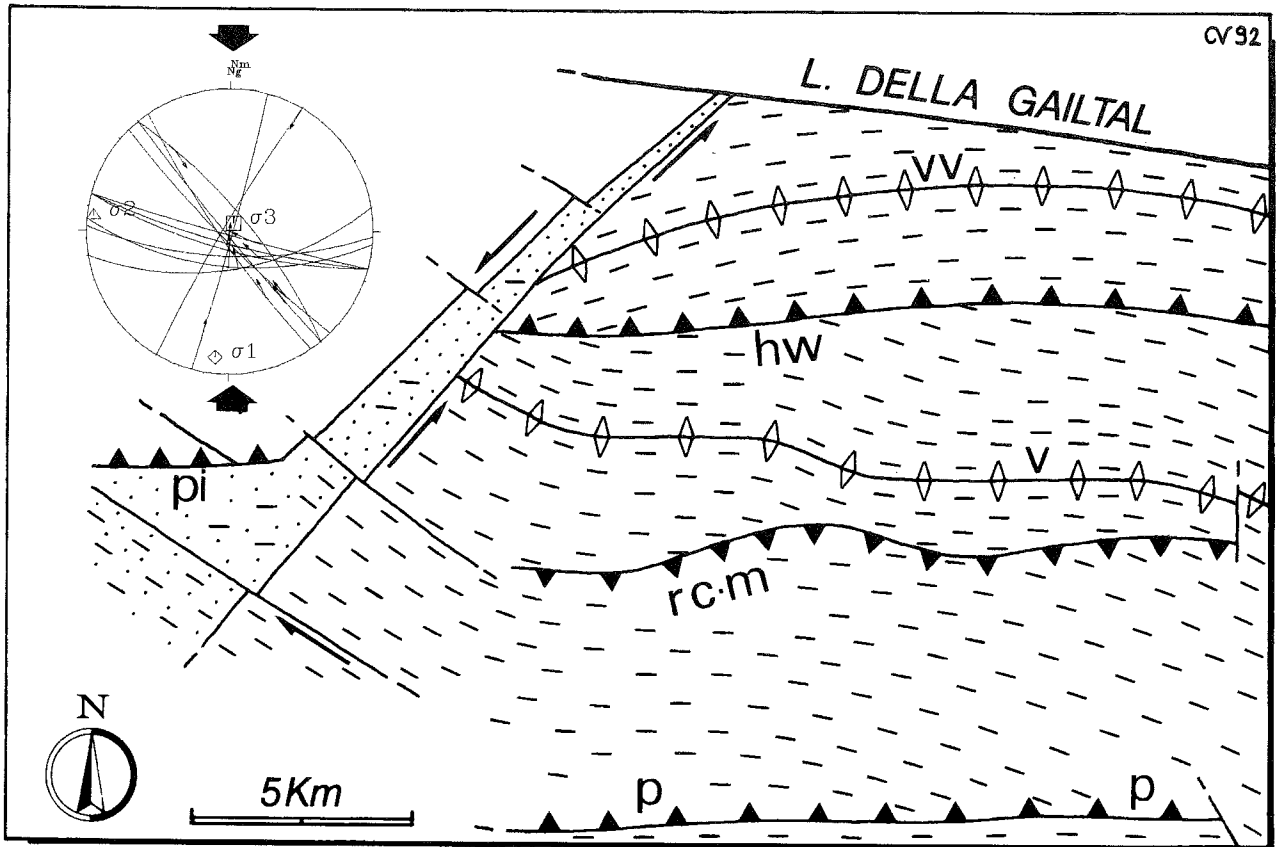


Fig. 6b - Deformazioni indotte dalle compressioni meridiane (Fase neoalpina, I stadio). **p**: Linea di Paluzza; **rc-m**: Linea dei Rii Chiaula e Moscardo; **hw**: Linea del Hochwipfel (-Polinik); **vv**: Antiforme (ercinica) della Val Valentina; **v**: Antiforme (ercinica) del M. Volaja. I trattini indicano le direzioni della stratificazione. La formazione dell'ampia curvatura nell'Antiforme della Val Valentina (**vv**), potrebbe essere già stata in parte propiziata durante la Fase mesoalpina da una trascorrenza sinistra della Linea della Val Bordaglia SE. Tale movimento di svincolo, meccanicamente prevedibile durante le compressioni dinariche orientate N30°E, attualmente non può essere dimostrato con evidenza. In alto a sinistra sono riportate le proiezioni dei piani di faglia e delle strie rilevati ad ovest del meridiano di Rigolato (DELZOTTO, 1991).

Il secondo importante motivo strutturale collegabile alle compressioni NW-SE può essere ravvisato in un cospicuo raccorciamento trasversale del Bacino di Forni Avoltri. Tale raccorciamento si presenta disomogeneo da zona a zona pur seguendo un progressivo incremento d'intensità spostandosi verso NE. Questo risultato è prodotto da una serie di riattivazioni in senso trascorrente di alcune linee e paleolinee, precedentemente trattate, che traslano e deformano una serie di blocchi tettonici disposti *en echelon*.

Tra queste da segnalare la trascorrenza destra della Linea del Hochwipfel (-Polinik) che, impostata lungo la fascia di confine tra Italia e Austria, trasla le Linee della Val Bordaglia con un rigetto di oltre 4 Km. Il moto destrorso di questa linea si associa alla contemporanea riattivazione sinistra del sistema di paleofaglie orientate N120°E (Linee Monte Vas-Collina e Forni Avoltri-Rigolato) che spezzano trasversalmente in tre tronconi il bacino di Forni Avoltri.

I binari trascorrenti sviluppano in essi un progressivo spostamento verso NW, congruente con la direzione dello sforzo compressivo massimo. Il più meridionale dei tre blocchi tettonici così individuati non risente affatto delle nuove compressioni, quello centrale si raccorcia moderatamente lungo i bordi mentre è il più settentrionale tra essi, confinato tra la Linea del Hochwipfel (N90°E/60°N) e la Linea Monte Vas-Collina (N120°E/Vert.) a subire i più drastici effetti con la decisa trasformazione della Linea della Val Bordaglia SE in scorrimento immergente ad alto angolo verso NW.

Il minore effettivo raccorciamento subito dal blocco

meridionale del Bacino di Forni Avoltri è dovuto al fatto che la deformazione in quel punto è stata in massima parte assorbita dagli accavallamenti NW vergenti, orientati N50°E, che numerosi risultano riconoscibili nella zona sudorientale dell'area indagata. Ad essi sono imputabili sensibili riorganizzazioni nell'assetto della stratificazione, distorta e riorientata su valori ad essi paralleli (Fig. 6c,d).

Osservando come la concentrazione di tali strutture diventi massima nel settore compreso tra gli abitati di Comeglians e Frassenetto (Fig. 6d) e risultati confinata a sud della Linea dei Rii Chiaula-Moscardo, si può avanzare l'ipotesi che quest'ultima durante le compressioni NW-SE sia stata riattivata con ruolo trascorrente destro, come comunemente accertato per le più importanti superfici tettoniche orientate E-W (CARULLI *et al.*, 1980; VENTURINI, 1990).

CONCLUSIONI

L'insieme dei dati tettonici rilevati nel settore di Forni Avoltri e delle reciproche interferenze individuate alla meso- e macroscale, mediati dal confronto con i dati bibliografici inerenti al settore carnico centro orientale (VENTURINI, 1990), hanno consentito la separazione di tre distinti eventi compressivi di età alpina.

Il più antico, di età paleogenica non meglio precisabile, è il risultato di uno sforzo massimo orientato circa NE-SW. Ha prodotto ampie strutture plicative regolarmente vergen-

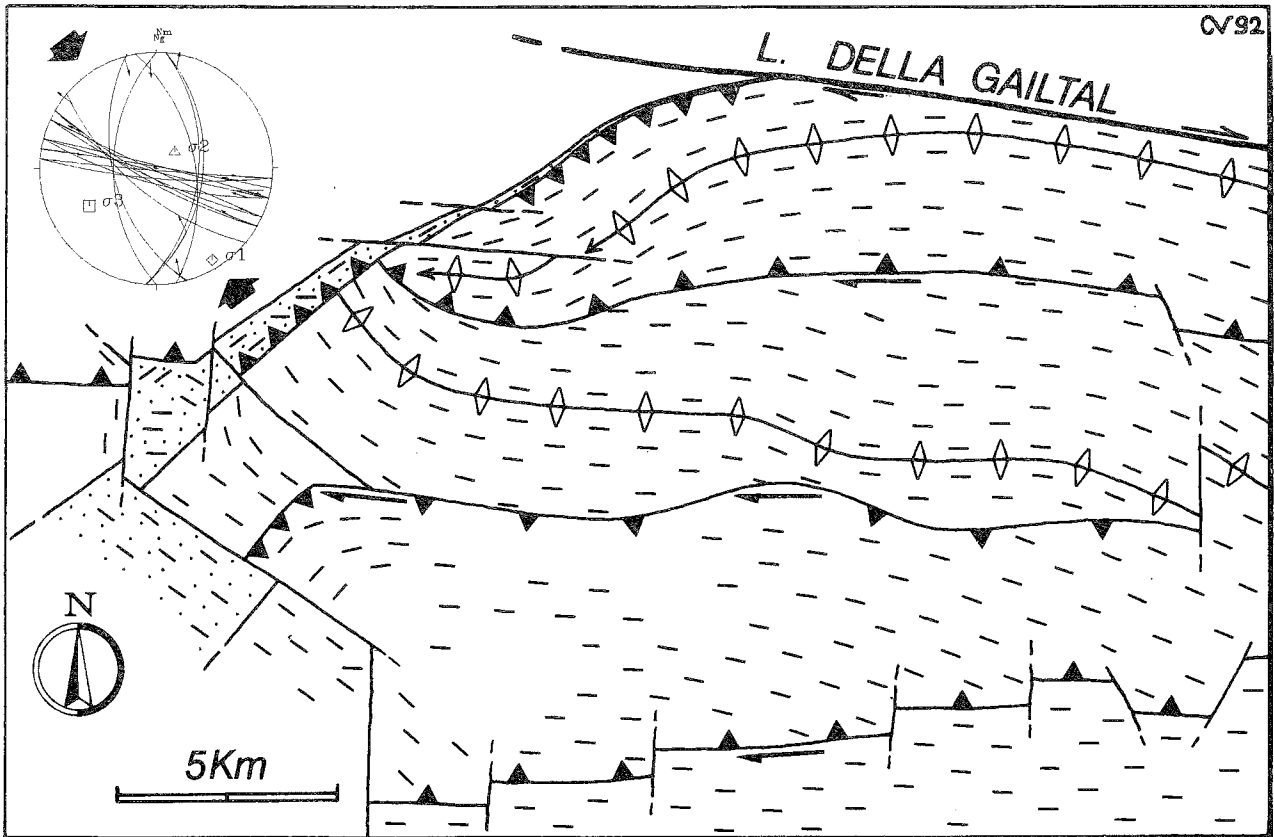


Fig. 6c - Configurazione strutturale del settore indagato relativa agli effetti iniziali delle compressioni NW-SE (Fase neoalpina, II stadio). I trattini indicano le direzioni di stratificazione. In alto a sinistra sono riportate le proiezioni dei piani di faglia e delle strie rilevati ad ovest del meridiano di Rigolato (DELZOTTO, 1991).

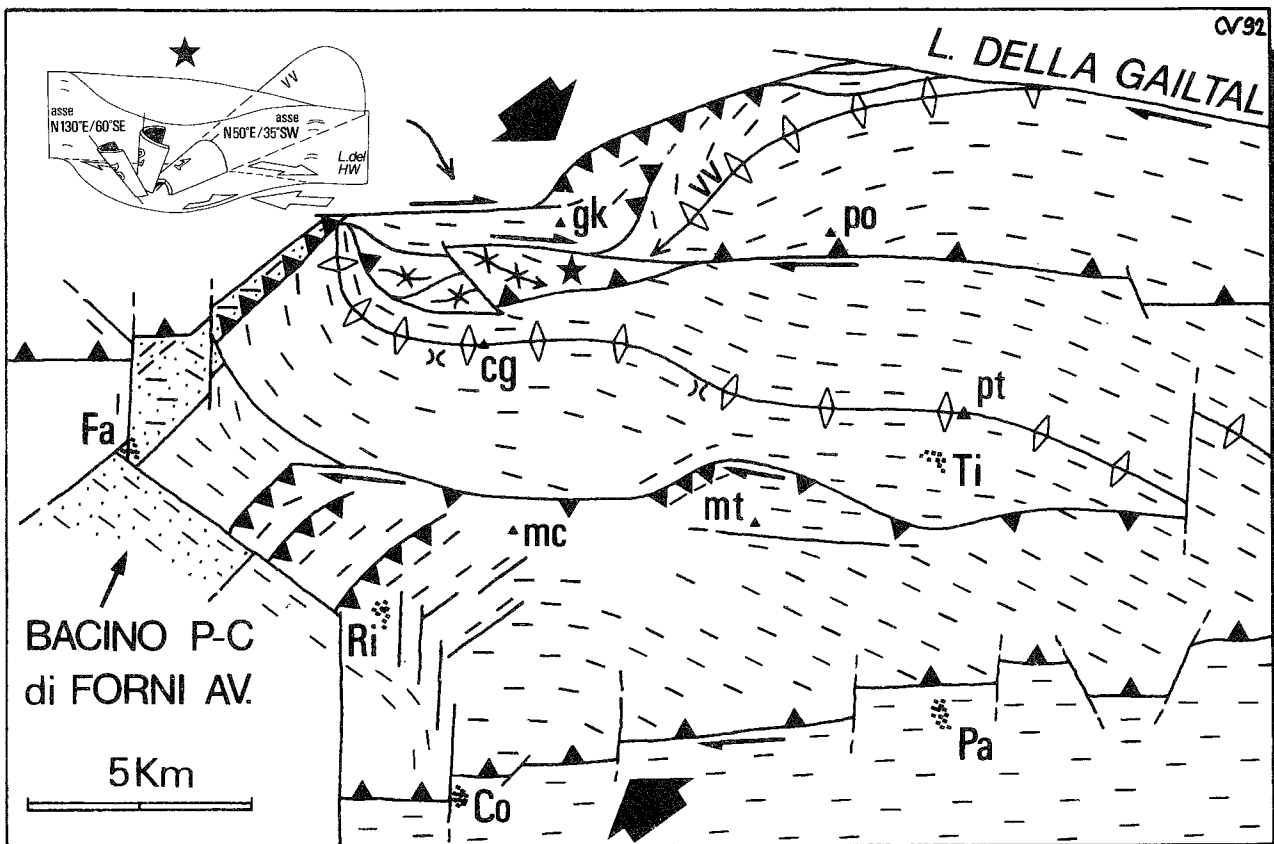


Fig. 6d - Assetto strutturale attuale dell'area presa in esame. Risulta connesso all'intensificarsi delle compressioni NW-SE (Fase neoalpina, II stadio). Per le sigle e la stratigrafia cfr. Fig. 2. I trattini indicano le direzioni di stratificazione. In alto a sinistra viene proposta la progressiva torsione e verticalizzazione subita dal ramo occidentale dell'Antiforme (ercinica) della Val di Forni (stella piena) come diretta conseguenza delle trascorrenze destre indotte in questa fase lungo la Linea del Hochwipfel (-Polinik) e sue vicarianti.

ti a SW e raccordate da estesi tratti monoclinali. Entrambi questi elementi risultano orientati N120°E. La fase è definita mesoalpina o dinarica.

Nella successione paleozoica antica, caratterizzata da strutture plicative di età ercinica (Carbonifero inf.) allineate N120°E, l'impronta dinarica è difficile da distinguere. Risultano comunque ben decifrabili le macrostrutture erciniche, prime fra tutte le due antiformi plurichilometriche (Fig. 6a) modellate lungo il Monte Volaja e la media Val Valentina (VENTURINI, 1990, 1991a).

Il successivo evento tettonico coincide con la Fase neoalpina ed è separabile in due stadi distinti. Il primo, databile indirettamente al Miocene ?med.-Pliocene ?inf., è regolato da uno sforzo compressivo massimo meridiano, unica direzione congruente con l'insieme di strutture prodotte (Fig. 6b). Il raccorciamento è notevole ed è propiziato dallo sviluppo degli scorrimenti E-W, principali strutture fragili indotte dalla compressione N-S. In subordine si sviluppano i due sistemi trascorrenti N30°E/sub-Vert. e N140°E/sub-Vert. ed il sistema di faglie sub-verticali N180°E, con carattere distensivo. Durante questo evento vengono riattivate le paleolinee orientate N50°E (trasc. sin.) e N120°E (trasc. des.).

Il secondo stadio deformativo della Fase neoalpina, collocabile nel Plio-Pleistocene, genera un insieme di strutture fragili rappresentate da 1) scorrimenti N50°E in gran parte NW vergenti, 2) riattivazioni compressive pure di paleostrutture già sede di precedenti riattivazioni trascorrenti sinistre (paleofaglie N50°E), 3) sensibili riattivazioni trascorrenti destre di precedenti superfici di accavallamento orientate N90°E/sub-Vert. e 4) riattivazioni trascorrenti sinistre del precedente sistema N180°E/sub-Vert.

A questo stadio deformativo vengono inoltre imputati i ripiegamenti ad amplissima scala ed assi sub-verticali (*Schlingen Tectonik*) di due macroantiformi erciniche, quella del Monte Volaja e quella della Val Valentina.

Sia tali macropiegamenti che gli accavallamenti orientati N50°E sono sempre propiziati e guidati dalla riattivazione trascorrente destrorsa del sistema di linee E-W, configuratosi durante il precedente stadio deformativo (Fase neoalpina con sforzo massimo N-S).

Il complesso di strutture descritte è congruente con uno sforzo massimo orientato NW-SE (Fig. 6c). Il supporto dell'analisi vettoriale eseguita con il metodo Carey sulle superfici provviste di indicatori cinematici conferma ed avvalorava il dato desunto in maniera empirica dall'osservazione degli orientamenti dei singoli sistemi di strutture, e dalle riattivazioni ed interferenze reciproche via via prodotte (Fig. 6b,c).

La Figura 6 (a-b-c-d) riassume schematicamente l'evoluzione tettonica del settore carnico occidentale proponendo un quadro cinematico che cerca di comprendere, sulla base dei dati fin qui presentati e discussi, la complessa intersezione degli effetti tensili e compressivi, variamente distribuiti ed orientati nel tempo e nello spazio (dal Carbonifero sup. al Plio-Pleistocene) suggerendone tentativamente una prima possibilità interpretativa.

RINGRAZIAMENTI

Un cordiale ringraziamento a Luigi Selli per la sua generosa disponibilità nell'introdurci all'utilizzo del metodo Carey, ad

Alberto Castellarin per averne consentito l'uso e per le proficue discussioni. Un ringraziamento inoltre a Gian Battista Vai per la lettura critica del lavoro. Il programma per l'elaborazione dei dati mesostrutturali (metodo Carey) è stato gentilmente fornito dal Laboratoire de Géologie Dynamique Interne dell'Università di Parigi Sud, diretto dal Prof. J.L. Mercier.

BIBLIOGRAFIA

ARTHAUD F. & MATTE PH. (1975) - *Les décrochements tardihercyniens du Sud-Ouest de l'Europe. Géométrie et assai de reconstruction des conditions de déformation (Late Hercynian wrench-faults in southwestern Europe. Geometry and nature of the deformation)*. Tectonophysics, **25**, 139-171.

ARTHAUD F. & MATTE PH. (1977) - *Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa: Results of a right-lateral shear zone between the Appalachians and the Urals*. Geol. Soc. America Bull., **88**, 1305-1320.

BOSELLINI A., MASETTI D. & SARTI M. (1981) - *A Jurassic Tongue of the ocean infilled with oolitic sands: the Belluno trough, Venetian Alps*. Mar. Geol., **44**, 59-95.

BRAGA GP., CARLONI G.C., COLANTONI P., CORSI M., CREMONINI G., FRASCARI F., LOCATELLI D., MONESI A., PISA G., SASSI F.P., SELLI R., VAI G.B. & ZIRPOLI G. (1971) - *Carta Geologica d'Italia Fogli 4c-13 "Monte Cavallino-Ampezzo"*. Note Illustrative. Serv. Geol. It., Nuova Tecnica Grafica: 108 pp., Roma.

BURATTIN R. (1990) - *Rilevamento ed analisi tettonica della Valcaldà e del Canale dell'Alto Gorto (Alpi Carniche)*. Tesi inedita, Univ. di Bologna, Dipart. Sc. Geol., 136 pp.

CARULLI G.B., CAROBENE L., CAVALLIN A., MARTINIS B. & ONOFRI R. (with the coll. of CUCCHI F. and VAIA F.) (1980) - *Evoluzione strutturale plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia*. In: Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, parte II. Pubbl. **356**, Prog. Fin. Geodin., Sottoprogram. Neotettonica, C.N.R., 489-545.

CASSINIS G., MASSARI F., NERI C. & VENTURINI C. (1988) - *The continental Permian in the Southern Alps (Italy). A Review*. Symposium on rotliegendes in Central Europe. Zeit. geol. Wiss., **16** (11-12), 1117-1126.

CASTELLARIN A. (1984) - *Schema delle deformazioni tettoniche sudalpine*. Boll. Ocean. Teor. ed Appl., **2**, 105-114.

CASTELLARIN A. & VAI G.B. (1981) - *Importance of Hercynian tectonics within the framework of the Southern Alps*. J. Struct. Geol., **3**(4), 477-486.

COUSIN M. (1981) - *Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie*. Soc. géol. du Nord, **5**(1), 521 pp.; **5**(2), 521 pp., Lille.

DELZOTTO S. (1991) - *Rilevamento e analisi tettonica dell'area di Forni Avoltri (Alpi Carniche)*. Tesi inedita, Univ. di Bologna, Dipart. Sc. Geol., 97 pp.

DOGLIONI C. (1987) - *Tectonics in the Dolomites (Southern Alps, Northern Italy)*. Journ. Struct. Geol., **9**(2), 181-193.

DOGLIONI C. & BOSELLINI A. (1987) - *Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps*. Geol. Rund., **76**(3), 735-754.

- FARABEGOLI E., JADOUF F. & MARTINES M. (1985) - *Stratigrafia e paleogeografia anisiche delle Alpi Giulie occidentali (Alpi Meridionali - Italia)*. Riv. It. Paleont. Strat., **91**(2), 147-196.
- FLÜGEL E. (1986) - *Facies and depositional environment of the Lower Permian Goggau Limestone and Tarvis Breccia*. In: Permian and Permian-Triassic boundary in the South-Alpine segment of the Western Tethys. Excursion Guidebook, IGCP Proj. n. 203, 13-14.
- FRASCARI F. & VAI G.B. (1981) - *Fogli 4c-13 Monte Cavallino-Ampezzo*. In: A. CASTELLARIN (a cura di), Carta tettonica delle Alpi Meridionali (alla scala 1:200000). Pubbl. **441**, 31-38, Bologna.
- GORTANI M. (1921) - *Progressi nella conoscenza delle Alpi Carniche principali*. Mem. Soc. Tosc. Sc. Nat., **34**, 142-197.
- HERITSCH F. (1936) - *Die Karnischen Alpen Monographie einer Gebirgsgruppe der Ostalpen mit variszischem und Alpidischem Bau.*, 205 pp., Graz.
- HINDERER M. (1991) - *The Fleons-Formation in the Western Carnic Alps: Ordovician or Carboniferous?* In: C. VENTURINI (Ed.), Workshop Proceedings on tectonics and stratigraphy of the Pramollo Basin (Carnic Alps), Giorn. Geol., **53**(1), 131-137.
- KREUTZER L. H. (1990) - *Mikrofazies, Stratigraphie und Palaeogeographie des zentralkarnischen Hauptkammes zwischen Seewarte und Cellon*. Jb. Geol. B.-A., **133**(2), 275-343.
- MASSARI F. (1986) - *Hypothesis on the role of tectonics during Permian times*. In: Field conference on Permian and Permian-Triassic boundary in the South-Alpine segment of the Western Tethys. Excursion Guidebook, IGCP Proj. n. 203,9, Brescia.
- MATTE P. (1986) - *Tectonics and plate tectonics model for the variscan belt of Europe*. Tectonophysics, **126**, 329-374.
- MENEGAZZI R., PILI M. & VENTURINI C. (1991) - *Preliminary data and hypothesis about the very-low metamorphic Hercynian sequence of the western Palaeocarnic Chain*. In: C. VENTURINI (Ed.), Workshop Proceedings on tectonics and stratigraphy of the Pramollo Basin (Carnic Alps). Giorn. Geol., **53**(1), 139-150.
- SCHÖNLAUB H.P. (1979) - *Palaeozoikum in Osterreich*. Abh. Geol. B.-A., **33**, 124 pp.
- SCHÖNLAUB H.P. (Ed.) (1985) - *Blatt 197 Kötschach 1:50.000*. Geol. Karte Rep. Österr. Veroff. Geol. B.-A., 31 s.
- SCHWINNER R. (1925) - *Profile durch die Schuppenzone des Woayer Gebietes*. In: F. HERITSCH & R. SCHWINNER, (Eds.) Zur Geologie der Karnischen Alpen. Jahrb. geol. B - A., 75.
- SELLI R. (1946) - *Appunti geologici sul gruppo del M. Avanza (Carnia Occidentale)*. Giorn. Geol., **18**, 73-88.
- SELLI R. (1963) - *Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali*. Giorn. Geol., **30**, 1-136.
- VAI G.B. (1976) - *Stratigrafia e paleogeografia ercinica delle Alpi*. Mem. Soc. Geol. It., **13**(1), 7-37.
- VAI G.B. (1979) - *Una palinspastica permiana della Catena Paleocarnica*. Rend. Soc. Geol. It., **1**, 25-27.
- VAI G.B., BORIANI A., RIVALENTI G. & SASSI F.P. (1984) - *Catena ercinica e Paleozoico nelle Alpi Meridionali*. In: Cento anni di geologia italiana. Vol. giub. 1° Centenario S.G.I., 133-154.
- VENTURINI C. (1983) - *Il bacino tardo-ercinico di Pramollo (Alpi Carniche): una evoluzione regolata dalla tettonica sinse-dimentaria*. Mem. Soc. Geol. It., **24**, 23-42.
- VENTURINI C. (1986) - *Permian Red-Beds of the Val Gardena Sandstone in the Carnic Alps*. In: Field Conference on Permian and Permian-Triassic boundary in the South Alpine segment of the Western Tethys. Excursion Guidebook, IGCP Proj. n. 203, 54-65.
- VENTURINI C. (1990) - *Geologia delle Alpi Carniche centro-orientali*. Mus. Friul. St. Nat., Pubbl., **36**, 220 pp., Udine.
- VENTURINI C. (1990a) - *Cinematica neogenico-quadernaria del Sudalpino orientale*. Studi Geol. Camerti, Vol. spec. In: M. BOCCALETTI, G. DEIANA & G. PAPANI (Eds.), Atti conv. Neogene thrust tectonics, 109-116.
- VENTURINI C. (Ed.) (1991) - *Tectonics and Stratigraphy of the Pramollo Basin (Carnic Alps)*. Giorn. Geol., **53**(1), 13-47.
- VENTURINI C. (1991a) - *Introduction to the geology of the Pramollo Basin (Carnic Alps) and its surroundings*. In: C. VENTURINI (Ed.), Tectonics and stratigraphy of the Pramollo Basin (Carnic Alps). Giorn. Geol., **53**(1), 13-47.
- VENTURINI C. (1991b) - *Evoluzione geologica e morfologica del Bacino dell'Alto Bût*. In: Pramasio, Paluzza - Udine. Reg. Aut. Friuli Venezia-Giulia, Azienda Reg. delle Foreste, 69-81, Udine.
- VIEL G. (1979) - *Litostratigrafia ladinica: una revisione. Ricostruzione paleogeografica e paleostrutturale dell'area dolomitico cadorina (Alpi Meridionali) I parte*. Riv. Ital. Paleont., **85**, 85-125.
- WINTERER E.L. & BOSELLINI A. (1981) - *Subsidence and sedimentation on Jurassic passive Continental Margin, Southern Alps, Italy*. Ass. Am. Petrol. Geol., **65**(3), 394-421.