

Tettonica attiva e sismicità nelle Alpi Centrali

M. Onida¹, C. Mirtò², M. Stucchi², F. Galadini³, I. Leschiutta²

1 - Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano (e-mail: monida@mailserver.unimi.it)

2 - CNR, Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico, Milano

3 - CNR, Istituto di Ricerca sulla Tettonica Recente, Roma

1 Introduzione

In questo contributo vengono analizzate e criticamente rielaborate le conoscenze sulla tettonica recente e sulla sismicità delle Alpi Centrali, allo scopo di delineare un quadro di unione e di sintesi omogeneo ed aggiornato. Nell'ambito degli studi di tipo tettonico, è stata data particolare rilevanza all'analisi degli elementi strutturali e geomorfologici ritenuti significativi ai fini della comprensione della tettonica attiva. Gli elementi individuati sono stati poi classificati secondo i criteri di recente proposti dal GNDT (Galadini et al., 2000, questo volume). La classificazione ha presentato alcune difficoltà dovute alla mancanza di lavori finalizzati alla caratterizzazione dell'attività di faglie nel Pleistocene sup.-Olocene. Sono disponibili, invece, numerosi lavori di impostazione neotettonica nei quali lo studio delle strutture recenti è dettagliato per ampi intervalli temporali (es. l'intero Quaternario). L'individuazione e l'analisi degli elementi strutturali attivi in questa parte del territorio alpino presentano, infatti, oggettive difficoltà dovute alla concomitanza di una serie di fattori: (1) l'elevata complessità geologico-strutturale (eterogeneità laterale dell'assetto geometrico e litologico del substrato) dell'edificio alpino, prodotto dalle numerose fasi deformative di età pre-alpina ed alpina (Fig. 1); (2) la morfogenesi di tipo subaereo a partire almeno dal Neogene, legata al prevalere dei processi erosivi su quelli deposizionali; (3) la presenza discontinua di depositi continentali di difficile inquadramento cronologico; (4) l'elevata energia del rilievo, all'origine dei numerosi movimenti gravitativi profondi di versante, la cui espressione superficiale è spesso simile a quella di faglie attive; (5) l'accentuata variabilità climatica a partire almeno dal Pliocene superiore, cui è legato il susseguirsi delle numerose fasi di espansione e di ritiro glaciale e, infine, (6) i ridotti ratei di movimento delle strutture possibilmente attive.

La maggior parte dei lavori disponibili riguarda studi su strutture di importanza locale, eseguiti secondo impostazioni concettuali e metodologiche piuttosto diverse, con prodotti finali ovviamente disomogenei e non sempre confrontabili. Ciò è dovuto anche alla confusione generata dall'esistenza di molteplici definizioni di tettonica attiva (si veda in proposito la sintesi presentata in Castaldini e Panizza, 1991) e, più nello specifico, di faglia attiva (Castaldini e Panizza, 1991; Bosi, 1992).

E' stato quindi necessario un grosso sforzo per omogeneizzare i dati disponibili, cercando di limitare il più possibile l'utilizzo degli studi a scala locale e di focalizzare l'attenzione sui lavori a scala regionale.

Il risultato di quest'analisi è stato l'elaborazione di una carta degli elementi strutturali attivi nelle Alpi Centrali; il documento in oggetto non riporta dati originali ma, essendo una sintesi di dati bibliografici, costituisce la base per una discussione sulla tettonica attiva delle Alpi Centrali.

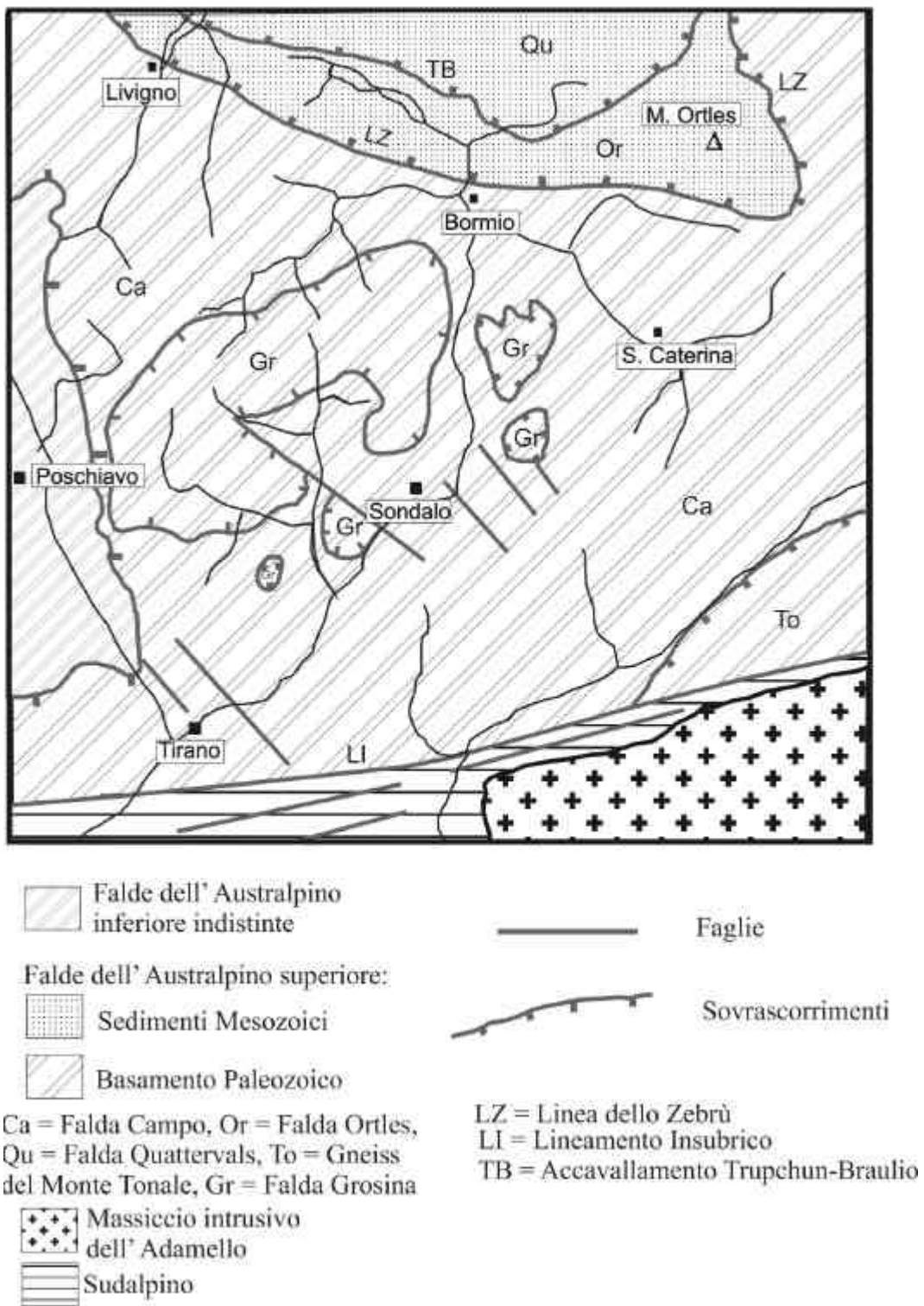


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale delle Alpi Centrali nel settore dell'alta Valtellina.

Parallelamente alle elaborazioni di tipo geologico è stata analizzata la sismicità dell'area per trarre ulteriori indicazioni sul regime tettonico in atto e sul legame tra eventi sismici e strutture attive. Dato che la sismicità dell'area è molto modesta, un'analisi approfondita non può basarsi solamente sull'utilizzo dei cataloghi correnti che considerano terremoti con magnitudo maggiore o uguale a 4. È stato quindi necessario costruire appositamente un nuovo catalogo per quest'area con terremoti di basso livello energetico, al di sotto della soglia del danno.

2 Stato delle conoscenze sulla tettonica recente

Dall'analisi dei lavori disponibili emerge che nelle Alpi Centrali i movimenti tettonici recenti a carattere areale sono responsabili di modifiche dell'andamento del reticolo idrografico e della linea di spartiacque, di fenomeni erosivi accelerati e di deformazioni gravitative profonde di versante. L'attivazione di elementi lineari (faglie e fratture), invece, è rivelata da altri indizi geomorfologici come contropendenze e scarpate che interrompono la continuità del versante, fratture beanti, irregolarità e gradini su superfici modellate durante l'ultimo massimo glaciale non riconducibili a soli movimenti gravitativi. A causa della carenza di sicure evidenze di attività tettonica, del netto prevalere di indizi a carattere geomorfologico e della frequente convergenza tra forme neotettoniche, gravitative ed erosive, risulta piuttosto difficile definire un attendibile quadro strutturale relativo alla tettonica attiva.

Forcella et al. (1982) hanno eseguito lo studio del versante italiano a N della Linea Orobica ed hanno definito quattro gruppi di lineamenti recenti orientati, in ordine di densità crescente: 1) WNW-ESE, 2) NNE-SSW, 3) E-W, 4) N-S. Secondo gli autori, i lineamenti del primo e del secondo gruppo sono di neoformazione, a differenza degli altri che sarebbero fratture ereditate dalla configurazione alpina o tardo-alpina, in seguito riattivati. A parere degli autori vi è una buona congruenza tra l'orientazione di questi due fasci di strutture e il campo di stress regionale attivo nelle Alpi, orientato NNW-SSE e generante due sistemi coniugati di faglie, l'uno trascorrente destro, orientato WNW-ESE, l'altro trascorrente sinistro, orientato NNE-SSW (Ahorner, 1975; Pavoni, 1980; Pavoni e Roth, 1990; Bethoux et al., 1997; Mancktelow, 1997; Sue et al., 1997).

Le strutture neotettoniche segnalate nel lavoro di Forcella et al. (1982) si riferiscono prevalentemente a fratture e faglie di importanza locale, quasi mai riportate nella cartografia geologica; esse sono in genere piuttosto brevi (uno o pochi km), presentano rigetti esigui e interessano con elevata densità solo aree limitate.

I dati presentati in Forcella et al. (1982) sono in seguito confluiti nella "*Neotectonic map of Italy*" (CNR-PFG, 1983). Questa costituisce la prima sintesi dell'evoluzione tettonica plio-quadernaria del territorio italiano, sulla base di conoscenze di tipo geologico-stratigrafico-strutturale e della comparazione con dati geofisici e con dati relativi al campo di stress regionale. Nel documento, tuttavia, alcuni elementi indicati come neotettonici hanno probabilmente un'origine non legata ad attività tettonica recente e sono in realtà ereditati dalla tettonica pre-pliocenica o connessi a fenomeni di collasso gravitativo (Panizza, 1992). Poiché in CNR-PFG (1983) l'intervallo cronologico di attività considerato

comprende il Pliocene e il Quaternario, in esso vengono ovviamente riportate anche strutture non più attive.

Una sintesi più recente di dati in gran parte acquisiti nel corso del Progetto Finalizzato Geodinamica, è costituita dal lavoro di Castaldini e Panizza (1991). Gli autori elaborano una prima proposta di inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il Lago di Como, considerando un intervallo cronologico compreso tra il Pleistocene medio e l'Olocene, e introducendo in legenda tre voci: faglie "attive", faglie "inattive" e faglie "ritenute attive". Queste ultime vengono definite "in base ai numerosi, qualificati e congruenti indizi geomorfologici o di altro genere ma senza visibile dislocazione e/o deformazione di rocce e/o forme significative; è comunque geologicamente accertata una faglia, o una deformazione tettonica, pur non attiva" (Castaldini e Panizza, 1988; Panizza, 1992). La distinzione che gli autori fanno tra faglia "attiva" e "ritenuta attiva" è un tentativo di maggiore oggettività nell'interpretazione dei dati neotettonici; ciò nonostante, a parere degli scriventi, non mette in luce con sufficiente chiarezza cosa sia interpretato e cosa sia oggettivamente comprovato.

3 Inventario delle faglie attive in Alpi Centrali

Per tentare di risolvere alcune ambiguità interpretative e di omogeneizzare i dati esistenti si è deciso di utilizzare la metodologia di analisi e la legenda riportata nella Figura 1 di Galadini et al. (2000, questo volume) per classificare le faglie delle Alpi Centrali. Il risultato è presentato in Figura 2.

Nell'analisi dei lavori disponibili, si è cercato di evitare giudizi di merito e si è proceduto a riportare gli elementi strutturali possibilmente legati al regime tettonico in atto. I lavori presi in considerazione sono relativi a studi di neotettonica (Gupta, 1977; Trümpy, 1977; Forcella et al., 1982; CNR-PFG, 1983; Forcella e Orombelli, 1984; Castaldini e Panizza, 1991; Castaldini et al., 1992) e di sismotettonica (Pavoni e Mayer Rosa, 1978; Slejko et al., 1987; ISMES, 1988 e 1994); di questi ultimi sono stati utilizzati i dati di tipo geologico-strutturale.

Per i commenti relativi alle faglie minori si rimanda ai testi originali, mentre le faglie principali sono commentate nel testo a seguire.

Osservando la carta (Fig. 2) è subito evidente che ci si trova in un'area poco definita dal punto di vista della tettonica attiva. L'elemento più rilevante è che sono assenti le faglie attive nel Pleistocene superiore-Olocene (successivamente all'ultimo massimo glaciale, colore rosso).

La Linea Insubrica è assente dall'inventario proposto in quanto generalmente considerata inattiva (tranne che nel lavoro di Gupta, 1977, basato esclusivamente sull'analisi di dati satellitari), nonostante essa rappresenti il lineamento regionale di maggior importanza.

La maggior parte delle faglie cartografate è stata classificata come "elemento strutturale fragile di incerta interpretazione" (colore rosa). Si tratta per lo più di strutture minori classificate, nei diversi lavori a scala locale, come "elementi neotettonici" o "ritenuti attivi" o, ancora, come "effetti" della tettonica gravitativa.

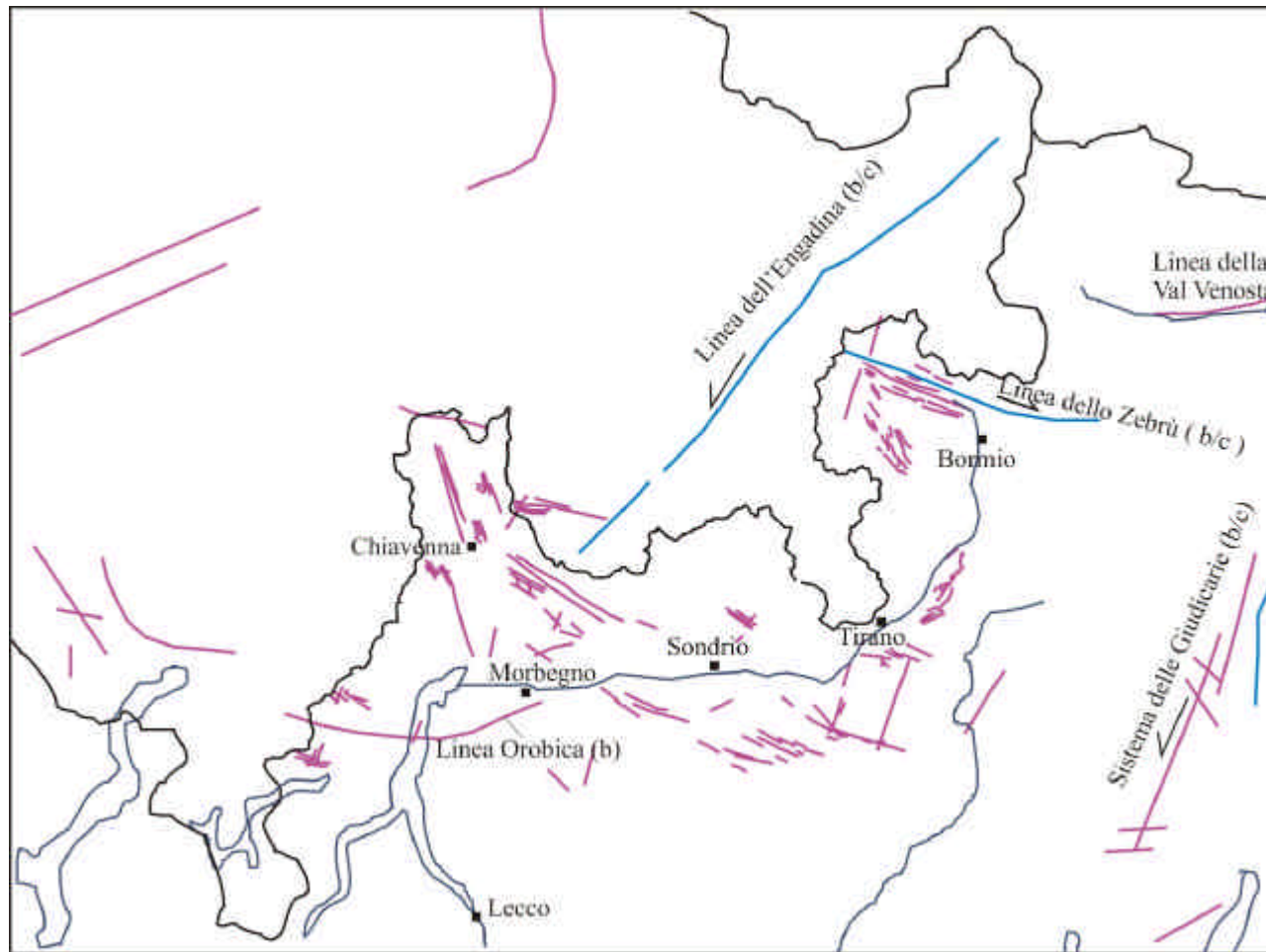


Fig. 2 - Carta degli elementi strutturali di superficie possibilmente legati al regime tettonico in atto. I colori sono stati attribuiti seguendo la legenda riportata nelle Figura 1 di Galadini et al. (2000, questo volume). Le lettere b e c identificano rispettivamente movimenti inversi e trascorrenti.

All'interno di questa categoria rientra la Linea Orobica, considerata da alcuni autori (Forcella et al., 1982) come presumibilmente attiva. Tuttavia, gli indizi di attività riportati dagli autori ("tardivo gioco di assestamenti lungo piani verticali e movimenti dovuti ad una tettonica gravitativa") non appaiono conclusivi.

Le Linee dell'Engadina e dello Zebrù sono state riportate con il colore celeste ("faglie ad attività quaternaria per le cui espressioni superficiali non sono disponibili dati sull'attività nel Pleistocene sup.-Olocene"). La Linea dello Zebrù fa parte di un fascio di fratture con decorso WNW-ESE tra Livigno e S. Caterina di Valfurva, considerato attivo da vari autori (Forcella et al., 1982; CNR-PFG, 1983; Forcella e Orombelli, 1984; Castaldini e Panizza, 1991). La valutazione dell'attività di questa struttura è stata fatta in base all'osservazione di fratture parallele alla direzione del piano di accavallamento tra sedimentario e cristallino, sottolineate da rotture di pendio, da incisioni fluviali e dall'allineamento di sorgenti termali (Forcella et al., 1982). In Valfurva, invece, l'evidenza dell'attività recente viene dalla dislocazione di morene e rock glaciers (Forcella e Orombelli, 1984).

I dati geologici sull'attività recente della Linea dell'Engadina sono quasi inesistenti (sebbene la struttura sia definita attiva in letteratura). Gli unici indizi geomorfologici di attività recente sono legati alla cattura fluviale olocenica del Torrente Orlegna, in bassa Engadina (Schlusche, in Trümpy, 1977), e alla presenza di attività idrotermale (Trümpy, 1977).

Nonostante ci sia un generale accordo in bibliografia nel ritenere queste strutture, o segmenti di esse, attive nel Pleistocene superiore-Olocene, i dati disponibili non sembrano sufficienti a confermare l'attività recente. Le strutture in oggetto, pertanto, non sono state cartografate come faglie attive nel Pleistocene superiore-Olocene (colore rosso).

Dal confronto della Figura 2 con l'area ad essa corrispondente nella "*Neotectonic map of Italy*" (CNR-PFG, 1983) e con la carta delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Castaldini e Panizza, 1991), emerge chiaramente il differente approccio metodologico ed interpretativo: le faglie attive (in rosso) sono scomparse (contro le 5-12 delle precedenti carte), solo tre sono le faglie attive durante il Quaternario per le quali mancano indizi di attività dopo il Pleistocene superiore (celeste), incerte (rosa) tutte le altre. Sebbene il quadro conoscitivo non sia ancora soddisfacente, la rappresentazione cartografica di Figura 2 costituisce il frutto di un approccio più rigido, a nostro parere più affidabile, di quello utilizzato in passato nell'attribuzione di attività recente a strutture la cui attività non sia provata con certezza.

4 Sismicità delle Alpi Centrali

La sismicità delle Alpi Centrali risulta ancor oggi tutt'altro che ben definita ed interpretata. La scarsa definizione della sismicità della zona è dovuta a diversi fattori: i livelli energetici piuttosto bassi; la piccola frequenza della sismicità stessa; la scarsa rilevanza degli insediamenti e la loro collocazione prevalente nei fondovalle; l'appartenenza dell'area a diverse giurisdizioni che sono variate nel corso del tempo

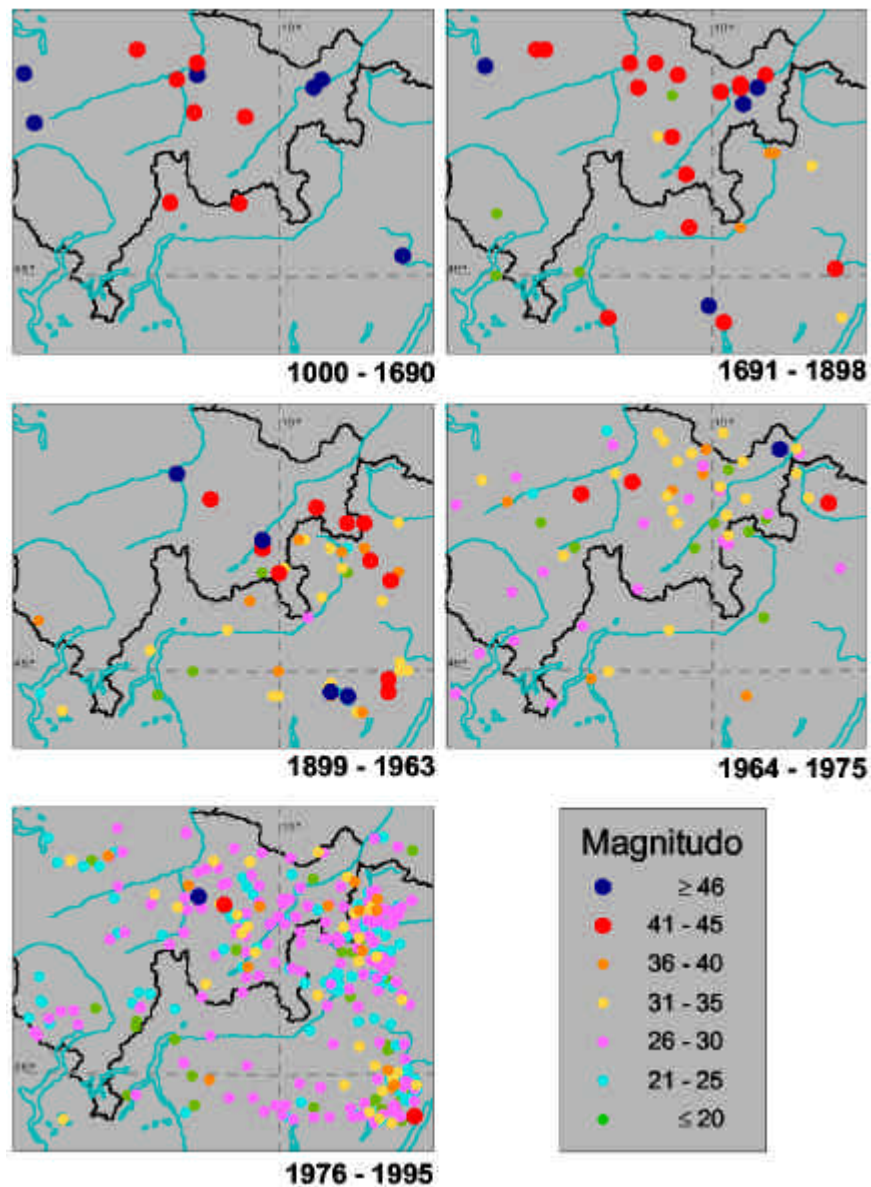


Fig. 3 - Sismicità delle Alpi centrali, rappresentata secondo diverse finestre temporali e differenziata in classi di magnitudo.

(Albini et al., 1988). Queste considerazioni fanno sì che le speranze di ottenere dalla sismicità contributi significativi per la definizione della tettonica attiva siano abbastanza basse.

Si è comunque proceduto ad assemblare criticamente tutte le informazioni disponibili, utilizzando in particolare:

- il Catalogo Postpischl (1985), per recuperare i dati relativi ai terremoti al di sotto della soglia del catalogo NT;

- alcune raccolte, non pubblicate, di dati strumentali: Catalogo ISMES-AEM (ISMES, 1988); dati strumentali del Servizio Sismico Federale di Zurigo (ETH); dati strumentali dell'Istituto Nazionale di Geofisica; dati strumentali della Rete Sismica della Provincia di Trento e dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste, per quanto riguarda i terremoti più recenti (a partire dal 1975).

I file descritti sono stati quindi analizzati e riportati ad un formato unico. Successivamente sono state effettuate analisi incrociate per identificare le determinazioni multiple, ossia i record riferibili allo stesso terremoto, fra le quali è stata scelta in ciascun caso la determinazione più affidabile. E' stato così prodotto un file di terremoti delle Alpi Centrali che rappresenta il quadro più aggiornato e completo a oggi.

In Figura 3 è rappresentata la sismicità dell'area in studio, secondo diverse finestre temporali e differenziata in classi di magnitudo. In Figura 4 la sismicità è stata raggruppata in classi di magnitudo (terremoti con $M < 3$ e $M = 3$). Questo tipo di rappresentazione mette meglio in evidenza le zone caratterizzate da una sismicità di più alto livello rispetto a quelle di basso livello.

L'analisi del catalogo non introduce novità sostanziali rispetto a quanto già conosciuto in precedenza sulle caratteristiche sismologiche dell'area, che risulta interessata da terremoti con magnitudo non superiore a 4 (ISMES, 1994; Albini et al., 1988). La sintesi prodotta mette meglio in evidenza la localizzazione della sismicità in alcune zone.

Dall'analisi della Figura 3 si evince che fino alla fine del secolo XIX gli unici terremoti conosciuti sono sostanzialmente quelli con $M = 4$, i quali si distribuiscono prevalentemente nei Grigioni, in particolare nella zona di Coira e nell'Engadina. Tuttavia la localizzazione degli eventi citati è abbastanza incerta essendo questi attestati da poche informazioni storiche, riferite soltanto alle località di maggiore importanza.

A partire dall'ultima parte del secolo XX si nota la presenza di qualche terremoto con $4 < M < 5$ e compare inoltre una certa sismicità di bassa energia distribuita sia nelle aree già menzionate in precedenza sia nelle aree italiane dell'Alta Valtellina e dell'Alta Val Venosta, oltre che nelle Giudicarie meridionali e nella fascia prealpina orobica. Si può notare una zona attiva ad andamento circa NW-SE che comprende la Val Mustair (Svizzera), la Val Venosta e il massiccio dell'Ortles-Cevedale fino alla zona di Pejo in Trentino.

Sul finire del 1999 è iniziata una sequenza di terremoti localizzati, secondo i dati della rete sismometrica svizzera, nella zona compresa fra Bormio e la Val Mustair il cui evento principale (29 dicembre) ha raggiunto $M = 4.9$, seguito da una forte replica il 31 dicembre con $M = 4.4$ e da un altro evento il 6 aprile con $M = 4.3$ (<http://emidius.irrs.mi.cnr.it/lrsi/T200004/tab1.html>). Questi terremoti non hanno in generale provocato danni; l'area di risentimento è risultata molto simile a quella di alcuni terremoti di questo secolo: 20 aprile 1907, 21 maggio 1924, 9 agosto 1961, cui viene attribuita una M_s compresa fra 4.0 e 4.2.

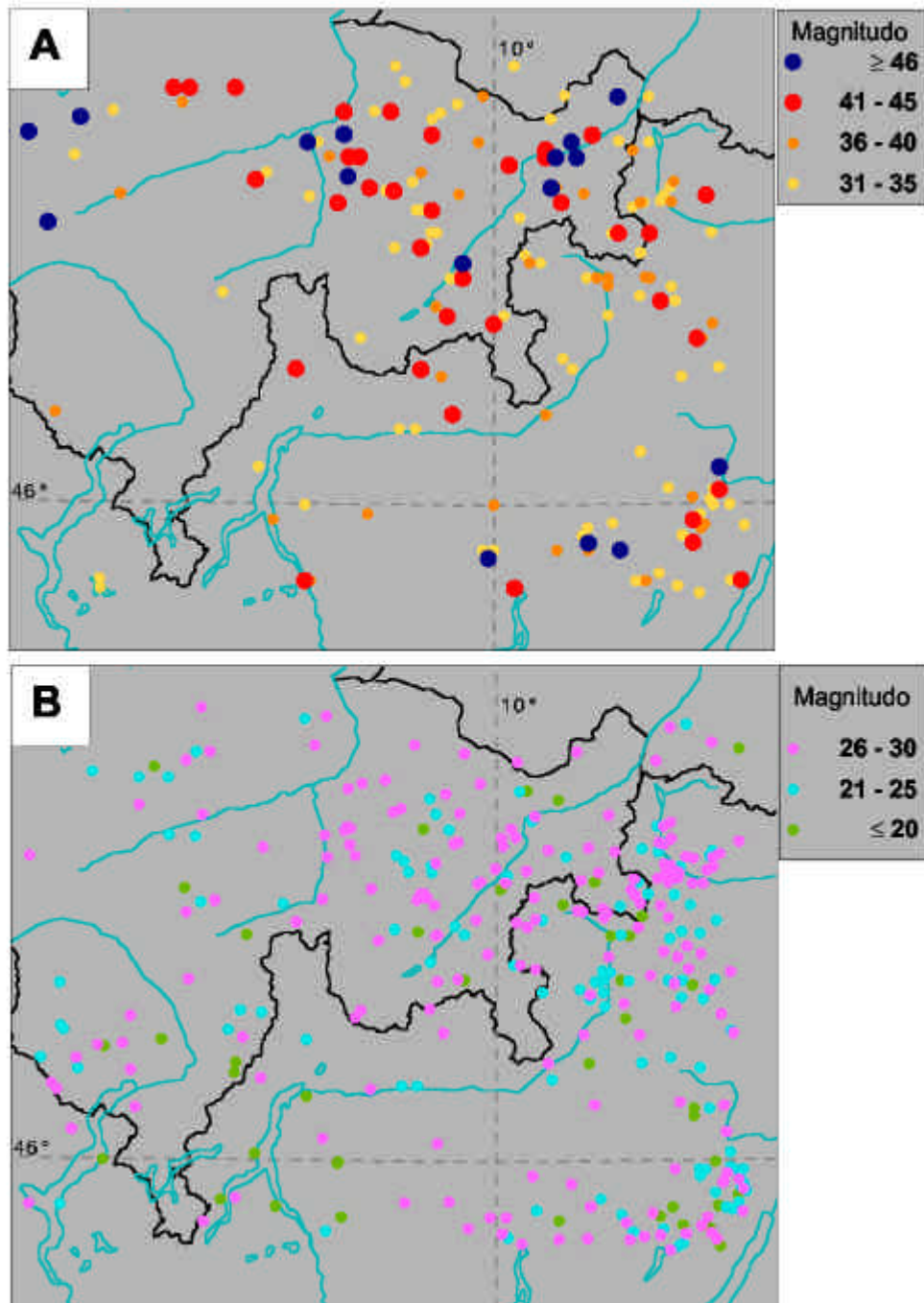


Fig. 4 - Sismicit  delle Alpi Centrali rappresentata in classi di magnitudo raggruppate in due proiezioni separate comprendenti terremoti con $M > 3$ (a) e terremoti con $M \leq 3$ (b), riferiti a tutto l'intervallo del catalogo.

5 Conclusioni

Il quadro attuale delle conoscenze sulle strutture tettoniche ad attività recente nelle Alpi Centrali è estremamente frammentario e carente, soprattutto per quanto riguarda il periodo di maggior interesse ai fini sismotettonici, cioè il Pleistocene superiore-Olocene.

Il dato di maggior importanza ai fini di questa ricerca è che non vi sono sicure evidenze geologiche di faglie attive nelle Alpi Centrali, soprattutto nella zona di catena. La maggior parte degli elementi tettonici cartografati risulta, infatti, di incerta interpretazione. A questo proposito qualche spunto interpretativo proviene dal confronto della Figura 2 con uno studio paleosismologico di dettaglio eseguito su alcuni di questi elementi di incerta interpretazione in Alta Valtellina, nelle aree intorno al Passo del Mortirolo e al Passo del Foscagno (Forcella et al. 1999; Onida, 1999; Onida et al., in stampa). Gli autori hanno verificato come gli elementi strutturali fragili che interessano i versanti studiati e che potrebbero essere interpretati come faglie attive, siano in realtà delle superfici di movimento di origine gravitativa profonda, attive nel Pleistocene superiore-Olocene. Per somiglianza e analogia si ritiene che, probabilmente, molti altri elementi riportati con il colore rosa nella Figura 2, possano essere a loro volta l'espressione superficiale di movimenti gravitativi profondi di versante.

La grossa difficoltà di interpretazione delle evidenze deformative in ambienti ad alta energia di rilievo e a bassa sismicità è senz'altro il fattore che maggiormente condiziona lo stato delle conoscenze relativo alle strutture tettoniche attive nelle Alpi Centrali. La mancanza di un quadro di riferimento chiaro e ampiamente condiviso del contesto geodinamico e sismotettonico della regione complica ulteriormente il lavoro dei geologi alla ricerca delle faglie attive.

La carenza di informazioni sull'attività recente delle faglie può ovviamente testimoniare una reale mancanza di elementi attivi. Anche in questo caso, tuttavia, la scarsa conoscenza del regime tettonico in atto non aiuta ad avvalorare questa ipotesi.

Si è a conoscenza delle direzioni dei vettori del campo di stress tangenziale, di cui il vettore di massima compressione suborizzontale è orientato circa NW-SE (Ahorner, 1975; Pavoni, 1980; Pavoni e Roth, 1990; Bethoux et al., 1997; Mancktelow, 1997; Sue et al., 1997), ma non sono disponibili lavori recenti che trattino velocità di spostamento e rapporti con altre componenti di sforzo. In questo senso, una grossa lacuna è data dalla totale assenza di dati derivati da misure di *stress in situ*. E' pertanto probabile che il sollevamento tettonico giochi un ruolo prioritario rispetto ai movimenti tangenziali nelle deformazioni in atto nelle Alpi Centrali ed in particolare nell'arco alpino, ma sono ancora troppo scarse le conoscenze e le prove oggettive in proposito (Castiglioni, 1979; Trümpy, 1980; Schmitt, 1981).

Lo studio della tettonica attiva non è facilitato dal contesto sismologico: la sismicità regionale e locale è di bassa magnitudo e sparsa non consentendo l'accostamento di dati sismologici e geologici per l'individuazione di zone in deformazione attiva. Tuttavia, sebbene il livello energetico della sismicità sia decisamente basso, gli epicentri appaiono concentrati in aree specifiche. Dall'analisi comparata dei dati sulla tettonica attiva riassunti nella Figura 2 e dei dati sulla sismicità riassunti nelle Figure 3 e 4, è possibile delineare delle zone a

maggior potenziale sismico ed in probabile deformazione attiva, in contrapposizione ad altre zone, invece, prive di epicentri di terremoti significativi e di elementi strutturali attivi o recenti. In questo ambito potrebbe ad esempio delinearci l'attività della cosiddetta linea della Val Venosta, per la quale (pur in mancanza di dati geologici su movimenti recenti) si osserva una sismicità che differenzia il settore da essa interessato rispetto alle aree contermini.

Le zone più indiziate dal punto di vista dell'attività tettonica, in cui sono presenti una sismicità bassa ma significativa (ovvero con un certo numero di epicentri di magnitudo superiore a 3 ed anche uno o più epicentri di magnitudo superiore a 4), e in cui sembra di poter individuare una certa corrispondenza tra i dati sismologici e quelli geologici risultano essere: le zone dell'Engadina (con elementi strutturali prevalentemente NE-SW), dell'alta Valtellina, della Val Mustair e della Val Venosta.

Bibliografia

- Ahorner L. (1975): Present-day stress field and seismotectonic block movements along major fault zones in Central Europe. *Tectonophysics*, **29**, 233-249.
- Albini P., Bellani A., Stucchi M. (1988): Terremoti e frane nelle Alpi centrali. *Atti del 7° convegno annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida*, Roma, 129-146.
- Bethoux N., Cattaneo M., Frechet J., Paul A., Sue C., Thouvenot F. (1997): "Geofrance 3D" experiment: preliminary results of seismological survey. Abstract of "3rd Workshop on Alpine geological studies", Oropa, Biella, sept. 29. *Quad. di Geod. Alp. & Quat.*, **vol 4**, 17.
- Bosi C. (1992): Giornata di studio sul tema: la neotettonica in Italia a dieci anni dalla fine del Progetto Finalizzato Geodinamica: Relazione introduttiva". *Il Quaternario*, **5 (2)**, 281-286.
- Castaldini D., Panizza M. (1988): Contributo alla definizione del limite tra evidenze di neotettonica e fenomeni dovuti ad altre cause. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **1**, 31-43.
- Castaldini D., Panizza M. (1991): Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale). *Il Quaternario*, **4 (2)**, 333-410.
- Castaldini D., Panizza M., Slejko D. (1992): Breve illustrazione di un contributo al sottoprogetto ILP "carta del mondo delle principali faglie attive" per l'Italia settentrionale". *Il Quaternario*, **5 (2)**, 287-292.
- Castiglioni G. B. (1979): Geomorfologia, *UTET*, 436 pp., Torino.
- CNR-PFG (1983): Neotectonic Map of Italy. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Finalizzato Geodinamica, *Quaderni della Ricerca Scientifica*, **4**, n. 114
- Forcella F., Gallazzi D., Montrasio A., Notarpietro A. (1982): Note illustrative relative all'evoluzione neotettonica dei fogli 6 - Passo dello Spluga, 7 - Pizzo Bernina, 8 - Bormio, 17 - Chiavenna, 18 - Sondrio, 19 - Tirano. Estr. da: *Contributi conclusivi per la realizzazione della carta Neotettonica d'Italia*, pubbl. n. **513**, Progetto Finalizzato Geodinamica.
- Forcella F., Onida M., Tibaldi A. (1999): Risultati preliminari di un'indagine di tipo paleosismologico applicata allo studio di deformazioni recenti in ambiente alpino, alta Valtellina (Alpi Centrali, Italia). *Geol. Insubr.* **3/1** (1998), 63-72.

- Forcella F., Orombelli G. (1984): Holocene slope deformations in Valfurva, Central Alps, Italy. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **7**, 41-48.
- Galadini F., Meletti C., Vittori E. (2000): Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. Questo volume
- Gupta R.P., (1977): Delineation of active faulting and some tectonic interpretations in the Munich-Milan section of the eastern Alps - Use of landsat 1 e 2 imagery. *Tectonophysics*, **38**, 297-315.
- ISMES (1988): Studio di sismica storica e strumentale per l'Alta Valtellina. Prog. Asp-3947, Doc. RAT-URM-009, Giugno 1988.
- ISMES (1994): Studi sismici in Alta Valtellina. *Quaderni ISMES*, n. **336**, **69 pp.**
- Mancktelow N. (1997): Neogene orogen-parallel extension in the Alps: the Simplon and Brenner fault zones. *Quaderni di Geodinamica Alpina e Quaternaria*, vol. **4**, p. 74. Abstract.
- Onida M. (1999): Applicazione di tecniche paleosismologiche allo studio di deformazioni recenti di versante in zone alpine. *Università degli Studi di Milano*, Tesi di dottorato, 231 pp.
- Onida M., Tibaldi A., Forcella F., Galadini F. (in stampa): Analysis of deep seated slope deformation by means of paleoseismic technique. *Proceeding of Int. Rock Mechanics Symposium*.
- Panizza M. (1992): Osservazioni sui criteri di studio e sui risultati del sottoprogetto neotettonica del P.F. Geodinamica del CNR. *Il Quaternario*, **5** (2), 293-296.
- Pavoni N. (1980): Stresses inferred from fault plane solutions of earthquakes. *Rock Mechanics*, suppl. **9**, 63-68
- Pavoni N., Mayer Rosa D. (1978): Seismotektonische Karte der Schweiz, 1:750000. *Eclogae geol. Helv.*, **71**, 293-295
- Pavoni N., Roth P. (1990): Seismicity and seismotectonics of the Swiss Alps. Results of microearthquake investigations 1983-1988. In: Roure F., Heitzmann P. & Polino R., Eds., Deep structures of the Alps. *Mem. Soc. Geol. Fr.*, Paris, **1566**; *Mem. Soc. geol. Suisse*, Zurich, 1; *Vol. Spec. Soc. Geol. It.*, Roma, **1**, pp.335-343.
- Postpischl D.,(Editor) (1985): Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. CNR, *Quaderni de "La ricerca scientifica"*, **114** (2A), Roma, 164 pp.
- Schmitt T. J. (1981): The West European stress field: new data and interpretation. *Journal of structural Geology*, **3**, 309-315.
- Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castaldini D., Cavallin A., Doglioni C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez A., Semenza E., Zanferrari A., Zanolla C. (1987): Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale. CNR-GNDT, *Rendiconto* n. **1** - Trieste, 82 pp.
- Sue C., Tricart P., Thouvenot F., Frechet J. (1997): Active extension in the Pelvoux-Argentiera-Viso area constrained by multidisciplinary approaches. Abstract of "3rd Workshop on Alpine geological studies", Oropa, Biella, sept. 29. *Quad. di Geod. Alp. & Quat.*, vol **4**, 128.
- Trümpy R. (1977): The Engadine Line: a sinistral wrench fault in the Central Alps. *Mem. of the Geol. Soc. of China*, **2**, Peking, 1-12.
- Trümpy R., (1980): Geology of Switzerland; a guide book. Part A: An Outline of the Geology of Switzerland. Wepf & Co., Basel, 104 pp.