

## ANALISI DI UN SETTORE DELLA ZONA ASSIALE DELLA CATENA VARISICA SARDA: LE ZONE DI TAGLIO BADESI-LI PAULIS E LORO IMPLICAZIONI A SCALA REGIONALE

**Riassunto** - Analisi geologico-strutturali effettuate a scala micro- e mesoscopica nei complessi metamorfici della Gallura sud-occidentale e dell'Anglona (Sardegna settentrionale), hanno permesso di riconoscere per quest'area un'analoga storia deformativa. Dopo un primo evento D1, legato alla fase collisionale, questo settore di catena è stato interessato da un'importante tettonica traspressiva costituita da due fasi deformative coassiali (D2 e D3), associate allo sviluppo di due differenti sistemi di zone di taglio che si estendono per circa 15 km, in direzione NNW-SSE. È stato individuato per la prima volta, un importante sistema di taglio sinistro con cinematica *top-to-the* NW. Per vincolare il ruolo di questi sistemi di taglio durante l'evoluzione della catena Varisica sarda, è stato utilizzato un approccio multidisciplinare. I risultati ottenuti un quadro particolarmente complesso che solleva dubbi sulla classica interpretazione della Linea Posada-Asinara.

**Parole chiave** - Analisi strutturale, zone di taglio, approccio multidisciplinare, traspressione, Linea Posada-Asinara.

**Abstract** - *The metamorphic complexes in SW Gallura and Anglona (North-central Sardinia): new constraints on the evolution of the Variscan chain in Sardinia.* Structural analysis carried on micro- and mesoscopic scale in the metamorphic complexes in SW Gallura and Anglona regions (Northern Sardinia) highlight analogous structural evolution. After a D1 collisional phase, all the metamorphic complexes have been interested by a post-collisional stage developed during an important transpressional regime and associated with two main coaxial deformation phases (D2 and D3) and with a complexity system of NNW-SSE trending shear zones with a top-to-the NW and SE sense of shear, developed for about 15 km. To constraint the role of these different systems of shear zones during the Variscan orogen, a multidisciplinary approach has been used. The results highlight for the first time, a complex kinematic evolution that contrasts with the classical interpretation of the Posada-Asinara Line.

**Key words** - Structural analysis, shear zones, multidisciplinary approach, transpression, Posada-Asinara Line.

### INTRODUZIONE

Nel classico modello evolutivo proposto da Carmignani *et al.* (1994), la catena Varisica sarda può essere suddivisa, da sud a nord, in tre principali complessi tettono-metamorfici (Fig. 1a):

1. Una zona esterna (l'avampopae della catena Varisica), costituita da unità sostanzialmente autoctone interessate da un metamorfismo di bassissimo grado.

2. Una zona a falde, con falde alloctone interessate da un senso di movimento verso SW, da una tettonica polifasata con una fase D2 che tende ad aumentare in intensità spostandosi verso NE e da un metamorfismo barroviario che mostra un incremento nel grado metamorfico sempre nella stessa direzione.

3. Una zona interna, che rappresenta la «zona assiale» della catena e che occupa la porzione nord-orientale dell'isola. Questo settore può inoltre, essere suddiviso in due porzioni (Fig. 1a): un complesso metamorfico di medio grado, nelle porzioni più meridionali ed un complesso migmatitico nelle regioni nord-orientali dell'isola. Questi due complessi metamorfici sono separati dalla Linea Posada-Asinara (PAL in Fig. 1a) (Cappelli *et al.*, 1992; Carmignani *et al.*, 1994): un'importante fascia milonitica di spessore chilometrico con cinematica destra che si estende attraverso tutta la Sardegna dall'Isola dell'Asinara, ad ovest, alla valle del fiume Posada, ad est. Per la presenza di corpi ad affinità eclogitica lungo tutta la sua lunghezza Cappelli *et al.* (1992) e Carmignani *et al.* (1994), hanno interpretato la PAL come una paleosutura dell'Oceano Sud-Armorico presente durante il Paleozoico inferiore, tra i margini del Gondwana (rappresentato in questo modello dal complesso metamorfico di alto grado) e l'Armorica (rappresentato dal complesso metamorfico di medio e basso grado metamorfico). Secondo questi autori l'evoluzione della catena Varisica sarda può quindi essere schematizzata in due fasi: una fase collisionale, legata allo sviluppo della fase D1 (circa 350 Ma, Di Vincenzo *et al.*, 2004) e alla blastesi dei minerali barroviari (M1: Bt, Grt, St, Ky; Kretz, 1983) e una lunga fase estensionale, che porta al collasso della catena (fasi D2 e D3) e a gran parte dell'esumazione delle rocce di medio ed alto grado metamorfico. La messa in posto del batolite sardo vincola infine la fase finale dell'orogenesi Varisica.

Negli ultimi anni tuttavia, lavori di dettaglio eseguiti lungo i transetti occidentali e orientali della PAL, sembrerebbero presentare un'evoluzione tettonica più complessa. Secondo Carosi & Palmeri (2002), Carosi & Oggiano (2002) e Carosi *et al.* (2004), infatti, la fase post-collisionale sarebbe caratterizzata da un regime traspressivo responsabile di gran parte dell'esumazione delle rocce di medio e alto grado metamorfico. In questa ricostruzione, quindi, la tettonica estensionale

(\*) Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, anno 2003, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, 56126, Pisa. E-mail: frassi@dst.unipi.it

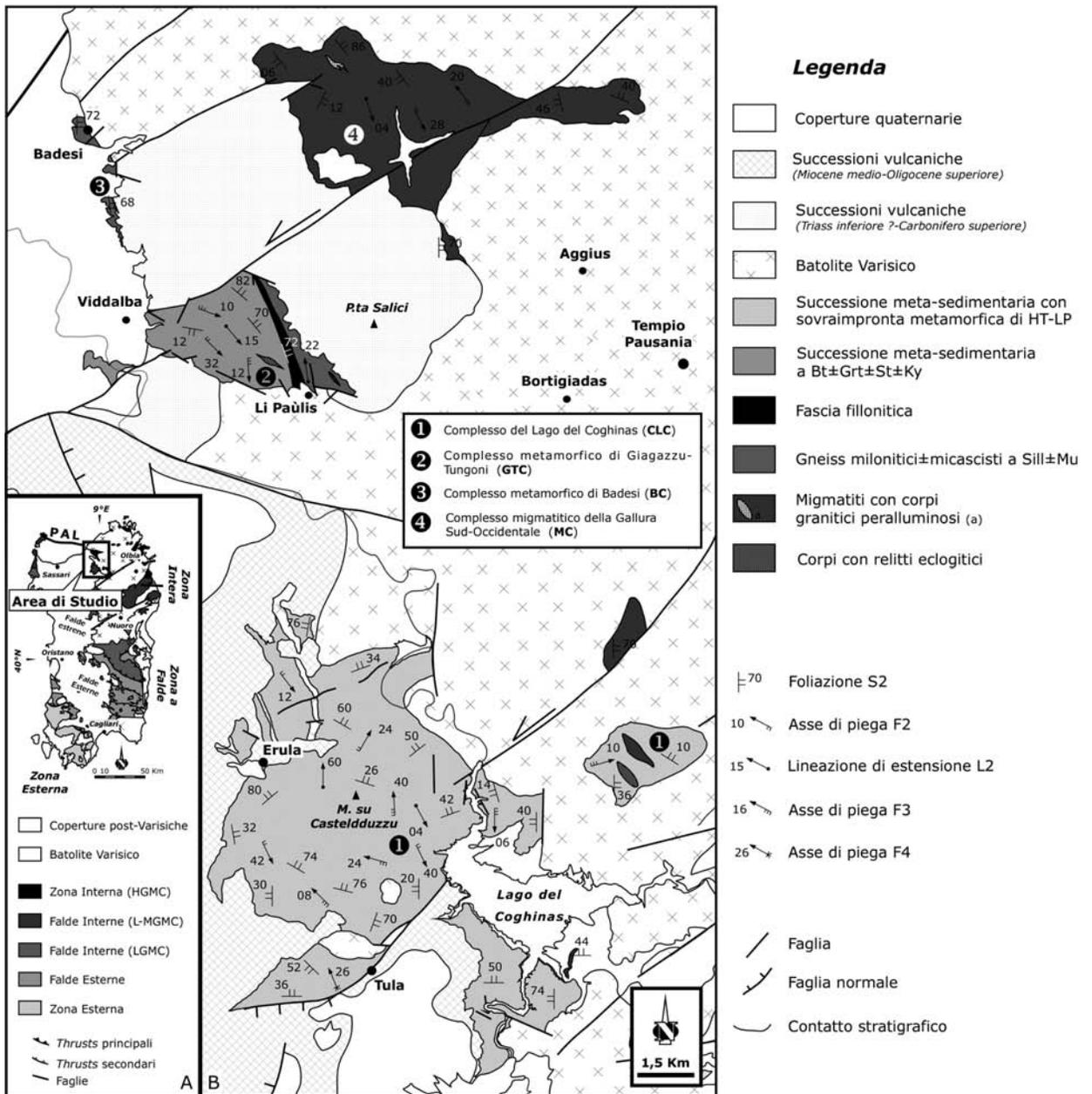


Fig. 1 - Schema geologico della Sardegna (a) e locazione dell'area studiata; (b) Carta geologico-strutturale semplificata dei complessi metamorfici dell'Anglona e della Gallura Sud-Occidentale.

svolgerebbe un ruolo secondario limitato solo alle ultime fasi deformative.

I dati presentati in questo lavoro sembrano supportare quest'ultimo modello, sollevando dubbi sul reale significato della PAL anche nel settore centrale della zona assiale della catena Varisica sarda.

#### I COMPLESSI METAMORFICI DELL'ANGLONA E DELLA GALLURA SUD-OCCIDENTALE

Da sud a nord si possono riconoscere quattro complessi metamorfici (Fig. 1) (Oggiano & Di Pisa, 1992):

1. Il Complesso del Lago del Coghinas, costituito da micascisti e paragneisses interessati da un'importante sovrainpronta metamorfica di alta temperatura e bassa pressione (con blastesi di andalusite e cordie-

- rite) e locali eventi di fusione parziale. Le relazioni tra eventi deformativi e blastesi metamorfici ne vincolano questo evento successivamente all'evento D3.
2. Il Complesso di Giagazzu-Tungoni, dove è possibile osservare con continuità il passaggio dal medio all'alto grado metamorfico. Il settore di medio grado metamorfico è costituito da un complesso di micascisti, paragneisses e subordinatamente quarziti, caratterizzato dalla blastesi di minerali barroviani (evento M1) sviluppati da post-D1 a sin-D2. Questo evento mostra un graduale aumento in intensità dalla zona a biotite, nelle porzioni sud-occidentali dell'area, alla zona a cianite + biotite, in prossimità della fascia fillonitica. La comparsa della sillimanite è stata documentata solo nel settore di alto grado metamorfico, situato ad est della fascia fillonitica. Questo complesso è costituito da gneisses milonitici a grana variabile associato a rari corpi metrici di quarziti e micascisti a minerali. La fascia fillonitica invece, che rappresenta l'elemento separatore tra i due complessi metamorfici, è caratterizzata da un'associazione in facies scisti verdi, sviluppata durante le ultime fasi evolutive.
  3. Il Complesso di Badesi, di piccole dimensioni ma interamente costituito da gneisses minuti milonitici e da rari corpi metrici di quarziti milonitiche nella zona a sillimanite + muscovite.
  4. Il Complesso migmatitico, rappresentato prevalentemente da metatessiti e da corpi granitici peraluminosi di dimensioni metriche (graniti di Tarra Padedda, Macera *et al.*, 1989) nella porzione settentrionale.

#### ANALISI STRUTTURALE

Per ciascuno dei complessi metamorfici presenti nell'area di studio è stata effettuata un'analisi geologico-strutturale a scala micro e mesoscopica che ha permesso di riconoscere, per l'intera regione, un'analogia tettonica polifasata. L'individuazione per la prima volta di un sistema di taglio sinistro con cinematica *top-to-the* NW, nel Complesso di Giagazzu-Tungoni e in quello di Badesi (non riconosciuto nel classico modello di Carmignani *et al.*, 1994), ha reso indispensabile un'accurata analisi della fascia milonitica che si estende per circa 12 km, da Badesi fino al piccolo abitato di Li Paùlis (Fig. 1).

#### Fase Collisionale (D1)

Nei quattro complessi metamorfici analizzati (Fig. 1) la fase deformativa D1 è testimoniata prevalentemente dallo sviluppo di una foliazione S1 riconosciuta all'interno dei *microlithos* della fase D2, in cerniera delle pieghe F2 (Fig. 2) o come *inclusion trails* di biotite e quarzo in plagioclasio e granato.

#### Fase post-collisionale (D2, D3, D4) e tettonica estensionale (D5)

La tettonica post-collisionale è rappresentata ovunque dallo sviluppo di due fasi deformative coassiali (D2 e D3), parallele all'andamento generale catena, e da pie-

ghe tardive tipo kink, ad andamento N-S (fase D4).

La fase D2 è associata allo sviluppo di una foliazione penetrativa S2 osservabile a tutte le scale. All'interno del complesso metamorfico di medio grado di Giagazzu-Tungoni tale foliazione presenta un carattere eterogeneo. Spostandosi verso la fascia fillonitica, infatti, la natura della foliazione S2 cambia da una foliazione di piano assiale di pieghe F2 ad una foliazione milonitica connessa sia con lo sviluppo delle strutture S-C' *top-to-the* SE sia con quello della fascia fillonitica. Questo incremento dell'intensità della deformazione è testimoniato anche dalla geometria delle pieghe F2 che varia da chevron/kink ad isoclinali proprio in prossimità della fascia fillonitica.

In tutti i complessi analizzati, le pieghe F2 (Fig. 2a) presentano dimensioni decimetriche e geometria variabili (da kink a chevron), con andamenti assiali circa NW-SE e immersioni di 10-25° principalmente verso SE. La foliazione S2 presenta analoghe direzioni, con immersioni variabili generalmente verso NE. A differenza degli altri complessi, nel Complesso del Lago del Coghinas le pieghe F2 e la foliazione S2 mostrano direzioni più disperse, variabili da NW-SE a NE-SW. La lineazione di estensione L2, ben evidente soprattutto nella porzione di alto grado del Complesso di Giagazzu-Tungoni e nel Complesso di Badesi, mostra andamenti paralleli agli assi della pieghe F2, con immersioni generalmente inferiori ai 25° sia verso SE sia verso NW.

All'interno del settore di medio grado metamorfico del Complesso di Giagazzu-Tungoni, tutti gli elementi associati alla seconda fase deformativa mostrano una deflessione verso orientazioni circa NNW-SSE/N-S spostandosi verso la fascia fillonitica.

La fase D3 è evidenziata prevalentemente dallo sviluppo di pieghe F3 (Fig. 2b) di dimensioni centimetriche e metriche, che presentano generalmente una geometria chevron, con piano assiale sub-verticale debolmente inclinato verso est. Le direzioni assiali, parallele agli assi delle pieghe F2 e alla lineazione di estensione L2, sono caratterizzate da deboli immersioni di 10-20° verso SE. Raramente è stata descritta una foliazione di piano assiale S3.

Come per gli elementi della fase D2, le direzioni assiali delle pieghe F3 mostrano una deflessione verso orientazioni più N-S in corrispondenza della fascia fillonitica. La fase D4 è caratterizzata dallo sviluppo di kink sviluppati durante gli ultimi eventi di tettonica compressiva, mentre durante gli ultimi stadi evolutivi si instaura una tettonica estensionale (D5) caratterizzata da faglie normali a basso ed ad alto angolo associate a pieghe F5 caratterizzate da piani assiali sub-orizzontali, sviluppate preferenzialmente in corrispondenza dei fianchi sub-verticali delle pieghe F2 e F3.

#### LE ZONE DI TAGLIO BADESI-LI PAÙLIS

Nell'area investigata, la Linea Posada-Asinara è individuabile nei Complessi di Giagazzu-Tungoni e di Badesi. Durante il lavoro di campagna è emerso un quadro più complesso rispetto a quanto presente in let-

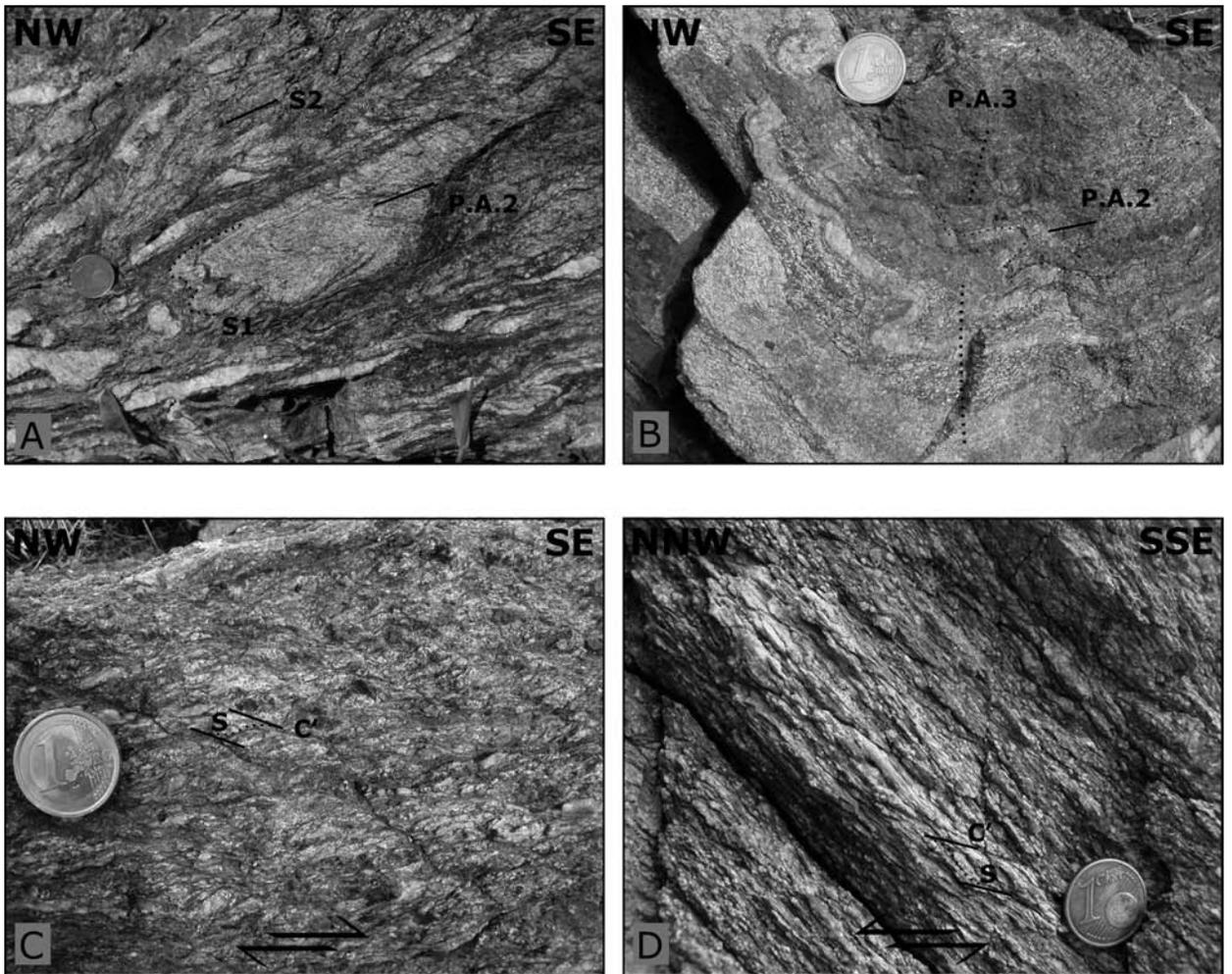


Fig. 2 - Elementi strutturali associati alla fase post-collisionale: (a) piega F2 nel Complesso del Lago del Coghinas; (b) interferenza tipo 3 (Ramsay, 1967) tra pieghe F2 e F3 nei micascisti del Complesso Metamorfico di Giagazzu-Tungoni; (c) strutture S-C' del sistema di taglio *top-to-the* SE nel complesso di medio grado di Giagazzu-Tungoni; (d) strutture S-C' del sistema di taglio sinistro, *top-to-the* NW, nel complesso di alto grado di Giagazzu-Tungoni. S1: foliazione della fase D1; S2: foliazione della fase D2; A.P.2: piano assiale di pieghe F2; A.P.3: piano assiale di pieghe F3; C': piani di taglio C'; S: foliazione milonitica.

teratura. Sono stati, infatti, documentati due diversi sistemi di taglio, paralleli tra loro e ad andamento NW-SE: un sistema di taglio sinistro (*top-to-the* NW) (Fig. 2c), che si sviluppa esclusivamente ad est della fascia fillonitica ed un sistema di taglio destro (*top-to-the* SE) (Fig. 2d) evidenziato da strutture S-C' duttili-fragili (sviluppate ad ovest della filloniti), dalla fascia fillonitica e da una rete anastomizzata di cataclasiti millimetriche che si sovrappone sia alla fascia fillonitica sia al sistema di taglio sinistro. Quest'ultimo sistema, che presenta condizioni deformative generalmente più duttili, affiora generalmente in lenti «relitte» di dimensioni metriche e decametriche all'interno di una matrice micacea a grana fine prodotta durante l'evento di taglio destro responsabile dello sviluppo delle filloniti. Per cercare di vincolare meglio la cinematica di questo settore di catena, i campioni provenienti da entrambi i

sistemi di taglio sono stati analizzati mediante un approccio multidisciplinare.

#### Analisi cinematica

Utilizzando il numero di vorticità cinematica  $W_m$ , si è tentato di definire le componenti di taglio semplice ( $W_m = 1$ ) e taglio puro ( $W_m = 0$ ) presenti durante lo sviluppo dei due sistemi di zone di taglio. Utilizzando il metodo proposto da Passchier (1987) e modificato da Wallis (1995) e Law *et al.* (2004), è emerso che le zone di taglio sinistre sono dominate da una componente di taglio semplice ( $W_m$  generalmente superiori a 0,75-0,80), mentre il sistema di taglio destro è dominato da una deformazione per taglio puro ( $W_m = 0,70$ ).

Questi dati sono confermati anche da osservazioni delle strutture effettuate a scale micro- e mesoscopica. Il sistema di taglio destro, infatti, presenta quasi esclusi-

vamente due sistemi coniugati di *shear bands* mentre il sistema sinistro è caratterizzato dallo sviluppo di un sistema dominante che conferma il carattere non-coassiale della deformazione.

### **Analisi del *fabric* dell'asse (c) del quarzo**

Utilizzando la piattaforma universale sono state effettuate misurazioni dell'orientazione preferenziale dell'asse c del quarzo in nastri monomineralici di spessore millimetrico e centimetrico, provenienti sia dal sistema di taglio sinistro sia da quello destro. I dati ottenuti sono stati utilizzati per determinare i tipi di slittopiani attivi durante la deformazione di taglio e il tipo di ellissoide della deformazione finita. Utilizzando il geotermometro di Kruhl (1998) inoltre, è stato possibile determinare anche la temperatura di deformazione dei due sistemi di taglio. Le temperature ottenute sembrano concordare con quelle ricavate dalle associazioni mineralogiche Barroviane riconosciute nei due complessi, vincolando così l'evento di taglio dominante da pre- a sin-D2.

### **Geocronologia**

Datazioni Pb-U-Th effettuate tramite LA-ICP-MS (laboratorio CNR di Pavia) su monaziti e zirconi provenienti dai sistemi di taglio fragili-duttile sviluppati ai lati della fascia fillonitica, mostrano che i due complessi metamorfici sono caratterizzati da un'analoga storia evolutiva già dal precambriano. Questa osservazione permette di effettuare due importanti considerazioni. La prima è che i due complessi metamorfici non possono appartenere a due distinti margini continentali con storia ed evoluzione diversa, la seconda, che i due diversi sistemi radiogenici si supportano a vicenda confermando così la validità delle età ricavate. Nonostante questo sembrerebbe che l'evento Varisico sia meglio documentato dagli zirconi e dalle monaziti provenienti dal complesso metamorfico di alto grado. I risultati ottenuti infatti, testimoniano, in questo complesso, la presenza di tre distinti eventi: a  $325 \pm 5,2$  Ma,  $311 \pm 4,5$  Ma e  $295 \pm 6,9$  Ma, tutti probabilmente riferibili alla fase post-collisionale della catena. L'ultimo evento potrebbe essere messo in relazione all'evento fillonitico responsabile della riduzione della grana della fascia fillonitica e della parte più occidentale del complesso metamorfico di alto grado. I primi due invece, vincolerebbero gli stadi iniziali delle fasi D2 e D3 rispettivamente. Le età «Varisiche» nel medio grado sono scarsamente documentate perché i campioni analizzati, provenienti dalle zone di taglio destre sviluppate in prossimità della fascia fillonitica, sono interessate da una profonda alterazione legata all'evento fillonitico tardivo e alla azione di fluidi, mentre i campioni provenienti dalle zone di taglio sinistre affiorano in lenti relitte all'interno di una matrice fillonitica.

### **Termo-barometria**

Per cercare di definire l'attività dei due sistemi di taglio sono stati ricostruiti i percorsi temperatura-pressione dei due differenti complessi metamorfici. Utilizzando il programma Thermobarometry v.1.9 (Spear *et al.*, 1999), sono state ricavate per il complesso metamorfi-

co di medio grado di Giagazzu-Tungoni, pressioni di 9-11 Kbar e temperature di 600-650°C per i primi stadi della fase D2 mentre  $P = 3-6$  Kbar e  $T = 450-550^\circ\text{C}$  per le fasi finali di questo evento. La grande omogeneità composizionale nei minerali nel complesso metamorfico di alto grado invece, ha reso possibile solo la determinazione delle condizioni P-T riferibili alla fase D2 che risultano vincolate a  $T = 500-550^\circ\text{C}$  e  $P = 3-5$  Kbar. Questi dati e il ritrovamento di sillimanite prismatica tardo/post-D2, obliqua rispetto alla foliazione S2, vincola la blastesi di questo minerale al regime decompressivo sviluppato nella fase post-collisionale e non al metamorfismo progrado M1 legato alla collisione continentale, come ipotizzato da Franceschelli *et al.* (1989) e Ricci *et al.* (2004, con bibliografia).

### **DISCUSSIONI E CONCLUSIONI**

Lo studio di questo settore di catena evidenzia una complessa evoluzione tettono-metamorfica che risulta descritta solo in parte in letteratura. Di particolare importanza sono le novità emerse dallo studio della fascia milonitica presente nei Complessi di Badesi e di Giagazzu-Tungoni. Questo importante lineamento tettonico, noto in letteratura come un transetto della Linea Posada-Asinara (Carmignani *et al.*, 1994; Oggiano & Di Pisa, 1992), mostra in realtà una cinematica molto complessa caratterizzata dalla presenza di un importante sistema di taglio sinistro mai documentato in precedenza. Le caratteristiche leggermente più duttili e il loro ritrovamento all'interno di lenti relitte non interessate dal processo di fillonitizzazione associato al sistema di taglio destro, suggeriscono che questo sistema possa essersi sviluppato in un intervallo compreso tra la fine della fase D1 e i primi stadi della D2 (probabilmente a circa 326 Ma). Durante questi ultimi stadi inoltre, potrebbero essersi attivate anche le zone di taglio fragili-duttile, con cinematica destra, presente nel complesso di medio grado di Giagazzu-Tungoni. Il sistema di taglio destro infine, è diventato il sistema di taglio dominante, rimanendo attivo fino a livelli strutturali progressivamente più superficiali con lo sviluppo delle filloniti (circa 295 Ma) prima e di cataclasi (prevalentemente a spessore centimetrico nel complesso di medio e di alto grado metamorfico) poi. La lineazione di estensione, generalmente sempre suborizzontale, e lo sviluppo durante la fase post-collisionale di due fasi plicative coassiali parallele all'andamento generale della catena unitamente all'analisi della vorticità cinematica, permettono di riconoscere anche per questo settore, un'importante fase di tettonica traspressiva già documentata nei transetti orientati ed occidentali della catena (Carosi & Oggiano, 2002, Carosi & Palemri, 2002, Carosi *et al.*, 2004). Il riconoscimento di sillimanite prismatica obliqua rispetto alla foliazione S2, rappresenta un ulteriore elemento di novità in quanto vincola la blastesi di questo minerale non all'evento progrado Barroviano (Franceschelli *et al.*, 1989; Ricci *et al.*, 2004, con bibliografia) ma al regime decompressivo presente nella fase post-collisionale.

Il ritrovamento in entrambi i complessi metamorfici, di una medesima storia evolutiva già a partire dal precambriano inoltre, mette in forte discussione l'appartenenza del complesso di medio e di alto grado metamorfico a due distinti margini continentali (quelli del Gondwana e dell'Armorica) caratterizzati da differenti storie evolutive sollevando forti dubbi sulla classica interpretazione della Linea Posada-Asinara come paleosutura dell'oceano Sud-Armoricano.

#### BIBLIOGRAFIA

- Cappelli B., Carmignani L., Castorina F., Di Pisa A., Oggiano G., Petrini R., 1992. A Hercynian suture zone in Sardinia: geological and geochemical evidence. *Geodinamica Acta* 5 (1-2): 101-118.
- Carmignani L., Carosi R., Di Pisa A., Gattiglio M., Musumeci G., Oggiano G., Pertusati P.C., 1994. The Hercynian chain in Sardinia (Italy). *Geodinamica Acta* 7 (1): 31-47.
- Carosi R., Di Pisa A., Iacopini D., Montomoli C., Oggiano G., 2004. The structural evolution of the Asinara Island (NW Sardinia, Italy). *Geodinamica Acta* 17 (5): 309-329.
- Carosi R., Oggiano G., 2002. Transpressional deformation in NW Sardinia (Italy): insights on the tectonic evolution of the Variscan belt. *Compté Rendus Geoscience* 334: 287-294.
- Carosi R., Palmeri R., 2002. Orogen-parallel tectonic transport in the Variscan belt of northeastern Sardinia (Italy): implications for the exhumation of medium-pressure metamorphic rocks. *Geological Magazine* 139 (5): 497-511.
- Di Vincenzo G., Carosi R., Palmeri R., 2004. The relationship between tectono-metamorphic evolution and argon isotope records in white mica: constraints from in situ  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  laser analysis of the Variscan basement of Sardinia. *Jour. Petr.* 45: 1013-1043.
- Franceschelli M., Memmi I., Pannuti F., Ricci C.A., 1989. Diachronous metamorphic equilibria in the Hercynian basement of northern Sardinia, Italy. In: Daly J.S., Cliff R.A., Yardley B.W.D. (eds.), Evolution of metamorphic belts. *Geol. Soc. Sp. Publ.* 43: 371-375.
- Kretz R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Kruhl J.H., 1998. Reply: Prism- and basal-plane parallel subgrain boundaries in quartz: a microstructural geothermobarometer. *Journ. Metam. Petrol.* 16: 142-146.
- Law R.D., Searle M.P., Simpson R.L., 2004. Strain, deformational temperatures and vorticity of flow at the top of the Greater Himalayan Slab, Everest Massif, Tibet. *Jour. Geol. Soc. Lond.* 161: 305-320.
- Macera P., Ponticelli S., Del Moro A., Di Pisa A., Oggiano G., Squadrone A., 1989. Geochemistry and Rb/Sr of syn-tectonic peraluminous granites of Western Gallura, northern Sardinia: constraints on their genesis. *Periodico di Mineralogia* 58: 25-43.
- Oggiano G., Di Pisa A., 1992. Geologia della catena ercinica in Sardegna-Zona Assiale. Struttura della Catena Ercinica in Sardegna: Guida all'Escursione sul basamento paleozoico (eds. L. Carmignani *et al.*): 147-177. Centrooffset, Siena.
- Passchier C.W., 1987. Stable positions of rigid objects in non coaxial flow. A study in vorticity analysis. *Jour. Struct. Geol.* 9: 679-690.
- Ramsay J.G., 1967. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York, 568 pp.
- Ricci C.A., Carosi R., Di Vincenzo G., Franceschelli M., Palmeri R., 2004. Unravelling the tectono-metamorphic evolution of medium-pressure rocks from collision to exhumation of the Variscan basement of NE Sardinia (Italy): a review. *Periodico di Mineralogia* 73: 73-83.
- Spear F.S., Kohn M.J., Cheney J.T., 1999. P-T paths from anatectic pelites. *Contr. Miner. Petr.* 134: 17-32.
- Wallis S.R. 1995. Vorticity analysis and recognition of ductile extension in the Sanbagawa Belt, SW Japan. *Jour. Struct. Geol.* 17: 1077-1093.

(ms. pres. il 1° settembre 2006; ult. bozze il 5 febbraio 2007)