

Suscettività magnetica e assetto strutturale nelle Ande in Tierra del Fuego

FEDERICO ESTEBAN (*), ALEJANDRO TASSONE (*), MARCO MENICHETTI (**), MARIA ELENA CERREDO (*),
AUGUSTO RAPALINI (*), HORACIO LIPPAI (*), JUAN FRANCISCO VILAS (*)

ABSTRACT

Magnetic susceptibility and structural setting in the Tierra del Fuego Andes

With the aim of studying the tectonic evolution of the Fuegian Andes, the magnetic susceptibility tensor was measured on sample rocks of the Lemaire and Yahgán Fms outcrop in the area between Paso Garibaldi and Canal Beagle in Tierra del Fuego. In the northern area the orientations of the K1 axis of the magnetic fabric shows a dominant directions N-S that can be correlated to the tectonic transport. In the south from Carbajal valley to Canal Beagle, the orientations are roughly E-W that are linked to the morphostructural lineations associated with a the strike-slip faults. The good correspondence between the magnetic anisotropy axis K3 and the rock foliation, permit to assign to a tectonic origin of the magnetic fabric.

Key words: Andes, Anisotropy magnetic susceptibility, AMS, magnetic fabric, microstructures, Tierra del Fuego

Lo studio congiunto della struttura magnetica e tettonica di una roccia coinvolta in una catena orogenica, permette di ottenere importanti informazioni sull'entità della deformazione e della sua distribuzione spaziale (TARLING & HROUDA, 1993; BORRADAILE & HENRY, 1997).

Nonostante l'ottima risoluzione oggi possibile, la versatilità e velocità di esecuzione delle misure ed analisi, studi sulla struttura magnetica delle rocce sono ancora poco frequenti specialmente nelle catene del Sud America e si hanno solo ricerche recenti in aree circoscritte (RAPALINI *et alii*, 2005; ZAFFARANA *et alii*, 2008).

L'obiettivo di questo lavoro è quello di studiare il fabric magnetico congiuntamente con l'analisi petrografica e micro strutturale. Il fine è quello di verificare le modalità di messa in posto delle diverse unità tettoniche, legate sia alla fase compressiva che trascorrente che ha interessato la regione della Tierra del Fuego a partire dal Mesozoico ed inquadrarla nel contesto regionale. L'area studiata è localizzata nel settore SW argentino dell'Isola, compresa tra il Lago Fagnano a nord e il Canal de Beagle a sud e tra il Paso Garibaldi ad est e i limiti del Parco Nazionale della Tierra del Fuego ad ovest (Fig.1).

Questo studio è stato eseguito all'interno di un progetto di più ampio e a lungo termine, multidisciplinare, sull'evoluzione delle Ande Fuegine nel Meso-Cenozoico.

La geologia della Tierra del Fuego mostra una evoluzione complessa iniziata a partire della fine del Paleozoico con la frantumazione del continente Gondwana e la formazione di un bacino marginale noto come Rocas Verdes (DALZIEL *et alii*, 1974). A partire dal Cretaceo sup., la convergenza localizzata nel margine pacifico della Placca Sud Americana, porta allo sviluppo della catena Andina (MENICHETTI *et alii*, 2008 - *cumm. biblio*). A partire dal Paleocene, in corrispondenza della formazione del Mare di Weddel, localizzato tra la placca Sud Americana e quella Antartica e la conseguente formazione del Mare di Scotia, l'area è interessata da una tettonica trascorrente (CUNNINGHAM, 1995), con deformazioni principalmente transtensive nella regione della Tierra del Fuego (LODOLO *et alii*, 2003; MENICHETTI *et alii*, 2008). Nell'area affiorano principalmente rocce, da acide a mesosiliciche, vulcanico/piroclastiche e basaltiche della Formazione Lemair; associate in un quadro stratigrafico ancora non del tutto chiaro, esistono rocce basaltiche della crosta oceanica del bacino di Rocas verdes unitamente a rocce sedimentarie di mare profondo (OLIVERO *et alii*, 1999; OLIVERO & MARTINIONI, 2001). La regione è stata interessata da una fase tettonica compressiva nel Cretaceo sup., costituita da due eventi deformativi associati all'inversione del bacino di Rocas Verdes (DALZIEL & PALMER, 1979). Il primo evento corrisponde al Cretaceo sup. e produce pieghe F1 e un clivaggio S1, associato ad un metamorfismo in facies da prehnite-pumpellyite a scisti verdi (KOHN *et alii*, 1993). Il clivaggio ha una direzione NW-SE ed immerge verso SW. Il secondo evento deformativo è collegato alla formazione e messa in posto di un sistema di pieghe e fronti di accavallamento vergenti a NE, ai quali sono associate larghe pieghe F2 e un clivaggio di crenulazione S2 molto ben sviluppato lungo la direzione NE-SW con immersione verso SE ad alto angolo (MENICHETTI *et alii*, 2008) (Fig. 2). Gli assi delle pieghe tendono a ruotare da SSE-NNW per F1 a ESE-WSW per F2 con piani assiali immergenti a SW con inclinazioni tra 40° a 60°.

A partire dal Cenozoico, l'area è stata interessata da una tettonica trascorrente con strutture distensive e sviluppo di bacini di *pull-apart* (LODOLO *et alii*, 2003; MENICHETTI *et alii*, 2008). Le principali strutture trascorrenti sono associate ad importanti lineamenti morfostrutturali, uno dei quali è costituito dalla valle Carbajal-Lasifashaj, lunga oltre 100 km che

(*) CONICET-INGEODAV. Dpto. de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires - Argentina.

(**) Istituto di Scienze della Terra, Università di Urbino - Italy

Federico Estaban : e-mail esteban@gl.fcen.una.ar

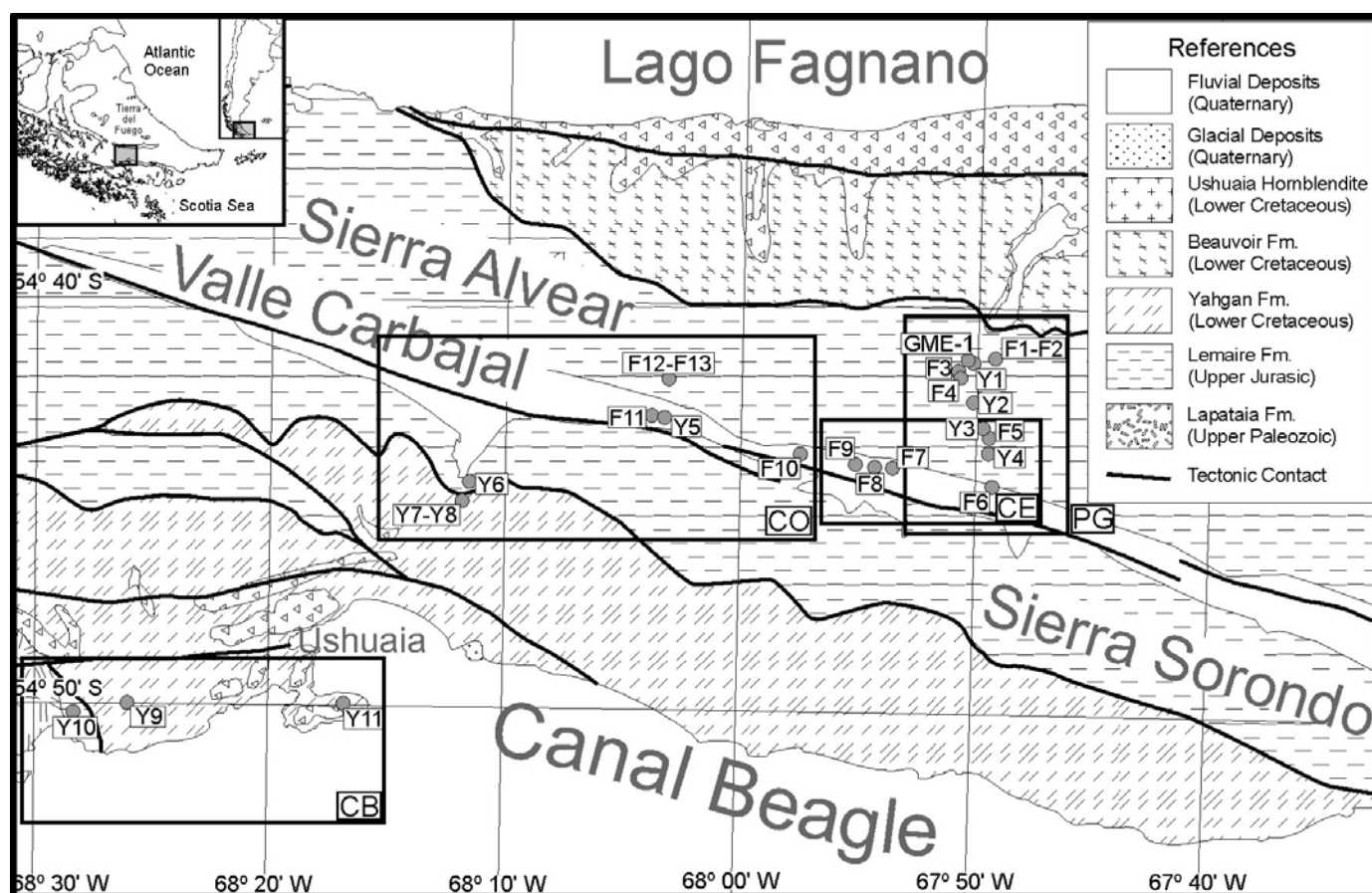


Fig. 1 - Carta geologica schematica della parte centrale della Cordillera delle Ande in Tierra del Fuego con localizzazione delle aree campionate. CB : Canal Beagle; CO : Valle Carbajal ovest; CE : Valle Carbajal Est; PG : Paso Garibaldi.

attraversa tutta la parte centrale della catena fuegina e la suddivide in due settori : la Sierra de Alvear a nord e la Sierra Sorondo a sud (CENNI *et alii*, 2006) (Fig. 1)

La Cordillera delle Ande in Tierra del Fuego è costituita da un sistema di unità tettoniche vergenti a NE accavallamento le une sulle altre attraverso superfici di scollamento basale localizzate nelle litologie marnose e scistose del Giurassico Sup. e del Cretaceo. La geometria è costituita da blocchi monoclinali immergenti a sud e delimitati da piani di sovrascorrimenti, all'interno delle quali si possono riconoscere due gruppi di macro e meso-strutture: (1) ampie pieghe e superfici di sovrascorrimento/scollamento a basso angolo; (2) pieghe a *chevron* asimmetriche con sovrascorrimenti moderatamente inclinati, immergenti a SSW, che costituiscono la struttura principale della catena. Il raccorciamento complessivo di queste strutture, su tutta la regione, può essere stimato in decine di chilometri. La superficie dei sovrascorrimenti è marcata da zone di taglio con uno spessore di alcuni metri, dove sono ben sviluppate strutture S/C (Fig. 2 A); alcune delle superfici di taglio sono costituite da rocce milonitiche. Nella parte più interna della Cordillera, il basamento è coinvolto nella deformazione con uno stile *thick-skinned* con rocce metamorfiche di alto grado del Paleozoico Sup., al Terziario Inf., affioranti nella Cordillera Darwin localizzata ad ovest dell'area di studio (KOHN *et alii*, 1993; CUNNINGHAM, 1995). Verso est, nel settore argentino della

Tierra del Fuego, queste strutture compressive confluiscono in zone di taglio milonitiche in facies metamorfica di scisti verdi ben visibili in affioramento nella Sierra de Alvear (Fig. 1).

Dal punto di vista microstrutturale, le rocce di Paso Garibaldi sono caratterizzate dallo sviluppo di un fabric milonitico definito da porfiroclasti di clinopirosseno all'interno di una matrice caratterizzata da prehnite-clorite che definiscono la foliazione principale. Nel sito F4, in maniera del tutto qualitativa, è possibile osservare una relazione diretta tra l'abbondanza delle vene di minerali opachi-quarzo-carbonatici e alti valori di P' (Fig. 3A).

Nella parte orientale della Valle Carbajal si hanno diverse litologie con rocce andesitiche, vulcanoclastiche, sedimentarie e basiche. Usualmente il *fabric* magnetico è costituito da porfiroclasti immersi in una foliazione definita da clorite e titanite in grani fini ed isorientati (Fig. 3B). Alcuni campioni della località F7 corrispondenti a porfiroclasti silicei, mostrano cubi di pirite con associati *strain fringes* di quarzo.

Nella parte occidentale della Valle Carbajal, la foliazione dei porfiroclasti silicei della Fm. Lemaire, è generalmente definita da clorite isorientata (\pm muscovite \pm titanite). In alcuni punti sono presenti lenti o vene di carbonati paralleli alla foliazione (F10 e F11- Fig. 3C) e porfiroclasti di feldspati con *microboudinage* (F12). Nel sito Y6 il *fabric* magnetico è collegato alla presenza di cristalli di pirite associati con *strain fringes* di quarzo più o meno paralleli alla clorite.

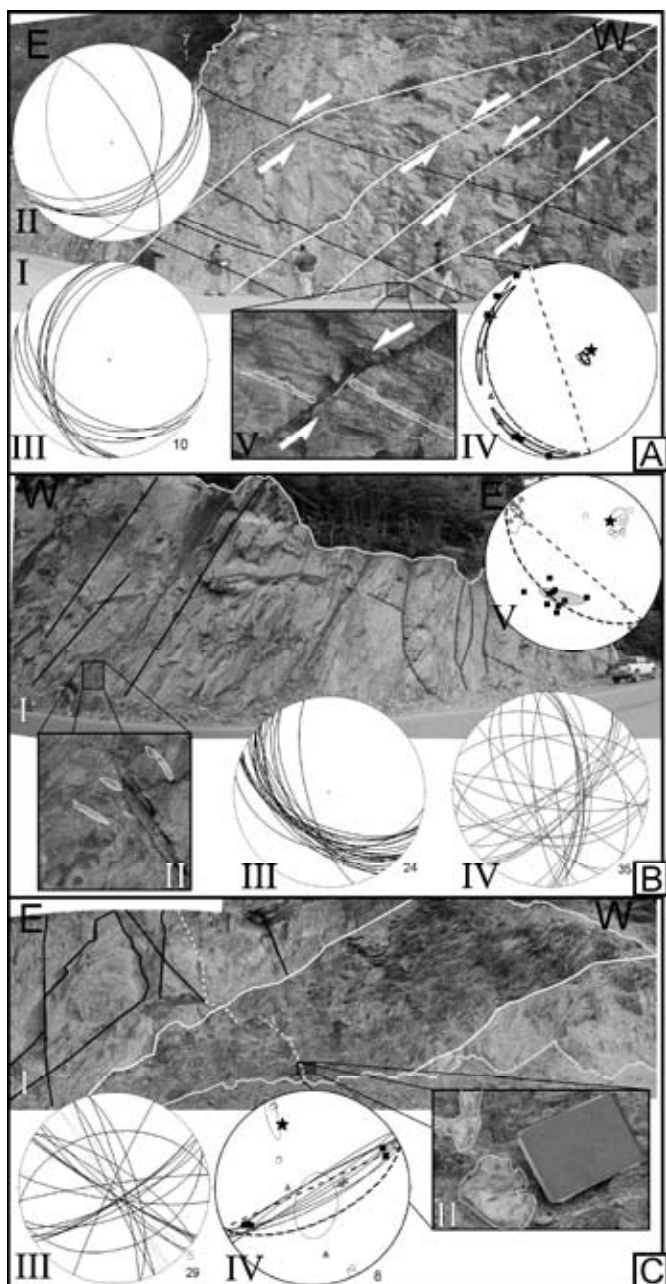


Fig. 2 – Affioramenti con relativi stereogrammi nell'emisfero inferiore con indicato i piani di scistosità, faglie, vene. Sono indicati gli assi della suscettibilità magnetica principale (K1 quadrati), intermedio (K2 triangoli) e minimo (K3 cerchi) e l'ellisse al 95% di confidenza. – A – Paso Garibaldi; B – Valle Carbajal Est; C – Valle Carbajal Ovest.

Dal punto di vista analitico, la metodologia utilizzata prevede, successivamente al prelievo di campioni di roccia orientati, la riduzione a dei cilindri di 2.54 cm di diametro e 2.2 cm di altezza e sui quali viene misurata l'anisotropia magnetica. La determinazione del tensore suscettività magnetica è stata eseguita con uno strumento MFK1-B Kappabridge, all'interno del quale ogni campione viene misurato in 15 diverse posizioni. Sullo stesso campione sono stati inoltre condotti studi petrografici attraverso sezioni sottili.

Il grado di anisotropia rilevato è altamente variabile con un valore di P' compreso tra 1.03 (porfiro dacite, Y11) a 2.00

(ignimbrite F7) (Fig. 4). La forma dell'ellissoide (T) è variabile con una chiara predominanza di una forma oblata. I siti dell'area Valle Carbajal est (tranne il F7) e del Canal de Beagle, mostrano un grado di anisotropia maggiore del 20% (Fig. 4).

I risultati delle misure di suscettività magnetica mostrano un buon accordo con i dati petrografici, meso e micro-strutturali (Fig. 2) e permettono di suddividere la regione in quattro settori. Esiste un'ottima correlazione tra la foliazione misurata sul terreno e la struttura magnetica della roccia, indicando quindi una chiara origine tettonica del fabric magnetico. Nell'area di Paso Garibaldi dove affiorano rocce vulcaniche (basalti ed andesiti) della Fm. Lemaire, la lineazione magnetica (K1) ha una direzione sistematica da N-NNE a S-SSW con una debole inclinazione verso sud, che può essere correlata con la direzione di trasporto tettonico operato dal sistema di sovrascorrimenti (MENICHETTI *et alii*, 2008).

Nell'area orientale della Valle Carbajal affiorano varie

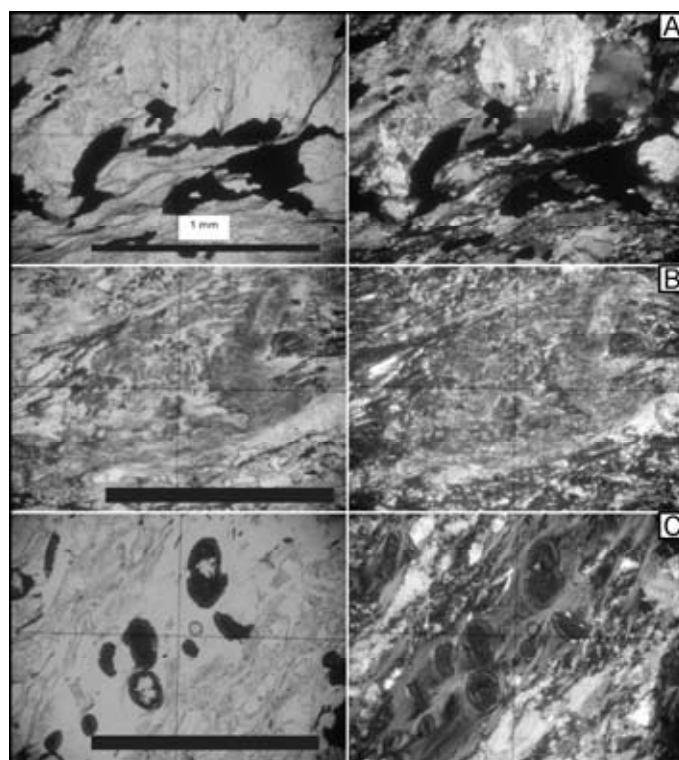


Fig. 3 – Sezioni sottili (a sinistra N// e a destra NX). A: zona di Paso Garibaldi, vena in una andesite con minerali opachi carbonatici e quarzosi; B: Valle Carbajal (F9), frammento di pomice sostituito ed avvolto da clorite che definisce la scistosità; C: Valle Carbajal (F10), titanite con strutture concentriche avvolte da clorite isorientata.

litologie (basalti, andesiti, ignimbriti e rocce sedimentarie) della Fm. Lemaire. Qui la lineazione magnetica (K1) mostra direzioni simili a quelle dell'area di Paso Garibaldi. Per contro, nell'area più occidentale della Valle, K1 ha un trend E-W sub-orizzontale che può essere messo in relazione con il lineamento trascorrente che attraversa in questo punto la parte centrale della valle (MENICHETTI *et alii*, 2004). In questa area le litologie sono costituite da rocce sedimentarie, tufi basaltici, gabbri e rioliti delle Fm. Lemaire e Yaghan.

Nell'area del Canal de Beagle, sono state campionate rocce vulcaniche intrusive (sill meta-basaltico, gabbro e una dacite porfirica) all'interno della Fm. Yaghan. Il trend della lineazione magnetica è sub orizzontale verso SW-NE, coincidente con l'andamento generale del Canal de Beagle. Questo lascerebbe supporre che l'assetto tettonico prettamente transtensivo

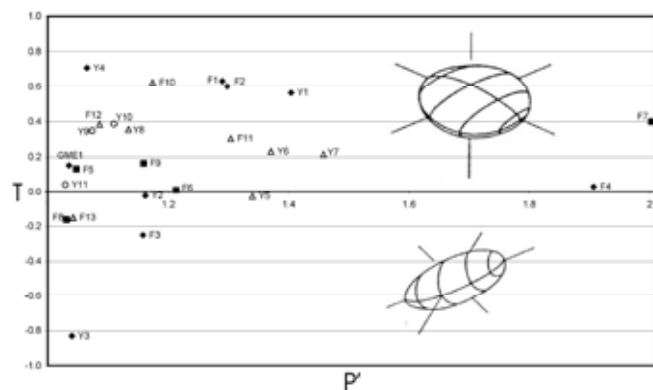


Fig. 4 – Diagramma P/T (TARLING D.H. & HROUDA F., 2003) con indicati i campioni analizzati, indicati in Fig. 1 - Paso Garibaldi (rombi), Valle Carbajal Est (quadrati), Valle Carbajal ovest (triangoli), Canal de Beagle (cerchi) - e la forma degli ellissoidi della suscettività magnetica.

determina il fabric magnetico di questa località (LODOLO *et alii*, 2003; MENICHETTI *et alii*, 2008).

E' possibile effettuare un confronto tra le direzioni degli assi dell'ellissoide di deformazione calcolato sulla base dell'analisi cinematica delle faglie (MENICHETTI *et alii*, 2008) con gli assi dell'ellissoide della suscettività magnetica. In alcune zone come in quella di Passo Garibaldi, Sierra Alvear e Valle Carbajal occidentale e Canal de Beagle, l'asse dello sforzo principale σ_1 , corrisponde circa con l'asse K1 (foliazione) della suscettività magnetica, il σ_2 è circa K2 e il σ_3 con K3 (lineazione). Questa coincidenza potrebbe essere spiegata attraverso un meccanismo deformativo dove il taglio puro ha agito nella prima fase di deformazione. In altre località come nella parte occidentale della Valle Carbajal, per contro, non esiste una chiara relazione tra i valori della suscettività magnetica e il campo deformativo, lasciando ipotizzare un meccanismo di deformazione più complesso e probabilmente polifasico.

REFERENCES

- BORRADAILE, G. J., HENRY, B. (1997) - *Tectonic applications of magnetic susceptibility and its anisotropy*. Earth-Science Reviews, Vol. **42**, (1-2): 49-93.
- CENNI, M., MENICHETTI, M., MATTIOLI, M., LODOLO, E., TASSONE A. (2006) - *Analisi meso-microstrutturale lungo la faglia trascorrente Magellano-Fagnano nella Cordigliera delle Ande in Terra del Fuoco-Argentina*. Rendiconti della Società Geologica Italiana. Nuova Serie, **2**: 121-124.
- CUNNINGHAM, W.D. (1995)- *Orogenesis at the southern tip of the Americas: the structural evolution of the Cordillera Darwin metamorphic complex, southernmost Chile*. Tectonophysics, **244**: 197-229.
- DALZIEL, I.W.D., DE WIT, M.J., PALMER, K.F., (1974) - *Fossil marginal basin in the southern Andes*. Nature, **250**: 291-294.
- DALZIEL, I.W.D., PALMER, K.F. (1979) - *Progressive deformation and orogenic uplift at the southern extremity of the Andes*. Bulletin of the Geological Society America, **90**: 259-280.
- LODOLO E., MENICHETTI M., BARTOLE R., BEN-AVRAHAM Z., TASSONE A. & LIPPAI H. (2003) - *Magallanes-Fagnano continental transform fault (Tierra del Fuego, southernmost South America)*. Tectonics, **22**, 1076, doi: 10.1029/2003TC00901500, 2003.
- KOHN M.J., SPEAR F.S., DALZIEL I.W.D. (1993) - *Metamorphic PT paths from the Cordillera Darwin: a core complex in Tierra del Fuego, Chile*. Journal of Petrology, **34**: 519-542.
- MENICHETTI M., ACEVEDO R., BUJALESKY G., CENNI M., CERREDO M.E., CORONATO A., HORMAECHEA J.L., LIPPAI H., LODOLO E., OLIVERO E., RABASSA J., RUSSI M., TASSONE, A. (2004) - *Geological field trip guide in the Tierra del Fuego*. Geosur 2004, Argentina, 39 p.
- MENICHETTI M., LODOLO E., TASSONE A. (2008)- *Structural geology of the Fuegian Andes and Magallanes fold-and-thrust belt-Tierra del Fuego Island*. Geologica Acta, **6**, (1):19-42.
- OLIVERO E.B., MALUMIÁN D.R. (2008) - *Mesozoic-Cenozoic stratigraphy of the Fuegian Andes, Argentina*. Geologica Acta, **6**, (1): 5-18.
- OLIVERO E.B., MARTINIONI D.R. (2001) - *A review of the geology of Argentinian Fuegian Andes*. Journal of South American Earth Sciences, **14**: 175-188.
- RAPALINI A.E., CERREDO M.E., TASSONE A., LIPPAI H. (2005) - *Estudio de magnetofábrica y microestructuras a través de los Andes de Tierra del Fuego*. In Congreso Geológico Argentino, **16**. Actas en CD. 8 pp. La Plata.
- TARLING D.H., HROUDA F. (2003) - *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. Chapman and Hall: 217 p. London.
- ZAFFARANA C.B., SOMOZA R., OLIVERO E.B. (2008) - *Anisotropía de la susceptibilidad magnética en el paleógeno de la faja plegada Fueguina*. In Congreso Geológico Argentino **17**, Actas, 168, Jujuy.