

EVIDENZE DI ROTAZIONI DI BLOCCHI NELL'AREA DI M.S. VICINO-CINGOLI E DEL M. VETTORE
(APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO)(***)

INDICE

RIASSUNTO	pag.	73
ABSTRACT	"	73
INTRODUZIONE	"	73
INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	"	73
STUDIO PALEOMAGNETICO	"	76
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	"	77
BIBLIOGRAFIA	"	79

RIASSUNTO

Nel presente lavoro riportiamo i risultati di uno studio integrato, a carattere strutturale e paleomagnetico, relativo alle aree di M. S. Vicino-Cingoli e del M. Vettore; le due aree sono ubicate nel settore centro-meridionale della dorsale appenninica umbro-marchigiana (Fig. 1) e sono state selezionate, per i loro caratteri strutturali, come aree-chiave per l'esecuzione di un test paleomagnetico.

I risultati dello studio hanno evidenziato che:

- il pattern del vettore paleomagnetico è fortemente dipendente dalla situazione strutturale locale;
- detto pattern comprende diverse componenti che possono essere isolate e misurate solo quando è ben nota la storia deformativa del sito esaminato;
- le variazioni della declinazione paleomagnetica, misurate nelle aree-test, possono essere attribuite sia a rotazioni coerenti di differenti thrust sheets (area di M.S. Vicino-Cingoli) sia a rotazioni differenziali nell'ambito di uno stesso thrust sheet (area del M. Vettore);
- in quest'ultimo caso, esse risultano associate alla sua deformazione interna ed alla conseguente segmentazione in domini strutturali distensivo-transtensivi di ordine inferiore.

ABSTRACT

In this paper we report the results of a paleomagnetic test performed in two key-areas in the Umbria-Marche Apennines (central Italy; Fig. 1); in the M.S. Vicino-Cingoli area (to the north) we sampled rock-types from two different thrust sheets separated by the M. Sibillini thrust, a major feature at the easternmost front of the mountain range; whereas in the M. Vettore area, rock-samples were collected within one single thrust sheet. Here, the local structural setting differs from that of the M.S. Vicino-Cingoli area because of the occurrence of fault-bounded domains resulting from a late orogenic (Plio-Quaternary) extension. This (re)activated major (30 Km long) NW-SE trending "en echelon" fault belts (with strong dip-slip, normal, components) and minor pervasive N-S and E-W trending left and right lateral strike-slip faults.

The results of our test show that the pattern of the paleomagnetic vector is strongly dependent upon the local structure and that it is a net vector resulting from different

components which can be isolated and measured only when the deformation history of the area is understood in detail.

In our test-areas, we show that the measured variations of the paleomagnetic declination may be attributed to a coherent clockwise rotation of the two thrust sheets in the M. S. Vicino-Cingoli area, and to differential rotations within one single thrust sheet in the M. Vettore area. In other words, the net rotation that we measure today appears to be related to the structuring of the Umbria-Marche thrust system either in compression (during the mountain-building phases) or/and in extension (during the late orogenic block-faulting phases).

INTRODUZIONE

Dai primi anni 70 l'Appennino umbro-marchigiano è stato oggetto di numerosi studi aventi come obiettivo la definizione del *pattern* regionale del vettore paleomagnetico, al fine di valutarne il significato nel contesto dell'evoluzione tettonica del sistema Alpi-Appennino.

I risultati di questi studi, che evidenziano un *pattern* estremamente variabile nello spazio e/o nel tempo della declinazione paleomagnetica, sono stati interpretati in termini di rotazioni che interessano sia blocchi crostali (a) che litosferici (b). Nel primo caso (a) le variazioni della declinazione paleomagnetica risulterebbero connesse con processi deformativi *thin-skinned*, quali, ad esempio, il *bending* oroclinalico (CHANNEL *et al.*, 1978) oppure la messa in posto di *thrust-sheets* (CHAN, 1987) durante la costruzione di catene a pieghe e sovrascorrimenti; nel caso (b) invece, dette variazioni sarebbero conseguenti alla rotazione di una singola microplacca (LOWRIE & ALVAREZ, 1974; 1975; CHANNEL & TARLING, 1975; VAN DEN BERG *et al.*, 1978).

Da quanto detto, appare evidente la necessità di definire criteri che consentano di poter discriminare tra i differenti meccanismi proposti.

In questo lavoro vengono riportati nuovi dati paleomagnetici relativi alle aree di M.S. Vicino-Cingoli e del M. Vettore e viene proposto un approccio metodologico ed un modello interpretativo dei risultati.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Pieghe parallele e sovrascorrimenti a vergenza nord-orientale caratterizzano la catena umbro-marchigiano-sabina di età neogenica: porzione più esterna e meridionale dell'Appennino settentrionale. Tipica è anche la sua forma arcuata (a convessità orientale) descritta principalmente da sovrascorrimenti ad andamento NW-SE (a nord) e N-S (a sud) quali, ad esempio, quello dei M. Sibillini al fronte montuoso dell'Appennino umbro-marchigiano (Fig. 1).

(*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Camerino.

(**)IPRG - Israele.

(***)Lavoro eseguito con i fondi M.U.R.S.T. 40% (Deiana).

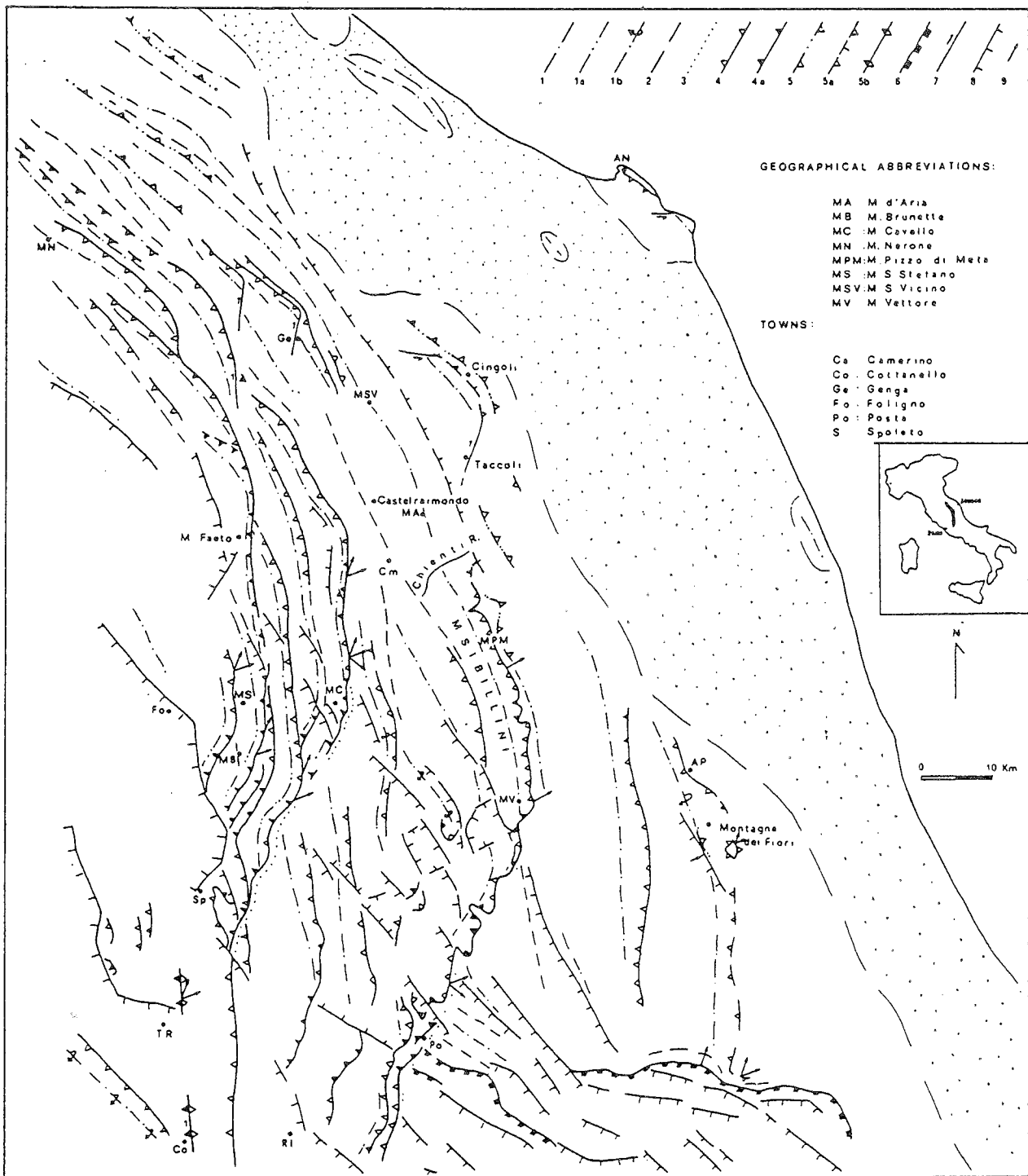


Fig. 1 - Schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano, da CALAMITA (1990, modificato).

1) macroanticlinale; 1a) macroanticlinale con il fianco esterno intensamente tettonizzato; 1b) macroanticlinale con il fianco esterno rovesciato; 2) sinclinale; 3) andamento assiale di pieghe minori vicino al fronte del sovrascorrimento; 4) sovrascorrimento; 4a) sovrascorrimento transpressivo e/o rampa laterale-obliqua; 5) retroscorrimento; 5a) faglia normale preesistente (probabilmente messiniana) riattivata come retroscorrimento; 5b) retroscorrimento in zona triangolare; 6) fronte del sovrascorrimento della Piattaforma laziale-abruzzese; 7) faglia di strappo transpressiva; 8) faglia normale recente; 9) slip-vectors. Nell'area marchigiana esterna, la catena è sepolta sotto i depositi plio-pleistocenici (area puntinata).

Le pieghe hanno, in genere, un andamento assiale parallelo alla direzione dei piani di sovrascorrimento; solo a luoghi esse si interrompono (verso sud) in prossimità di questi ultimi nei tratti a locale direzione N 40°-60° (CALAMITA, 1990).

BALLY *et al.* (1986) e CALAMITA E DEIANA (1986) interpretano questo settore dell'Appennino secondo

uno stile tettonico pellicolare, mentre LAVECCHIA *et al.* (1987) considerano coinvolto anche il basamento.

Faglie normali plio-quadernarie che dislocano e/o invertono le precedenti strutture compressive sono caratterizzate da direzioni medie orientate circa N140°-160°; dette faglie risultano pertanto oblique rispetto alle pieghe ed ai sovrascorrimenti (CENTAMORE *et al.*, 1980).

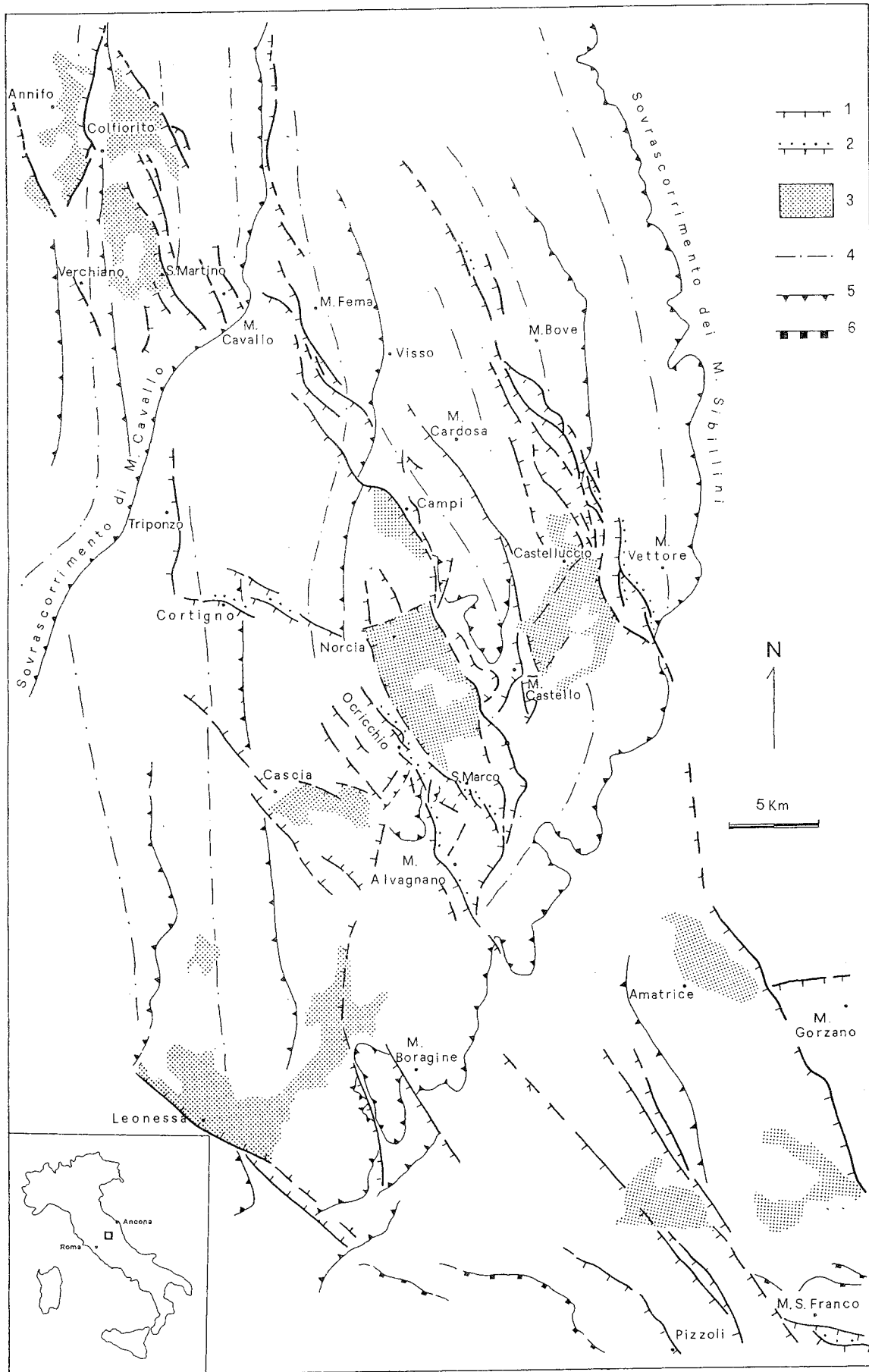


Fig. 2 - Schema strutturale dei "fasci" di faglie attive e/o recenti nella dorsale appenninica umbro-marchigiana meridionale (da CALAMITA & PIZZI, presente volume) faglia normale quaternaria; 2) faglia normale attiva; 3) bacino continentale quaternario; 4) macroanticlinale; 5) sovrascorrimento; 6) sovrascorrimento del dominio laziale-abruzzese.

Nella dorsale appenninica umbro-marchigiana, il sistema di faglie distensive plio-quadernarie è organizzato in "fasci" con spaziatura dell'ordine dei 10-15 Km, seguibili con continuità per circa 20-30 Km; nell'ambito di questo sistema le singole faglie sono distribuite *en échelon* e/o raccordate da segmenti di trasferimento (Fig. 2). Esse hanno direzione più frequente intorno a N 140°, immersione a SW e pendenza di 60°-70°; direzioni N-S ed E-W sono invece associate a faglie rispettivamente sinistre e destre che caratterizzano sia i segmenti di trasferimento tra strutture contigue che le mesofaglie (PIZZI, 1992; CALAMITA *et al.*, presente volume; CALAMITA & PIZZI, presente volume). La direzione di estensione ricavata dall'analisi degli indicatori cinematici e dalla geometria complessiva delle strutture esaminate risulta essere N 60°; subordinatamente a questa è stata inoltre documentata anche un'estensione orientata N 10°-20° (PIZZI, 1992).

Ai suddetti "fasci", che realizzano singolarmente un rigetto massimo di 1500 m, si associano bacini quadernari, mostrandone uno sviluppo localizzato nell'ambito dei blocchi ribassati (*hanging walls*), colmati da depositi fluvio-lacustri (Castelluccio, Norcia, Cascia, Leonessa, Colfiorito) (Fig. 2). Essi corrispondono a depressioni tettoniche connesse: alla geometria listrica delle faglie, alla loro distribuzione *en echelon*; alle due direzioni di estensione (CALAMITA & PIZZI, presente volume).

STUDIO PALEOMAGNETICO

In un recente lavoro di sintesi regionale sull'analisi dei dati paleomagnetici disponibili in Appennino, HIRT & LOWRIE (1988) escludono la possibilità che la penisola italiana abbia ruotato come microplacca coerente ed anche che l'Appennino umbro-marchigiano sia stato soggetto a un *bending* oroclinale. L'analisi di dettaglio del *pattern* delle declinazioni paleomagnetiche esaminate dagli Autori ha mostrato che lo stesso può essere interpretato come il risultato di una semplice traslazione di differenti *thrust sheets* senza importanti rotazioni rispetto al proprio basamento; di fatto, detto *pattern* è caratterizzato da notevoli dispersioni della declinazione paleomagnetica, ciò che implica rotazioni differenziali intorno ad assi verticali anche tra aree contigue.

A partire dagli anni 80 alcuni Autori (ad es. BECK, 1980; RON *et al.*, 1984; LUYENDYK *et al.*, 1985; MC KENZIE & JACKSON, 1986) hanno mostrato che questo tipo di rotazioni a piccola scala può essere messo in relazione con processi di fagliamento che, laddove interessano sistemi a *thrusts*, sono da ricollegarsi con la strutturazione del sistema e la conseguente deformazione interna dei singoli *thrust sheets* (SCHWARTZ & VAN DER VOO, 1984; ELDRIDGE & VAN DER VOO, 1988; CELLO & COPPOLA, 1989; JOLLY & SHERIFF, 1992). Per quanto riguarda l'Appennino umbro-marchigiano va però considerato che la sua storia deformativa è il risultato di due processi: il primo (di età neogenica) a carattere compressivo e l'altro (di età plio-quadernaria) a carattere distensivo.

E' chiaro quindi che ai fini dell'analisi paleomagnetica è necessario, in questo caso, valutare l'importanza relativa dei due processi.

In quest'ottica il presente lavoro è stato indirizzato all'acquisizione di dati strutturali e paleomagnetici relativi a (Fig. 3): 1) l'area di M.S. Vicino-Cingoli, dove

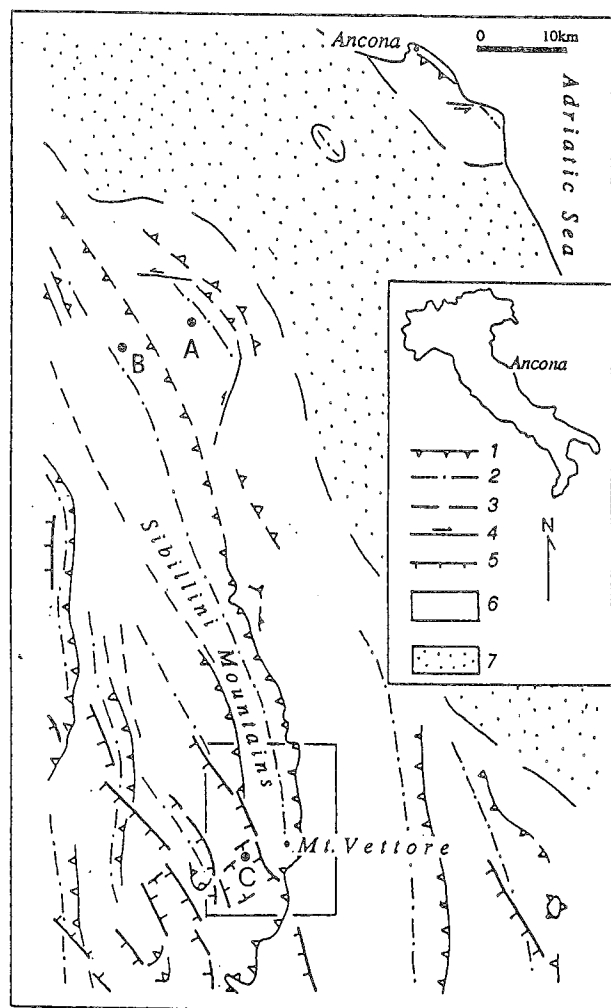


Fig. 3 - Schema strutturale del settore appenninico relativo alle aree oggetto delle campionature per lo studio paleomagnetico: 1) sovrascorrimenti; 2) anticlinali; 3) sinclinali; 4) *tear faults*; 5) faglie normali; 6) successione sedimentaria umbro-marchigiana del Trias superiore-Pliocene; 7) successione terrigena del Pliocene medio-Pleistocene inferiore; A) area di Cingoli; B) area di M.S. Vicino; C) area del M. Vettore.

è stata campionata la parte medio-alta della Scaglia rosata di due diversi *thrust-sheets* (quello dei M. Sibillini ed il sottostante di Cingoli-Strada) non interessati da importanti strutture distensive; 2) l'area del M. Vettore (sulla prosecuzione meridionale del *thrust* dei M. Sibillini) dove sono presenti invece importanti strutture estensionali recenti e/o attive, ad andamento N 140°-160° e faglie minori transversive destre e sinistre orientate rispettivamente E-W e N-S. Queste ultime sono raramente cartografabili, ma risultano pervasive a scala mesostrutturale. Qui i campioni sono stati raccolti nella Maiolica di M. Vettore (MV₁), nelle Marne a Fucoidi della stessa località (MV₂), nella Maiolica di M. Rotondo (RO) e nella Scaglia rosata di M. Prata (PR) e de I Pantani (PN₁, PN₂).

Le stazioni di misura utilizzate per lo studio paleomagnetico sono state selezionate con l'obiettivo di evitare campionature in pieghe minori a carattere locale e soprattutto in situazioni che apparivano sospette per la presenza di *slumps* intraformazionali; in entrambi i casi, infatti, il *test* per la correzione tettonica

sarebbe risultato di difficile esecuzione ed il risultato di dubbia efficacia. Le procedure per il campionamento hanno previsto:

- l'attenta valutazione dell'assetto strutturale locale;
- il prelievo di campioni orientati per l'analisi di laboratorio della NRM (*Natural Remanent Magnetization*)
- la campionatura della successione *in situ* ai fini dell'analisi comparata bio-magnetostratigrafica.

Le procedure di laboratorio utilizzate per lo studio della NRM sono quelle standard in uso presso il Laboratorio IPRG (Institute for Petroleum Research and Geophysics), Holon, Israel (RON *et al.*, *in press*).

Le direzioni medie di magnetizzazione derivate per ogni singola località sono riportate come poli nei diagrammi di Fig. 4 ed in forma numerica in Tab. 1.

Come si può osservare, i risultati dell'analisi paleomagnetica evidenziano rotazioni, su assi verticali, sia orarie (CW) che antiorarie (CCW).

Nell'area di Cingoli, così come in quella di M.S. Vicino (Fig. 4 e Tab. 1) le rotazioni misurate risultano essere antiorarie e di uguale entità (12.4° CCW); ciò implica che non si riconoscono rotazioni relative tra i due *thrust sheets* campionati.

Nell'area del M. Vettore le rotazioni, nell'ambito di un singolo *thrust sheet*, sono invece sia orarie (M. della Prata) che antiorarie (M. Rotondo, M. Veletta, I Pantani) e di entità diversa. Nel settore settentrionale i domini nell'ambito dei quali si evidenziano le rotazioni suddette, sono limitati da faglie normali quaternarie antitetiche rispetto alla faglia bordiera del M. Vettore, mentre nel settore meridionale questi risultano mal definiti e limitati, probabilmente, da strutture trasversali (Fig. 5).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio condotto nelle aree di M.S. Vicino-Cingoli e del M. Vettore (caratterizzate da situazioni strut-

Tab. 1 - Entità delle rotazioni dei poli medi di fig. 4 derivate per le singole località campionate. + = CW; - = CCW.

Sezione campionata	Rotazioni misurate
M.S. Vicino-Cingoli	- 12.4°
M. Veletta (MV)	- 10.0°
M. Rotondo (RO)	- 29.8°
M. Prata (PR)	+ 8.2°
I Pantani (PN1)	- 19.6°

turali locali nettamente diverse) mostra che queste forniscono una risposta completamente differente rispetto al *test* paleomagnetico effettuato.

Nel primo caso, sia il *thrust sheet* di M.S. Vicino che quello di Cingoli-Strada, risultano ruotati coerentemente, in senso orario, di circa 12° .

Nel secondo caso, (area del M. Vettore) si registra invece una segmentazione in blocchi minori (o domini), caratterizzati da rotazioni differenziali, in risposta alla complessa deformazione interna del *thrust sheet* dei M. Sibillini; deformazione che qui risulta dalla sommativa di due processi: compressivo (il primo) e distensivo (il secondo). Poichè i dati strutturali mostrano che i limiti dei domini coincidono con faglie quaternarie, è lecito supporre che le rotazioni misurate siano da attribuire anche ad attività tettonica recente. Per quantizzare l'entità delle rotazioni associate alla tettonica estensionale, i dati dell'area del M. Vettore sono riferiti a quelli dell'area di M.S. Vicino-Cingoli, dove le rotazioni sono imputabili ai soli eventi compressivi (Fig. 5): la rotazione massima così calcolata risulta associata al blocco di M. Prata.

Sulla base di quanto esposto viene infine proposto un modello interpretativo dell'area del M. Vettore, dove è stato possibile documentare che la tettonica quaternaria ha giocato un ruolo importante nel processo di deformazione interna del *thrust sheet* dei

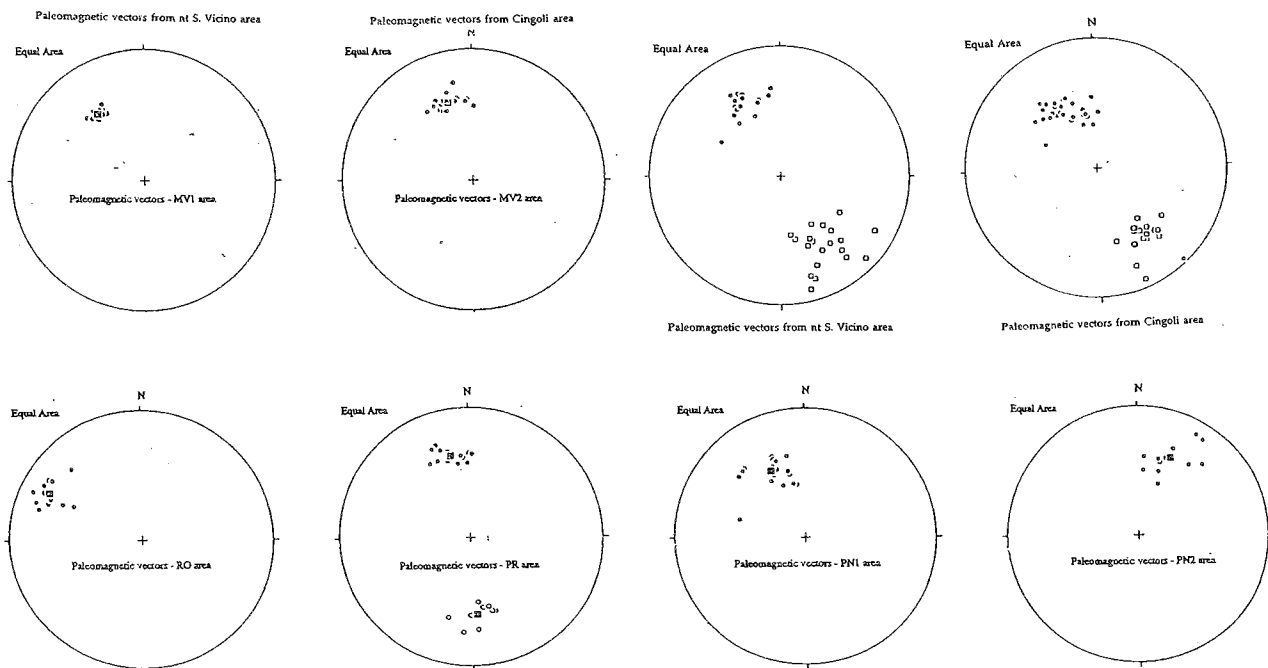


Fig. 4 - Proiezione stereografica dei vettori paleomagnetici relativi alle aree campionate. I cerchi pieni rappresentano l'inclinazione positiva nell'emisfero inferiore, quelli vuoti l'inclinazione negativa nell'emisfero superiore, i quadrati il vettore medio.

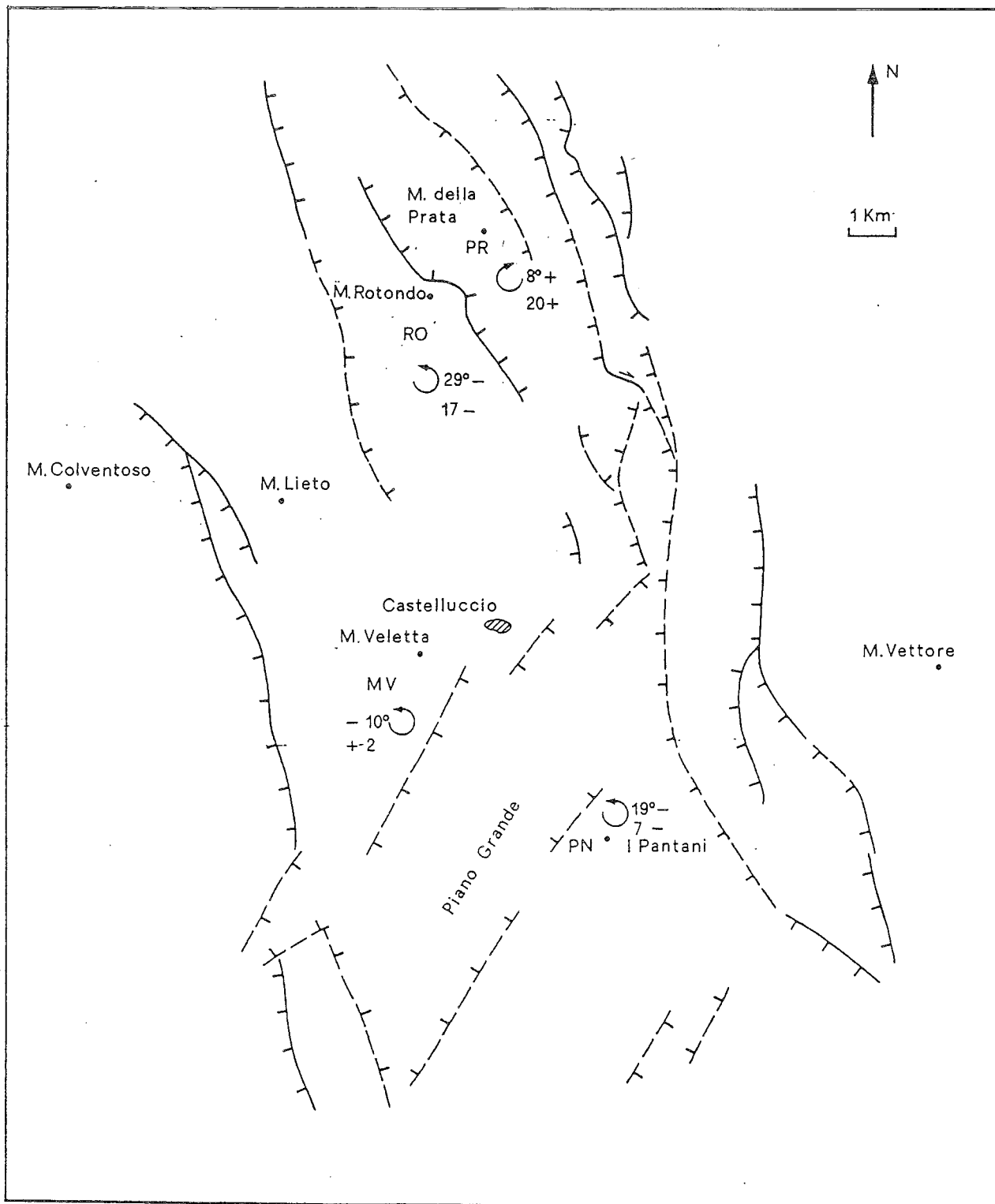


Fig. 5 - Faglie quaternarie nell'area del M. Vettore. Sono riportate le località campionate (RO, PN, MV, PR) e le relative rotazioni. Il numero in alto si riferisce alla rotazione misurata. Il numero in basso si riferisce alla rotazione associata alla sola distensione ed è stato ottenuto sottraendo 12.4° CCW (dati di M.S. Vicino-Cingoli) ai valori riportati in Tabella 1, nell'ipotesi che tale valore (12.4° CCW) possa considerarsi costante e pari alla rotazione associata alla compressione.

M. Sibillini. Tale modello (Fig. 6) prevede che, nel quadro delle tettonica recente ed attiva caratterizzata da una estensione ENE-WSW, le rotazioni misurate possano svilupparsi attraverso l'attivazione delle strutture pervasive transtensive ad andamento circa N-S ed E-W quando le componenti principali intermedia (σ_2) e massima (σ_1) del campo di stress locale si invertono

(quando cioè $\sigma_1 \approx \sigma_2$, come è appunto il caso nell'area del M. Vettore; RON *et al.*, *in press*).

In conclusione, i risultati del nostro lavoro, oltre che fornire ulteriori dati paleomagnetici per l'Appennino umbro-marchigiano, sembrano suggerire anche dei vincoli per la loro interpretazione in relazione a problematiche regionali (quali ad es. l'arcuatura della ca-

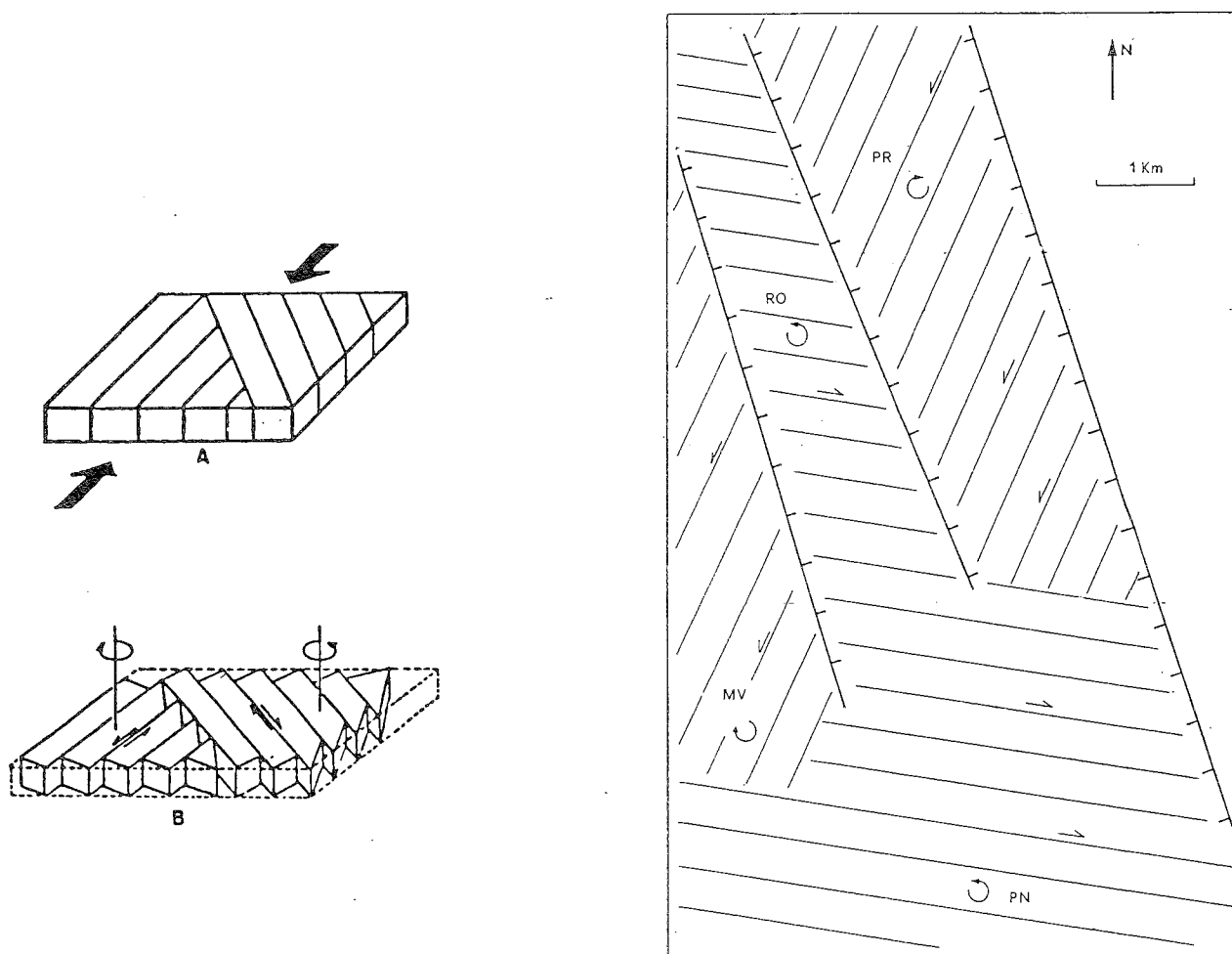


Fig. 6 - Modello cinematico della deformazione interna dei vari domini individuati nella zona del M. Vettore. Per le sigle e le entità delle rotazioni vedi tabella 1 e Fig. 5. (A e B, da FREUND, 1974).

tena). A nostro avviso, infatti, è evidente che per tale scopo è necessario innanzitutto discriminare tra le diverse componenti che concorrono a determinare localmente la geometria del vettore paleomagnetico e, solo successivamente, il *pattern* risultante può essere utilizzato come elemento utile per l'elaborazione di modelli geotettonici regionali. Per l'area oggetto del nostro studio, noi abbiamo mostrato che:

— rotazioni differenziali di blocchi crostali possono essere misurate ed isolate nell'ambito di un singolo *thrust sheet* solo quando si dispone di studi strutturali di buon dettaglio, in quanto la risposta paleomagnetica risulta fortemente condizionata dall'assetto strutturale locale;

— le rotazioni misurate possono essere messe in relazione sia a processi deformativi connessi con la tettonica compressiva (area di M.S. Vicino-Cingoli), sia ad una fagliazione (e/o attivazione di strutture preesistenti) in regime distensivo (area del M. Vettore).

BIBLIOGRAFIA

- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) - *La tettonica di scollamento dell'Appennino centrale*. Atti del 73° Congresso nazionale della S.G.I. Geologia dell'Italia centrale, Roma 30-9/4-10 1986, 75-79.
- BECK M.E. JR (1980) - *Paleomagnetic record of plate-tectonic processes along the western edge of north America*. J. Geophys. Res. 85, 7115-7131.

- CALAMITA F. (1990) - *Thrusts and fold-related structures in the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Annales Tectonicae, 4, 83-117.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino umbro-marchigiano*. Atti del 73° Congresso Nazionale della S.G.I. Geologia dell'Italia Centrale. Roma 30-9/4-10 1986, 87-90.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (in stampa) - *Tettonica quaternaria nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati*. Studi Geol. Camerti, presente volume.
- CALAMITA F., PIZZI A. & ROSCIONI M. (in stampa) - *I "fasci" di faglie recenti ed attive di M. Vettore-M. Bove e di M. Castello-M. Cardoso (Appennino umbro-marchigiano)*. Studi Geol. Camerti, presente volume.
- CELLO G. & COPPOLA L. (1989) - *Modalità e stili deformativi nell'area anconetana*. Studi Geologici Camerti, 11, 37-47.
- CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1980) - *La tettonica recente nell'arco appenninico umbro-marchigiano*. C.N.R. Pubbl. n° 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica.
- CHAN L.S. (1987) - *Paleomagnetic determination of the mechanisms of rotation in the Umbria-Marche Apennines*. J. Geophys. Res.
- CHANNEL J.E.T., LOWRIE W., MEDIZZA F. & ALVAREZ W. (1978) - *Paleomagnetism and tectonics in Umbria, Italy*. Earth Planet. Sci. Lett., 39, 199-210.
- CHANNEL J.E.T. & TARLING D.H. (1975) - *Paleomagnetism and the rotation of Italy*. Earth Planet. Sci. Lett., 25, 177-188.
- ELDRIDGE S. & VAN DER VOO R. (1988) - *Paleomagnetic study of thrust sheet rotation in the Helena and Wyoming salients of the northern Rocky Mountains*. Geol. Soc. Amer. Mem., 17, 319-331.
- FREUND R. (1974) - *Kinematics of transform and transcurrent faults*. Tectonophysics, 21, 93-134.

- HIRT A.M. & LOWRIE W. (1988) - *Paleomagnetism of the Umbria-Marches orogenic belt*. Tectonophysics, **146**, 91-103.
- JOLLY A.D. & SHERIFF S.D. (1992) - *Paleomagnetic study of thrust-sheet motion along the Rocky Mountain front in Montana*. Geol. Soc. Amer. Bull., **104**, 779-785.
- LAVECCHIA G., MINELLI G. & PIALI G. (1987) - *Contractional and extensional tectonics along the Trasimeno Lake-Pesaro transect (Central Italy)*, in "The lithosphere in Italy. Advances in Earth Science Research". Preprint volume edited by A. BORRIANI, M. BONAFEDE, G. PICCARDO, G.B. VAL, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- LOWRIE W. & ALVAREZ W. (1974) - *Rotation of Italian Peninsula*. Nature, 251-285.
- LOWRIE W. & ALVAREZ W. (1975) - *Paleomagnetic evidence for rotation of the Italian Peninsula*. J. Geophys. Res., **80**, 1579-1592.
- LUYENDYK B.P., KAMERLING M.J., TERRES R.R. & HORNAFIOUS J.S. - *Simple shear of southern California during Neogene time suggested by paleomagnetic declination*. J. Geophys. Res., **90**, 12454-12466.
- MC KENZIE D. & JACKSON J. (1986) - *A block model of distributed deformation by faulting*. J. Geol. Soc. London, **143**, 349-353.
- PIZZI A. (1992) - *Faglie recenti ed attive e origine delle depressioni tettoniche. Esempi dall'Appennino umbro-marchigiano*. Tesi di dottorato. pp. 172.
- RON H. & CELLO G., CALAMITA F. & DEIANA G. (in stampa) - *Paleomagnetic study of thrust sheet rotation and deformation in Marche (central Italy) and implication for Apennine thrust tectonics*.
- RON H., FREUND R., GARFUNKEL Z. & NUR A. (1984) - *Block rotation by strike-slip faulting: structural and paleomagnetic evidence*. J. Geophys. Res., **89**, 6256-6270.
- SCHWARTZ S.Y. & VAN DER VOO R. (1984) - *Paleomagnetic study of thrust sheet rotation during foreland impingement in the Wyoming. Idaho overthrust belt*. J. Geophys. Res., **89**, 10077-10086.
- VAN DEN BERG J., KLOOTWIJK C.T. & WONDERS A.A. (1978) - *Late Mesozoic and Cenozoic movements of Italian peninsula: Further paleomagnetic data from the Umbria sequence*. Geol. Soc. Amer. Bull., **89**, 133-150.