

Alfredo Jacobacci, Professore all'Università di Siena - una riflessione sul suo contributo alla definizione della struttura profonda dell'Appennino umbro-marchigiano

*Alfredo Jacobacci, Professor at the University of Siena
- his contribution to understanding the deep structure
of the Umbria-Marche Apennines, Italy*

TAVARNELLI E. (*)

Alfredo Jacobacci, una delle figure più illustri della comunità geologica italiana e già Direttore del Servizio Geologico d'Italia, ha svolto attività di insegnamento presso l'Università degli Studi di Siena nel periodo compreso fra il 1976 ed il 1985. Il suo primo incarico è stato sull'insegnamento di geologia, ma a partire dal 1977 ha tenuto ininterrottamente fino al 1985 l'insegnamento di geografia per i corsi di laurea in Scienze Geologiche ed in Scienze Naturali. Ho conosciuto ALFREDO JACOBACCI frequentando il suo corso di geografia da matricola, nell'Anno Accademico 1982/83. A questo corso veniva allora affidato il compito di avvicinare gli studenti del primo anno alle materie geologiche. Il Professore JACOBACCI basava la sua attività didattica sulla vasta esperienza maturata durante gli anni trascorsi presso il Servizio e riusciva a trasmettere a noi studenti la sua grande passione per la geologia. Egli era convinto, a buona ragione, del fatto che la geologia si impara sul terreno: e siccome il suo corso non prevedeva, purtroppo, escursioni sul campo, egli tentava di ovviare a questa mancanza basando gran parte delle sue lezioni sulla proiezione di diapositive raccolte durante le numerose spedizioni alle quali

aveva preso parte. A noi studenti, che sentivamo allora parlare di geologia per la prima volta, quell'approccio, particolare perchè ricco di racconti, di aneddoti e di situazioni vissute sul terreno in regioni estreme, trasmetteva un entusiasmo contagioso per lo studio della materia. Anche gli esami iniziavano con l'analisi di fenomeni geologici dedotti dall'osservazione di immagini, scelte a caso da noi studenti, fra il materiale della sua collezione personale di fotografie e cartoline. Il programma ed i contenuti del suo corso di geografia sono raccolti in una dispensa dal titolo "Appunti sull'Evoluzione della Crosta Terrestre" (JACOBACCI, 1981). Noi studenti la utilizzavamo come un vero e proprio manuale di geologia ed ancora oggi, rileggendola dopo molti anni, vi ho ritrovato richiami molto attuali a concetti fondamentali delle Scienze della Terra. JACOBACCI riteneva che non si può comprendere a fondo una materia se non se ne conoscono le origini: pertanto, la trattazione dei fenomeni geologici nella sua dispensa è preceduta da un ricco *excursus* storico su come si sono progressivamente evolute le varie discipline naturalistiche attraverso i secoli.

Oggi mi onora essere chiamato a commemo-

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Via Laterina n. 8, 53100, Siena.

rare in questo edificio, sede del Servizio Geologico d'Italia, ALFREDO JACOBACCI nel suo ruolo di docente universitario. Del Professore JACOBACCI mi preme ricordare che egli considerava il rilevamento e la cartografia, alla stregua della bussola e del martello, gli strumenti imprescindibili del geologo. Noi studenti lo sentivamo spesso ripetere una frase che esprime efficacemente il suo *modus operandi* da rilevatore: "La geologia di un'area è scritta sulla carta geologica e con questo documento devono sempre fare i conti schemi e modelli interpretativi: quando un modello non trova pieno riscontro con i dati di cartografia, sicuramente c'è in esso qualcosa di sbagliato, o comunque da rivedere e migliorare" (JACOBACCI, 1982, com. pers.). Un principio certamente semplice, ma troppo spesso dato per scontato o, in qualche caso, addirittura trascurato. Ne sono un chiaro esempio le diverse interpretazioni proposte a partire dagli anni '60 per la struttura e l'evoluzione dell'Appennino umbro-marchigiano, zona che JACOBACCI conosceva bene per avervi condotto numerosi studi di terreno ed aver coordinato i lavori di rilevamento durante la realizzazione dei primi fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1972: Foglio 290, Cagli; Foglio 291, Pergola, Foglio 301, Fabriano). In questa nota desidero ripercorrere le tappe principali delle conoscenze sulla struttura profonda di questo settore della catena appenninica, prendendo in esame alcuni lavori proposti fra la seconda metà degli anni 1960 ed i giorni nostri. Una rilettura in chiave critica dei modelli proposti da vari autori alla luce delle più moderne vedute sulla struttura profonda della catena mette in evidenza l'originalità e l'attualità del contributo e del pensiero di ALFREDO JACOBACCI.

LA STRUTTURA PROFONDA DELL'APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO.

La progressiva acquisizione di dati provenienti sia da indagini geologiche di superficie (rilevamento geologico, analisi stratigrafica e strutturale) e di sottosuolo (perforazioni), che da quelle geofisiche (profili sismici a rifrazione e a riflessione, analisi gravimetrica ed aeromagnetica) ha condotto i vari Autori che si sono occupati dell'Appennino umbro-marchigiano a proporre modelli deformativi che talvolta differiscono tra loro anche in maniera sostanziale. In questo capitolo passerò in rassegna i principali tipi di modelli formulati, rivolgendo particolare attenzione all'interpretazione dei rapporti fra la copertura sedimentaria ed il sottostante basamento.

MODELLI CLASSICI

Contributi storici fondamentali per un'approfondita conoscenza dell'Appennino umbro-marchigiano (fig. 1) sono i lavori di VERRI (1885, 1903), MODERNI (1900), LOTTI (1905, 1906, 1907, 1926), SCARSELLA (1951a, b) e MERLA (1952), solo per citare quelli di maggiore rilievo; ma è nel 1967 che, con i dati provenienti dall'indagine geologica di superficie integrati con dati di alcuni sondaggi profondi, BALDACCI *et alii* hanno fornito un modello generale nel quale l'assetto strutturale della catena viene interpretato come il prodotto di uno scollamento (*décollement*) della copertura mesozoico-terziaria e di una sua traslazione verso est, sopra ad un un basamento rigido e poco deformato: lo scollamento sarebbe avvenuto in corrispondenza del livello poco competente della Formazione di Burano, prevalentemente evaporitica, del Trias superiore. Lo stile deformativo adottato da questi Autori per l'Appennino umbro-marchigiano è quindi un tipico "stile di copertura", ed il modello da essi proposto segue i canoni della tettonica da scollamento (fig. 2a).

Uno stile deformativo simile si evince anche dalla lettura ed interpretazione dei primi fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1972: Foglio 290, Cagli; Foglio 291, Pergola; Foglio 301, Fabriano), la cui direzione del rilevamento era

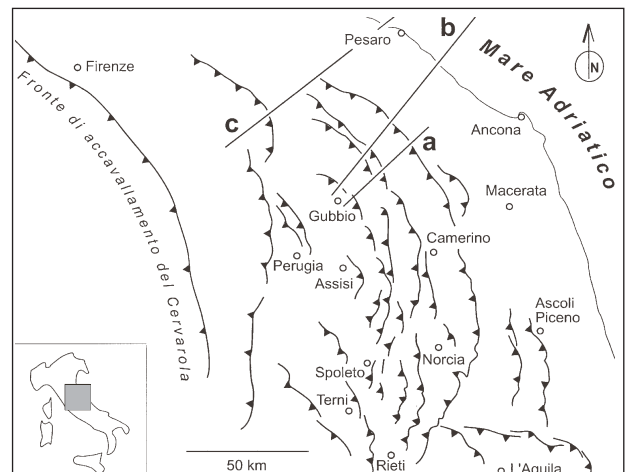


Fig. 1 - Schema tettonico dell'Appennino umbro-marchigiano. Le principali strutture di sovrascorrimento sono dedotte dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Le strutture relative alle Marche centro-settentrionali (Cagli, Fabriano e Pergola) sono dedotte dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, per la quale ALFREDO JACOBACCI ha svolto la funzione di coordinatore. Le sezioni realizzate lungo le tracce a, b e c sono illustrate in figura 2.

- Simplified tectonic sketch map of the Umbria-Marche Apennines. The main thrust faults are redrawn from the 1:100.000 scale Carta Geologica d'Italia, with the exception of the thrust faults of northern-central Marche, redrawn from the 1:50.000 scale Carta Geologica d'Italia (sheets Cagli, Fabriano and Pergola, whose compilation has been coordinated by ALFREDO JACOBACCI). The cross sections drawn along traces a, b and c are illustrated in figure 2.

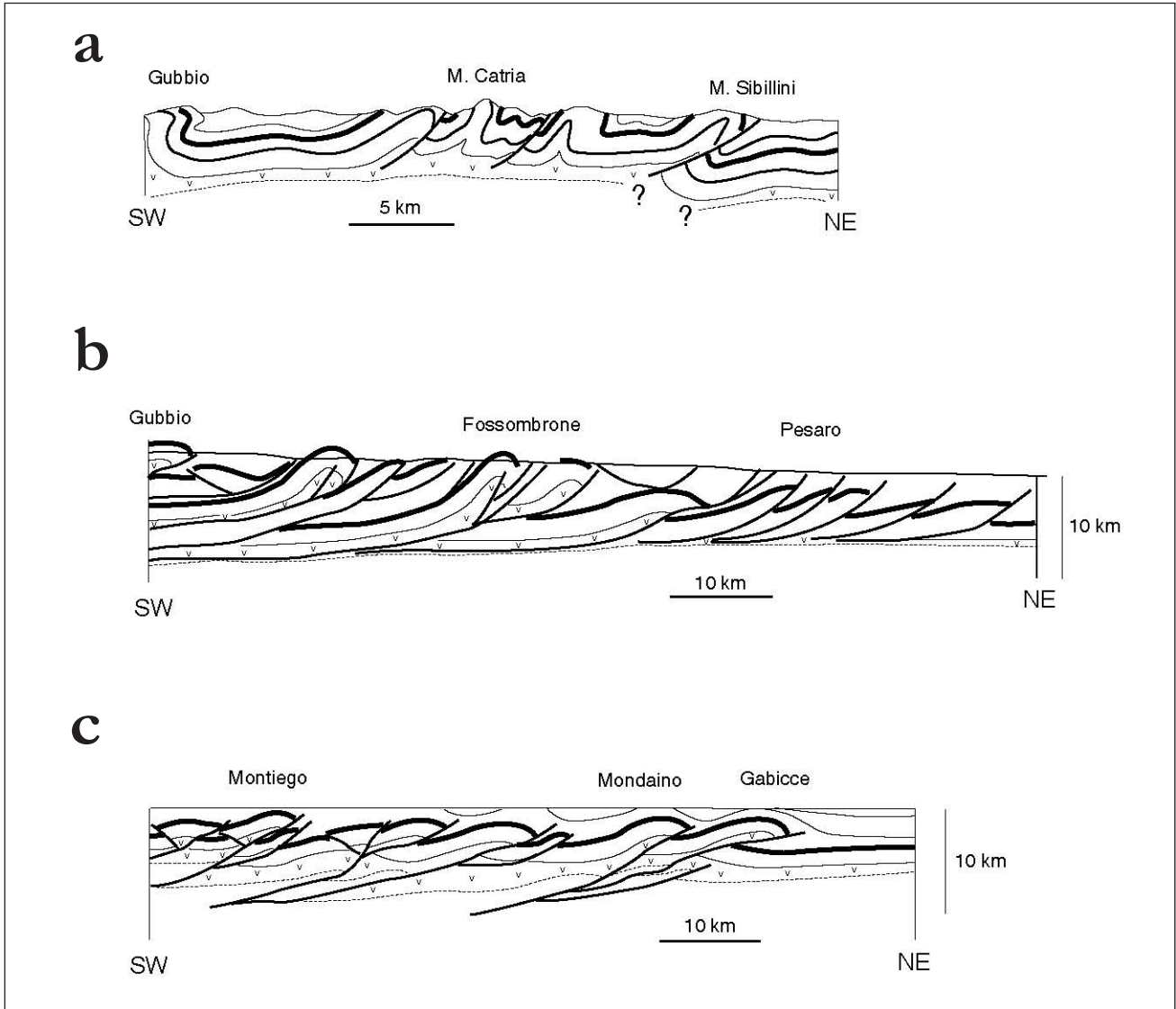


Fig. 2 - Sezioni geologiche semplificate che illustrano la struttura profonda dell'Appennino umbro-marchigiano (le tracce sono rappresentate in fig. 1). Le sezioni sono state realizzate secondo diversi stili deformativi: **a**) stile da "scollamento", con modesta traslazione della copertura sedimentaria meso-cenozoica verso i quadranti nord-orientali (da BALDACCI *et alii*, 1967, con modifiche); **b**) stile "pellicolare", con estesi raddoppi della copertura sedimentaria meso-cenozoica lungo superfici di sovrascorrimento con geometria a gradinata (da BALLY *et alii*, 1986, con modifiche); **c**) stile "profondo", con coinvolgimento del basamento nelle strutture di sovrascorrimento che interessano la copertura sedimentaria meso-cenozoica (da BARCHI *et alii*, 1998, con modifiche). L'orizzonte stratigrafico più spesso indica la Formazione delle Marne a Fucoidi (Albiano-Aptiano), mentre l'orizzonte tratteggiato indica la sommità del basamento pre-evaporitico.

- A selection of simplified cross sections to illustrate the deep structure of the Umbria-Marche Apennines (traces in fig. 1). The cross sections were constructed using different deformation styles: **a**) décollement style, with minor translation northeastwards of the meso-cenozoic sedimentary cover (modified after BALDACCI *et alii*, 1967); **b**) thin-skinned style, with several repetitions and extensive shortening of the meso-cenozoic sedimentary cover along stepped thrust faults (modified after BALLY *et alii*, 1986); **c**) thick-skinned style, with basement slices bounded by thrust faults that also affect the meso-cenozoic sedimentary cover (modified after BARCHI *et alii*, 1998). The thick black horizon represents the Aptian-Albian Marne a Fucoidi Fm.; the dashed line represents the top of the pre-evaporitic basement.

stata affidato ad ALFREDO JACOBACCI. Modelli essenzialmente analoghi, anche se diversi nei dettagli, sono stati proposti successivamente da DECANDIA & GIANNINI (1977), LAVECCHIA (1979, 1981, 1985), KOOPMAN (1983) e DE FEYTER *et alii* (1986). Sulla base di dati geofisici, provenienti dall'interpretazione di profili sismici a

rifrazione, LAVECCHIA *et alii* (1984) per la prima volta prevedono la presenza, alla base ed all'interno della successione umbro-marchigiana, di superfici di sovrascorrimento con geometria "a gradinata" del tipo *flat-ramp-flat* lungo le quali la copertura avrebbe subito raddoppi di modesta entità.

MODELLI CHE PREVEDONO UNO STILE PELLICOLARE E FORTI RACCORCIAMENTI DELLA COPERTURA SEDIMENTARIA SU UN BASAMENTO INDEFORMATO

A partire dal 1985, gli studi aeromagnetici condotti dall'AGIP, che segnalano l'esistenza di una discontinuità altamente suscettiva ad una profondità di circa 10-13 km dal piano di campagna (AGIP, 1981; ARISI ROTA & FICHERA, 1985; ARISI ROTA *et alii*, 1986), ed i dati provenienti dalla sismica a riflessione aprono nuovi scenari sulla geologia dell'Appennino umbro-marchigiano; emergono, infatti, aspetti nuovi che pongono problemi sull'entità dei raccorciamenti neogenici della copertura mesozoico-terziaria e sulle conseguenti ricostruzioni paleogeografiche del margine continentale di Adria. Sulla base di queste informazioni, BALLY *et alii* (1986) propongono un modello originale nel quale la struttura dell'anticlinorio marchigiano esterno, nel settore orientale dell'Appennino umbro-marchigiano, viene paragonata a quella delle zone esterne di altre catene orogeniche ed, in particolare, della cordigliera canadese occidentale. Tale modello prevede che la discontinuità altamente suscettiva, riconosciuta sotto l'Appennino, coincida con il tetto del basamento pre-evaporitico (fig. 2b) e che la copertura sedimentaria, interessata da ripetizioni lungo superfici meccaniche con notevole entità di sovrascorrimento, subisca un forte raccorciamento, dell'ordine di almeno 150 km (BALLY *et alii*, 1986). L'originalità dell'approccio proposto da BALLY *et alii* (1986) risiede nel fatto che esso, per primo, pone maggiore attenzione alla lettura ed interpretazione dei dati sulla struttura profonda della catena appenninica, ottenuti attraverso metodi geofisici, che non alla lettura dei dati di superficie, essenzialmente geologici e derivati dal lavoro di rilevamento, com'era avvenuto fino ad allora. Il modello di BALLY *et alii* (1986) ha riscosso notevole consenso dal momento della sua formulazione fino alla metà degli anni 1990. Modelli essenzialmente analoghi sono stati successivamente proposti da HILL & HAYWARD (1988), CALAMITA & DEIANA (1986, 1988) e CALAMITA *et alii* (1990). Una rilevante implicazione dei modelli che adottano uno stile deformativo di tipo *thin-skinned* risiede nel fatto che gli imponenti valori di raccorciamento dedotti dalla retrodeformazione di sezioni bilanciate di estensione regionale richiedono stime di velocità di deformazione molto elevate per la propagazione delle strutture orogeniche (dell'ordine di alcuni cm/anno: e.g. CALAMITA *et alii*, 1994).

MODELLI CHE PREVEDONO UNO STILE "PROFONDO", CON COINVOLGIMENTO DEL BASAMENTO NELLE STRUTTURE CHE INTERESSANO LA COPERTURA SEDIMENTARIA

Il coinvolgimento del basamento nella deformazione compressiva neogenica, con raccorciamenti della copertura sedimentaria meno intensi di quelli suggeriti da BALLY *et alii* (1986), è stato proposto a partire dalla seconda metà degli anni 1990 da diversi Autori, fra i quali LAVECCHIA *et alii* (1987) e BARCHI *et alii* (1988, 1989). In particolare, BARCHI *et alii* (1988), nel definire la geometria delle strutture compressive che interessano la copertura sedimentaria, illustrano tre diverse ipotesi sui rapporti fra la copertura ed il sottostante basamento: la prima prevede una copertura sedimentaria deformata sopra ad una monoclinale di basamento pre-evaporitico debolmente immergente ad est; la seconda prevede la deformazione indipendente della copertura e della sommità del basamento pre-evaporitico, che sarebbe coinvolto in una struttura di tipo *duplex*; la terza infine prevede l'esistenza di sovrascorrimenti profondi che, interessando cospicue porzioni di basamento, coinvolgano anche la sovrastante copertura sedimentaria. La prima e la terza ipotesi mostrano forti analogie con quelle formulate da LAVECCHIA *et alii* (1987).

Successivamente, BARCHI (1991) definisce la geometria della copertura sedimentaria lungo la sezione Trevi-Visso, e suggerisce tre interpretazioni alternative sui rapporti fra basamento e copertura: la prima presenta forti analogie con il modello, proposto da BALLY *et alii* (1986), che prevede uno stile deformativo di tipo pellicolare (*thin-skinned*); la seconda prevede uno scollamento della copertura sedimentaria sopra ad un basamento indeformato nella parte occidentale, ed il coinvolgimento del basamento nei sovrascorrimenti che interessano la copertura sedimentaria nella parte orientale; la terza infine prevede raccorciamenti della copertura sedimentaria, le cui strutture sarebbero state coinvolte nei sovrascorrimenti che interessano anche il sottostante basamento.

In epoca più recente un contributo fondamentale al problema della ridefinizione dello stile strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano è stato portato dai lavori relativi all'acquisizione ed interpretazione di dati di sismica a riflessione (Progetto Crosta Profonda, Profilo CROP-03: BARCHI *et alii*, 1998; DECANDIA *et alii*, 1998). In questi lavori viene evidenziato che la sommità del

tetto del basamento cristallino non si colloca a profondità costante al disotto della catena; ciò ha consentito di adottare uno stile strutturale “profondo”, del tipo *thick-skinned*, con il locale coinvolgimento di cospicue porzioni di basamento cristallino nella struttura a pieghe e sovrascorrimenti della catena (fig. 2c). I risultati di una recente compilazione dei dati sulle anomalie magnetiche del territorio italiano (SPERANZA & CHIAPPINI, 2002) sono coerenti con questa ipotesi. Inoltre, l'adozione di uno stile deformativo di tipo *thick-skinned* sembra indipendentemente supportata da dati di carattere stratigrafico-strutturale, provenienti dall'analisi delle successioni pre-orogeniche coinvolte nella deformazione compressiva neogenica (TAVARNELLI *et alii*, 2004; BUTLER *et alii*, 2006). L'adozione di uno stile deformativo di tipo *thick-skinned* per l'Appennino umbro-marchigiano ha come diretta ricaduta un ridimensionamento nella stima dell'entità di raccorciamento dei sovrascorrimenti di estensione regionale ed una conseguente drastica diminuzione nella stima delle velocità di propagazione delle strutture compressive attraverso la successione sedimentaria meso-cenozoica.

In sintesi, le differenze di maggiore rilievo che emergono dal confronto fra i vari modelli descritti risiedono principalmente:

- nella scelta dello stile deformativo, che può essere o di tipo “pellicolare” (*thin-skinned*), con coinvolgimento della sola copertura sedimentaria nelle strutture compressive, o di tipo “profondo” (*thick-skinned*), con coinvolgimento di cospicue porzioni di basamento nelle strutture compressive della copertura;

- nella profondità (da 2-3 km a 12-13 km) alla quale viene collocata la sommità del basamento;

- nell'entità dei raccorciamenti espressi dalle strutture compressive, e nella conseguente stima della velocità di deformazione durante la propagazione delle strutture orogeniche.

RAPPORTI FRA PIEGHE E SOVRASCORRIMENTI DELL'APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO NELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:100.000: LO STILE A “SCAGLIE DI COPERTURA”

Pieghe e sovrascorrimenti sono stati descritti nell'Appennino umbro-marchigiano fin da epoca storica (es. VERRI, 1885, 1903; MODERNI, 1900;

LOTTI, 1905, 1906, 1907, 1926), ma è con mirabili opere di compilazione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, realizzata a partire dagli anni 1960, e della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, pubblicata a partire dall'inizio degli anni 1970, che lo studio delle relazioni cinematiche fra le strutture compressive della copertura umbra assume un carattere sistematico. I dati acquisiti durante la compilazione dei fogli 290 Cagli, 291 Pergola e 301 Fabriano, (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1972; vedasi anche CENTAMORE *et alii*, 1973), il cui coordinamento è stato effettuato da ALFREDO JACOBACCI, mettono in evidenza che le pieghe principali si rinvengono sempre in prossimità di importanti faglie inverse e sovrascorrimenti.

Un'analisi di dettaglio delle deformazioni compressive nel settore compreso fra la Valle Umbra e la Valnerina, nell'Umbria sud-orientale (DECANDIA & GIANNINI, 1977), conferma questa relazione e mostra l'esistenza di una particolare associazione strutturale che interessa la copertura umbro-marchigiana: questa, scollata rispetto al sottostante basamento in corrispondenza delle evaporiti triassiche, è interessata da pieghe asimmetriche con vergenza nord-orientale, troncate nel loro fianco rovesciato da faglie inverse e da sovrascorrimenti che immergono verso ovest con modesti valori di inclinazione. Tali associazioni strutturali compressive, localmente accompagnate dallo sviluppo di faglie trascorrenti, sono state descritte come “scaglie di copertura” (DECANDIA & GIANNINI, 1977). Una caratteristica comune di questi motivi deformativi è che il rigetto dei sovrascorrimenti diminuisce progressivamente verso l'alto e verso le estremità laterali, fino ad esaurirsi in corrispondenza di zone di deformazione distribuita dove sovrascorrimenti e faglie inverse si radicano assialmente per essere sostituiti da coppie di pieghe asimmetriche (fig. 3a).

Questa relazione indica che le pieghe ed i sovrascorrimenti dell'Appennino umbro-marchigiano sono due distinte manifestazioni di un unico processo deformativo. Lo stile a “scaglie di copertura” ha quindi caratteri geometrici e cinematici analoghi a quello di strutture che, utilizzando una terminologia più moderna, si originano in seguito a processi di tipo *tip-line folding* (ELLIOT, 1976) o *fault-propagation folding* (SUPPE, 1985). Studi condotti alla luce di dati originali di rilevamento geologico confermano che associazioni di questo tipo sono molto frequenti nell'Appennino umbro-marchigiano, ed in particolare nel settore compreso fra la Valle Umbra e la Valnerina (TAVARNELLI, 1993).

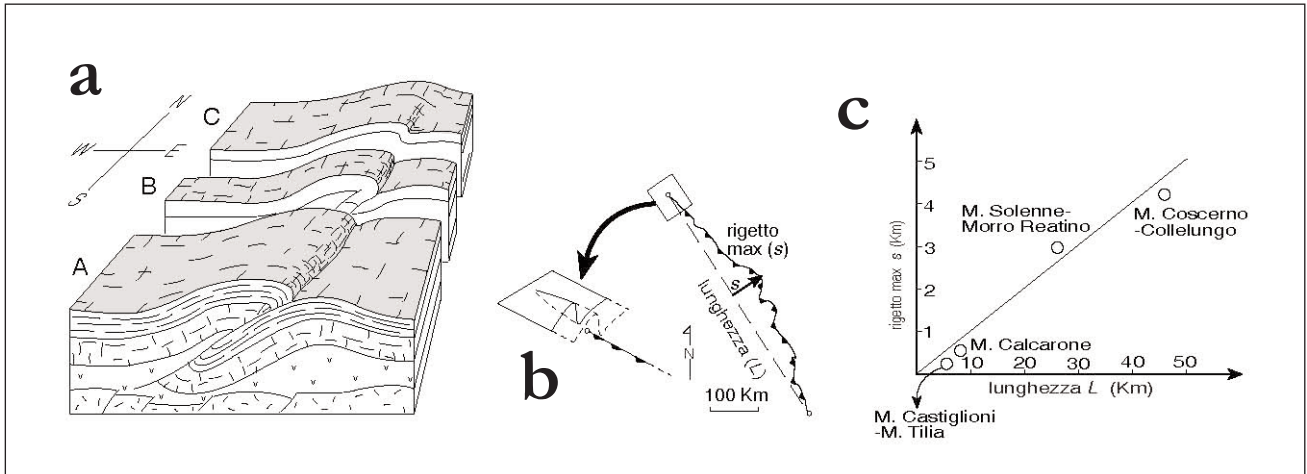


Fig. 3 - Illustrazione dei rapporti fra pieghe e sovrascorrimenti nell'Appennino umbro-marchigiano. a) Modello a "scaglie di copertura" per le strutture dell'Umbria sud-orientale, che prevede una relazione cinematica fra pieghe e sovrascorrimenti (da DECANDIA & GIANNINI, 1977). b) Illustrazione dei parametri geometrici (L : lunghezza; s : raccorciamento), che esprime l'esistenza di una relazione lineare fra l'estensione longitudinale di un sovrascorrimento e la componente orizzontale del rigetto da esso prodotto, utilizzati nella formula $s = KL$ per l'analisi quantitativa dei sovrascorrimenti secondo la regola "dell'arco e della freccia": da ELLIOTT, 1976). c) Relazione lineare fra il raccorciamento e l'estensione longitudinale dei sovrascorrimenti nell'area compresa fra la Valnerina e la Conca di Rieti (da DECANDIA & TAVARNELLI, 2002).

- Thrust-fold relationships inferred from geological mapping in the Umbria-Marche Apennines. a) Tip-line folding model, that illustrates a kinematic link between thrusts and related folds (after DECANDIA & GIANNINI, 1977). b) Illustration of the geometrical parameters (L : length; s : shortening) that indicates a linear relationship ($s = KL$) between the length of the map trace of a thrust fault and its maximum horizontal displacement (the "bow and arrow rule": ELLIOTT, 1976). c) Linear relationship between the horizontal shortening and map trace length for thrust faults located between Valnerina and the Conca di Rieti (after DECANDIA & TAVARNELLI, 2002).

IL PROBLEMA DELLA STIMA DEI RACCORCIAMENTI DELLA COPERTURA UMBRO-MARCHIGIANA: CONTRIBUTO DELLE TECNICHE DI ANALISI CARTOGRAFICA

Alcune caratteristiche geometriche e cinematiche delle deformazioni che interessano le coperture sedimentarie nelle zone esterne delle catene collisionali possono essere dedotte e quantificate direttamente a partire dalla lettura e dall'interpretazione delle carte geologiche, attraverso l'uso di semplici tecniche di analisi cartografica (*map analysis techniques*).

Uno studio condotto sulle cordigliere canadesi verso la metà degli anni 1970 indica che il rigetto prodotto dai sovrascorrimenti è massimo al centro di dette strutture e diminuisce progressivamente verso le sue estremità laterali: lo studio mostra inoltre che esiste una relazione di proporzionalità diretta fra la lunghezza delle tracce cartografiche dei sovrascorrimenti ed il rigetto massimo da essi realizzato, una relazione nota nella letteratura geologica come la "regola dell'arco e della freccia" (fig. 3b; "bow and arrow rule": ELLIOTT, 1976). L'uso di questa relazione di proporzionalità diretta nell'analisi delle strutture dell'Appennino umbro-marchigiano indica per il Sovrascorrimento di Spoleto un rigetto massimo dell'ordine di 5 km, con valori medi di rigetto compresi fra 0,5 e 4 km per i sovrascorrimenti

dell'area compresa fra la Valnerina e la Conca di Rieti (fig. 3c; TAVARNELLI, 1993; DECANDIA & TAVARNELLI, 2002). Queste stime dei raccorciamenti della copertura umbro-marchigiana, dedotte da una semplice lettura delle carte geologiche della regione, sono coerenti con l'ipotesi di uno scollamento della successione meso-cenozoica in corrispondenza delle evaporiti triassiche e di una sua modesta traslazione verso i quadranti nord-orientali (BALDACCI *et alii*, 1967: fig. 2a); esse trovano inoltre ampio riscontro nei dati di sismica a riflessione relativi al progetto Crosta Profonda (CROP-03: BARCHI *et alii*, 1998; DECANDIA *et alii*, 1998) nel quale si evidenzia la presenza di orizzonti di scollamento multipli e che hanno consentito l'adozione di uno stile deformativo "profondo", di tipo *thick-skinned* (fig. 2c).

Dal confronto fra i principali modelli proposti per la struttura dell'Appennino umbro-marchigiano (fig. 2), emerge quindi che i pochi chilometri di raccorciamento ottenuti tramite l'uso delle tecniche di analisi cartografica sono maggiormente compatibili con l'ipotesi di uno scollamento (*décollement*) in corrispondenza delle evaporiti triassiche e di modesti corrugamenti della copertura meso-cenozoica (fig. 2a; BALDACCI *et alii*, 1967) o di un parziale coinvolgimento del basamento all'interno delle strutture compressive (fig. 2c; stile *thick-skinned*: BARCHI *et alii*, 1998; DECANDIA *et alii*, 1998), piuttosto che con i modelli che prevedono uno stile pellicolare (*thin-skinned*), con

ampie ripetizioni della copertura sedimentaria su un basamento indeformato (fig. 2b; BALLY *et alii*, 1986). Questi ultimi sono infatti difficilmente conciliabili con l'evidenza cartografica, ben documentata dai rilevatori del SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1972; vedasi anche CENTAMORE *et alii*, 1973) e formalizzata da DECANDIA & GIANNINI (1977) con il modello "a scaglie di copertura", di un marcato radicamento assiale delle superfici di sovrascorrimento, cioè del loro esaurirsi lateralmente e verso l'alto in coppie di pieghe asimmetriche (fig. 3a).

DISCUSSIONE

La grande variabilità dei diversi modelli proposti a partire dagli anni 1960 fino ai giorni nostri sulla struttura profonda e sui rapporti fra la copertura ed il sottostante basamento e sull'entità dei raccorciamenti delle strutture compressive nell'Appennino umbro-marchigiano illustra efficacemente, a mio avviso, un problema di interpretazione della cartografia geologica della regione. I modelli che prevedono uno scollamento ed una modesta traslazione della copertura umbro-marchigiana verso est (es. BALDACCINI *et alii*, 1967), insieme a quelli che prevedono uno stile di tipo *thick-skinned*, con coinvolgimento del basamento all'interno delle strutture che interessano la copertura umbro-marchigiana (es. BARCHI *et alii*, 1998; DECANDIA *et alii*, 1998), pur con differenze sostanziali gli uni rispetto agli altri, hanno in comune una stima conservativa dei raccorciamenti della copertura sedimentaria meso-cenozoica: questa è plausibile, perché coerente con le informazioni dedotte dalla lettura ed interpretazione delle carte geologiche (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1972), e con l'osservazione di sovrascorrimenti che si radicano assialmente per essere sostituiti da coppie di pieghe asimmetriche (stile "a scaglie di copertura": DECANDIA & GIANNINI, 1977). In altre parole, questi modelli sono scaturiti da un'attenta lettura della geologia di superficie (comprensibile perché cartografata in grande dettaglio). I lavori relativi al progetto CROP-03 (BARCHI *et alii*, 1998; DECANDIA *et alii*, 1998) hanno recuperato questa informazione e l'hanno sapientemente coniugata con i dati sulla geometria dei livelli strutturali profondi della catena appenninica, ottenuta attraverso l'acquisizione di un profilo sismico a riflessione.

I modelli che prevedono la presenza del tetto del basamento ad una profondità di 10-13 km al disotto dell'Appennino umbro-marchigiano (es. BALLY *et alii*, 1986), evidenziata da informazioni

ricavate attraverso il rilevamento aeromagnetico, implicano invece stime di raccorciamento della copertura molto elevate, che sono, di fatto, incompatibili con la geologia di superficie rappresentata nelle carte geologiche. Lo stile "a scaglie di copertura", desumibile dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1972) e riconosciuto e descritto da DECANDIA & GIANNINI (1977), esclude infatti, di per sé, la presenza di importanti raddoppi della copertura meso-cenozoica nell'Appennino umbro-marchigiano.

CONCLUSIONI

A conclusione di questa rassegna sulle diverse interpretazioni proposte per la struttura profonda dell'Appennino umbro-marchigiano a partire dagli anni 1960, emerge quindi che alcuni modelli sono scaturiti da un'attenta lettura della geologia di superficie, mentre altri hanno privilegiato informazioni indirette, trascurando di fatto quanto era chiaramente leggibile nelle carte geologiche. Questi ultimi hanno, tuttavia, ricevuto grande consenso ed hanno influenzato il pensiero di generazioni di geologi che si sono occupati della struttura e dell'evoluzione tettonica dell'Umbria e delle Marche. Nel contesto dell'avvicinarsi di interpretazioni così diverse e del dibattito scaturito dal confronto fra i vari modelli, mi preme sottolineare l'originalità e l'attualità del pensiero del Professor ALFREDO JACOBACCI, che grazie alla sua solida formazione ed alla sua esperienza come rilevatore e come Direttore del Servizio Geologico d'Italia, vedeva nella carta geologica un prezioso documento di analisi e di sintesi. Oggi una serie di iniziative volte al rinnovamento della cartografia geologica sul territorio italiano, prime fra tutte il progetto CARG, promosso dal Servizio Geologico d'Italia dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT), offre una grande opportunità per migliorare la conoscenza del nostro territorio, per promuoverne la tutela e per valorizzarne il patrimonio geologico. È auspicabile che le nuove generazioni facciano tesoro di questa opportunità e che, attraverso l'integrazione di nuove conoscenze, formulino idee originali sulla struttura profonda delle nostre regioni che siano compatibili con le evidenze geologiche di superficie. Perché, come diceva il Professor ALFREDO JACOBACCI agli studenti durante le sue lezioni presso l'Università di Siena, "la geologia di un'area è scritta sulla carta geologica e con questo documento devono sempre fare i conti schemi e modelli interpretativi".

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è dedicato alla memoria di ALFREDO JACOBACCI, mio Professore di Geografia presso l'Università degli Studi di Siena. Desidero ringraziare sentitamente il Prof. ERNESTO CENTAMORE per avermi gentilmente invitato a commemorare la figura di ALFREDO JACOBACCI in occasione della giornata di studi in sua memoria sull' "Evoluzione delle conoscenze geologiche dell'Appennino apulo-campiano e toso-umbro-marchigiano"; desidero inoltre ringraziare il Dott. LEONELLO SERVA il Prof. MARIO VALLETTA e la Dott.ssa ANNA ROSA SCALISE, organizzatori del convegno presso i locali dell'APAT, Roma.

BIBLIOGRAFIA

- AGIP (1981) - *Italia: Carta Magnetica: Anomalie del Campo Magnetico Residuo, (scale 1:500.000)*. Atti Min. Direz. Espl. Idrocarburi, Met. Appl. Geofis., Milano.
- ARISI ROTA F. & FICHERA R. (1985) - *Magnetic interpretation connected to "geo-magnetic provinces": the Italian case history*. Prestampe 47° meeting European Association of Exploration Geophysicists.
- ARISI ROTA F., CASSANO E., FICHERA R. (1986) - *Rilievo aeromagnetico d'Italia: alcuni risultati interpretativi*. Atti del V Convegno Annuale Gr. Naz. Geof. Terra Solida, Roma 17-19 novembre 1986.
- BALDACCI F., ELTER P., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., NARDI R. & TONGIORGI M. (1967) - *Nuove osservazioni sul problema della Falda Toscana e sulla interpretazione dei flysch arenacei tipo "Macigno" dell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 6, 213-244.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) - *Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 237-310.
- BARCHI M.R. (1991) - *Integration of a seismic profile with surface and subsurface geology in a cross section through the Umbria-Marche Apennines*. Boll. Soc. Geol. It. 110, 469-479.
- BARCHI M.R., GUZZETTI F., LAVECCHIA G., LOLLI O. & BONTEMPO R. (1988) - *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe Umbro-Marchigiano: 1 - La sezione Trevi-Valle dell'Ambro*. Boll. Soc. Geol. It., 107, 109-130.
- BARCHI M.R., LAVECCHIA G. & MINELLI G. (1989) - *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano: 2 - La sezione Scheggia-Serra S. Abbondio*. Boll. Soc. Geol. It., 108, 69-81., 1989.
- BARCHI, M.R., MINELLI, G. & PIALLI, G. (1998) - *The CROP-03 profile: a synthesis of results on deep structures of the Northern Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 383-400.
- BUTLER R.W.H., TAVARNELLI E. & GRASSO M. (2006) - *Structural inheritance in mountain belts: an Alpine-Apennine perspective*. Journal of Structural Geology, 28, 11, 3-20 (in stampa).
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino umbro-marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 311-316.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1988) - *The arcuate shape of the Umbria-Marche-Sabina Apennines (Central Italy)*. Tectonophysics, 146, 139-147.
- CALAMITA F., CELLO G., INVERNIZZI C. & PALTRINIERI W. (1990) - *Stile strutturale e cronologia della deformazione lungo la traversa M. S. Vicino-Polverigi (Appennino marchigiano esterno)*. Atti del Convegno: Neogene Thrust Tectonics. Parma 8-9 Giugno 1990. Studi Geol. Camerti, volume speciale.
- CALAMITA F., CELLO G., DEIANA G. & PALTRINIERI W. (1994) - *Structural styles, chronology rates of deformation, and time-space relationships in the Umbria-Marche thrust system (central Apennines, Italy)*. Tectonics, 13, 873-881.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1973) - *Modello strutturale umbro-marchigiano: correlazioni possibili con le regioni adiacenti*. Boll. Serv. Geol. d'Italia, 93, 1-72.
- DE FEYTER A.J., KOOPMAN A., MOLENAAR N. & VAN DEN ENDE C. (1986) - *Detachment tectonics and sedimentation, umbro-marchean Apennines, Italy*. Boll. Soc. Geol. It., 105, 65-85.
- DECANDIA F.A. & GIANNINI E. (1977) - *Studi geologici nell'Appennino umbro-marchigiano. 2 - Le scaglie di copertura*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 723-734.
- DECANDIA F.A. & TAVARNELLI E. (2002) - *Esperienze di ricerca geologica nella zona esterna dell'Appennino Settentrionale: il contributo delle tecniche di analisi cartografica*. Atti del III° Seminario sulla Cartografia Geologica. Regione Emilia-Romagna. Bologna, 26/27 Febbraio 2002, 12-16.
- DECANDIA F.A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., CERNABORI L. & NICOLICH R. (1998) - *The CROP-03 traverse: insights on post-collisional evolution of Northern Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 52, 427-440.
- ELLIOTT D. (1976) - *The energy balance and deformation mechanism of thrust sheets*. Proc. R. Soc. London, A 283, 289-312.
- HILL K.C. & HAYWARD A.B. (1988) - *Structural constraints on the Tertiary plate tectonic evolution of Italy*. Mar. and Petr. Geol., 5, 2-16.
- JACOBACCI A. (1972) - *Come si prepara una carta geologica*. Boll. Assoc. Ital. di Cartografia, 25, 53-76.
- JACOBACCI A. (1981) - *Appunti sull'evoluzione della crosta terrestre*. Tipografia Ticci, Siena, 1-330.
- KOOPMAN A. (1983) - *Detachment tectonics in the central Apennines, Italy*. Geol. Ultraiectina, 30, 1-155.
- LAVECCHIA G. (1979) - *Analisi cinematica del sovrascorrimento del F. Fiastrone (Sibillini nord-orientali)*. Boll. Soc. Geol. It., 98, 457-468.
- LAVECCHIA G. (1981) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano 3 - Lo stile deformativo*. Boll. Soc. Geol. It., 100, 271-278.
- LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., 104, 161-194.
- LAVECCHIA G., MINELLI G., PIALLI G., BIELLA G., CONVERSINI P., DEMARTIN M., LOZEJ A., MAISTRELLO M., SCARASCIA S. & TABACCO I. (1984) - *Primi risultati del profilo sismico a rifrazione Perugia-Frontone*. Boll. Soc. Geol. It., 103, 447-466.
- LAVECCHIA G., MINELLI G., PIALLI G. (1987) - *Contractional and extensional tectonics along the transect Trasimeno Lake - Pesaro (Central Italy)*. In "The lithosphere in Italy: advances in Earth Sciences research" - Accademia dei Lincei, Roma, 143-165.
- LOTTI B. (1905) - *Di un caso di ricuoprimento presso Spoleto*. Boll. R. Com. Geol. d'It., 6, 42-56.
- LOTTI B. (1906) - *Sui risultati del rilevamento geologico nei dintorni di Piediluco, Ferentillo e Spoleto*. Boll. R. Com. Geol. d'It., 7, 5-40.
- LOTTI B. (1907) - *La faglia inversa Lugnano-Monte Tolentino, tra l'altipiano di Rieti e quello di Leonessa*. Boll. R. Com. Geol. d'It., 4, 115-121.
- LOTTI B. (1926) - *Descrizione geologica dell'Umbria*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 1926.
- MERLA G. (1952) - *Geologia dell'Appennino settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., 70 (1), 1951.
- MODERNI P. (1900) - *Note geologiche preliminari sui dintorni di Leonessa in provincia di Aquila* - Boll. R. Com. Geol. It., 31, 338-354.
- SARSELLA F. (1951a) - *Un aggruppamento di pieghe dell'Appennino umbro-marchigiano*. Boll. Serv. Geol. It., 73, 307-320.
- SARSELLA F. (1951b) - *Sulla zona d'incontro dell'Umbria e dell'Abruzzo*. Boll. Serv. Geol. It., 71, 155-165.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1972) - *Carta Geologica d'Italia*

- lia in scala 1:50.000 - Foglio 301: Fabriano.* Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1972) - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 290: Cagli.* Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1972) - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 291: Pergola.* Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- SPERANZA F. & CHIAPPINI M. (2002) - *Thick-skinned tectonics in the external Apennines, Italy: new evidence from magnetic anomaly analysis.* Journal of Geophysical Research, 107, B11, 2290. doi:10.1029/2000JB000027.
- SUPPE J. (1985) - *Principles of structural geology.* Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall. pp. 537.
- TAVARNELLI E. (1993) - *Evidence for fault-propagation folding in the Umbria-Marche-Sabina Apennines (Central Italy).* Annales Tectonicae, 7, 2, 87-99.
- TAVARNELLI E. (1994b) - *Map analysis techniques and fold kinematics in the Umbrian Apennines, Italy.* Eclogae Geologicae Helvetiae, 87, 33-46.
- TAVARNELLI E., BUTLER R.W.H., DECANDIA F.A., CALAMITA F., GRASSO M., ALVAREZ W. & RENDA P. (2004) - *Implications of fault reactivation and structural inheritance in the Cenozoic tectonic evolution of Italy.* In: Geology of Italy, Vol. Spec. della Soc. Geol. It. per il 32° Int. Geol. Congr., Firenze-2004, 209-222.
- VERRI A. (1885) - *Appunti per la geologia dell'Italia centrale.* Boll. Soc. Geol. It., 4, 176-187.
- VERRI A. (1903) - *Problemi orogenici dell'Umbria.* Boll. Soc. Geol. It., 22, 449-460.