

**LA TETTONICA TRASVERSALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE:  
IL CASO DELLA VAL MARECCHIA(\*\*)**

## INDICE

RIASSUNTO	pag. 315
ABSTRACT	" 315
INTRODUZIONE	" 315
ELEMENTI RICONDUCEBILI AD UNA TETTONICA TRASVERSALE	" 316
TETTONICA TRASVERSALE E MIGRA- ZIONE DEL FRONTE DEFORMATIVO	" 318
ARCHI TETTONICI E TRASVERSALI	" 320
CONCLUSIONI	" 322
BIBLIOGRAFIA	" 323

## RIASSUNTO

Numerosi elementi di natura geologico-strutturale, sedimentologica e geofisica suffragano l'esistenza di una tettonica trasversale nell'area della Val Marecchia, rappresentata da un'attività mobile nel tempo, collegata al migrare del fronte deformativo. Fino alla fase tettonica del Tortonianiano, la migrazione del sistema avanfossa-fronte deformativo è proceduta in maniera regolare, con il coinvolgimento nella deformazione delle peliti di chiusura torbiditica e la loro delimitazione in senso trasversale alla catena ad opera dell'allineamento Arezzo-Badia Tedalda. Successivamente, il progredire della rotazione antioraria della penisola italiana porta, a partire dal Messiniano inf., all'articolazione di archi tettonici, dei quali quelli romagnolo e adriatico vengono a differenziarsi in corrispondenza dello svincolo della Val Marecchia, con la formazione di un'area depressa inflettentesi all'interno della catena. La tettonica trasversale sarebbe quindi legata alle diverse velocità di propagazione del fronte deformativo, fatto probabilmente da mettere in relazione a discontinuità esistenti nel basamento.

## ABSTRACT

Structural, geological, sedimentological and geophysical data support the existence of transversal tectonics in the Val Marecchia area. Such tectonics is related to the migration of the deformational front and is expressed by dynamic and mobile activity. Until the Tortonian phase, the migration of the foredeep-thrust belt front regularly occurred involving turbiditic closure pelites and transversely delimiting them by the tectonic lineament Arezzo-Badia Tedalda. Afterwards, the counter-clockwise rotation of the Italian peninsula leads, since Lower Messinian, to the formation of tectonic arcs. Among these arcs, the Romagnan and Adriatic ones come to separate in correspondence with the Val Marecchia tectonic lineament via the formation of a depressed area bending inside of the Apenninic chain. Transversal tectonics is then related to different rates of migration of the deformational front, which in turn is probably linked to discontinuities and/or heterogeneities of the underlying basement.

(\*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Modena.

(\*\*)Lavoro eseguito coi fondi MURST 40% (responsabile P. FAZZINI).

**PAROLE CHIAVE:** Appennino Settentrionale, Tettonica trasversale, Archi tettonici, Fronte deformativo, Avanfossa, Neogene, Coltre della Val Marecchia.

**KEY WORDS:** Northern Apennines, Transversal tectonics, Tectonic arcs, Tear faults, Deformational front, Foredeep, Neogene, Val Marecchia thrust-sheet.

## INTRODUZIONE

L'area studiata (Fig. 1) si presenta particolarmente interessante dal punto di vista geologico, in quanto in essa affiorano le principali unità tettoniche che costituiscono l'Appennino Settentrionale. Ogni unità interna si accavalla su quella esterna immediatamente adiacente; l'età dei *thrusts* è progressivamente più recente verso NE e la loro formazione è collegabile ad altrettanti eventi compressivi separati da più lunghi periodi di stasi (CONTI & GELMINI, 1994). L'unità più sud-occidentale è rappresentata dalle *Arenarie del Cervarola-Falterona* (Oligocene sup.-Burdigaliano) e dalle *Marne di Vicchio* (Aquitano-Serravalliano inf.), seguita da una seconda di *Marnoso-arenacea Interna* (Burdigaliano sup.-Serravalliano) e di *Marne di Verghereto* (Serravalliano sup.-Tortoniano inf.), da una terza di *Marnoso-arenacea Esterna* (Serravalliano sup.-Tortoniano), peliti dei *Ghioli di letto* (Tortoniano inf.-Messiniano inf.) e *Formazione Gessoso-solfifera* (Messiniano medio) e infine dalla quarta unità tettonica, che comprende sedimenti del Messiniano sup.-Pliocene inf. (Fig. 1). La suddivisione della *Formazione Marnoso-arenacea* in *Interna* ed *Esterna* segue essenzialmente quanto proposto da RICCI LUCCHI & ORI (1985), con la prima che è chiusa al tetto dalle *Marne di Verghereto* mentre la seconda dalle peliti dei *Ghioli di letto* (per una rassegna completa delle varie unità stratigrafiche e/o strutturali esistenti in letteratura e correlabili rispettivamente con la *Marnoso-arenacea Interna* ed *Esterna* vedasi CONTI, 1994).

Le unità liguri si accavallano su tutte le unità precedentemente descritte con contatti di diretta sovrapposizione tettonica a livello delle peliti di chiusura (*Marne di Vicchio*, *Marne di Verghereto* e *Ghioli di letto*) e delle *Argille Azzurre* del Pliocene inf. (Zona a *G. punctulata*). Il fatto più saliente è che tutti gli affioramenti liguri sono delimitati, nel loro margine sud-orientale, da un allineamento antiappenninico che corre da Arezzo alla valle del T. Conca. Proprio tale allineamento ha portato già da tempo numerosi autori (SACCO, 1935; SIGNORINI, 1935; GHELARDONI, 1965; CENTAMORE *et alii*, 1972; BOCCALETTI *et alii*, 1977, 1985; FAZZINI & GELMINI, 1982; LAVECCHIA *et alii*, 1984; RICCI LUCCHI & ORI, 1985; CASTELLARIN *et alii*, 1985) ad ipotizzare l'esistenza di un'importante linea tettonica trasversale, ubicata in un'area compresa fra le valli dei fiumi Marecchia e Foglia.

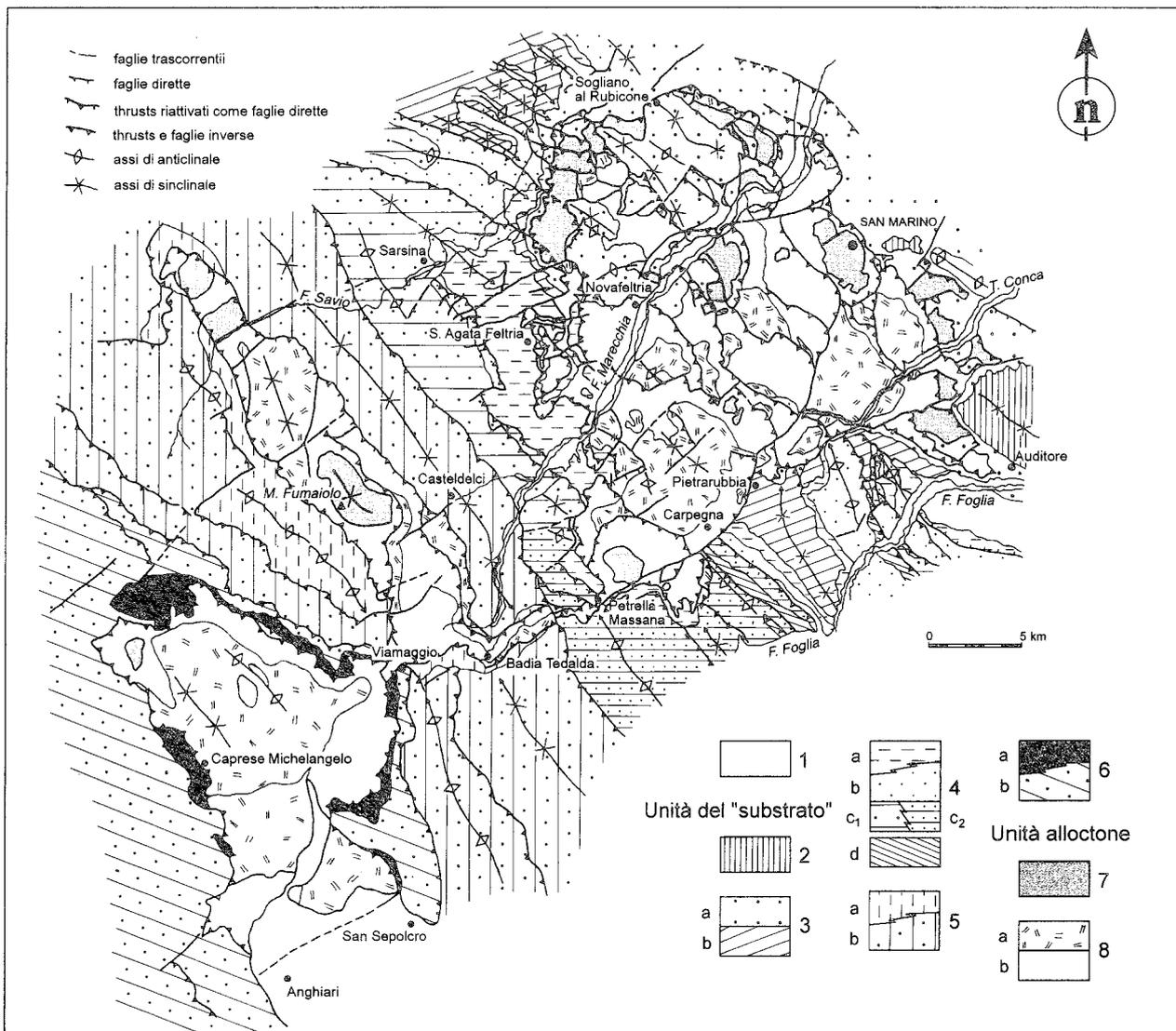


Fig. 1 - Carta geologica schematica dell'area studiata (da MERLA & ABBATE, 1967; CONTI, 1989; 1994). 1) depositi alluvionali; 2) depositi del Pliocene medio; 3a) depositi del Pliocene inf., 3b) depositi del Messiniano sup.; 4a) *Formazione Gessoso-solfifera* (Messiniano medio) e *Ghioli di letto* (Tortoniano-Messiniano inf.), 4b) *Marnoso-arenacea Esterna* (facies prossimale) (Tortoniano), 4c) *Marnoso-arenacea Esterna* (facies distale), (Serravalliano sup.-Tortoniano): c1 = "facies romagnola", c2 = "facies marchigiana", 4d) *Schlier*; 5a) *Marne di Verghereto* (Serravalliano sup.-Tortoniano inf.), 5b) *Marnoso-arenacea Interna* (Langhiano-Serravalliano); 6a) *Marne di Vicchio* (Miocene inf.-medio), 6b) *Arenarie del Falterona* (Chattiano-Miocene inf.); 7) depositi epiliguri; 8a) *Flysch eocenici liguri* e *Unità di Canetolo* (Oligocene), 8b) complessi di base liguri (Cretaceo inf.-Eocene inf.).

## ELEMENTI RICONDUCEBILI AD UNA TETTONICA TRASVERSALE

In realtà numerosi elementi di natura geologico-strutturale, sedimentologica e geofisica suffragano l'esistenza di una tettonica trasversale nell'area della Val Marecchia (CONTI *et alii*, 1987; CONTI, 1989; 1994; SANI, 1991; DE DONATIS, 1993; CONTI & GELMINI, 1994), che continua anche sul lato tirrenico (LIOTTA, 1991; GELMINI, 1994).

1) Dati geologici ricavati da foto aeree, da satelliti e da rilevamenti di campagna (CONTI, 1989; 1994): evidenziano faglie sia minori che maggiori a direzione NE-SW e, in alcuni casi, a componente trascorrente in corrispondenza dell'allineamento Arezzo-Badia Tedalda-Valle del Conca. Le faglie minori sono sia le rampe laterali dei *thrusts* di forma arcuata (in pianta), che caratterizzano la coltre della Val Marecchia, sia *tear faults*

che svincolano i suddetti *thrusts* a differente componente di movimento (Fig. 1). Quelle maggiori delimitano verso est e collegano i fronti degli accavallamenti della coltre sulle varie unità del substrato, che sono progressivamente più recenti verso NE (Fig. 1, 2), facendo intuire che abbiano un'origine profonda e che fungano da zone di svincolo per le diverse fasi di avanzamento dell'alloctono. Inoltre i diversi fronti di accavallamento dei terreni liguri a direzione appenninica sono collegati da strette fasce in cui le *Liguridi* hanno andamenti antiappenninici e dove gli assi delle pieghe del substrato si immergono al di sotto di esse (Fig. 1, 2). In corrispondenza di tali fasce le faglie a direzione antiappenninica non delimitano soltanto i terreni liguri ma vengono ad interessare anche le unità del substrato dislocandole in senso antiappenninico e troncando gli strati guida (Contessa e Colombine) della *Marnoso-arenacea Interna*.

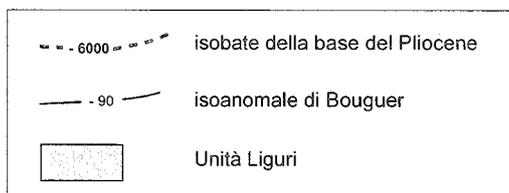
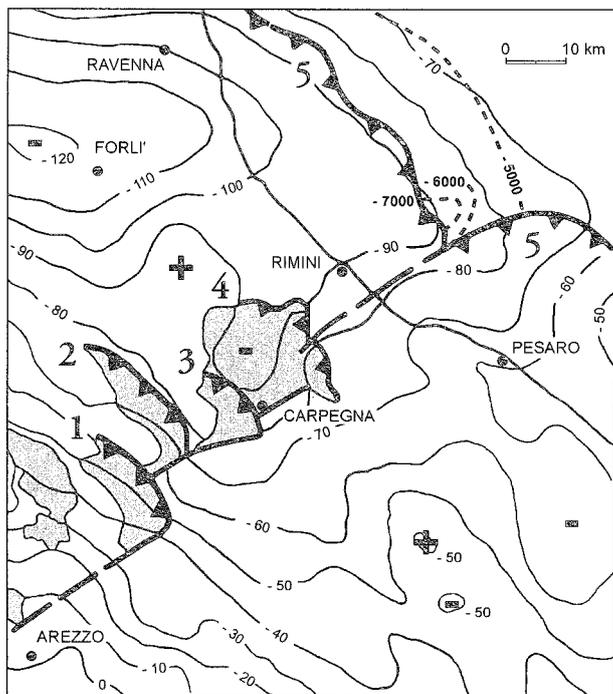


Fig. 2 - Carta gravimetrica dell'area della Val Marecchia: i numeri 1-4 fanno riferimento alla posizione del fronte dei *thrusts* liguri durante il (1) Serravalliano inf.; (2) Tortoniano inf.; (3) Messiniano inf.; (4) Pliocene inf. Il numero (5) indica invece il fronte attuale degli archi romagnolo (a nord) e adriatico (a sud). Notare che il massimo spessore dei depositi dell'avanfossa è situato alla congiunzione degli archi e questa è situata sulla prosecuzione trasversale dell'allineamento che delimita i depositi liguri (dati attuali da BICI *et alii*, 1989).

Ad esempio, la faglia antiappenninica seguibile da Badia Tedalda attraverso Petrella Massana fino a Carpegna (Fig. 1) collega il sovrascorrimento della coltre sull'unità tettonica del substrato, costituita dalla *Marnoso-arenacea Interna* con al tetto le *Marne di Verghereto*, con quello della coltre sull'unità tettonica costituita dalla *Marnoso-arenacea Esterna* con al tetto *Ghioli di letto* e *Gessoso-solfifera*. Questa faglia, destra, si continua anche nel substrato dislocando i terreni della *Marnoso-arenacea Interna* poco a SW di Petrella Massana (Fig. 1). La faglia trascorrente situata poco a N di S. Agata Feltria e seguibile in direzione di Novafeltria (Fig. 1), collega invece il sovrascorrimento della coltre sull'unità precedentemente citata con quello sull'unità tettonica del substrato costituita dai depositi messiniano-pliocenici inferiori.

2) Sistema di faglie a direzione antiappenninica (fra S. Agata Feltria e Carpegna): disloca il sovrascorrimento della *Marnoso-arenacea Esterna* in facies distale. In tale zona questa unità si accavalla direttamente sui propri depositi di chiusura (*Ghioli di letto*) senza l'interposizione dei depositi in facies prossimale, indicati in letteratura con svariati nomi: "molasse grossolane", Arenarie di Urbana, ecc. (Fig. 1).

3) Variazione di orientazione degli elementi strutturali: quelli delle varie unità tettoniche del substrato, ad occidente della linea della Val Marecchia hanno prevalentemente direzioni NW-SE, ad oriente tendono ad assumere una direzione più marcatamente N-S e ciò è più evidente nelle unità tettoniche più antiche (Fig. 1). Le stesse pieghe e sovrascorrimenti a direzione appenninica che interessano il substrato presentano una sostanziale continuità nella loro disposizione sequenziale (CONTI, 1994), ma sono dislocati in alcuni punti dall'allineamento sopra citato e coinvolgono unità più profonde nel settore orientale (*Schlier* e, poco più a SE, successione carbonatica) rispetto a quello occidentale.

Nelle immediate vicinanze della coltre della Val Marecchia (Fig. 3), esiste poi una fascia in cui le direzioni di strato delle varie unità del substrato seguono un andamento antiappenninico (a partire dalle *Arenarie del Falterona*, zona di Arezzo-Anghiari, fino alle *Argille Azzurre* del Pliocene inf., Zona a *G. punctulata*). Il fronte di accavallamento tortoniano della coltre sulle *Marne di Verghereto* nella zona di Badia Tedalda permette di dividere tale fascia in due parti con caratteristiche distinte.

Nella zona compresa fra Arezzo e Badia Tedalda il substrato presenta direzioni antiappenniniche soltanto nei punti in cui i sovrascorrimenti delle *Liguridi* hanno anch'essi direzione trasversale alla catena. Invece, fra Badia Tedalda ed il fronte affiorante del sovrascorrimento pliocenico della coltre, le direzioni strutturali dei depositi messiniano-pliocenici inf. (*Ghioli di letto*, *Formazioni Gessoso-solfifera* e a *Colombacci* e *Argille Azzurre*) s'inflettono all'interno della catena descrivendo un'insenatura che si spinge verso SW per circa 30 km. La chiusura dell'insenatura è poi posta proprio in corrispondenza dell'allineamento Badia Tedalda-Petrella Massana dove le *Liguridi* affiorano solamente in una stretta fascia a direzione trasversale e con direttrici anch'esse trasversali (Figg. 1, 2, 3). Il fatto che tale bacino a direzione trasversale alla catena fosse antecedente all'arrivo della coltre della Val Marecchia trova anche riscontro dalle direzioni di scivolamento delle frane sottomarine presenti nei *Ghioli di letto* e nelle direzioni di corrente presenti nei conglomerati di Pietrarubbia (CONTI, 1989). Inoltre la messa in posto della coltre non colma completamente la depressione, come dimostrato dall'andamento degli affioramenti dei depositi del Pliocene inf. postcoltre (CONTI, 1989), insinuandosi per una decina di chilometri all'interno della catena e presenti solo nel settore occidentale della coltre della Val Marecchia (Fig. 1).

4) Delimitazione a SE in senso trasversale alla catena appenninica non solo dei terreni liguri della coltre ma anche dei depositi di chiusura della sedimentazione torbiditica (*Marne di Vicchio* e di *Verghereto*) lungo l'allineamento Arezzo-Badia Tedalda-Valle del T. Conca (Figg. 1, 3, 4). Gli affioramenti delle *Marne di Vicchio* s'interrompono infatti in corrispondenza della congiungente Arezzo-Sansepolcro, mentre più a nord, quelli delle *Marne di Verghereto* terminano contro l'allineamento Viamaggio-Petrella Massana con rotazione degli elementi strutturali che si dispongono secondo una direzione antiappenninica.

5) Variazioni di facies fra i depositi situati ad ovest e ad est dell'allineamento Arezzo-Badia Tedalda-Valle del Conca (Fig. 4). Le variazioni ambientali indicano, per l'intervallo esaminato (Burdigaliano-Pliocene inf.), come l'area occidentale fosse più rilevata di quella

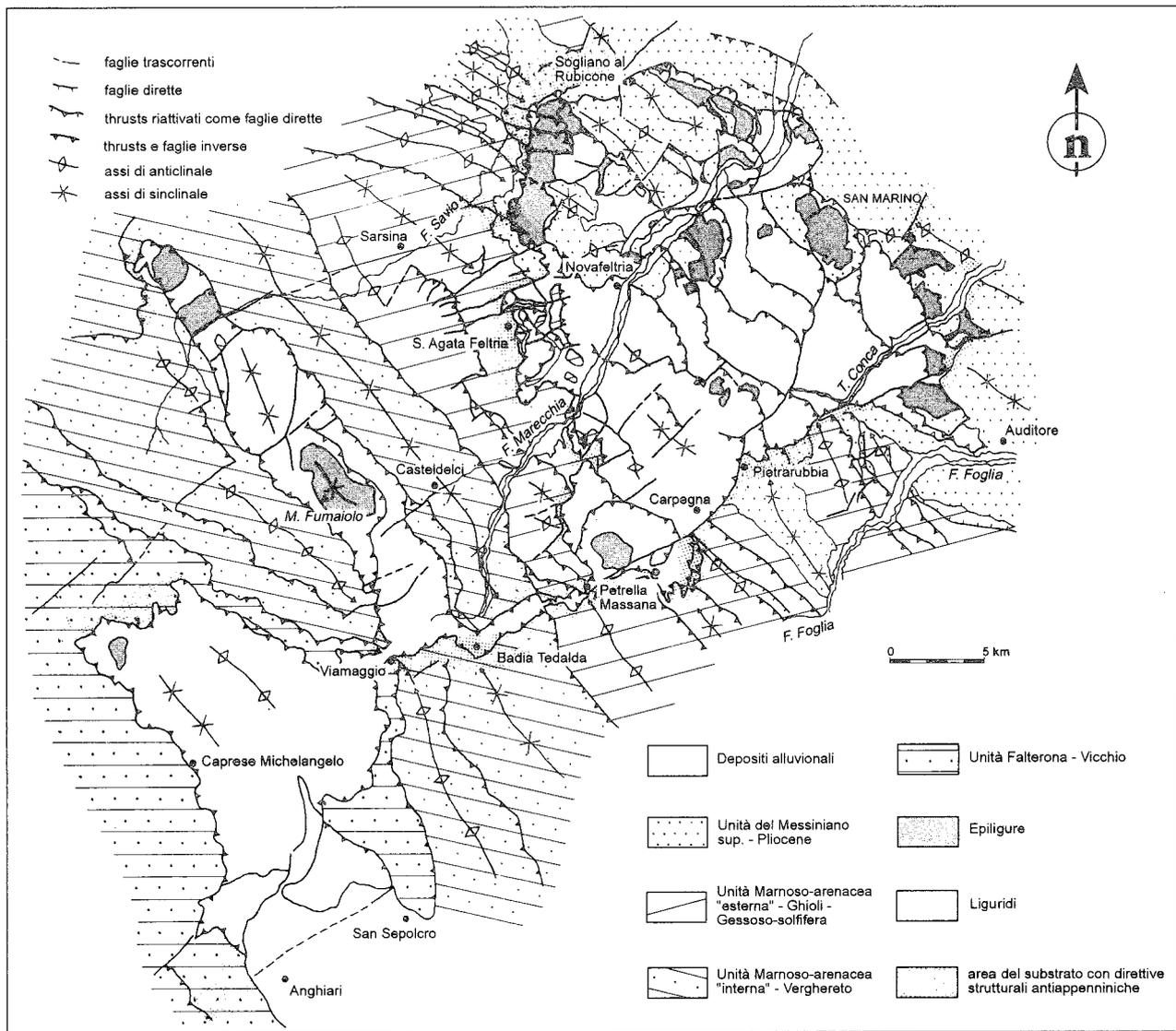


Fig. 3 - Carta strutturale evidenziante le aree del substrato su cui sovrascorre la coltre della Val Marecchia caratterizzate da direttrici antiappenniniche (per la cronologia delle varie unità fare riferimento a Fig. 1).

orientale, anche se le differenze più significative si sono formate antecedentemente al Tortoniano sup. Dopo la messa in posto della coltre della Val Marecchia nella parte alta del Pliocene inf. (CONTI *et alii*, 1987) la situazione s'inverte: il settore orientale si presenta più rilevato e la sedimentazione si arresta al Pliocene medio-sup. (DE DONATIS *et alii*, 1995), a differenza di quello occidentale, dove questa continua fino al Pleistocene inf. (RUGGIERI, 1970).

6) Ai dati strutturali precedentemente elencati bene si accordano i dati geofisici: dati sismologici evidenziano un'attività sismica bassa nella parte orientale, ma elevata nella parte occidentale della Val Marecchia (MALARODA & RAIMONDI, 1957; GASPARINI & PRATURLON, 1981). L'area studiata è poi caratterizzata da bassi valori del flusso di calore (MONGELLI *et alii*, 1985) e da una marcata depressione gravimetrica (isoanomale di Bouguer) a direzione antiappenninica (Fig. 2) con un minimo di circa 90 milligal localizzato fra il F. Marecchia e Sogliano al Rubicone (CONTI, 1989; DE FEYTER, 1991; CARROZZO *et alii*, 1991; CONTI & GELMINI, 1994). All'interno della catena tale depressione è seguibile fino all'altezza di Arezzo mentre fuori costa si prolunga

al largo di Pesaro, dove si riscontrano i massimi valori di spessore dei depositi pliocenico-quadernari (che sono anche delimitati in senso trasversale), con troncatura degli archi adriatici. Spessori comparabili di depositi dell'avanfossa si riscontrano solamente nelle zone di congiunzione dei vari archi che compongono l'Appennino (BIGI *et alii*, 1989). La zona compresa fra i fiumi Savio e Marecchia è pure sede di una depressione magnetica (CASSANO *et alii*, 1986), che viene posta in relazione all'esistenza di una tettonica trascorrente da MORELLI (1982).

#### TETTONICA TRASVERSALE E MIGRAZIONE DEL FRONTE DEFORMATIVO

Il quadro tettonico a sviluppo fortemente dinamico, legato alla migrazione di un complesso sistema fronte deformativo-avanfossa, ormai comunemente accettato per l'evoluzione dell'Appennino Settentrionale a partire dall'Oligocene (BALLY *et alii*, 1986; RICCI LUCCHI, 1986, 1990; VAI, 1987; PATACCA & SCANDONE, 1987; BOCCALETTI *et alii*, 1990; PATACCA *et alii*, 1990;

	OCCIDENTE	ORIENTE
PLIOC. INF.	Argille Azzurre Arenarie del M. Perticara (dep. di delta-conoide)	Arenarie di Auditore-Avellana (dep. torbiditici)
M E S S I N I A N O	Formazione a Colombacci Congl. di Pietrarubbia e Arenarie di Montescudo (dep. torbiditici) assenti presenti	
	Formazione di San Donato assente presente	
	Formazione Gessoso-solfifera gesso nodulare, balatino, selenitico di notevole spessore gesso balatino di spessore ridotto	
TORT	Ghioli di letto Arenarie di Sant'Agata Feltria presenti assenti	
	Marnoso-arenacea Esterna Marne di Verghereto "facies romagnola" presenti	
SERR	"facies marchigiana" assenti	
LAN	Marne di Vicchio	
BURD	presenti	assenti

Fig. 4 - Differenze di facies fra le aree situate ad occidente ed oriente della coltre della Val Marecchia. Dopo il Tortoniano inf. si assiste ad una sostanziale uniformità formazionale con solo variazioni stratigrafiche di rango inferiore.

DOGLIONI, 1991; CASTELLARIN, 1993; CONTI & GELMINI, 1994), porta a far supporre che la tettonica trasversale in Val Marecchia sia anch'essa un elemento dinamico e mobile nel tempo e collegata al migrare del fronte dei *thrusts*, interessando terreni di età progressivamente più recente e influenzando la sedimentazione dei depositi collegati al migrare dell'attività compressiva. Infatti i dati precedentemente elencati evidenziano una stretta relazione fra la tettonica compressiva, responsabile dell'accavallamento dei terreni liguri sulle varie unità dell'avanfossa a livello dei depositi pelitici (di chiusura torbiditica e *Argille Azzurre*), che favorivano l'accumulo di pressioni interstiziali e di conseguenza l'avanzamento dei *thrusts*, e la tettonica trasversale condizionante l'avanzamento delle *Liguridi* e la sedimentazione dei depositi pelitici.

Nel modello di migrazione del fronte deformativo-avanfossa proposto da CONTI & GELMINI (1992) la sedimentazione torbiditica viene chiusa da quella pelitica quando l'avanfossa, coinvolta da un nuovo evento compressivo, inizia a sollevarsi; all'esterno del sollevamento periferico, che inizialmente poteva essere di tipo flesurale, ma che si evolverà come *thrust* nell'evento tettonico seguente, si sviluppa un'area subsidente con la formazione di un nuovo bacino torbiditico, sfasato nello spazio e nel tempo rispetto al precedente. Di conseguenza è il bacino di sedimentazione delle peliti di chiusura che viene strettamente coinvolto nelle diverse fasi deformative con la messa in posto dapprima di frane sottomarine, sia formazionali che extraformazionali, di corpi torbiditici arenacei minori e poi con l'accavallamento dei terreni liguri (CONTI & GELMINI, 1994; CONTI, 1994). I dati precedentemente elencati portano infatti a far ipotizzare che il fronte deformativo, già durante la fase serravalliana (Fig. 5a), non fosse continuo, ma separato in due tronconi dalla linea Arezzo-Sansepolcro, che limita a sud la sedimentazione delle *Marne di Vicchio*. La stessa situazione si ripete, durante la fase del Tortoniano (Fig. 5b), lungo la linea Viamaggio-Badia Tedalda, che viene a delimitare verso est la sedimentazione delle *Marne di Verghereto*. In questo contesto paleogeografico la linea trasversale (a movimento destrale) fungerebbe da svincolo fra due comparti o settori della catena che subiscono evoluzioni tettoniche disomogenee e sarebbe perciò responsabile della diversa configurazione dei bacini sedimentari situati nelle immediate propaggini del fronte deformativo.

Appare poi evidente, da quanto sopra riportato e dalla rassegna del precedente capitolo, che elementi di natura trasversale non interessano soltanto le unità liguri ma anche le sottostanti unità del substrato, e che perciò il sistema trasversale possa eventualmente essere l'espressione superficiale di una zona di svincolo del fronte deformativo, legata all'azione di ostacolo cinematico esercitata da discontinuità e/o disomogeneità più profonde del basamento, come già ipotizzato da altri autori (ROYDEN *et alii*, 1987). Il sistema trasver-

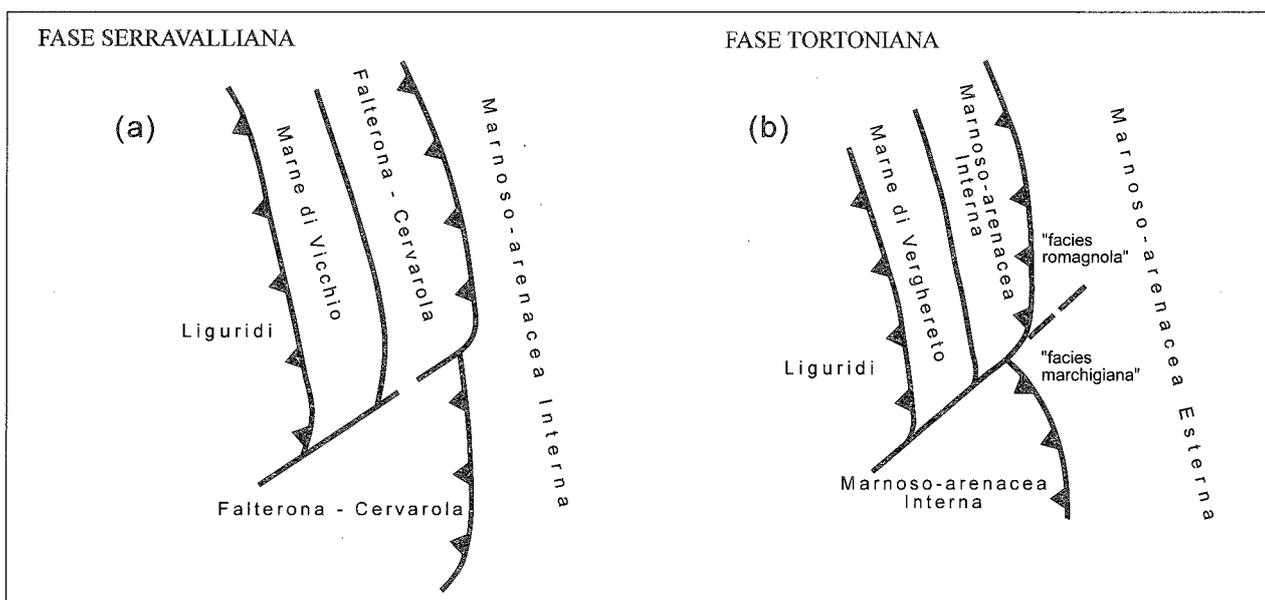


Fig. 5 - Rapporti fra fronte deformativo, tettonica trasversale, peliti di chiusura e depositi dell'avanfossa durante le fasi tettoniche del Serravalliano (a) e del Tortoniano (b).

sale potrebbe quindi rappresentare una *transfer zone sensu CALASSOU et alii* (1993) legata alle diverse velocità di migrazione del fronte deformativo nei vari settori della catena. Velocità di migrazione differenti per vari settori del fronte deformativo dell'Appennino Settentrionale, vengono infatti frequentemente riportate da vari autori (RICCI LUCCHI, 1986; VAI, 1987; BOCCALETTI et alii, 1990; CIPOLLARI & COSENTINO, 1995). I dati esposti in questo lavoro, seppure raccolti in unità della copertura, sembrerebbero ammettere, durante l'intervallo Burdigaliano-Tortoniano inf., una posizione più esterna del fronte compressivo del settore emiliano-romagnolo dell'Appennino Settentrionale rispetto a quello del settore umbro-marchigiano (Fig. 5): posizioni differenti porterebbero infatti il *bulge* della flessura litosferica ad esercitare un'azione di blocco alla propagazione delle correnti di torbida provenienti da NW. Una tale ricostruzione paleogeografica può trovare, almeno nell'intervallo Burdigaliano-Serravalliano, spiegazione nell'apertura del bacino ligure-provenzale e nella conseguente rotazione del massiccio sardo-corso (REHAULT et alii, 1984; CASTELLARIN et alii, 1992).

Dopo la fase tettonica del Tortoniano (CONTI & GELMINI, 1994) lo scenario della tettonica trasversale subisce un mutamento legato al cambiamento delle condizioni geodinamiche del sistema avanfossa-fronte deformativo. In effetti con la fase del Tortoniano non si verifica una migrazione più esterna dell'avanfossa, ma anzi un coinvolgimento della stessa nel fronte deformativo con la formazione di dorsali e depressioni, spesso limitate in senso trasversale, in cui si sedimentano i depositi in facies prossimale della *Marnoso-arenacea Esterna*. L'assenza di una vera e propria avanfossa perdura fino a tutto il Messiniano sup. e quindi, dal momento che, nella costruzione dell'Appennino Settentrionale, risultano molto più importanti le forze agenti nella zona di subduzione che non quelle legate al carico topografico e a quello degli accavallamenti tettonici (ROYDEN & KARNER, 1984; ROYDEN et alii, 1987), bisogna ipotizzare che le forze orizzontali abbiano rallentato la loro azione fra il Tortoniano sup. ed il Messiniano sup. Tale fatto potrebbe essere dovuto ad una maggiore consunzione della microplacca adriatica sul lato ellenico ad opera dell'attivazione della linea delle Giudicarie (MANTOVANI et alii, 1992).

Comunque, molto probabilmente, il rallentamento è da ricercare ancora prima della fase del Tortoniano, perché già nel Serravalliano sup. l'avanfossa, dove si sedimenta la *Marnoso-arenacea Esterna*, perde la sua uniformità, con la deposizione nell'area della Val Marecchia delle due facies "romagnola" (arenaceo-pelitica) e "marchigiana" (pelitico-arenacea), ad opera proprio dello svincolo trasversale del fronte deformativo (Fig. 5b).

Inoltre, il fatto che la tettonica trasversale sia strettamente collegata alla migrazione del fronte deformativo è ulteriormente comprovato dalla coincidenza temporale fra cambiamento delle modalità di avanzamento del sistema avanfossa-fronte degli accavallamenti e cambiamento degli elementi riconducibili ad una tettonica trasversale. Infatti i punti 3, 4 e 5, esposti nel precedente capitolo, portano ad ipotizzare l'esistenza, a partire dal Tortoniano sup.-Messiniano inf., di un'insenatura a direzione antiappenninica e profonda circa 25-30 km., sede di un forte accumulo sedimentario rispetto alle aree circostanti. Tale area depressa è del tutto corrispondente morfologicamente e strutturalmente al-

l'attuale avanfossa costituita da circa 7000 m di depositi plio-quadernari e situata alla congiunzione degli archi romagnolo e adriatico (Figg. 2, 6). Appare quindi probabile che almeno a partire dal Messiniano inf. l'arco dell'Appennino Settentrionale abbia cominciato ad articolarsi nella serie di archi di secondo ordine di cui è attualmente costituito, come anche ipotizzato nelle ricostruzioni paleogeografiche proposte da numerosi autori (CASTELLARIN & VAI, 1986; PATACCA et alii, 1990; CASTELLARIN et alii, 1992; MANTOVANI et alii, 1992; CASTELLARIN, 1993, 1994). Di conseguenza la zona interposta fra gli archi romagnolo e adriatico, venutisi a differenziare in corrispondenza dell'area della Val Marecchia fin dal Messiniano inf., potrebbe esplicare, analogamente alle altre aree di congiunzione degli archi padani (CASTELLARIN et alii, 1985; CASTELLARIN & VAI, 1986), una funzione di ostacolo reologico all'avanzamento del fronte deformativo; fatto che blocca lo sviluppo verso l'esterno di nuovi sistemi di embricazione e induce risposte essenzialmente verticali alle sollecitazioni del fronte, anche per effetto del maggior impilamento dei *thrusts* nelle porzioni periferiche degli archi (Fig. 6). In effetti in corrispondenza della confluenza dei due archi (zona compresa fra Petrella Massana e Carpegna di Fig. 1) la distanza fra i vari fronti di accavallamento si riduce enormemente.

Altro elemento che viene a mutare dopo la fase del Tortoniano è la velocità di propagazione del fronte deformativo, che pur non cambiando in senso relativo, continuando ad essere maggiore nel settore orientale che non in quello occidentale, diventa più marcata in senso assoluto, con un sensibile incremento di velocità del settore orientale rispetto a quello occidentale, in accordo con la maggiore traslazione subita dall'Appennino Settentrionale, mano a mano che si procede dai settori nord-occidentali a quelli sud-orientali (BALLY et alii, 1986; CIPOLLARI & COSENTINO, 1995). Tale fatto porta ad una posizione più esterna del settore orientale e quindi ad un'inversione della componente di movimento laterale della trasversale della Val Marecchia che diventa sinistrale (Figg. 2, 6). Sembra quindi ragionevole collegare l'articolazione degli archi romagnolo e adriatico, come peraltro già ipotizzato con diverse motivazioni da PATACCA et alii (1990), con l'espansione tirrenica, sia per la corrispondenza temporale, sia per le diverse velocità di propagazione del fronte deformativo. Infatti l'apertura tirrenica e, successivamente, il maggior valore di distensione nel settore meridionale (PATACCA & SCANDONE, 1987; SARTORI, 1989) possono aver portato a differenti traslazioni del sistema orogenico.

## ARCHI TETTONICI E TRASVERSALI

Il fronte di accavallamenti dell'Appennino Settentrionale rientra nel quadro dei sistemi di embricazione di forma arcuata legati a subduzione ensialica. I moderni studi su tali sistemi di embricazione hanno evidenziato come archi maggiori siano scomponibili in archi minori e come lungo le porzioni laterali degli archi si realizzino sensibili componenti orizzontali di movimento (FISCHER & COWARD, 1982; BOYER & ELLIOTT, 1982; VANN et alii, 1986; COWARD, 1994). Lo stesso Appennino Settentrionale è suddivisibile in archi di secondo ordine e questi a loro volta sono scomponibili in archi di dimensioni ancora più piccole (si vedano ad

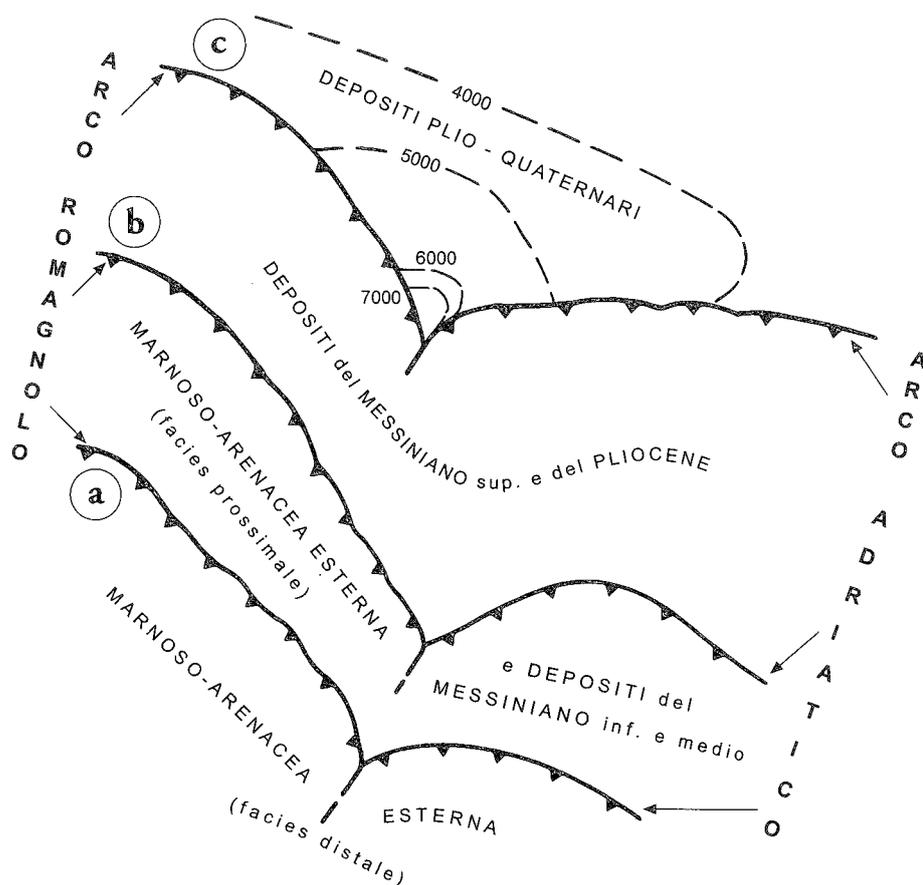


Fig. 6 - Rapporti fra fronte deformativo, tettonica trasversale, peliti di chiusura e depositi dell'avanfossa durante le fasi tettoniche del Messiniano inf. (a) e del Pliocene inf. (b); (c) situazione attuale. Notare l'articolazione degli archi romagnolo e adriatico con la formazione di un'area depressa nella zona di loro confluenza, del tutto corrispondente alla situazione attuale (dati attuali da BIRI *et alii*, 1989).

es. gli archi della Pianura Padana), che rispecchiano, ad una scala diversa, le stesse caratteristiche strutturali e cinematiche di quelli maggiori (CONTI, 1991). Sistemi di embricazioni di forma arcuata delle dimensioni variabili da un paio fino ad una decina di chilometri, delimitati lateralmente da faglie trasversali (*tear faults* a componente anche diretta) o da altre embricazioni pure arcuate, sempre situate nei litotipi piú argillosi costituenti le formazioni liguri, sono presenti nella coltre della Val Marecchia e delimitano al loro interno, nella parte piú frontale della stessa, bacini di *piggyback* di forma pure arcuata (depositi epiliguri). Tali archi tettonici (Figg. 1, 2), per gli ottimi affioramenti, per le loro dimensioni e per lo stretto collegamento fra eventi deformativi e discordanze nella successione epiligure, possono rappresentare, a nostro avviso, dei validi strumenti di studio per la comprensione della tettonica trasversale a scala maggiore. Infatti questi sono articolati tramite *tear faults*, sia sinistrali che destrali, in archi minori (Fig. 7a) e sono caratterizzati da sistemi di fratture (diaciasi e faglie minori), radiali alla convessità dell'arco o oblique (quest'ultime disposte in sistemi coniugati con direzione di  $\sigma_1$  ortogonale alla convessità dell'arco), che permettono di considerarli degli oroclini antiaassiali *sensu* MARSHAK (1988) e SACCHI & CADOPPI (1988). Le fratture radiali potrebbero infatti essere legate alla distensione che si esercita sulla parte esterna della struttura arcuata mano a mano che questa s'incurva (LUONGO, 1988). Analoghi si-

stemi di fratture dovrebbero perciò ritrovarsi anche negli archi appenninici ed in effetti sono state riconosciute all'interno dell'arco umbro-marchigiano da MARSHAK *et alii* (1982), mentre faglie e fratture a direzione antiappenninica sono frequenti nei terreni post-tortoniani della Val Marecchia (CONTI, 1989; 1994). Le faglie che intersecano gli archi presentano sempre sensibili componenti di movimento verticale portando spesso le porzioni laterali degli stessi a quote inferiori rispetto a quelle centrali. Questo elemento, associato alla considerazione che le strutture arcuate sarebbero in massima parte dovute alla funzione di ostacolo esercitata dal substrato su cui i *thrusts* sovrascorrono (CASTELLARIN & VAI, 1986; GOBETTI & PEROTTI, 1990; VAN DIJK & OKKES, 1991; CONTI, 1991; MARSHAK *et alii*, 1992), permette di meglio comprendere la formazione dell'area depressa situata fra gli archi romagnolo e adriatico in corrispondenza della Val Marecchia (Figg. 3, 6).

Sarebbe quindi legato al sovrascorrimento di un *thrust* su un substrato non omogeneo il suo evolversi in archi tettonici e gli elementi trasversali che si formano in contemporanea permetterebbero a questo di rispondere in maniera differenziale a distinte sollecitazioni dinamiche, con la formazione di aree depresse in corrispondenza delle zone di congiunzione degli archi, non solo per effetto di ostacoli cinematici, ma anche ad opera del maggiore carico degli accavallamenti nelle zone laterali.

Inoltre la diversa velocità di rotazione di comparti

della catena appenninica comporta di per se stessa la formazione di archi tettonici di ordine inferiore e l'enucleazione, nei punti di articolazione degli archi, di aree depresse, per effetto di sforzi distensivi nei punti, svincolati cinematicamente, in cui gli archi si propagano verso l'esterno con movimenti differenziali (Fig. 7). Tutto questo potrebbe comunque anche essere legato, per la zona compresa fra gli archi padani e quello adriatico, ad una segmentazione litosferica della placca adriatica in subduzione (ROYDEN *et alii*, 1987).

## CONCLUSIONI

L'analisi dei dati raccolti porta a considerare l'area della Val Marecchia come sede di un importante svincolo cinematico del sistema di accavallamenti che costituiscono il fronte deformativo appenninico. Fino alla fase del Tortoniano inf., durante la quale la *Marnoso-arenacea Interna* si accavalla su quella *Ester-na* e le *Liguridi* sulle *Marne di Verghereto*, la migrazione del sistema avanfossa-fronte deformativo è proceduta in maniera regolare, con il coinvolgimento nella deformazione delle peliti di chiusura torbiditica (CONTI & GELMINI, 1994). Nel contempo la tettonica trasversale, collegata alla migrazione del fronte deformativo, ha permesso un avanzamento differenziato fra il settore settentrionale e quello meridionale all'allineamento Arezzo-Badia Tedalda (Figg. 1, 5) ed è servita da sbarramento antiappenninico per la sedimentazione delle peliti di chiusura (Figg. 1, 3, 5), mentre più all'esterno i depositi torbiditici sono rimasti indisturbati, ad esclusione di quelli che caratterizzano l'ultima avanfossa fliscioide. Quindi durante il Miocene inf.-medio, la linea tettonica (a movimento nel complesso destrale) sarebbe legata alla diversa velocità traslativa della catena appenninica, probabilmente ricollegabile alla rotazione del massiccio sardo-corso. Non ci sembra perciò compatibile col quadro proposto considerare, durante tale periodo, la linea della Val Marecchia o altre trasversali, d'importanza regionale comunque nettamente inferiore, vie di collegamento fra ambienti di sedimentazione del fronte deformativo e dell'avanfossa (TEN HAAFF & VAN WAMEL, 1979; DE DONATIS, 1993), nè tantomeno elementi che abbiano favorito l'incanalamento di olistostromi liguri nell'avanfossa (RICCI LUCCHI & ORI, 1985), i quali peraltro sono ampiamente diffusi parallelamente alle direttrici appenniniche.

Successivamente il progredire della rotazione antioraria della penisola italiana porta, a partire dal Messiniano inf., all'articolazione di archi tettonici di ordine inferiore, dei quali quelli romagnolo e adriatico vengono a differenziarsi in corrispondenza della Val Marecchia (Figg. 2, 3, 6), separati da un'area inflettentesi all'interno della catena, la cui genesi potrebbe essere legata all'azione di ostacolo esercitata dal substrato all'avanzamento del fronte deformativo. La presenza di elementi rigidi, confrontabili con quelli presenti nel sub-

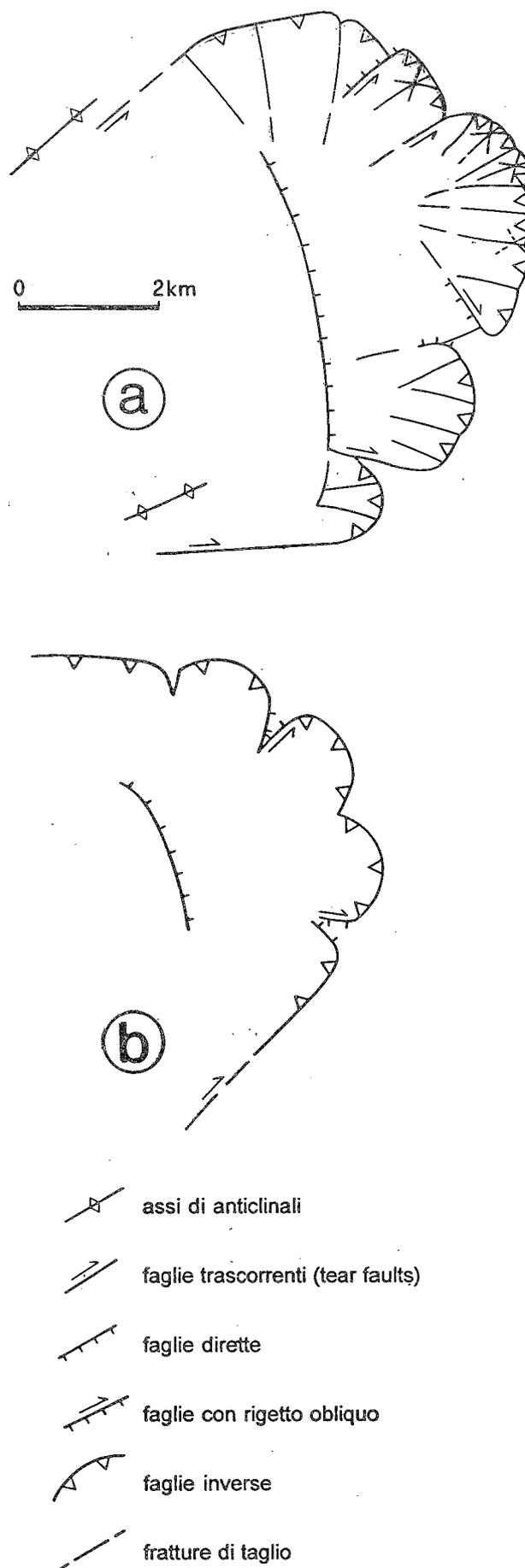


Fig. 7 - Confronto fra archi tettonici e loro elementi trasversali a scale differenti: (a) schema strutturale ricavato da dati di campagna di un generico arco tettonico della coltre della Val Marecchia, (b) modello di formazione di un generico arco antitassiale (orocline) a scala sia confrontabile che maggiore rispetto al precedente (modificato da MARSHAK, 1988; VAN DIJK & OKKES, 1991; MARSHAK *et alii*, 1992).

strato degli archi padani (CASTELLARIN & VAI, 1986), è stata infatti recentemente riportata, per la zona compresa fra Pieve S. Stefano e Badia Tedalda, da ANELLI *et alii* (1992).

La situazione strutturale attuale (BIGI *et alii*, 1989) ripete quanto già delineatosi nel Messiniano, gli archi romagnolo e adriatico sono infatti troncati in corrispondenza di un'area, situata sul prolungamento della linea Badia Tedalda-Valle Conca (Figg. 2, 3, 6), e sede del massimo spessore dei depositi plio-quadernari. Durante tale periodo s'inverte anche la posizione relativa dei due settori situati ad occidente e ad oriente della trasversale della Val Marecchia, fatto probabilmente imputabile alla maggiore velocità di avanzamento del fronte adriatico dell'Appennino Settentrionale a seguito dell'apertura tirrenica.

In conclusione, sembra perciò che la tettonica trasversale in Val Marecchia non sia una diretta emanazione di una tettonica trascorrente, in quanto affioramento superficiale di una faglia profonda del basamento (LAVECCHIA, 1988), ma vada invece inquadrata in un contesto di tettonica compressiva, agendo come svincolo cinematico, mobile nel tempo e nello spazio, legato alle diverse modalità di propagazione del fronte deformativo. D'altra parte sembra ragionevole ammettere che le diverse velocità di propagazione dei due differenti settori romagnolo e marchigiano del fronte deformativo possano indirettamente essere il riflesso di discontinuità e/o disomogeneità del substrato, non solo in conseguenza delle recenti acquisizioni sulla tettonica dell'Appennino (CASTELLARIN, 1993), ma anche perchè attualmente la linea della Val Marecchia delimita trasversalmente i depositi dell'avanzofossa.

#### RINGRAZIAMENTI

Un sentito e commosso ringraziamento va al Prof. R. GELMINI, prematuramente scomparso durante la stesura di questo lavoro, il quale oltre ad essere stato per me un maestro è stato altresì un amico prodigo di consigli e l'ispiratore di questa ricerca, i cui risultati qui pubblicati sono il frutto di tanti anni di reciproca collaborazione. Si ringraziano vivamente, per le proficue discussioni e i preziosi consigli avuti nel corso del convegno di Camerino riguardo l'argomento del presente lavoro, anche i Proff. L. VEZZANI, F. RICCI LUCCHI, G.P. PIALI e E. MANTOVANI nonché il Dr. A. DE FEYTER.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANELLI L., GORZA M., PIERI M. & RIVA M. (1992) - *Dati di pozzi profondi dell'Appennino Settentrionale*. In: 76<sup>a</sup> Riunione estiva S.G.I. «L'Appennino Settentrionale», Riassunti, p. 191, Firenze.
- 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 (1), 257-310.
- BIGI G., CASTELLARIN A., CATALANO R., COLI M., COSENTINO D., DAL PIAZ G.V., LENTINI F., PAROTTO M., PATACCA E., PRATURLON A., SALVINI F., SARTORI R., SCANDONE P. & VAI G.B. (1989) - *Synthetic structural-kinematic map of Italy*. C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica.
- BOCCALETTI M., COLI M. & NAPOLIONE G. (1977) - *Nuovi allineamenti strutturali da immagini Landsat e rapporti con l'attività sismica negli Appennini*. Boll. Soc. Geol. It., 96, 679-694.
- BOCCALETTI M., COLI M., EVA C., FERRARI G., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., MERLANTI F., NICOLICH R., PAPANI G. & POSTPISCHL D. (1985) - *Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines*. Tectonophysics, 117, 7-38.
- BOCCALETTI M., CALAMITA F., DEIANA G., GELATI R., MASSARI F., MORATTI G. & RICCI LUCCHI F. (1990) - *Migrating foredeep-thrust belt system in the Northern Apennines and Southern Alps*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 77, 3-14.
- BOYER S.E. & ELLIOTT D. (1982) - *Thrust Systems*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 66 (9), 1196-1230.
- CALASSOU S., LARROQUE C. AND MALAVIEILLE J. (1993) - *Transfer zones of deformation in thrust wedges: an experimental study*. Tectonophysics, 221, 325-344.
- CARROZZO M.T., LUZIO D., MARGIOTTA C. & QUARTA T. (1991) - *Gravity Map of Italy. Isoanomalies of Bouguer. Scale 1:500000. Sheet n.1. C.N.R., P. F. Geodinamica. Quad. Ric. sc., 114.*
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura Padana. Interpretazione di dati geofisici e geologici*. 73° Congr. S.G.I., Roma, 1-27, Centro Stampa AGIP.
- CASTELLARIN A. (1993) - *Introduzione alla progettazione del profilo CROP I*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. (1992/2), CROP 1-1A, 9-15.
- CASTELLARIN A. (1994) - *Strutturazione eo- e mesoalpina dell'Appennino Settentrionale attorno al "nodo ligure"*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. (1992/2) appendice, CROP 1-1A, 99-108.
- CASTELLARIN A. & VAI G.B. (1986) - *Southalpine versus Po plain Apenninic arcs*. In: F.C. Wezel (ed.) «The origin of arcs». Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 253-280.
- CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giorn. Geol., 47 (1-2), 47-75.
- CASTELLARIN A., CANTELLI L., FESCE M.A., MERCIER J.L., PICOTTI V., PINI G.A., PROSSER G. & SELLI R. (1992) - *Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Apennines*. Annales Tectonicae, 6 (1), 62-94.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1972) - *Modello strutturale umbro-marchigiano*. Correlazioni possibili con le regioni adiacenti. Boll. Serv. Geol. It., 93, 155-188.
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1995) - *Il sistema Tirreno-Appennino: segmentazione litosferica e propagazione del fronte compressivo*. Geodinamica e tettonica attiva del sistema Tirreno-Appennino, Riassunti. Camerino 9-10/2/95, 84-86.
- CONTI S. (1989) - *Geologia dell'Appennino marchigiano-romagnolo tra le valli del Savio e del Foglia. (Note illustrative alla carta geologica a scala 1:50.000)*. Boll. Soc. Geol. It., 108 (3), 453-490.
- CONTI S. (1991) - *Caratteristiche geologico-strutturali delle placche epiliguri della coltre della Val Marecchia e loro riflessi sulla franosità*. Giorn. Geol., 53 (2), 147-165.
- CONTI S. (1994) - *La geologia dell'alta Val Marecchia (Appennino toscano-marchigiano). Note illustrative alla carta geologica 1:50.000*. Atti Tic. Sc. Terra, 37, 51-98.
- CONTI S. & GELMINI R. (1994) - *Tectonic phases and migration of foredeep-thrust belt system in the Northern Apennines from the Miocene to the Early Pliocene*. Mem. Soc. Geol. It., 48 (1), 261-274.
- CONTI S., FREGNI P. & GELMINI R. (1987) - *L'età della messa in posto della coltre della Val Marecchia. Implicazioni paleogeografiche e strutturali*. Mem. Soc. Geol. It., 39, 143-164.
- COWARD M.P. (1994) - *Continental Collision*. In: P.L. Hancock (ed.) «Continental Deformation». Pergamon Press, 264-288.
- DE DONATIS M. (1993) - *Considerazioni stratigrafiche e tettoniche sulla successione Falterona-Vicchio nell'alta Val Marecchia (Appennino settentrionale)*. Giorn. Geol., 55 (2), 35-49.
- DE DONATIS M., INVERNIZZI C., LANDUZZI A., MAZZOLI S., NEGRI A. & POTETTI M. (1995) - *The external zone of the Marche-Romagnan Apennines*. In: Geodinamica e tettonica attiva del sistema Tirreno-Appennino, Riassunti. Camerino 9-10/2/95, 105-107.
- DE FEYTER A.J. (1991) - *Gravity tectonics and sedimentation of the Montefeltro, Italy*. Geol. Ultraiectina, 35, 1-168.
- DOGLIONI C. (1991) - *A proposal for the kinematic modelling of W-dipping subductions-possible applications to the Tyrrhenian-Apennines system*. Terra Nova, 3, 423-434.
- FAZZINI P. & GELMINI R. (1982) - *Tettonica trasversale nell'Appennino Settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 24 (2), 299-309.
- FISCHER M.W. & COWARD M.P. (1982) - *Strains and folds within thrust sheets: an analysis of the Heilm sheet, northwest Scotland*. Tectonophysics, 88, 291-312.
- GASPARINI C. & PRATURLON A. (1981) - *Modelli sismotettonici e geologia classica a confronto nell'Italia centrale*. Rend. Soc. Geol. It., 4 (5), 557-562.
- GELMINI R. (1994) - *Ipotesi sul ruolo della linea tettonica trasversale*

- Follonica-Val Marecchia sull'assetto strutturale della Toscana marittima. Studi Geol. Camerti, vol. spec. 1994/1, 201-209.
- GHELARDONI R. (1965) - Osservazioni sulla tettonica trasversale dell'Appennino Settentrionale. Boll. Soc. Geol. It., 84 (3), 276-290.
- GOBETTI A. & PEROTTI C.R. (1990) - Genesi e caratteristiche dell'arco strutturale di Pavia. Atti Tic. Sc. Terra, 33, 143-156.
- LAVECCHIA G. (1988) - The Tyrrhenian-Apennines system: structural setting and seismotectogenesis. Tectonophysics, 147, 263-296.
- LAVECCHIA G., MINELLI G. & PIALI G. (1984) - L'Appennino umbromarchigiano: tettonica distensiva e ipotesi di sismogenesi. Boll. Soc. Geol. It., 103 (3), 467-476.
- LIOTTA D. (1991) - The Arbia-Val Marecchia line (Northern Apennines). Ecl. Geol. Helv., 84 (2), 413-430.
- LUONGO G. (1988) - Tettonica globale dell'Italia meridionale: subduzione o bending? Mem. Soc. Geol. It., 41, 159-163.
- MALARODA P. & RAIMONDI G. (1957) - Linee di dislocazione e sismicità in Italia. Boll. Geod., 16 (3), 273-290.
- MANTOVANI E., ALBARELLO D., BABBUCCI D. & TAMBURELLI C. (1992) - Recent geodynamic evolution of the Central Mediterranean region. 1-88. Tip. Senese, Siena.
- MARSHAK S. (1988) - Kinematics of orocline and arc formation in thin-skinned orogens. Tectonics, 7 (1), 73-86.
- MARSHAK S., GEISER P.A., ALVAREZ W. & ENGELDER T. (1982) - Mesoscopic fault array of the northern Umbrian Apennine fold belt, Italy: Geometry of conjugate shear by pressure-solution slip. Geol. Soc. Am. Bull., 93, 1013-1022.
- MARSHAK S., WILKERSON M.S. & HSUI A.T. (1992) - Generation of curved fold-thrust belts: Insight from simple physical and analytical models. In: K.R. McClay (ed.) «Thrust Tectonics», Chapman & Hall, 83-92, New York.
- MERLA G. & ABBATE E. (1967) - Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1/100.000. Foglio 114 Arezzo. 1-52 pp.
- MONGELLI F., LODDO M., TRAMACERE A., ZITO G., PERUSINI P., SQUARCI P. & TAFI L. (1985) - Contributo alla mappa del flusso geotermico in Italia: misure sulla fascia Pre-Appenninica marchigiana. In: Atti I° Convegno Geof. Terra Solida, Roma, 427-445.
- MORELLI C. (1982) - Le conoscenze geofisiche dell'Italia e dei mari antistanti. Mem. Soc. Geol. It., 24, 521-530.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1987) - Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab. In: A. Boriani, M. Bonafede, G.B. Piccaro & G.B. Vai (eds.) «The Lithosphere in Italy. Advances in Earth Sciences research». Atti Acc. Naz. Lincei, 80, 157-176.
- PATACCA E., SARTORI R. & SCANDONE P. (1990) - Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times. Mem. Soc. Geol. It., 45, 425-451.
- REHAULT J.P., MASCLE J. & BOILLOT G. (1984) - Evolution géodynamique de la Méditerranée depuis l'Oligocène. Mem. Soc. Geol. It., 27, 85-96.
- RICCI LUCCHI F. (1986) - The Oligocene to Recent foreland basins of the Northern Apennines. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment., 8, 105-139.
- RICCI LUCCHI F. (1990) - Turbidites in foreland and on-thrust basins of the Northern Apennines. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 77, 51-66.
- RICCI LUCCHI F. & ORI G.G. (1985) - Field excursion D: syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the NW Adriatic foreland. In: P.H. Allen, P. Homewood & G. Williams (eds.) «Excursion Guidebook». Foreland Basins Symp. Fribourg, 137-176.
- ROYDEN L. & KARNER G.D. (1984) - Flexure of lithosphere beneath Apennine and Carpathian Foredeep Basins: evidence for an insufficient topographic load. A.A.P.G., Bull., 68 (6), 704-712.
- ROYDEN L., PATACCA E. & SCANDONE P. (1987) - Segmentation and configuration of subducted lithosphere in Italy: an important control on thrust-belt and foredeep-basin evolution. Geology 15 (8), 714-717.
- RUGGIERI G. (1970) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:100.000, Foglio 108 Mercato Saraceno. Serv. Geol. d'It., 1-56.
- SACCHI R. & CADOPPI P. (1988) - Oroclines and pseudo-oroclines. In: F.C. Wezel (ed.) «The Origin and evolution of Arcs». Tectonophysics, 146, 47-58.
- SACCO F. (1935) - Le direttrici tettoniche trasversali dell'Appennino. Rend. Accad. naz. Lincei, ser. 6, 22, 371-375, 551-553.
- SANI F. (1991) - Rilevamento strutturale della catena appenninica nel settore Firenze-Bocca Trabaria. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 46, 327-337.
- SARTORI R. (1989) - Evoluzione neogenico-recente del bacino Tirrenico e suoi rapporti con la geologia delle aree circostanti. Giorn. Geol., 51 (1-2), 1-39.
- SIGNORINI R. (1935) - Linee tettoniche trasversali nell'Appennino Settentrionale. Rend. Accad. naz. Lincei, ser. 6, 21 (1), 42-45.
- TEN HAAF E. & VAN WAMEL W.A. (1979) - Nappes of the alta Romagna. Geol. Mijnbouw, 58 (2), 145-152.
- VAI G.B. (1987) - Migrazione complessa del sistema fronte deformativo-avanfossa-cercine periferico: il caso dell'Appennino Settentrionale. Mem. Soc. Geol. It., 38, 95-105.
- VAN DIJK J.P. & OKKES F.W.M. (1991) - Neogene tectonostratigraphy and kinematics of Calabrian basins: implications for the geodynamics of the Central Mediterranean. Tectonophysics, 196, 23-60.
- VANN I.R., GRAHAM R.H. & HAYWARD A.B. (1986) - The structure of mountain fronts. Journ. Struct. Geol., 8 (3-4), 215-227.