

**FAGLIE TRASCORRENTI SIN-THRUSTING  
COME RIPARTIZIONE DELLA DEFORMAZIONE:  
L'ESEMPIO DELLA FAGLIA SABINA (APPENNINO CENTRALE)**

## INDICE

RIASSUNTO	pag. 279
ABSTRACT	" 279
INTRODUZIONE	" 280
ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	
DELL'AREA DEI M. SABINI	" 280
Caratteri litostratigrafici	" 280
Caratteri strutturali regionali	" 281
Caratteri strutturali dei M. Sabini	" 282
Analisi mesostrutturale	" 284
DISCUSSIONE	" 285
CONCLUSIONI	" 287
BIBLIOGRAFIA	" 287

## RIASSUNTO

L'edificio strutturale del settore sud-occidentale dell'Appennino umbro-marchigiano-sabino è caratterizzato dalla presenza di tre principali unità tettoniche. Il *thrust-sheet* narnese-amerino ad andamento NW-SE si accavalla su quello dei M. Sabini a *trend* meridiano e su quello dei M. Martani e direzione NNW-SSE; una faglia ad alto angolo trascorrente-transpressiva destra (Faglia Sabina) interessa l'unità dei M. Sabini e si sviluppa con continuità per circa 35 km in direzione NNE-SSW, parallelamente alle strutture della catena, e rappresenta l'inversione e/o la riutilizzazione di un faglia sinsedimentaria che limita ad oriente il *plateau* giurassico dei M. Sabini (Plateau Sabino). Nella porzione settentrionale della faglia il sovrascorrimento dei M. Martani ad andamento NNW-SSE si interrompe in prossimità della faglia stessa.

L'analisi geologico-strutturale condotta in questo settore lungo le zone di taglio associate sia ai sovrascorrimenti che alla Faglia Sabina ha evidenziato che gli *slip-vector* relativi ai primi si addensano secondo tre principali direzioni: NE-SW, NNE-SSW e E-W, mentre quelli relativi alla Faglia Sabina sono orientati NE-SW e NNE-SSW.

In questo lavoro, lo *slip-vector* orientato NE-SW viene associato alla vergenza principale della catena; esso è presente su tutte le strutture (sovrascorrimenti e faglie transpressive) e si manifesta durante i momenti di massimo valore del modulo dello stress regionale, con il  $\sigma$  orizzontale massimo orientato NE-SW. Gli altri *slip-vector* sono invece messi in relazione al controllo delle rampe oblique dei sovrascorrimenti e delle faglie preesistenti (Faglia Sabina) che generano una complessa ripartizione dello deformazione (*Strain Partitioning*), probabilmente durante i momenti caratterizzati da un basso valore del modulo dello stress regionale. In tale contesto la principale entità di trascorrenza destra lungo la Faglia Sabina può essere

considerata contemporanea all'attività dei sovrascorrimenti dei M. Martani e dei M. Sabini, come suggerito dalle interconnessioni cinematiche e dalla compatibilità degli *slip-vector* orientati circa N-S ed E-W, osservabili rispettivamente lungo questi ultimi piani di accavallamento.

## ABSTRACT

The Umbro-Marchean-Sabine thrust system is part of the Central Apennine fold-and-thrust belt of mainland Italy. The Central Apennine thrust belt is made up of a series of tectono-stratigraphic units which are composed of sedimentary rocks originally deposited on the Jurassic-Cretaceous southern margin of Neotethys. At the present day, these units constitute a NE-verging tectonic wedge accreted during Neogene collisional and post-collisional processes. The thrusts and fold-related structures are characterized by an arcuate geometry; it may be attributed to the control exercised by the preexistent discontinuities (Jurassic and Cretaceous normal faults trending N-S and E-W of the passive margin and Miocene normal faults connected with the foreland bending during Neogene thrust system development) and related to the rotation on the oblique thrust-ramps trending N-S and E-W.

Dextral-transpressive and right-lateral strike-slip faults trending N-S are located in an only thrust-sheet in the northern sector of the Central Apennine, where thrusts and folds trend NW-SE, and in the Umbro-Sabine Apennines where the structures trend N-S.

In the southern part of the Umbro-Sabine Apennines the Narni-Amelia thrust-sheet, trending NW-SE, is overthrust on the Sabine Mts one trending N-S; in the hangingwall of the Sabine thrust a complex fault zone, trending N-S shows thrust planes with western vergence and high angle faults with right-lateral strike-slip kinematics (Sabine Faults). This fault outcrops for 35 km and represents the inversion of the sin-sedimentary Jurassic fault that borders in the east side the Jurassic Sabine Plateau. The Martani Mts thrust, trending NNW-SSE, stops on the northernmost portion of Sabine Fault.

Geological and structural analysis carried out in this area along the shear-zone associated with the thrusts and the Sabine Fault shows three main directions of tectonic transport for the thrust (NNE-SSW, NE-SW, and E-W) and two directions for the Sabine Fault (NNE-SSW and NE-SW).

In this work, the slip-vector NE-SW is associated with the main shortening direction; it is present all over the structures (thrusts and strike-slip fault) and it develops during the moments of maximum value of the regional stress ( $\sigma_{max}$  orientated NE-SW). The others slip-vectors instead are related to the control of oblique thrust ramps and to the control of preexistent faults (Sabine Fault) which produce a complex strain partitioning; it probably occurs during the moments of low value of regional stress.

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

A strain partitioning model of the main shortening direction (NE-SW) can explain the NNE-SSW right-lateral strike-slip movement along the Sabina Fault and the contemporaneous E-W transport direction along the Contigliano thrust.

PAROLE CHIAVE: Appennino umbro-sabino, Sovrascorrimiento di Contigliano, Faglia Trascorrente Destra Sabina, Ripartizione della deformazione.

KEY WORDS: Umbro-Sabine Apennines, Contigliano Thrust, Sabine Right-Lateral Strike-Slip Fault, Strain Partitioning.

## INTRODUZIONE

La catena a pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino centrale si è sviluppata a seguito della migrazione verso est del sistema orogenico che ha coinvolto pertanto settori progressivamente più esterni del paleomargine apulo della Tetide.

Sulla base della geologia di superficie, dell'interpretazione dei profili sismici commerciali e del profilo sismico a riflessione CROP 03 è stato ricostruito, per questo settore della catena Appenninica, uno stile tettonico *thick-skinned*, caratterizzato dalla presenza di diversi scollamenti. La copertura sedimentaria è chiaramente scollata dal sottostante basamento lungo un *detachment* ubicato in corrispondenza delle evaporiti triassiche al quale vanno riferite le strutture affioranti della catena (sovrascorrimenti e pieghe associate). I *thrust* del basamento individuano le principali unità strutturali e trasferiscono il dislocamento dallo scollamento delle coperture sedimentarie alla crosta superiore (BARCHI *et alii*, 1996; CALAMITA *et alii*, 1996a; BARCHI *et alii*, 1998).

La migrazione del sistema catena-avanfossa verso l'avampaese adriatico è testimoniata dal ringiovanimento da ovest verso est dei depositi di riempimento delle avanfosse (RICCI LUCCHI, 1975; RICCI LUCCHI & ORI, 1985; BOCCALETTI *et alii*, 1990a e b; ORI *et alii*, 1991). Il sistema catena-avanfossa-avampaese (BOCCALETTI *et alii*, 1990a) è stato ampiamente analizzato e riconosciuto nell'Appennino e recentemente si è iniziato a valutare il ruolo delle faglie normali *pre-thrusting* sull'anatomia del sistema a *thrust* (BRUNI *et alii*, 1996; TAVARNELLI, 1996; ADAMOLI *et alii*, 1997; CALAMITA *et alii*, 1998).

Nel settore umbro-marchigiano-abruzzese dell'Appennino centrale, le unità strutturali della catena sono costituite dalle successioni sedimentarie meso-cenozoiche di margine passivo rispettivamente di bacino pelagico, di transizione e di piattaforma carbonatica (PAROTTO & PRATURLON, 1975), passanti verso l'alto ai depositi silicoclastici d'avanfossa del Miocene inferiore *p.p.* - Pliocene superiore progressivamente più recenti verso l'avampaese Adriatico. Sulle unità in strutturazione si sviluppano tra il Tortoniano superiore ed il Pleistocene inferiore bacini satellite (ORI & FRIEND, 1984) progressivamente più recenti verso est che consentono di ricostruire il *timing* della strutturazione (PATACCA *et alii*, 1991; ORI *et alii*, 1991; DEIANA & PIALLI, 1994; CIPOLLARI & COSENTINO, 1996; CALAMITA & DEIANA, 1996).

Una caratteristica comune a molte *foreland fold-*

*and-thrust belt* è la presenza di faglie ad alto angolo ad andamento da sub-parallelo ad obliquo alla direzione delle strutture della catena, caratterizzate da una complessa evoluzione cinematica. Nell'Appennino centrale, tali faglie sono state diversamente interpretate dagli autori che hanno associato loro un significato crostale-sub-crostante o estremamente pellicolare (CALAMITA *et alii*, 1987; LAVECCHIA & PIALLI, 1980; ALFONSI *et alii*, 1991a; CALAMITA & PIERANTONI, 1994; ALFONSI, 1995; CIPOLLARI & COSENTINO, 1996).

In questo lavoro vengono presentati i risultati di uno studio geologico-strutturale condotto nel settore umbro-sabino dell'Appennino centrale allo scopo di ricostruire un modello cinematico che spieghi la presenza di movimenti trascorrenti destri, lungo le strutture orientate N-S, durante il *thrusting* neogenico nell'Appennino umbro-sabino.

## ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA DEI M. SABINI

### Caratteri litostratigrafici

Nell'area esaminata affiora la successione umbromarchigiano-sabina (CENTAMORE & DEIANA, 1986; Fig. 1). Tale copertura sedimentaria è costituita da una unità calcarea di piattaforma carbonatica del Trias sup. - Lias inf., con alla base la Formazione del M. Cetona che passa superiormente al Calcere massiccio (spessore massimo di circa 900 m). Questa è seguita da una successione pelagica ed emipelagica (Lias medio - Miocene *p.p.*) ben stratificata, costituita da calcari, calcari silicei, calcari marnosi e marne, rappresentata dalla Corniola (Sinemuriano sup. - Pliensbachiano), dalla Formazione del Bosso e dalla Formazione del Sentino (Toarciano - Bathoniano), dai Calcari diasprini umbro-marchigiani (Calloviano - Titonico inf.), dalla Maiolica (Titonico sup. - Aptiano inf.), dalle Marne a Fucoidi (Aptiano inf. *p.p.* - Cenomaniano inf.), dalla Scaglia bianca e Scaglia rossa (Cenomaniano medio - Eocene sup. *p.p.*), dalla Scaglia cinerea (Eocene sup. - Oligocene sup.), dal Bisciario (Miocene inf. *p.p.*) e dallo Schlier (Miocene inf. *p.p.*). Gli spessori della successione pelagica-emipelagica variano tra 1.100 e 1.600 m, ciò in relazione sia agli apporti carbonatici detritici particolarmente abbondanti nelle formazioni della Corniola, nei Calcari diasprini e nella Maiolica (breccie poligeniche), sia alla presenza di sequenze giurassiche complete, composte e ridotte (*sen-su* CENTAMORE *et alii*, 1986).

La Faglia Sabina è posta lungo il margine orientale di un importante alto strutturale giurassico, ad andamento meridiano, riconosciuto in affioramento con continuità per una lunghezza di almeno 20 km (ALFONSI *et alii*, 1990; 1991a; 1991b; CALAMITA & PIERANTONI, 1994, 1996; CALAMITA *et alii*, 1994; PIERANTONI, 1994; PIERANTONI *et alii*, 1996; SANTANTONIO & GALLUZZO, 1996; SANTANTONIO *et alii*, 1996). Tale margine, che ha avuto la sua influenza sull'evoluzione sedimentaria dell'area almeno fino a tutto il Cretacico, rappresenta un elemento di primo ordine nella paleogeografia giurassica della regione sabina, definendo l'esistenza nell'area occidentale di un importante zona rilevata (Plateau Sabino), caratterizzato da prevalente sedimentazione

condensata e a volte lacunosa (lacuna stratigrafica di M. Lacerone: Lias inf. - Oxfordiano; FARINACCI, 1967), e, ad est, di un'area bacinale (Bacino Sabino), caratterizzata dalla sedimentazione di potenti sequenze complete e da intensi fenomeni di risedimentazione (SANTANTONIO & GALLUZZO, 1996; SANTANTONIO *et alii*, 1996).

In definitiva la successione giurassica completa affiora nel blocco di tetto della Faglia Sabina mentre le successioni condensate, ridotte e composte caratterizzano il blocco di letto di tale complessa struttura.

Al di sopra di questa successione seguono i depositi silicoclastici di avanfossa, appartenenti alla Formazione Marnoso-arenacea (riferibili al Langhiano: CIPOLLARI & COSENTINO, 1996) e, in discordanza angolare, i depositi marini plio-pleistocenici (ovest di Cottanello) ed i depositi continentali fluvio-lacustri plio-pleistocenici (AMBROSETTI *et alii*, 1978).

### Caratteri strutturali regionali

L'edificio strutturale umbro-sabino (Figg. 1 e 2) è costituito da tre principali unità tettoniche sovrapposte secondo una vergenza nord-orientale (CALAMITA & PIERANTONI, 1996). L'unità tettonica più interna e strutturalmente più elevata è quella narnese-amerina, che costi-

tuisce un elemento di importanza regionale seguibile secondo la direttrice NW-SE per circa 45 km fra i bacini plio-pleistocenici del Paglia - Tevere ad ovest e della Valle del Tevere - Piana di Terni ad est. Tale unità è ubicata nell'*hangingwall* del sovrascorrimento di Narni a direzione N140, costituito da due piani di accavallamento di cui quello superiore ha a tetto il Calcare massiccio. Un elemento tettonico intermedio, composto dalla successione pelagica rovesciata (Corniola - Scaglia rossa), è compreso tra il piano di sovrascorrimento superiore e quello inferiore ed è organizzato in scaglie tettoniche delimitate da piani estensionali (BONCIO *et alii*, 1996; CALAMITA *et alii*, 1996b).

A SE di Narni, l'unità narnese-amerina è seguibile fino all'abitato di Vacone, a sud del quale affiorano i depositi marini plio-quadernari della Formazione Chiani-Tevere. E' questo il punto di massima convergenza tra l'unità narnese-amerina (a *trend* NW-SE) e la più esterna struttura anticlinale dei M. Sabini ad andamento assiale meridiano. Questa è caratterizzata da un fianco orientale che gradualmente si rovescia in prossimità del piano di accavallamento (sovrascorrimento di Contigliano a direzione N-S: sezione A-A di Fig. 3) e di diverse scaglie tettoniche interposte tra l'*hangingwall* e il *footwall*; in quest'ultimo si hanno delle pieghe sviluppatesi prima della definitiva messa in posto del sovrascorrimento come è evidenziato dai rapporti geometrici tra quest'ultimo elemento e le unità mioceniche di letto.

Più ad occidente, una zona di faglia ad alto angolo da traspressiva a trascorrente destra si segue con continuità da Montasola (a sud) via via verso nord fino a Le Marmore, ed è particolarmente evidente nel tratto meridionale tra Montasola e i Prati di Sotto (Faglia Sabina, ALFONSI *et alii*, 1990). La sua prosecuzione verso nord è documentata da contatti tettonici spesso evidenziati attraverso considerazioni stratimetriche (PIERANTONI, 1994). Il blocco orientale di tale struttura è generalmente rialzato rispetto a quello occidentale come dimostrato dal contatto del Calcare massiccio con le formazioni dei Calcari diasprini umbro-marchigiani (nel settore centro-settentrionale) e della Maiolica - Marne a Fucoidi (nel settore meridionale), che consente di valutare un rigetto verticale massimo di circa 1000 metri. In quest'ultimo settore, inoltre, sono associati alla faglia anche motivi di accavallamento a vergenza occidentale (Fig. 4).

Verso nord, il *footwall* dell'unità narnese-amerina scompare al di sotto dei depositi plio-quadernari della Piana di Terni e riaffiora nella porzione meridionale dei M. Martani, a letto della Faglia plio-quadernaria di Cesi. Nell'unità dei M. Martani si riconosce lungo la Val Serra il sovrascorrimento di M. Torricella caratterizzato da un andamento all'incirca meridiano nei suoi tratti settentrionale e meridionale che sono raccordati da un segmento centrale ad andamento NW-SE. L'unità di letto del sovrascorrimento di M. Torricella è caratterizzata da una importante zona di faglia ad alto angolo ad andamento N10 e con caratteri da traspressivi a trascorrenti destri; questa pone a contatto il Calcare massiccio con la Scaglia rossa, le Marne a Fucoidi e la Maiolica ed è seguibile verso nord fino a S. Renzano (Faglia di Battiferro: BRUNI *et alii*, 1996). Lungo il tratto meridionale della presente struttura si individuano scaglie tettoniche, costituite dalla Scaglia rossa e dalla Maiolica, caratterizzate da mesopie-

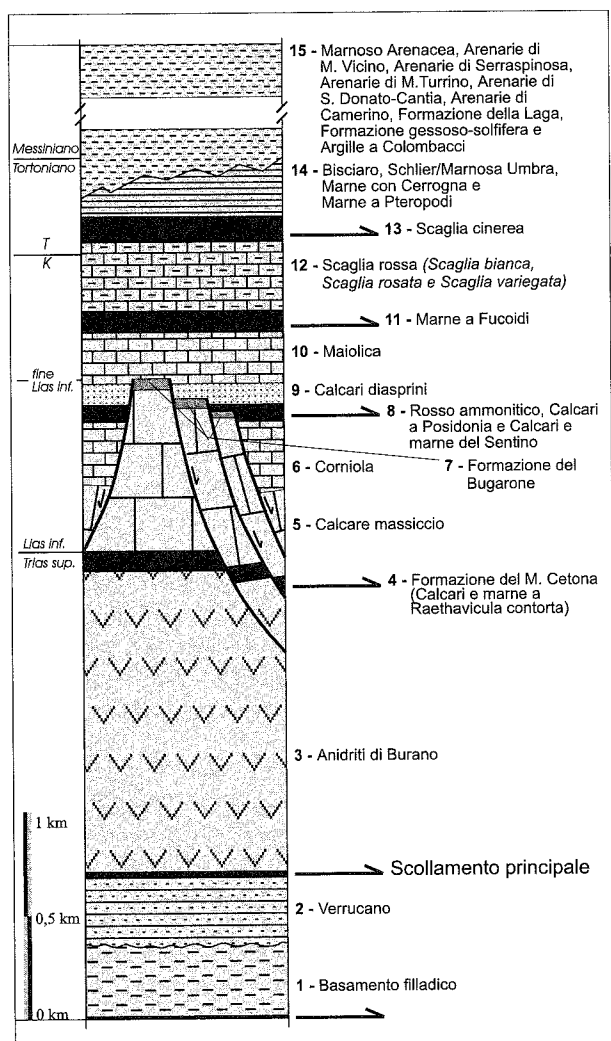


Fig. 1 - Schema stratigrafico dell'Appennino umbro-marchigiano.

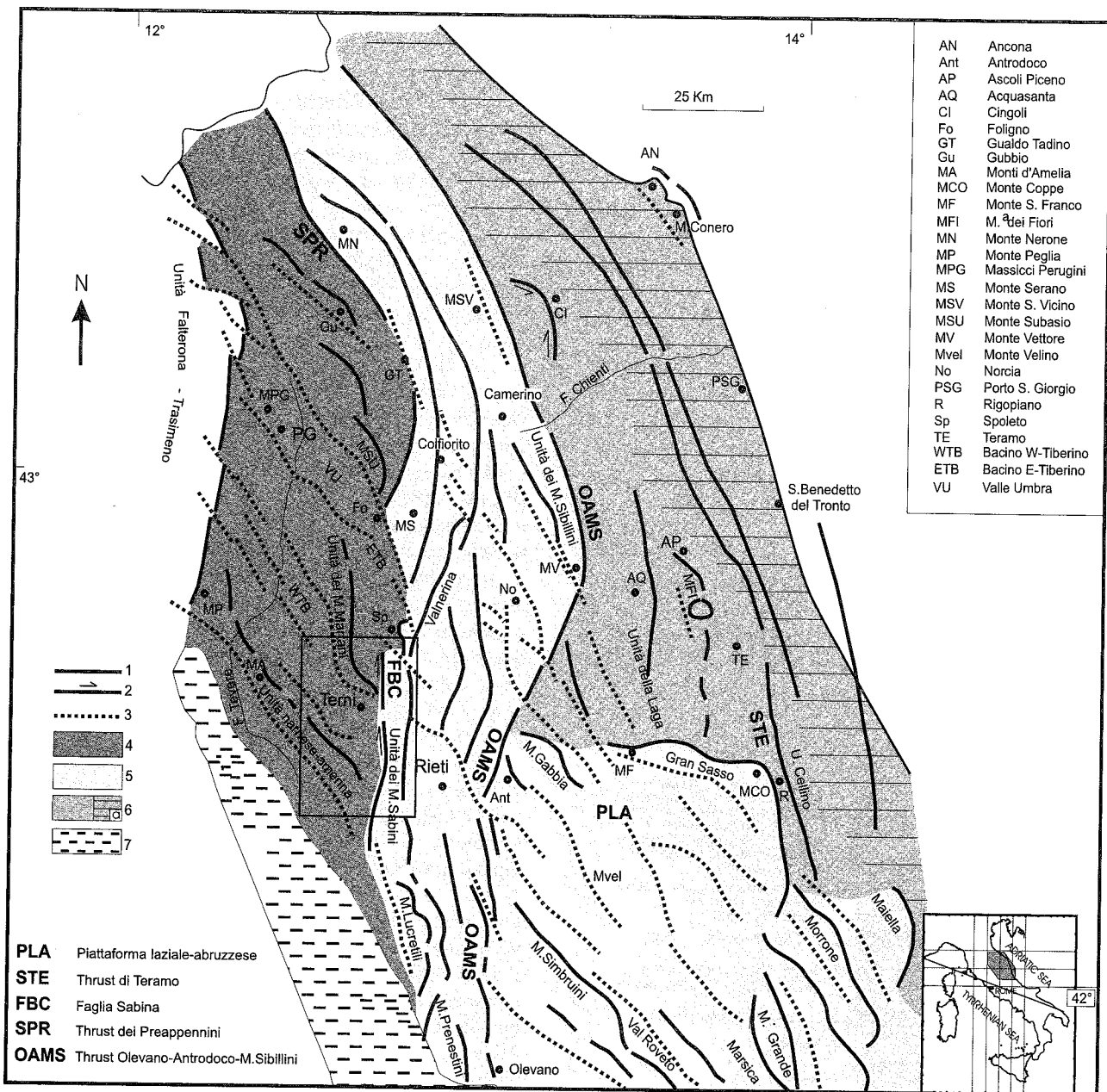


Fig. 2 - Schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano-sabino e dei settori di raccordo con il Dominio toscano (Unità Falterona-Trasimeno) ad ovest e con quello laziale-abruzzese (Piattaforma laziale-abruzzese: PLA) ad est. Nel riquadro l'area analizzata.

ghe strette ed a vergenza occidentale. Il sovrascorrimento di M. Torricella, inoltre, verso sud si raccorda con la Faglia di Battiferro, la cui prosecuzione meridionale, per la notevole congruenza dei caratteri geologico-strutturali, può essere ricercata nella Faglia Sabina.

#### Caratteri strutturali dei M. Sabini

Nei M. Sabini settentrionali diversi autori hanno evidenziato un assetto strutturale a pieghe e sovrascorrimenti con *trend* meridiano (COSENTINO & PAROTTO, 1986; MANGANELLI & FARAMONDI, 1990; COSENTINO *et alii*, 1991; COSENTINO & PAROTTO, 1991; CALAMITA & PIERANTONI, 1996; PIERANTONI, 1994; PIERANTONI *et alii*, 1996).

Tale assetto è caratterizzato dal sovrascorrimento di Contigliano il cui piano è ben osservabile in affioramento a sud di Greccio ed è in continuità con il *thrust* di

Scandriglia-Roccagiovine nei M. Lucretili (COSENTINO & PAROTTO, 1986). Tale motivo ha una direzione NNE-SSW ed è evidenziato da zone di taglio nell'ambito dei terreni terziari del *footwall* e nella Scaglia rossa dell'*hangingwall* spesso costituente minori scaglie tettoniche (Fig. 3).

Nell'*hangingwall* di tale sovrascorrimento si riconosce una macroanticlinale ad andamento assiale parallelo alla direzione del piano di sovrascorrimento, la cui geometria complessiva può essere riferita ad una *box-fold*, con un'ampia zona di cresta ad andamento sub-orizzontale (Fig. 4).

Nella zona di cresta della macroanticlinale si individuano i *klippen* di Costa Mosca Castagna e Cimamonte (MANGANELLI & FARAMONDI, 1990) che sono stati messi in relazione al minore motivo di sovrascorrimento di M. Macchia Porrara (PIERANTONI *et alii*, 1996; Fig. 3).

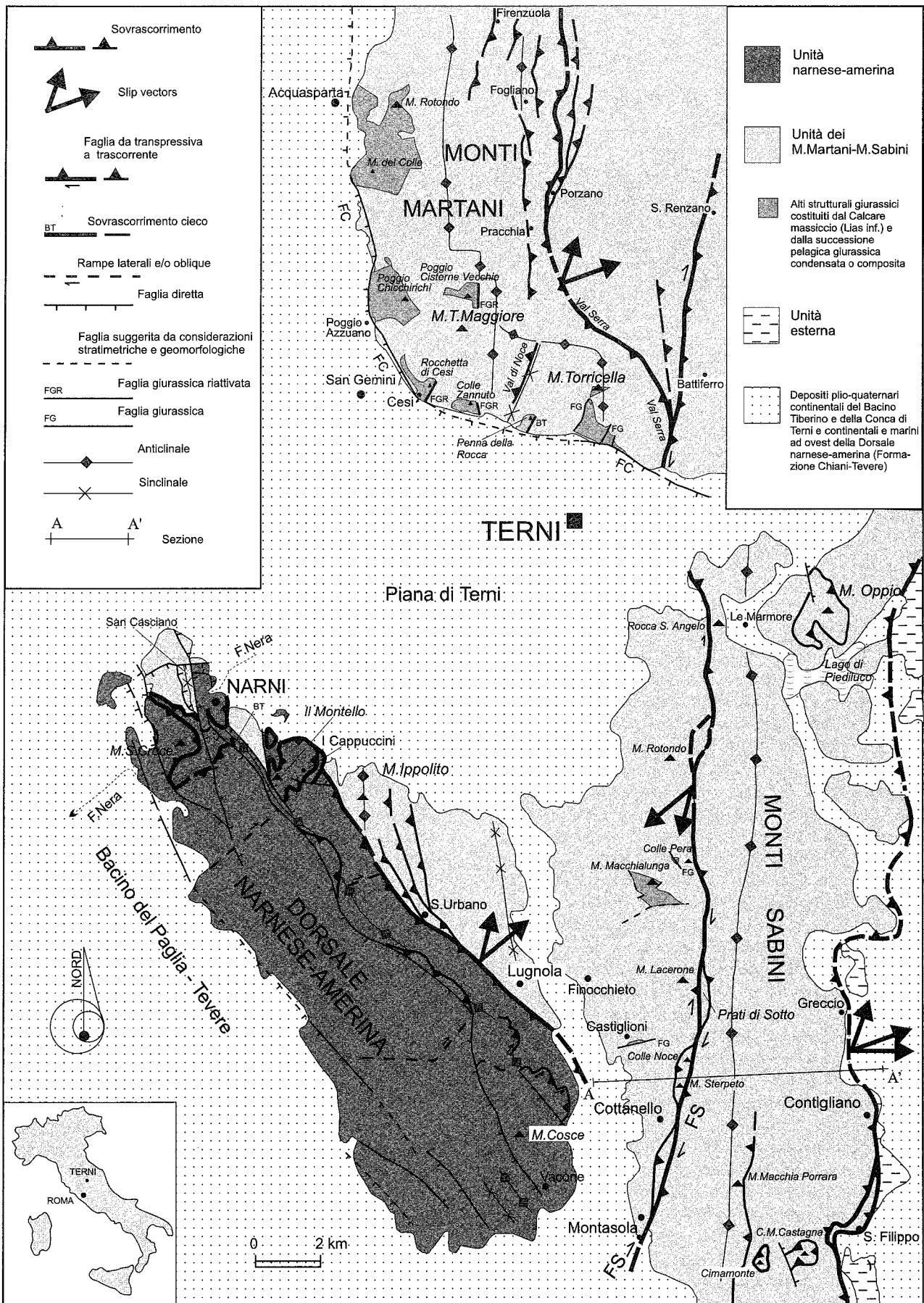


Fig. 3 - Schema strutturale dell'Appennino umbro-sabino prossimo a Terni e traccia della sezione geologica A-A' di figura 4.

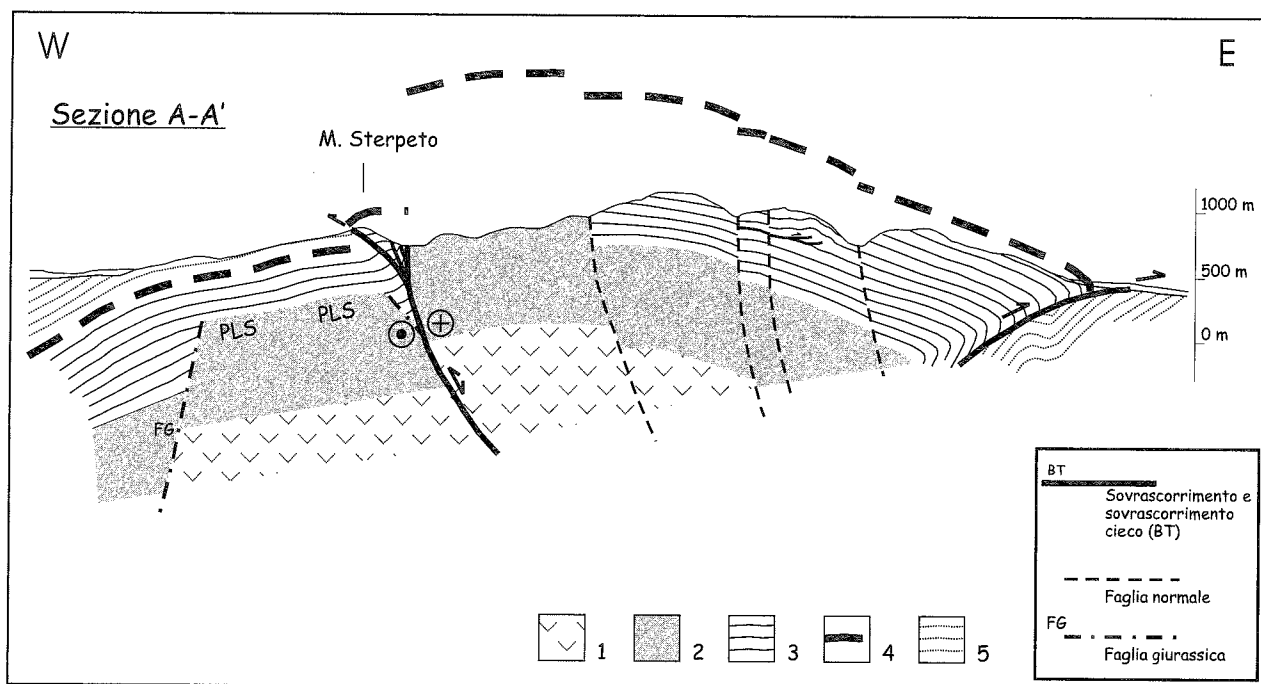


Fig. 4 - Sezione geologica attraverso i Monti Sabini centrali. E' ben evidenziato il controllo della paleoscarpata (faglia) giurassica orientale del Plateau Sabino (PLS) sullo sviluppo e sulla direzione della Faglia Sabina. 1) Anidriti di Burano; 2) Calcare massiccio e Formazioni del M. Cetona; 3) Successione pelagica pre-Marne a Fucoidi; 4) Marne a Fucoidi; 5) Successione emipelagica post-Marne a Fucoidi.

Ad occidente dei suddetti sovrascorrimenti di Contigliano e di M. Macchia Porrara nell'ambito della dorsale sabina è evidente una complessa zona di faglia ad andamento circa N-S costituita sia da piani di sovrascorrimento a vergenza occidentale che realizzano la sovrapposizione del Calcare massiccio sulla Scaglia rossa nei pressi di Cottanello e della Maiolica sulla Scaglia rossa nei pressi di M. Sterpeto - Colle Noce, sia da faglie ad alto angolo generalmente immergenti ad ENE con carattere principalmente trascorrente destro (Faglia Sabina in ALFONSI *et alii*, 1990 e 1991a; Faglia Battiferro - Cottanello in CALAMITA & PIERANTONI, 1992; 1994; 1996; PIERANTONI *et alii*, 1996) (Figg. 3 e 4).

A sud della località Prati di Sotto, la complessità dell'elemento transpressivo-trascorrente, che qui ha direzione N10, è marcata dalla presenza di molteplici scaglie tettoniche di Scaglia rossa - Scaglia cinerea di lunghezza massima di 150 m, comprese tra il Calcare massiccio (a tetto) e la Maiolica (a letto). Nell'ambito di tale contatto le scaglie tettoniche sono bordate da faglie con una direzione N-S e N20 trascorrenti pervase dal *fabric* S-C compatibile con un movimento destro. Sulla base di considerazioni stratimetriche, ipotizzando per le scaglie tettoniche una provenienza dalla zona dei Prati di Sotto, è stata calcolata per la Faglia Sabina una entità di dislocamento orizzontale di circa 3 km, realizzato verosimilmente durante il suo momento di trascorrenza destra. A sud di Cottanello la faglia in parola si continua nel Calcare massiccio ed è caratterizzata da piani sub-verticali molto evidenti con movimento principale trascorrente destro (PIERANTONI *et alii*, 1996).

Altro aspetto importante ai fini della evoluzione cinematica della struttura in esame è la presenza della successione giurassica completa nel blocco di tetto della Faglia Sabina e delle successioni giurassiche condensate

e composte in quello di letto che costituisce a sua volta il fianco orientale della sinclinale di Lugnola, ubicata nel *footwall* del sovrascorrimento di Narni.

Verso nord, fino a M. Rotondo, la struttura in esame è evidenziata da una serie di scaglie tettoniche costituite da Rosso ammonitico, Maiolica, Calcari diasprini umbro-marchigiani, Scaglia rossa e Schlier; queste hanno dimensioni massime di circa 200 m e sono comprese tra le formazioni dei Calcari diasprini umbro-marchigiani - Maiolica e Calcare massiccio - Corniola rispettivamente a ovest ed a est del suddetto complesso motivo strutturale.

Più a nord il riconoscimento della Faglia Sabina è stato possibile principalmente su basi stratimetriche e geomorfologiche. Essa è posta lungo il contatto tra i Calcari diasprini umbro-marchigiani e il Calcare massiccio ed è anche testimoniato dalla sporadica presenza di caratteristiche rocce di faglia.

In prossimità della Valnerina, tale motivo realizza il rapporto tra il Calcare massiccio e i Calcari diasprini umbro-marchigiani e il piano subverticale è ben osservabile ad ovest di Rocca dell'Angelo (PIERANTONI, 1994).

Il suddetto assetto strutturale dei Monti Sabini settentrionali è complicato dalla presenza di numerose faglie normali plio-quadernarie.

#### Analisi mesostrutturale

Allo scopo di caratterizzare gli elementi strutturali sopra descritti sono stati ripresi i dati mesostrutturali esistenti (ALFONSI *et alii*, 1990, 1991a, 1991b; ALFONSI, 1995; PIERANTONI, 1994; PIERANTONI *et alii*, 1996) e aggiornati con nuovi dati raccolti lungo le zone di taglio ad essi associate. Queste sono caratterizzate dallo sviluppo di tettoniti con *fabric* S-C (*sensu* LISTER & SNOKE, 1984) che pervadono i litotipi marnoso-argillosi della



successione umbro-marchigiana (Scaglia rossa - Scaglia cinerea) in prossimità sia dei piani di sovrascorrimento e sia lungo la Faglia Sabina.

L'analisi mesostrutturale ha consentito di definire la giacitura dei piani di taglio (superfici C) e dei piani di clivaggio di dissoluzione per pressione (superfici S) connessi alla deformazione di taglio semplice, e di ricostruirne le direzioni di taglio e quindi gli eventuali incrementi deformativi non coassiali, che nel caso dei piani di sovrascorrimento corrispondono con altrettante direzioni di trasporto tettonico.

Lungo le zone di taglio associate al sovrascorrimento di Narni (Dorsale narnese - amerina) sono state osservate tre direzioni di trasporto tettonico: N50-60, N10-20 e N120-130. L'organizzazione mesostrutturale di tali zone di taglio (piani di taglio C a direzione NW-SE) riflette principalmente la direzione di trasporto tettonico verso NE.

L'analisi condotta nelle zone di taglio del sovrascorrimento di M. Torricella (M. Martani) ha evidenziato tre direzioni principali di trasporto tettonico, riportate secondo la loro importanza e diffusione: N60-70, N10-20 e N130-140.

Le zone di taglio (tettonite S-C), associate al sovrascorrimento di Contigliano, sono costituite da piani di taglio con direzione N-S e direzioni del trasporto tettonico verso N50-70 e N90, compatibili con il clivaggio di dissoluzione per pressione. Si rilevano localmente anche strie meccaniche con un azimut N10 e N140-150.

Relativamente alla Faglia Sabina a principale andamento NNE-SSW, le zone di taglio associate si differenziano e sono caratterizzate da una fascia cataclastica nelle litologie a maggiore competenza (Calcere massiccio e Corniola) e sono costituite principalmente da brecce di faglia e brecce di frizione, mentre nelle formazioni meno competenti (Scaglia rossa e Scaglia cinerea) è presente un clivaggio di dissoluzione per pressione e i piani di faglia presentano le vene di taglio calcitiche connesse a tale processo. In particolare, un sistema di faglie trascorrenti associate alla Faglia Sabina si segue con continuità da S. Antonino verso nord: il contatto tettonico risulta all'interno del Calcere massiccio lungo un piano principale verticale a direzione N5-10. La zona di taglio è caratterizzata da una notevole fascia cataclastica con brecce di faglia e brecce di frizione e numerosissimi piani di taglio secondari, con strie meccaniche indicanti movimenti trascorrenti principalmente destri. Proseguendo verso nord, lungo il fosso che collega Cottanello ai Prati di sotto, il sistema di faglie trascorrenti realizza un contatto tettonico tra la Maiolica e il Calcere massiccio tramite piani di taglio subverticali a direzione N10-20, con strie meccaniche prevalentemente orizzontali e con una leggera componente inversa che indicano movimenti destri. Tra i piani principali sono comprese scaglie tettoniche di Scaglia rossa e Scaglia cinerea notevolmente tettonizzate; queste scaglie tettoniche presentano un *fabric* deformativo S-C costituito da piani di taglio verticali a direzione da N160 a N20, con movimento trascorrente destro ed un clivaggio pervasivo a direzione N120-130 compatibili con il taglio semplice della zona. Immediatamente ad ovest del sistema di faglie trascorrenti si osserva una zona di taglio fragile-duttile associata ad un sovrascorrimento che tra Montasola e

Cottanello sovrappone il Calcere massiccio sulle Marne a Fucoidi, tale contatto è complicato da scaglie tettoniche costituite da Scaglia cinerea e Scaglia bianca. Subito ad occidente si osservano pieghe a *chevron* ad andamento assiale N-S. L'analisi geometrica e cinematica condotta lungo le zone di taglio evidenzia piani di taglio che hanno direzione N120-130 con immersione a NNE di 30°; numerosi sono anche i piani di taglio di direzione N30-40. Le principali direzioni di trasporto tettonico osservate sono orientate N0-20, N70 e N90. Localmente si rinviene anche la cinematica N130-150. A nord, nei pressi di M. Sterpeto e C.le Noce, una complessa zona di taglio evidenzia gli stessi caratteri sia geometrici che cinematici della zona di taglio precedentemente descritta.

In sintesi l'analisi mesostrutturale ha evidenziato per i sovrascorrimenti analizzati due principali direzioni di trasporto tettonico: N50-70 e N10-20; queste sono ripetute e sovrapposte nel tempo; per il sovrascorrimento di Contigliano, inoltre, molto evidente è anche la direzione N90. In relazione alla vergenza regionale verso NE della catena, il sovrascorrimento di Contigliano a direzione N-S assume il significato di rampa obliqua. Per quanto riguarda la Faglia Sabina, sono state riconosciute due direzioni di *simple shear*, orientate rispettivamente N50-70 e N10-20. La prima è in perfetto accordo con il movimento transpressivo destro d'insieme della struttura, che porta il Calcere massiccio del blocco di tetto (orientale) a contatto con la successione Maiolica - Scaglia rossa del blocco di letto (occidentale). Considerando che la struttura ha invertito con questo carattere una faglia giurassica si ricostruisce una componente inversa di circa 1 km, presente lungo tutto l'elemento analizzato. La cinematica trascorrente è molto ben evidente alla scala mesostrutturale; ad essa possono anche essere associati i locali motivi inversi che assumono quindi il significato di strutture a fiore (*sensu* SILVESTER, 1988) sviluppate in corrispondenza di zone di *push-up*.

## DISCUSSIONE

Nel settore sud-occidentale dell'Appennino umbro-marchigiano-sabino, l'edificio strutturale sviluppatosi principalmente durante il Miocene sup., è costituito da tre unità tettoniche accavallatesi secondo una vergenza orientale. Il *thrust-sheet* narnese-amerino ad andamento NW-SE è quello più interno e si accavalla su quelli dei M. Martani e dei M. Sabini a *trend* meridiano. In quest'ultimo è presente una faglia ad alto angolo transpressiva-trascorrente destra che si segue con continuità per oltre 20 km in direzione NNE-SSW (Faglia Sabina), parallela quindi alle direzioni del sovrascorrimento e della piega associata; tale faglia è ubicata, inoltre, lungo il margine orientale del Plateau Sabino.

ALFONSI *et alii* (1991a) e COSENTINO & PAROTTO (1991) ipotizzano per la Faglia Sabina un significato profondo mentre CALAMITA (1990), COSENTINO *et alii* (1991), CALAMITA & PIERANTONI (1994; 1996) e PIERANTONI *et alii* (1996) limitano tale struttura ai *thrust-sheet* più superficiali.

Nel tratto più settentrionale del *thrust-sheet* dei M. Martani è presente un sovrascorrimento che verso sud si interrompe in prossimità della Faglia Sabina.

L'analisi geologico-strutturale condotta in questo settore lungo le zone di taglio (tettoniti S-C) ha consentito la caratterizzazione cinematica delle strutture attraverso i principali *slip-vector*:

- la Faglia Sabina con direzione NNE ha un prevalente carattere transpressivo e trascorrente destro (cinematiche ENE-WSW e NNE-SSW) e costituisce un motivo di inversione della faglia sinsedimentaria giurassica del bordo orientale del Plateau Sabino;
- il sovrascorrimento di Contigliano (M. Sabini) con direzione N-S ha due principali cinematiche: transpressiva destra (ENE-WSW) e inversa *dip-slip* (E-W);
- il sovrascorrimento di Narni (Dorsale narnese-amerina) con direzione NW-SE mostra un prevalente carattere inverso *dip-slip* e subordinatamente transpressivo destro (cinematiche NE-SW e NNE-SSW);
- il sovrascorrimento di M. Torricella (M. Martani) con direzione principale NNW-SSE ha una principale cinematica transpressiva destra (NNE-SSW) e subordinatamente inversa *dip-slip* (ENE-WSW).

Sulla base degli stessi meccanismi deformativi, evidenziabili attraverso lo studio delle suddette tettoniti S-C, e tenendo conto delle interconnessioni strutturali tra i diversi sovrascorrimenti e la Faglia Sabina, è possibile ipotizzare la loro contemporaneità durante la strutturazione neogenica della catena (Serravalliano sup. *p.p.* - Pliocene inf. *p.p.*).

Considerando che il suddetto complesso quadro cinematico è caratterizzato da una ripetizione delle stesse cinematiche, con classi di addensamento ben distinte, è possibile escludere che esso sia solo il semplice risultato della deformazione rotazionale su assi verticali, evidenziata dalle analisi paleomagnetiche, associata alla deformazione transpressiva lungo le rampe oblique dei sovrascorrimenti e a quella trascorrente lungo la Faglia Sabina.

Le differenti cinematiche possono essere riferite a variazioni regionali del campo dello *stress* o a variazioni locali connesse semplicemente ad una ripartizione della deformazione lungo discontinuità preesistenti e lungo le rampe oblique dei sovrascorrimenti. Ciò è ben illustrato da WILKERSON & MARSHAK (1991) che evidenziano come il solo cambiamento della magnitudine dello *stress* e del carico litostatico sono sufficienti a generare una diversa orientazione dello *slip-vector*, indipendentemente dalle rotazioni di blocchi (Fig 5).

È verosimile, quindi, nel contesto di una principale vergenza verso NE della catena e considerando la presenza di discontinuità preesistenti (faglia normale sinsedimentaria giurassica del margine orientale del Plateau Sabino) e il carattere di rampa obliqua del sovrascorrimento ad andamento N-S di Contigliano, associare il complesso quadro cinematico sopra illustrato ad una ripartizione della deformazione associata alla variazione della magnitudine dello *stress* tettonico (*strain-partitioning*). Ciò spiega il cambiamento di carattere cinematico della Faglia Sabina da inverso transpressivo a trascorrente, che, a sua volta, genera una ulteriore ripartizione della deformazione tra la Faglia Sabina stessa e il sovrascorrimento di M. Torricella e di Contigliano come suggerito dalla compatibilità durante lo stesso evento deformativo tra gli *slip-vector* orientati N-S lungo la Faglia Sabina e lungo il sovrascorrimento di M. Torricella e quelli orientati E-W lungo il sovrascorrimento di Contigliano (Fig. 6).

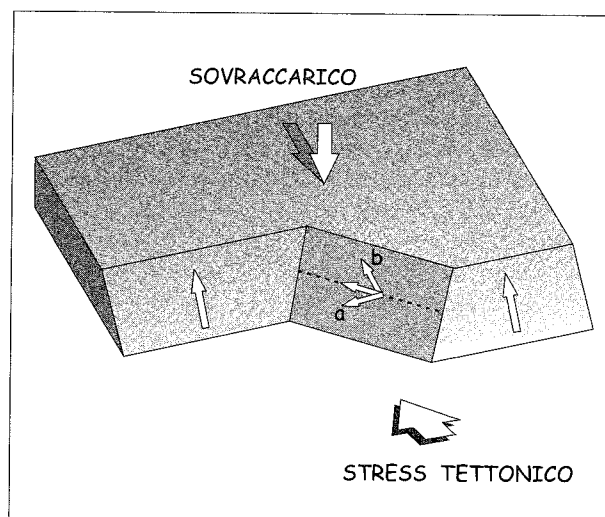


Fig. 5 - Schema illustrante come il solo cambiamento della magnitudine dello *stress* tettonico e/o del sovraccarico sono sufficienti a generare una diversa orientazione dello *slip-vector* lungo una rampa obliqua di un sovrascorrimento (modificato da WILKERSON & MARSHAK, 1991).

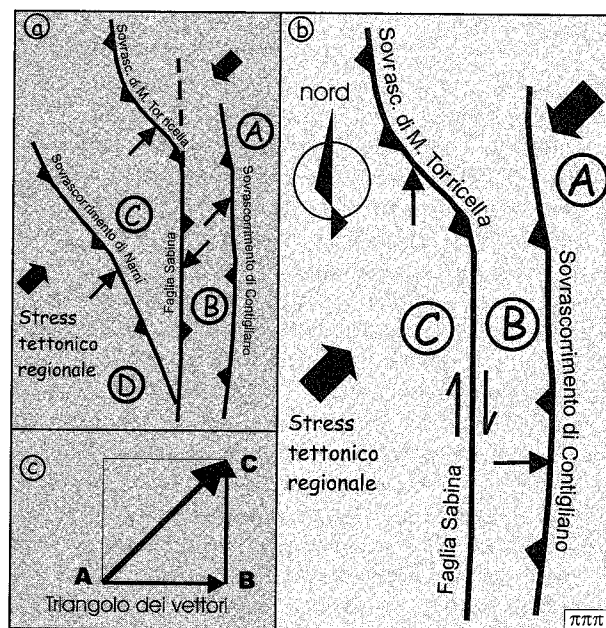


Fig. 6 - Modello cinematico della *strain-partitioning* proposte per le strutture dell'Appennino umbro-sabino (sovrascorrimento di Contigliano, di M. Torricella e Faglia Sabina).

a - sviluppo del sovrascorrimento di Narni (Dorsale narnese-amerina) a direzione NW-SE in rampa frontale, del sovrascorrimento di Contigliano (M. Sabini) a direzione N-S in rampa obliqua, del sovrascorrimento di M. Torricella (M. Martani) a direzione NNW-SSE in rampa frontale e della Faglia Sabina a direzione N-S in rampa obliqua secondo una principale direzione di raccorciamento circa NE-SW (*stress* tettonico regionale);

b - ripartizione della deformazione tra la Faglia Sabina a direzione circa N-S con cinematica trascorrente destra e il sovrascorrimento di M. Torricella a direzione NNW-SSE in rampa obliqua e quello di Contigliano a direzione N-S con principale cinematica verso est, in un contesto di raccorciamento principale in direzione NE-SW (*strain partitioning*);

c - lo *slip vector* (vettore A-C) a direzione NE-SW viene interamente ripartito secondo una componente trascorrente destra lungo la Faglia Sabina (vettore B-C) e secondo una componente circa E-W lungo il sovrascorrimento di Contigliano (vettore A-B).



In tale contesto durante il massimo valore dello *stress* tettonico i vari elementi strutturali analizzati evolvono secondo la principale direzione di raccorciamento NE-SW (*stress* tettonico regionale; Fig. 6a). Nei momenti di diminuzione del modulo dello *stress* tettonico, invece, si innescano variazioni degli *slip-vector* in un contesto di ripartizione della deformazione (*strain partitioning*; Fig. 6b), nel quale comunque tra i blocchi cinematici esterni alle strutture interessate dalla ripartizione (blocchi cinematici A e D) la direzione di raccorciamento è sempre orientata NE-SW, come evidenziato attraverso il diagramma della compatibilità cinematica riportato in figura 6c (triangolo dei vettori).

## CONCLUSIONI

Il modello deformativo proposto consente di ipotiz-

zare una interconnessione tra la Faglia Sabina e il sovrascorrimento di Contigliano schematizzati in figura 7.

La complessa distribuzione degli *slip-vector* osservata nell'area analizzata viene qui interpretata in un contesto di ripartizione della deformazione (Modello cinematico di *strain partitioning*) connessa:

- alle variazioni del modulo dello stress durante la strutturazione della catena;
- alla presenza di discontinuità preesistenti (Faglia giurassica orientale del Plateau Sabino) e di sovrascorrimenti in rampa obliqua.

Pertanto, considerando l'importanza delle discontinuità preesistenti (giurassiche, cretache e neogeniche) sulla strutturazione della catena in Appennino centrale, è verosimile associare alla ripartizione della deformazione la complessità strutturale che caratterizza questo settore dell'Appennino.

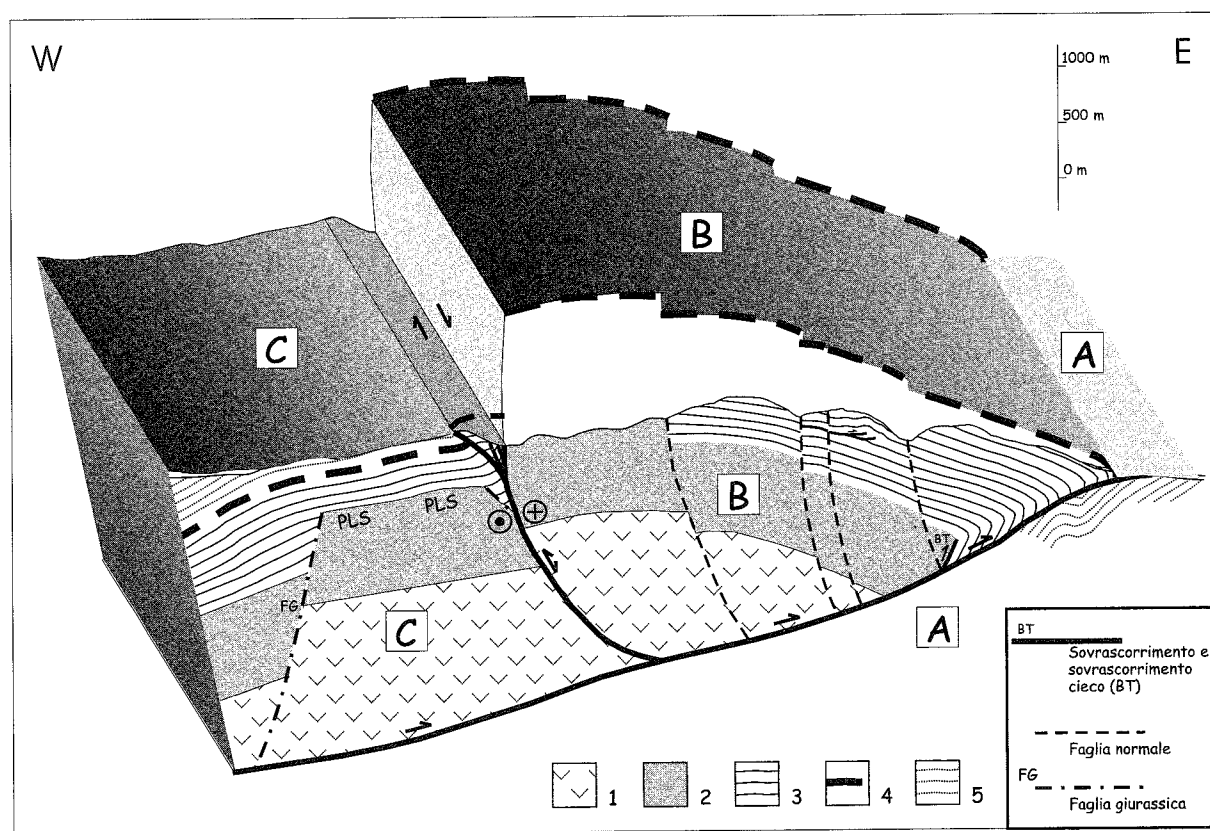


Fig. 7 - Blocco diagramma illustrante l'interconnessione tra la Faglia Sabina e il sovrascorrimento di Contigliano suggerita dalla compatibilità cinematica secondo il modello della ripartizione della deformazione. Le sigle A, B e C sono relative alla schematizzazione di figura 6. Per la legenda si veda la figura 4.

## BIBLIOGRAFIA

ADAMOLI L., CALAMITA F., PIERANTONI P.P., PIZZI A., RIDOLFI M., RUSCIADELLI G. & SCISCIANI V. (1997) - *Miocene pre-thrusting normal faults in the Central Apennines (Italy)*. Tectonic Studies Group - Annual Meeting, December 1997. University of Durham, poster and oral presentation.

ALFONSI L. (1995) - *Wrench tectonic in Central Italy, a segment of the Sabina Fault*. Boll. Soc. Geol. It., **114**, 411-421.

ALFONSI L., FUNICIELLO R. & MATTEI M. (1990) - *Strike slip tectonics in the Sabina area*. Boll. Soc. Geol. It., **109**, 481-488.

ALFONSI L., FUNICIELLO R., MATTEI M., GIROTTI O., MAIORANI A., PREITE MARTINEZ M., TRUDU C. & TURI B. (1991a) - *Structural and geochemical features of the Sabina strike-slip fault (Central Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 207-230.

ALFONSI L., FUNICIELLO R., GIROTTI O. & MATTEI M. (1991b) - *Elementi Plio-Quaternari di tettonica trascorrente in sabina occidentale*. Workshop "Evoluzione dei bacini neogenici e loro rapporti con il magmatismo Plio-Quaternario nell'area Tosco-Laziale". Pisa 12-13 Giugno, 1991. pp. 1-2.

AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., COSTANTINI A., ESU D., GANDIN A., GIROTTI O., LAZZAROTTO A.,

- MAZZANTI R., NICOSIA U., PARISI G. & SANDRELLI F. (1978) - *Evoluzione paleogeografica e tettonica nei bacini tosco-umbro-laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore*. Mem. Soc. Geol. It., **19**, 573-580.
- BARCHI M., MINELLI G. & PIALLI G. (1996) - *Tettonica dell'Appennino settentrionale alla luce dei risultati del CROP 03*. Abstract Convegno: Presentazione dei risultati del profilo sismico CROP 03. Roma, novembre 1996, 11-12.
- BARCHI M., MINELLI G. & PIALLI G. (1998) - *The CROP03 profile: a synthesis of results on deep structures of the Northern Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **52**, 383-400.
- BOCCALETTI M., CIARANFI N., COSENTINO D., DEIANA G., GELATI R., LENTINI F., MASSARI F., MORATTI G., PESCATORE T., RICCI LUCCHI F. & TORTORICI L. (1990a) - *Palinspastic restoration and Paleogeographic reconstruction of the peri-Thyrrhenian area during the Neogene*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., **77**, 41-50.
- BOCCALETTI M., CALAMITA F., DEIANA G., GELATI R., MASSARI F., MORATTI G. & RICCI LUCCHI F. (1990b) - *Migrating foredeep/thrust-belt system in the Northern Apennines and Southern Alps*. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., **77**, 3-14.
- BONCIO P., BACHECA A., BROZZETTI F. & LAVECCHIA G. (1996) - *Analisi geometrica e cinematica del settore centrale della catena Narnese-Amerina (Umbria sud-occidentale)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 73-86.
- BRUNI F., CALAMITA F., MARANCI M. & PIERANTONI P.P. (1996) - *Il controllo della tettonica giurassica sulla strutturazione neogenica dei Monti Martani meridionali (preappennino umbro)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 121-135.
- CALAMITA F. (1990) - *Thrust and fold-related structures in the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Annales Tectonicae, **4**, (1), 83-117.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1996) - *Correlazioni tra gli eventi deformativi neogenico-quadernari del settore tosco-umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 137-152.
- CALAMITA F. & PIERANTONI P.P. (1992) - *La struttura triangolare dei M. Martani (Appennino umbro)*. Abstract e poster in occasione del 76° Congresso S.G.I. (Firenze, settembre 1992).
- CALAMITA F. & PIERANTONI P.P. (1994) - *Structural setting of the Southern Martani Mountains (Umbrian Apennines: Central Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 549-557.
- CALAMITA F. & PIERANTONI P.P. (1996) - *Modalità della strutturazione neogenica nell'Appennino umbro-sabino (Italia centrale)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 153-169.
- CALAMITA F., PIERANTONI P. P. & ROMANO A. (1994) - *La "virgazione" umbro-sabina (Appennino centrale): assetto strutturale e cronologia della deformazione*. Abstract e comunicazione orale in occasione del 77° Congresso S.G.I. (Bari, settembre 1994).
- CALAMITA F., DEIANA G., INVERNIZZI C. & MASTROVINCENZO S. (1987) - *Analisi strutturale della "linea Ancona-Anzio Auctorum" tra Cittareale e Micigliano (Rieti)*. Boll. Soc. Geol. It., **106**, 365-375.
- CALAMITA F., CELLO G., DEIANA G., MAZZOLI S. & PIERANTONI P.P. (1996a) - *Sequenze deformative e strutturazione dell'Appennino umbro-marchigiano: analogie e differenze tra aree interne ed esterne*. Abstract Convegno: «Presentazione dei risultati del profilo sismico CROP 03». Roma, novembre 1996, 23.
- CALAMITA F., PIERANTONI P. P. & PONTONI D. (1996b) - *Il sovrascorrimento di Narni (Appennino Centrale)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 183-201.
- CALAMITA F., PIZZI A., RIDOLFI M., RUSCIADELLI G. & SCISCIANI V. (1998) - *Il Buttressing delle faglie sinsedimentarie pre-thrusting sulla strutturazione neogenica della catena appenninica: L'esempio della M.gna dei Fiori (Appennino centrale esterno)*. Boll. Soc. Geol. It., **117**, 725-745.
- CENTAMORE E. & DEIANA G. (1986) - Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale "La Geologia delle Marche", pp. 145.
- CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Il Trias-Paleogene delle Marche*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale "La Geologia delle Marche", 9-27.
- CIPOLLARI P. & COSENTINO D. (1996) - *Il sistema Tirreno-Appennino: segmentazione litosferica e propagazione del fronte compressivo*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/2, 125-134.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1986) - *Assetto strutturale dei Monti Lucretili settentrionali (Sabina) nuovi dati e schema tettonico preliminare*. Geol. Rom., **XXV**, 73-90.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1991) - *La struttura a falde della sabina (Appennino centrale)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1991/2, CROP-11, 381-387.
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & VECCHIA P. (1991) - *Stile strutturale dei Monti Reatini e dei Monti Sabini settentrionali (Appennino centrale) a confronto*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1991/2, CROP-11, 55-62.
- DEIANA G. & PIALLI G. (1994) - *The structural provinces of the Umbro-Marchean Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 473-484.
- FARINACCI A. (1967) - *La serie Giurassico-neocomiana di M. Lacerone (Sabina). Nuove vedute sull'interpretazione paleogeografica delle aree di facies umbro-marchigiana*. Geol. Rom., **6**, 421-480, Roma.
- LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1980) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano: 2 - La copertura*. Studi Geol. Camerti, **6**, 23-30.
- LISTER G.S. & SNOKE A.V. (1984) - *S-C milonites*. Journ. Struct. Geol., **6**, 617-638.
- MANGANELLI V. & FARAMONDI S. (1990) - *Tettonica traslativa nei M. Sabini: l'area di Valle S. Croce (Contigliano - Rieti)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **38**, 207-214.
- ORI G.G. & FRIEND P.F. (1984) - *Sedimentary basins formed and carried piggy-back on active thrust sheet*. Geology, **12**, 475-478.
- ORI G.G., SERAFINI G., VISENTIN C., RICCI LUCCHI F., CASNEDI R., COLALONGO M. & MOSNA S. (1991) - *The Pliocene-Pleistocene foredeep (Marche and Abruzzo, Italy): an integrated approach to surface and subsurface geology*. 3rd E.A.P.G. Conference, Adriatic foredeep fieldtrip Guidebook, 26/30 Maggio 1991, Firenze, 85 pp.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1991) - *La zona di congiunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1991/2, CROP-11, 417-441.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. In : The lithosphere in Italy. Advances in Earth Science Research. Atti dei Convegni Lincei, **80**, 157-176.
- PIERANTONI P.P. (1994) - *Caratterizzazione geologico-strutturale dell'Appennino umbro-sabino: M. Martani, Dorsale narnese-amerina e M. Sabini*. Tesi di dottorato. Università di Camerino.
- PIERANTONI P.P., PISTOLESI L. & TONDI E. (1996) - *La strutturazione neogenica nei Monti Sabini centro-settentrionali (Appennino centrale)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 537-549.
- RICCI LUCCHI F. (1975) - *Miocene paleogeography and basin*

- analysis in the Periadriatic Apennines*. Reprinted from Geology of Italy, P.E.S.L., Tripoli, **2**, 129-236.
- RICCI LUCCHI F. & ORI. G.G. (1985) - *Field excursion D: Syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the NW Adriatic Foreland: Examples from Emilia-Romagna region, Northern Apennines*. Int. Symp. on Foreland Basin, Excursion Guide book (ed. by P.Allen, P.Homewood & G.Williams).
- SANTANTONIO M. & GALLUZZO F. (1996) - *Geometrie e facies delle pelagiti del Giurassico sabino e umbro-marchigiano*. Guida al seminario di terreno del Gruppo Informale di Sedimentologia C.N.R.. 2-5 maggio 1996.
- SANTANTONIO M., GALLUZZO F. & GABRIEL G. (1996) - *Anatomy and palaeobathymetry of Jurassic pelagic carbonate platform/basin system. Rossa Mts, Central Apennines (Italy). Geological implications*. Palaeopelagos, **6**, 123-169.
- SYLVESTER A. (1988) - *Strike-slip Faults*. Geol. Soc. of Am. Bull., **100**, 1666-1703.
- TAVARNELLI E. (1996) - *Controllo delle faglie dirette giurassiche e cretacico-paleogene sullo sviluppo dei sovraccorrimenti neogenici nell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, Vol. Speciale 1995/1, 601-609.
- WILKERSON M. S. & MARSHAK S. (1991) - *Factors controlling slip-lineation orientation on thrust-fault planes*. Tectonophysics, **196**, 203-208.

