

**UNA SEZIONE GEOLOGICA BILANCIATA ATTRAVERSO IL SETTORE MERIDIONALE DELL'APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO: L'ACQUASPARTA- SPOLETO-ACCUMOLI (\*\*)**

**RIASSUNTO**

La sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli si estende per circa 60 chilometri, in direzione circa E-W, attraverso il settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano, dal *graben* della Valle del Tevere fino al sovrascorrimento dei M. Sibillini. La costruzione e il bilanciamento della sezione si inseriscono in un più vasto programma di ricerca, con lo scopo di contribuire alla definizione dello stile tettonico e della storia deformativa di questa parte della catena.

Base del lavoro è il rilevamento geologico-strutturale, che consente di definire la geometria e i rapporti spazio-temporali fra le strutture affioranti, punto di partenza per le successive ricostruzioni cinematiche.

Dai risultati del bilanciamento l'estensione complessiva, legata alle deformazioni distensive pliocenico quaternarie, raggiunge il valore di 8.15 km, pari al 18.8%. Questo valore, più elevato di quello normalmente ipotizzato per l'area di catena, è in relazione con la geometria adottata per i piani di faglia diretti, con tratti a basso angolo di inclinazione, che comportano la presenza di rigetti orizzontali non trascurabili.

Il raccorciamento, prodotto dalle deformazioni compressive miocenico-plioceniche, è di 33.6 km, pari al 43.6%, concentrato nei settori in cui si localizzano i maggiori fenomeni di sovrascorrimento. Questo valore, che va inteso come il minimo raccorciamento compatibile con i dati di superficie e con lo stile deformativo adottato, risulta ben confrontabile con quelli ricavati da Autori diversi per altre catene a pieghe.

Infine, per quanto riguarda la tettonica compressiva, i risultati del bilanciamento vengono confrontati con quelli ricavati per la più settentrionale Trevi-Valle dell'Ambro (BARCHI *et al.*, 1988): attraverso una correlazione fra strutture corrispondenti, vengono analizzati i valori del raccorciamento, i rigetti associati ai singoli sovrascorimenti e le altezze strutturali dei corpi sovrascorsi.

Da questo confronto risulta che lungo la Sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli il rigetto associato agli accavallamenti principali risulta sistematicamente più elevato, di una quantità che varia fra 1.5 e 3 km per ciascuno dei sovrascorimenti, provocando un maggior raccorciamento globale. Inoltre l'altezza strutturale dei corpi sovrascorsi è mediamente da 700 m a 1150 m più elevata. Queste differenze confermano e in una certa misura quantificano la immersione complessiva verso Nord della catena, il cui raccorciamento aumenta spostandosi verso Sud.

**ABSTRACT**

This paper presents the Acquasparta-Spoleto-Accumoli geological cross-section: an east-west, 60 km long, balanced section through the southern Umbria-Marche Apennines. Aim

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia.  
(\*\*) Lavoro eseguito con contributo di fondi MURST 40% e 60%, responsabile G. Pialli.

of the work is to contribute to a better definition of the tectonic style and of the history of deformation of this thrust-and-fold belt.

The geometric and kinematic reconstruction of the tectonic structures at the different scales was mainly based on detailed field mapping and on structural analysis of field data, integrated with geophysical data.

In the proposed restored section, the amount of extension occurring during the Pliocene-Quaternary tectonic phase is about 8.15 km, i.e. 18.8%. This relatively high value results from the flat geometry adopted for some main normal fault, with consequent not negligible horizontal displacement.

The amount of shortening, related to the Upper Miocene contractional phase, is about 33.6 km, i.e. 44.6%, a value in the same order of other classical examples of thrust-and-fold belts. Most of this shortening results from the motion of the major thrust sheets, with only a minor contribution from the plicative structures and other, minor reverse faults.

Finally, the results of the structural analysis and of the balancing procedures along the Acquasparta-Spoleto-Accumoli section is compared with that of another, northernmost geological section (Trevi-Valle dell'Ambro, BARCHI *et al.*, 1988). The comparison between the two sections, made possible by the similarity in the geometry and kinematics of the contractional structures, confirms the overall dipping towards the North and the increasing amount of shortening towards the South of this thrust and fold belt.

**PAROLE CHIAVE:** Analisi strutturale, Cinematica, Sezioni geologiche bilanciate, Appennino umbro-marchigiano.

**KEY-WORDS:** Structural geology, Kinematics, Balanced cross-sections, Umbria-Marche Apennines.

**1 - INTRODUZIONE**

La costruzione e il bilanciamento della sezione geologica oggetto di questa Nota, oltre a costituire la continuazione di una ricerca metodologica, da tempo impostata dal gruppo di geologia strutturale di Perugia, si inseriscono in un più vasto programma di ricerca, con lo scopo di contribuire alla definizione dello stile tettonico e della storia deformativa del settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano (BARCHI, 1990). Questo settore dell'Appennino, delimitato verso Nord dall'allineamento Assisi-Camerino, si caratterizza per la direzione assiale mediamente N-S delle strutture compressive, per la maggiore altezza strutturale rispetto al settore settentrionale, e conseguentemente per le migliori esposizioni; vi sono pertanto particolarmente evidenti i rapporti spazio-temporali fra gli

elementi strutturali maggiori, prodotti nell'ambito della tettonica compressiva miocenico superiore (pieghe, fronti di accavallamento, faglie trascorrenti e/o transpressive) o della successiva fase estensionale pliocenico- quaternaria (faglie dirette).

La sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli si estende per circa 60 chilometri da Ovest verso Est, sub-perpendicolarmente alla direzione media degli assi plicativi, partendo dalla Valle del Tevere, presso Acquasparta, e attraversando la catena martana, il sinclinorio di Icciano, la terminazione meridionale del *graben* della Valle Umbra, presso Spoleto, e quindi l'intera catena appenninica, fino al sovrascorrimento dei M. Sibillini, in corrispondenza della finestra tettonica di S. Giovanni (Fig.1).

La base di dati geologici necessari alla realizzazione della sezione è stata acquisita in parte dalla letteratura, in parte con rilevamenti originali. Lungo la sezione sono infatti disponibili due importanti contributi cartografici, in scala 1:25000, presentati da DE-CANDIA (1982) per i monti ad Est di Spoleto, e da CALAMITA *et al.* (1981) per la zona compresa fra la Conca di Cascia e il sovrascorrimento dei Monti Sibillini. In queste aree il rilevamento meso-strutturale, svolto lungo sezioni, ha permesso una parziale reinterpretazione delle strutture attraversate.

Gli ulteriori rilevamenti necessari per la costruzione della sezione sono stati condotti con criteri diversi nelle diverse aree, in funzione degli obiettivi da raggiungere e dei dati già disponibili. Gli studi di maggior dettaglio sono stati condotti nell'area del M. Coscerno, che è stata rilevata in scala 1:10000, e nella zona dei monti ad Est di Spoleto, in cui è stata svolta un'indagine mesostrutturale, volta ad analizzare con vari metodi la geometria e la cinematica del sovrascorrimento di Spoleto (BARCHI & BROZZETTI, questo volume). Nelle zone più occidentali della sezione, comprese fra Acquasparta e Spoleto (Monti Martani e sinclinorio di Icciano), e in quelle più orientali, a Est dell'anticlinale di Roccaporena, sono stati eseguiti dei rilevamenti lungo sezioni ritenute particolarmente significative, in scala 1:25000.

L'insieme di questi dati ha consentito di definire la geometria e i rapporti spazio-temporali fra le strutture affioranti. Integrando tali conoscenze con la definizione di un modello cinematico, è scaturita la scelta dello stile deformativo da applicare alle strutture attraversate, che sono state così estrapolate in profondità fino alla base del Calcere Massiccio, costruendo la sezione geologica. Le procedure utilizzate per il bilanciamento ed il restauro della sezione rappresentano un'ulteriore messa a punto delle metodologie utilizzate per la costruzione di altre sezioni analoghe nella regione umbro-marchigiana (LAVECCHIA, 1979; 1985; BARCHI *et al.*, 1988; 1989).

## 2- STRATIGRAFIA

Le sequenze affioranti sono state studiate in dettaglio, con criteri litostratigrafici, direttamente in cam-

pagna, integrando le informazioni raccolte con i dati disponibili in letteratura: gli spessori delle varie formazioni sono stati ricavati da misure stratimetriche dirette e indirette, o mediante l'esecuzione di sezioni geologiche di dettaglio. Le sequenze più rappresentative, affioranti lungo la sezione, sono schematizzate in Fig. 2: come si vede, la maggior parte delle situazioni è riferibile alla serie carbonatica mesozoica e cenozoica umbro-marchigiana. Considerati nel loro insieme, gli spessori totali della sequenza compresa fra la base del Calcere Massiccio (Lias inf.) e il tetto della Scaglia Rossa (Eocene med.) sono quelli caratteristici di questo settore dell'Appennino, e si aggirano sui 2000 m. Una parziale eccezione è costituita dai settori più esterni della catena (zona di M. Utero), dove gli apporti detritici provenienti dalla piattaforma laziale-abruzzese sono particolarmente abbondanti, sia nelle sequenze giurassiche, che in quelle cretacico-paleogene: in questi casi lo spessore supera i 2500 m.

Al di sopra della serie umbro-marchigiana, le sequenze torbiditiche presentano *facies*, spessori ed età assai variabili, riflettendo la migrazione dell'avanfossa da ovest verso est. Lungo questa sezione, comunque, gli affioramenti di torbiditi sono assai limitati: nel sinclinorio di Icciano sono coinvolti i terreni prevalentemente marnosi che precedono la sedimentazione della Marnoso-Arenacea (formazioni della Scaglia Cinerea, del Bisciaro e dello Schlier, Eocene sup.-Miocene med.), mentre ad Est del Fronte dei Monti Sibillini affiorano le Marne con Cerrognana (Miocene med.-sup.) e la sovrastante sequenza del Flysch della Laga (Messiniano).

Al di sotto del Calcere Massiccio, il Trias medio-superiore è rappresentato dalla sequenza evaporitica delle Anidriti di Burano, mai affioranti lungo questa sezione, con l'interposizione dei calcari e marne a Raetavicula Contorta, che affiorano al nucleo della struttura martana, circa 8 km a Nord di Acquasparta (ACCORDI, 1966).

## 3- LE STRUTTURE DELLA TETTONICA DISTENSIVA

Come noto, nel restauro di una sezione si procede all'indietro nel tempo, eliminando per primi gli effetti delle fasi tettoniche più recenti. Per rispettare questa sequenza logica, occorre partire dall'analisi della distribuzione, della geometria e della cinematica delle faglie dirette pliocenico-quaternarie. Le maggiori strutture distensive lungo la sezione Acquasparta- Spoleto-Accumoli, procedendo da Ovest verso Est, sono la faglia bordiera dei Martani (Acquasparta), le faglie del sistema della Valle Umbra (dintorni di Spoleto), le faglie della Val Casana, della Conca di Cascia e del sistema Nottoria-Preci-M.Utero. I rigetti maggiori (da diverse centinaia a qualche migliaio di metri) sono sistematicamente associati alle faglie che immergono verso i settori sud-occidentali, così che i bacini associati hanno il carattere di *graben* asimmetrici.

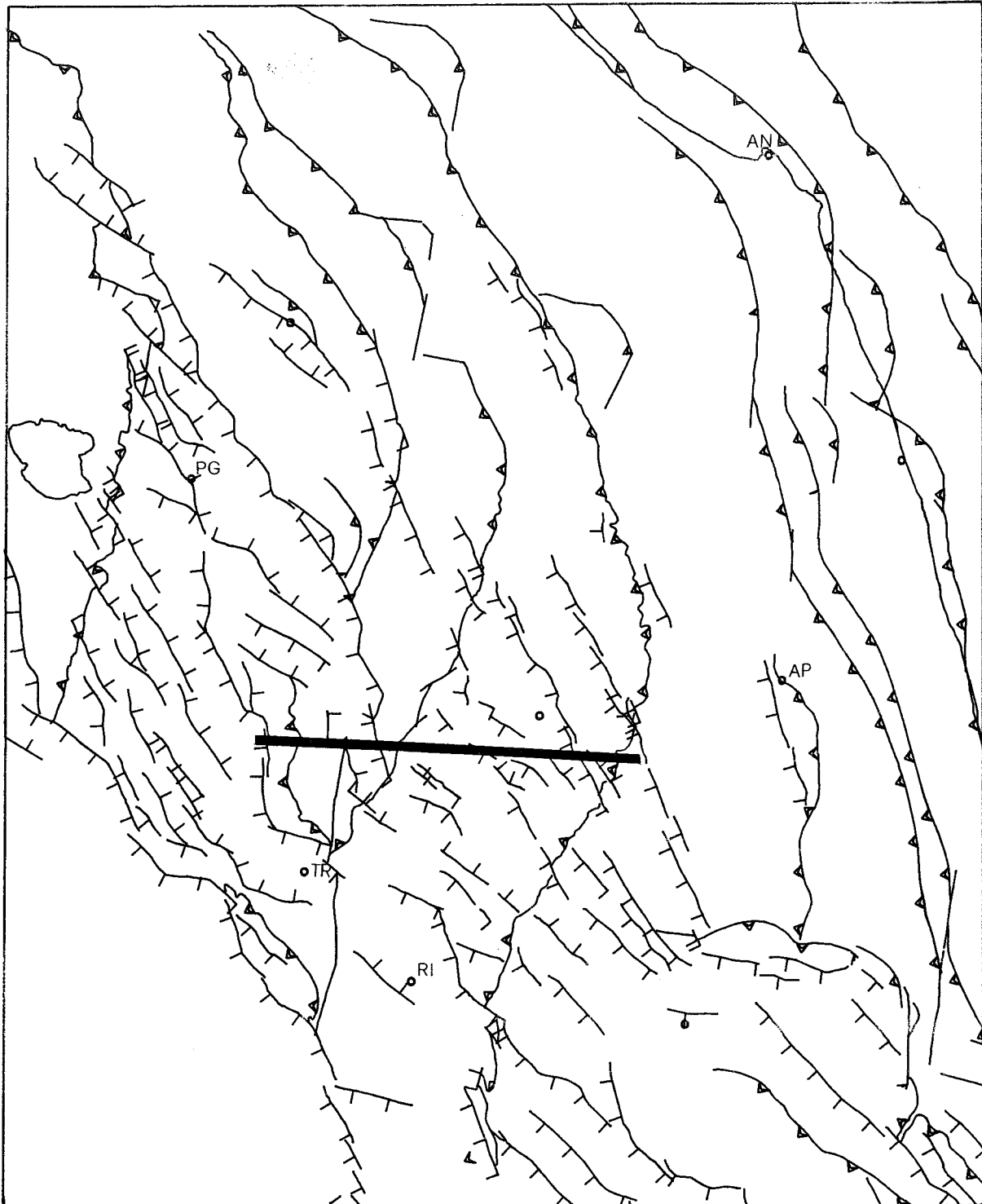


Fig. 1- Localizzazione della sezione Acquasparta-Accumoli nel contesto strutturale dell'Appennino umbro-marchigiano.

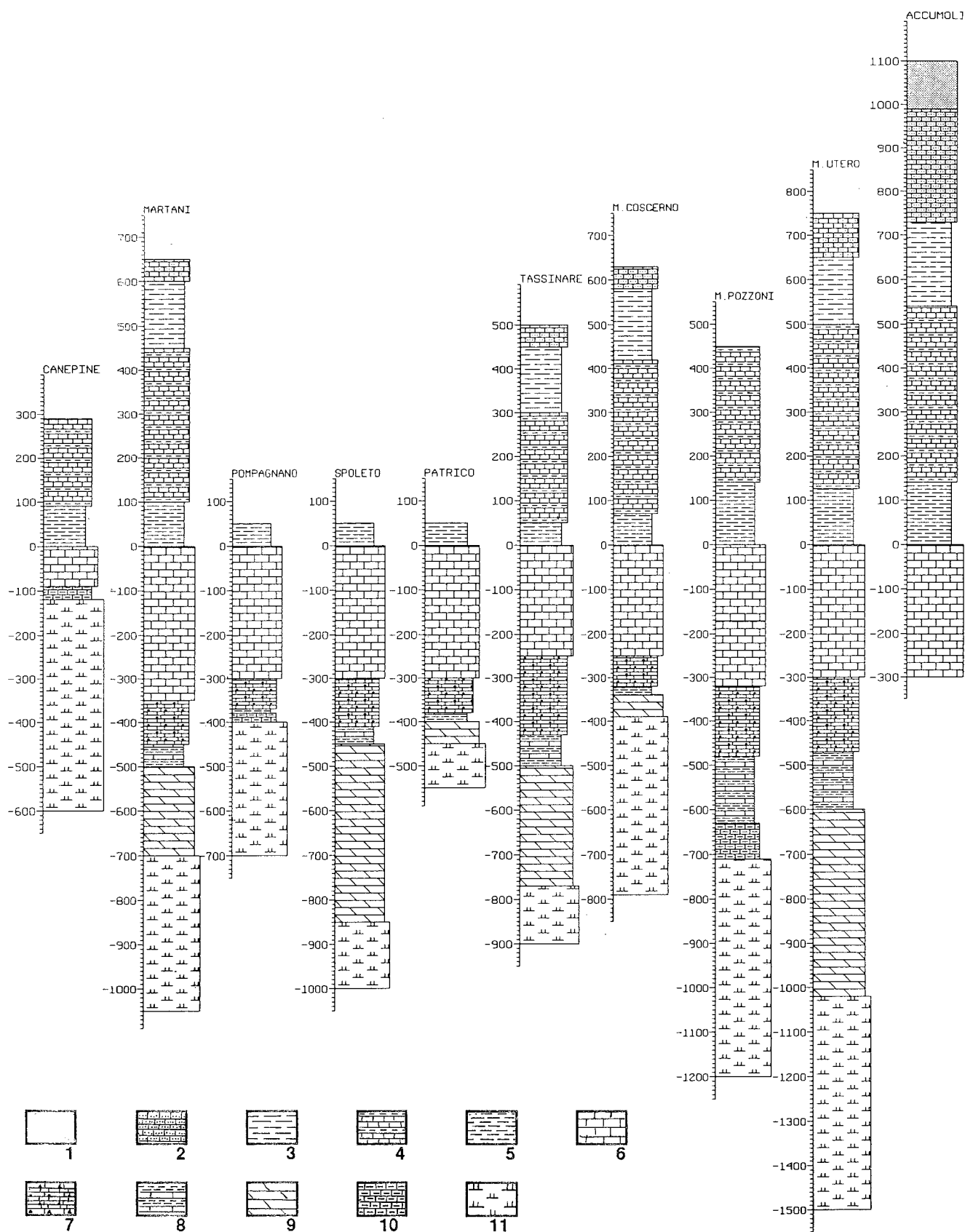


Fig. 2- Schema delle sequenze lito-stratigrafiche affioranti lungo la sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli.  
 1-Flysch della Laga; 2-Bisciaro 3-Scaglia Cinrea e Variegata; 4- Scaglia Rossa e Bianca; 5-Marne a Fucoidi; 6-Maiolica; 7-Calcarei Diasprigni; 8-Rosso Ammonitico; 9-Corniola; 10-Formazioni eteropiche di serie ridotta o composta; 11-Calcare Massiccio.

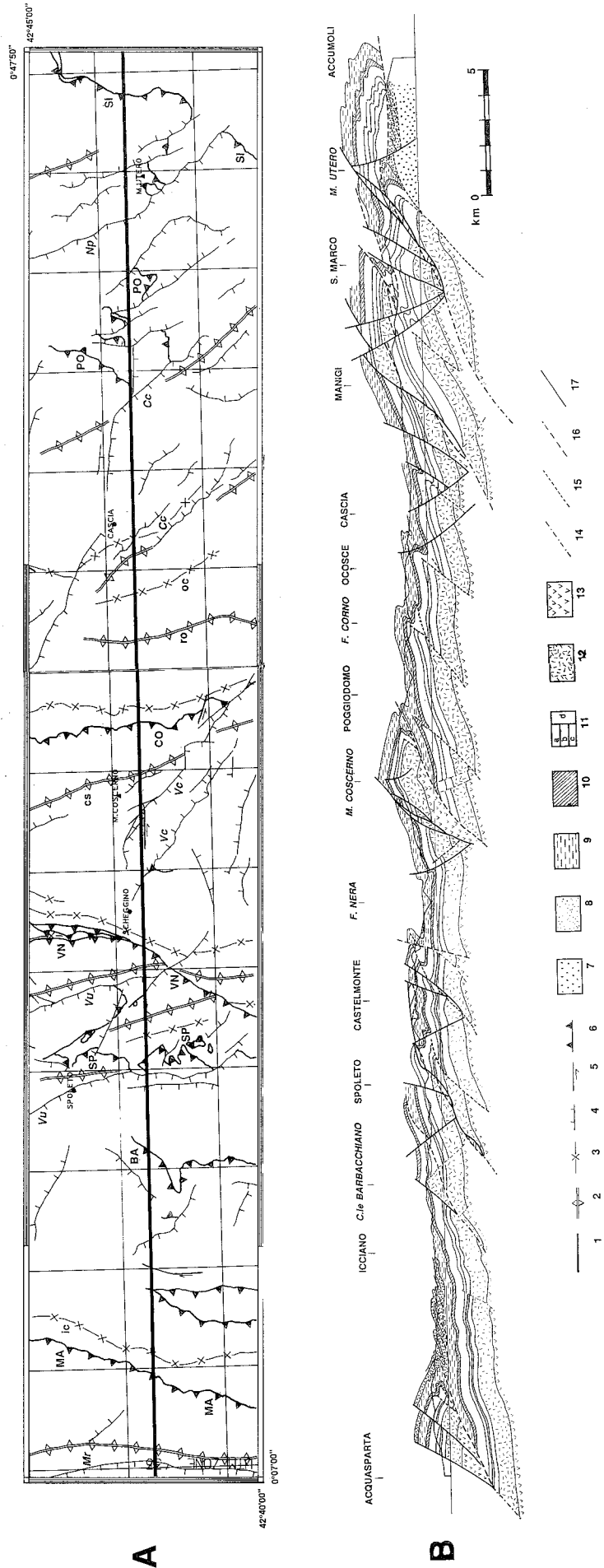


Fig. 3- Sezione geologica Acquasparta-Spoleto-Accumoli.  
 A-CARTA STRUTTURALE. 1-Traccia della sezione; 2-Asse di anticlinali 3-Asse di sinclinali; 4-Faglie dirette; 5-Faglie trascorrenti; 6-Sovrascorimenti. PRINCIPALI ELEMENTI STRUTTURALI -Faglie dirette: Ma=faglia bordiera dei M. Martani; Vu=sistemi della Valle Umbra; Vc=graben della Val Casana; Cc= conca di Cascia; Np= sistema Nottoria-Preci. -Sovrascorimenti: MA=Martani; BA=Colle Barbacchiano; SP=Spoleto; VN=Valerina; CO=M. Coscerno; PO=M. Pozzoni; SI=M. Sibillini. - Asse plicativi: ic=sinclinale di Icciano; cs=anticlinale di M. Coscerno; ro=anticlinale di Roccaporena; oc=sinclinale di Ocosce. B-SEZIONE GEOLOGICA. 7-Flysch della Laga; 8-Bisciaro, Scaglia Cimerea e Variiegata; 9-Scaglia Rossa e Bianca; 10-Marne a Fucoidi; 11-Maiolica di Burano; 14-faglie dirette sinsedimentarie (Giurassico); 15-faglie inverse (Miocene sup.); 16-faglie transpressive e sovrascorimenti (Pliocene inf.-Miocene sup.); 17-faglie dirette recenti (Pliocene sup.-Pleistocene).

Le faglie principali sono generalmente disposte in direzione appenninica (NW-SE). Considerando le cose in maggior dettaglio, la direzione più frequente è N160°+10° (faglia dei Martani, Valle Umbra, Nottoria-Preci), ma esiste un accentramento minore con direzione N130°+10° (es: Val Casana, Conca di Cascia). Le faglie dirette trasversali, con direzione anti-appenninica, sono invece piuttosto rare, e generalmente hanno rigetti di un ordine di grandezza minore: una struttura trasversale di dimensioni rilevanti è costituita dal *graben* della Forca di Cerro, in cui il rigetto delle faglie bordiere raggiunge i 200 m.

La geometria di queste dislocazioni è stata considerata con attenzione, per giungere ad una valutazione per quanto possibile esatta dell'entità dell'estensione prodotta. Sulla base di considerazioni di tipo teorico e di osservazioni sperimentali, alla parte più superficiale delle faglie dirette è stata attribuita una geometria convessa verso l'alto (Fig. 3).

Si è partiti dalla considerazione, comunemente accettata, che la traiettoria delle faglie sia influenzata dalla competenza delle litologie attraversate, generando tratti ripidi (*ramps*) in corrispondenza dei livelli competenti, e tratti appiattiti (*flats*) in corrispondenza dei livelli incompetenti. Le caratteristiche meccaniche della sequenza umbro-marchigiana, con una parte inferiore (dal Calcare Massiccio alla Maiolica) mediamente più competente di quella superiore (dalle Marne a Fucoidi al Bisciario), implicherebbe una traiettoria più ripida nella parte inferiore della sequenza, e più appiattita verso l'alto.

Alcuni dei dati mesostrutturali raccolti, relativi a piani di faglia minori, analizzati statisticamente, sembrano confermare che le inclinazioni di questi elementi

nella parte bassa della serie siano maggiori che nella parte alta, con differenze di circa 20° (Fig. 4). Ad una scala minore, lungo alcune delle principali faglie dirette si osservano brusche variazioni nel rigetto verticale apparente, che possono essere in parte ricondotte al fatto che, in una faglia convessa verso l'alto, nella parte superiore il rigetto sarà prevalentemente orizzontale, mentre in basso sarà prevalentemente verticale. Ad esempio, il rigetto apparente della Nottoria-Preci aumenta e diminuisce più volte lungo lo sviluppo longitudinale. Infine, al tetto di importanti faglie dirette, come quelle del *graben* della Val Casana, sono state rilevate blande sinformi, con asse parallelo alla faglia stessa: strutture plicative di questo tipo possono prodursi per rotazione degli strati lungo un piano convesso verso l'alto.

La già citata faglia diretta a basso angolo, rilevata nella zona di Spoleto, prodotta dalla inversione del movimento lungo il piano di accavallamento, dà a sua volta un contributo non trascurabile all'estensione complessiva lungo la sezione. Nel corso di questa ricerca, tuttavia, non sono stati rilevati indizi di altre situazioni analoghe, per cui sembra da escludere la possibilità che questo tipo di meccanismi di inversione tettonica abbiano agito estesamente ed intensamente in questo settore dell'Appennino.

#### 4- LE STRUTTURE DELLA TETTONICA COMPRESSIVA

La ricostruzione delle deformazioni distensive pliocenico- quaternarie consente di restaurare la sezione geologica allo stato pre-tettonica distensiva, presumibilmente corrispondente al Pliocene inf., rappresentando in maniera più efficace ed immediata la geometria delle strutture compressive miocenico- plioceniche (Fig. 5).

Le principali strutture compressive lungo la sezione Acquasparta- Spoleto-Accumoli sono, da W verso E, il Fronte dei Monti Martani, il sinclinorio di Icciano, i sovrascorrimenti di Colle Barbacchiano e di Spoleto, la trascorrente della Valnerina (Faglia di Schioppo), i sovrascorrimenti del M. Coscerno, del M. Pozzoni e dei Monti Sibillini (M. Utero).

La struttura dei Monti Martani si presenta come una caratteristica anticlinale a scatola, il cui fianco occidentale è troncato e ribassato ad opera della faglia diretta bordiera del *graben* del Tevere-Paglia, e sepolto sotto i depositi del *graben* stesso. La zona sommitale dell'anticlinale, molto estesa, appare debolmente inclinata verso E, forse per effetto di un basculamento tardivo. Il fianco orientale è nettamente rovesciato e interessato da spettacolari deformazioni mesoscopiche, particolarmente evidenti nelle Marne a Fucoidi lungo la strada da Acquasparta a Spoleto. La direzione assiale dell'anticlinale, come pure delle meso-strutture ad essa associate, è orientata circa N30.

Al nucleo della struttura martana affiorano sequen-

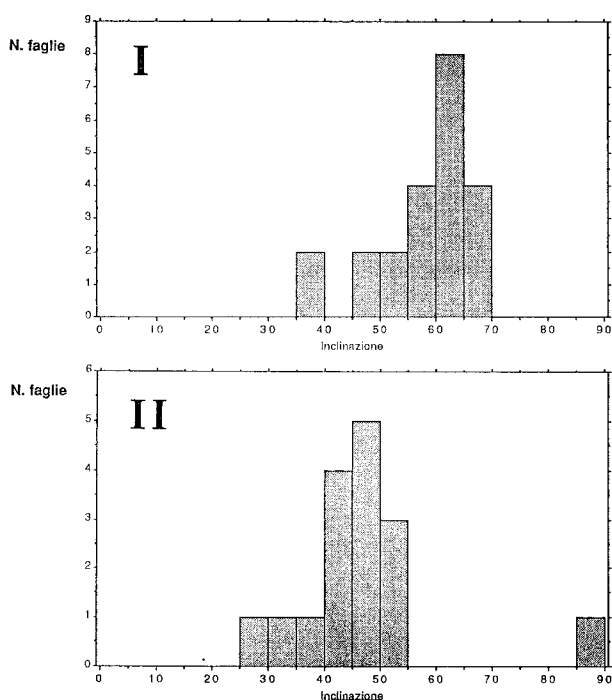


Fig. 4- Confronto fra le inclinazioni dei piani di faglia minore associati alla faglia diretta dei Monti Martani, rilevate in differenti gruppi formazionali.

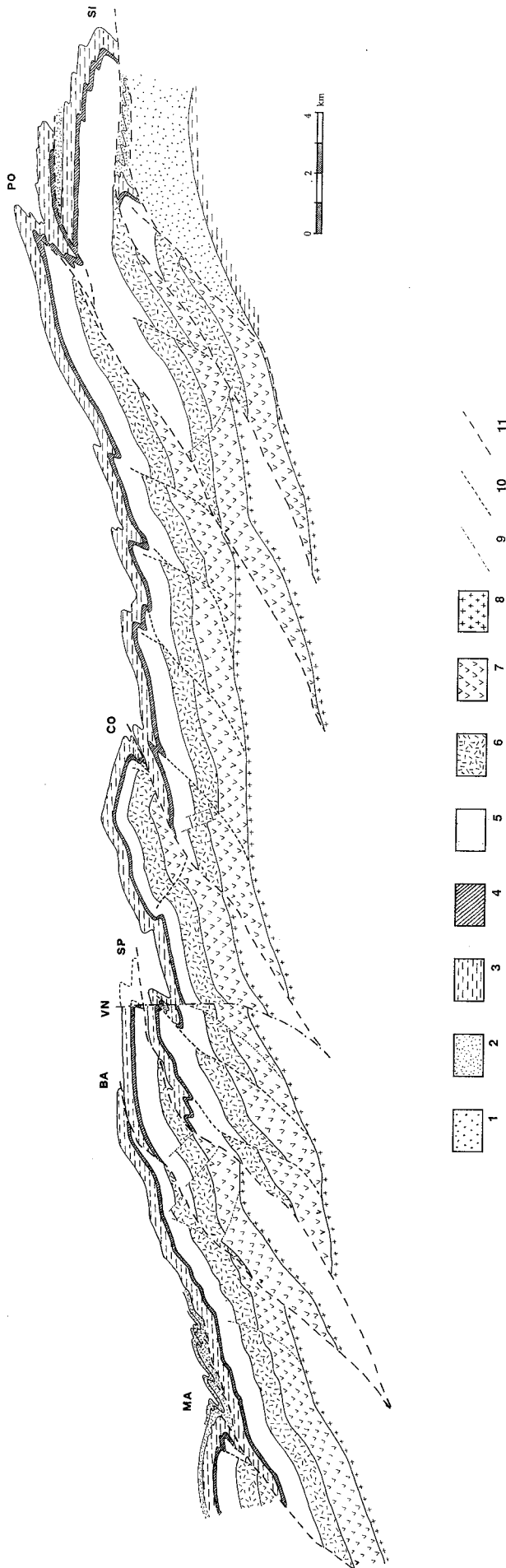


Fig. 5- Sezione geologica restaurata allo stadio pre-tettonica distensiva.  
 1-Flysch della Laga; 2-Bisciaro, Scaglia Cinerea e Variegata; 3-Scaglia Rossa e Bianca; 4-Marne a Fucoidi; 5-Maiolica, Calcarei Diaspri, Rosso Ammonitico, Corniola e Formazioni eteropiche di serie ridotta o composta; 6-Calcare Massiccio; 7-Anidriti di Burano; 8-Basamento s.l.; 9-faglie dirette sinsedimentarie; 10-faglie inverse; 11-faglie transpressive e sovrascorrimenti. SOVRASCORRIMENTI PRINCIPALI: MA=Martani; BA=Colle Barbacchiano; SP=Spoleto; VN=Valnerina; CO=M. Coscerno; PO=M. Pozzoni; SI=M. Sibillini.

ze giurassiche molto diverse: a Sud la serie di Case Canapine è estremamente ridotta, in quanto le formazioni della Corniola, del Rosso Ammonitico e dei Calcari Diaspri sono sostituite da pochi metri di calcari nodulari nocciola, e la stessa Maiolica ha uno spessore di poche decine di metri. Più a Nord affiora invece la sequenza completa, che tra il tetto del Calcare Massiccio e il tetto della Maiolica ha uno spessore di circa 500 m. La presenza di due sequenze così diverse, tuttavia, non sembra aver influenzato in modo significativo la geometria della struttura compressiva.

L'antistante sinclinorio di Icciano è interessato da una serie di strutture plicative rovesciate, generalmente vergenti verso Est, con una lunghezza d'onda di 0.5-1 km, nettamente inferiore a quella tipica delle pieghe umbro-marchigiane, e accompagnate da piani di accavallamento minori, alcuni dei quali con vergenza occidentale (*backthrusts*), secondo un motivo tipico dei sinclinori umbro-marchigiani (DE FEYTER & MENICETTI, 1986). La lunghezza d'onda piuttosto breve e il fatto che il terreno più antico affiorante, al nucleo delle anticlinali, sia la Scaglia Variegata, fa ipotizzare che queste strutture siano scollate su un livello molto superficiale, costituito appunto dal gruppo Scaglia Variegata-Scaglia Cinerea. Queste strutture sarebbero quindi totalmente disarmoniche rispetto alle strutture compressive maggiori, che coinvolgono la serie carbonatica mesozoico-cenozoica sottostante e adottano come livello di scollamento basale le Evaporiti Triassiche.

Il bordo occidentale della catena è caratterizzato dai due sovrascorrimenti di Colle Barbacchiano e di Spoleto. In questa zona, che coincide con la terminazione meridionale del *graben* della Valle Umbra, le strutture compressive sono fortemente disarticolate ad opera di successive faglie dirette, così che la ricostruzione della geometria e della cinematica è particolarmente difficile e richiede analisi di estremo dettaglio.

Nel caso del sovrascorrimento di Colle Barbacchiano, che costituisce l'elemento più occidentale della catena umbro-marchigiana, i terreni del corpo superiore, per lo più Calcare Massiccio e Corniola, si sovrappongono alle Marne a Fucoidi e alla Maiolica del corpo inferiore, precedentemente deformati, secondo un contatto orientato mediamente in direzione meridiana, con una notevole componente di trascorrenza destra.

La cinematica del sovrascorrimento di Spoleto è come si è già detto piuttosto complessa, comprendendo una riattivazione del piano di accavallamento come faglia diretta a basso angolo di inclinazione. Anche in questo caso la ricostruzione della geometria del sovrascorrimento è resa particolarmente difficile dalla intensità delle deformazioni trascorrenti (connesse alla faglia della Valnerina) e distensive (connesse al *graben* della Valle Umbra) che lo dislocano: le esposizioni sono però assai migliori di quelle di Colle Barbacchiano.

Immediatamente ad Est del Fronte di Spoleto, la faglia della Valnerina rappresenta uno dei lineamenti strutturali di maggiore importanza, che attraversa l'intero settore meridionale dell'Appennino umbro-mar-

chigiano, dalla Conca ternana alla Valle del Vigi, con caratteri di faglia transpressiva destra. Il settore che interessa la sezione è noto come "faglia di Schioppo" (DECANDIA, 1982), ed è caratterizzata da giacitura subverticale e movimento trascorrente destro (Fig. 6). A questa faglia sono associati sistemi di faglie trascorrenti sintetiche e antitetiche, che interessano prevalentemente il blocco occidentale, dislocando il sovrascorrimento di Spoleto e le strutture plicative presenti.

Ad Est della Valnerina, l'anticlinale del M. Coscerno presenta la geometria scatolare tipica delle strutture umbro-marchigiane, con una vasta zona sommitale a strati suborizzontali e fianchi da verticali a rovesciati, con opposta vergenza (Fig. 7): la direzione assiale è circa meridiana. La sezione attraversa il tratto settentrionale del sovrascorrimento del M. Coscerno-M. Aspra, un elemento strutturale di primaria importanza, che si estende in senso longitudinale per circa 25 km, fino alla piana di Rieti. Lungo la sezione il sovrascorrimento determina l'accavallamento, secondo un piano debolmente immergente verso Ovest, dell'anticlinale del M. Coscerno sull'antistante sinclinale di Poggiodomo. Questa sinclinale, l'anticlinale di Roccaporena e la sinclinale di Ocosce sono caratterizzate da direzioni assiali meridiane e da raccorciamenti piuttosto modesti.



Fig. 6- La faglia della Valnerina nel tratto attraversato dalla sezione: particolari del piano di faglia (a) e della zona di taglio associata (b).



Nella zona della Conca di Cascia la diffusione delle faglie dirette, l'entità delle deformazioni e delle coperture di sedimenti recenti ad esse connesse rende particolarmente difficile la ricostruzione delle strutture compressive, che sono estremamente frammentate e parzialmente sepolte. Pertanto la direzione assiale delle strutture plicative non può essere desunta, nemmeno qualitativamente, dall'andamento dei limiti formazionali, e solo l'analisi statistica delle giaciture degli strati e delle meso strutture consente di riconoscere l'andamento mediamente appenninico delle strutture plicative, che appaiono piuttosto blande, senza vistosi fenomeni di accavallamento. Tuttavia la frequenza e l'importanza delle deformazioni distensive in questa zona fanno pensare che tali direzioni siano influenzate da rotazioni e basculamenti tardivi, imposti dalla dislocazione dei blocchi fagliati lungo superfici curve.

Infine, l'area ad Est della Conca di Cascia è interessata da due importanti sovrascorrimenti, che delimitano le scaglie embricate del M. Pozzoni, che prosegue verso Nord con la struttura del M. Vetica-M. Macchialunga, e quello dei Monti Sibillini (zona di M. Utero). Il corpo sovrascorso del M. Pozzoni è costituito da una serie di affioramenti sparsi e di *klippen*, prevalentemente in Calcarea Massiccio: questa frammentazione è da ricollegare all'azione delle faglie dirette, sintetiche e antitetiche, presenti al tetto della Nottoria-Preci.

Il fronte compressivo del M. Pozzoni è interpretabile come uno *splay* del sovrascorrimento dei Monti Sibillini, che costituisce la struttura più esterna dell'area di catena, determinando l'accavallamento della stessa sulle torbiditi del Flysch della Laga. Per l'interpretazione di quest'area, oltre alla già citata carta geologica scala 1:25000 (CALAMITA *et al.*, 1981) sono stati presi in considerazione i vari lavori monografici, recentemente dedicati al sovrascorrimento dei Monti Sibillini (KOOPMAN, 1983; LAVECCHIA, 1985; COOPER, 1989).

La corretta determinazione, sulla base delle osservazioni di terreno e delle ricostruzioni cartografiche, dei rapporti spazio-temporali esistenti fra i diversi tipi di strutture originate dalle tettonica compressiva è un presupposto indispensabile per costruire ed estrapolare in profondità in maniera realistica la sezione geologica.

Il complesso dei dati raccolti alle diverse scale di osservazione indica che la direzione media delle strutture plicative maggiori lungo la sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli è mediamente  $N170 \pm 10^\circ$ , leggermente ruotata in senso orario rispetto a quelle rilevate, circa 25 km più a Nord, lungo la sezione Trevi-Valle dell'Ambro (BARCHI *et al.*, 1988). Le strutture plicative subiscono un'ulteriore rotazione, fino ad una direzione  $N20 \pm 10^\circ$ , in corrispondenza dei sovrascorrimenti che hanno una maggiore componente trascorrente, come i fronti transpressivi dei Monti Martani, di Colle Barbacchiano e dei Monti Sibillini (LAVECCHIA, 1985), oltre naturalmente alla faglia trascorrente di Schioppo (Fig. 3A): queste strutture pertanto risultano chiaramente successive rispetto alle pieghe maggiori.

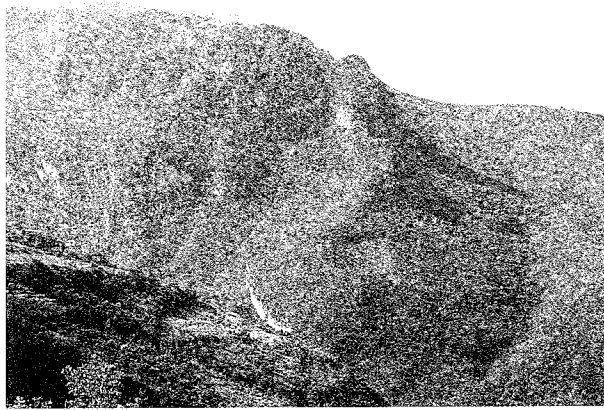


Fig. 7- Fianco occidentale dell'anticlinale del M. Coscerno.

Per quanto riguarda i fronti con movimenti di pura compressione, il corpo superiore dei sovrascorrimenti di Spoleto e di M. Pozzoni, prevalentemente costituito da Calcarea Massiccio, sovrascorre su serie stratificate cretache precedentemente piegate (DUFOR & MAGNE, 1969; DECANDIA, 1982; CALAMITA *et al.*, 1981). Anche nel caso del sovrascorrimento del M. Coscerno-M. Aspra la messa in posto della scaglia sovrascorsa appare successiva alla formazione della antistante sinclinale di Poggiodomo.

Le osservazioni condotte confermano quindi che in ogni punto della sezione la formazione delle strutture plicative maggiori e delle mesostrutture ad esse associate (clivaggi di piano assiale, pieghe minori) precede l'emersione in superficie delle strutture per taglio compressive, transpressive e trascorrenti, che le dislocano o ne producono la rotazione. La fase compressiva risulterebbe quindi articolata in due distinti momenti deformativi, secondo uno schema più volte proposto (LAVECCHIA, 1985; BARCHI *et al.*, 1988). La sezione di Fig. 5, restaurata allo stadio pre-tettonica estensionale, si basa sull'ipotesi che i due eventi si realizzino utilizzando livelli di scollamento diversi, posti rispettivamente alla base delle Evaporiti e all'interno del "basamento" s.l. La geometria risultante dalla sequenza deformativa proposta è illustrata con particolare chiarezza nella zona delle pieghe di Cascia, comprese fra i sovrascorrimenti del M. Coscerno e del M. Pozzoni, che ne dislocano il livello di scollamento basale, costituito dalla Evaporiti triassiche.

## 5- BILANCIAMENTO DELLA SEZIONE

Come noto, la costruzione delle sezioni bilanciate è una tecnica utilizzata per lo studio delle deformazioni nelle porzioni esterne, non metamorfiche, delle catene a pieghe (LAUBSCHER, 1965; BALLY *et al.*, 1966; DAHLSTROM, 1970). La costruzione di sezioni geologiche bilanciate e l'esecuzione dei calcoli di raccordo implicano la scelta propedeutica di un modello cinematico che descriva il percorso di ogni punto del sistema durante la deformazione, e l'adozione dello

stile deformativo che meglio risponde alle osservazioni di campagna. E' essenziale però ricordare che il bilanciamento non serve per giustificare le ipotesi di partenza, nè tantomeno per dimostrarne la correttezza, ma semplicemente per quantificarne le conseguenze.

I problemi relativi alla definizione di un modello cinematico, in condizioni di deformazione piana, valido per l'Appennino umbro- marchigiano, sono stati discussi estesamente in BARCHI *et al.* (1988).

Il restauro delle deformazioni associate alla tettonica distensiva pliocenico- quaternaria lungo la sezione Acquasparta- Spoleto-Accumoli è stato condotto con una tecnica elementare, muovendo i blocchi fagliati lungo le superfici di faglia normale, a partire dai settori più esterni. In alcune zone si è reso necessario tener conto della successione degli eventi deformativi, eliminando dapprima gli effetti delle dislocazioni ad alto angolo, e in un secondo momento quelle a basso angolo. Nel retrodeformare i blocchi delimitati da superfici curve, si è adottato il criterio di mantenere costante la distanza verticale fra il piano di faglia e i livelli di riferimento stratigrafici al tetto della faglia stessa.

L'estensione complessiva così calcolata raggiunge il valore di 8.15 km, pari al 18.8%. Questo valore dell'estensione, molto più elevato di quello normalmente ipotizzato per l'area di catena, deriva sostanzialmente dalla geometria adottata per i piani di faglia diretti, che come abbiamo visto presentano tratti a basso angolo di inclinazione, che comportano la presenza di rigetti orizzontali non trascurabili.

Per quanto riguarda le deformazioni compressive miocenico- plioceniche, il bilanciamento della sezione Acquasparta-Spoleto- Accumoli è stato condotto con la tecnica volumetrica, alla scala 1:50000, suddividendo la sezione in 15 unità cinematiche elementari, corrispondenti alle singole strutture plicative o per taglio. Queste sono state quindi raggruppate in 4 unità maggiori (Fig. 8): procedendo dall'interno verso l'esterno, l'unità **d** comprende la struttura dei Monti Martani e il sinclinorio di Icciano; l'unità **c** i sovrascorrimenti di Colle Barbacchiano e di Spoleto e la faglia della Valnerina; l'unità **b** l'area del Monte Coscerno e la Conca di Cascia; l'unità **a**, infine, i sovrascorrimenti del settore esterno (M.Pozzoni e Monti Sibillini).

Il raccorciamento globale, misurato lungo l'intera sezione, è risultato di 33.6 km, pari al 43.6%. Il raccorciamento non è uniformemente distribuito lungo la sezione: i valori ottenuti per le 4 unità maggiori **a**, **b**, **c**, **d**, precedentemente definite, è infatti rispettivamente del 65.5%, 25.8%, 43.6% e 35.6%. Il raccorciamento è quindi concentrato nei settori **a** e **c**, dove più importanti sono i fenomeni di sovrascorrimento: Il settore **c**, infatti, fra Icciano e la Valle del Nera, comprende i sovrascorrimenti di Colle Barbacchiano e di Spoleto e la faglia della Valnerina, mentre il settore più esterno comprende i due fronti del M.Pozzoni e del M.Utero (Monti Sibillini).

Le incertezze maggiori nel valore del raccorciamento così calcolato dipendono da:

a) allontanamento dalle condizioni di deformazione piana, che costituiscono come abbiamo detto l'ipotesi di partenza dei calcoli del bilanciamento;

b) errori nella estrapolazione in profondità delle strutture, legati alla scelta dello stile deformativo.

Considerando che i fattori che allontanano dalle condizioni di deformazione piana (compattazione durante la litificazione, compattazione tettonica, dissoluzione per pressione, elongazione nella direzione assiale), riassunti da HOSSACK (1979), tendono in generale a produrre diminuzioni di area nella sezione durante la deformazione, il bilanciamento stabilisce comunque il minimo valore possibile per il raccorciamento.

Un problema non trascurabile è costituito dalla presenza, frequente nel settore meridionale dell'Appennino umbro- marchigiano, di faglie trascorrenti, lungo le quali si realizzano movimenti che non giocano nel piano della sezione: ciò implica la non conservazione dell'area della sezione stessa durante la deformazione, contraddicendo uno dei presupposti fondamentali del bilanciamento. Tuttavia nel costruire la sezione, se si è in grado di valutare con ragionevole precisione il rigetto orizzontale della faglia considerata, è possibile valutare la perdita di area prodotta dalla deformazione nel piano della sezione, e ricostruire la geometria iniziale del sistema, valutando di conseguenza il raccorciamento minimo associato alla deformazione trascorrente. La Fig. 9 mostra la ricostruzione effettuata per la faglia della Valnerina, che rappresenta la maggiore struttura trascorrente lungo la sezione.

Per quanto riguarda l'estrapolazione in profondità delle strutture, il limite fondamentale è l'incertezza nella determinazione dei rigetti dei fronti di accavallamento, arguiti sulla base dei rapporti fra gli elementi strutturali di superficie, in mancanza di dati sufficienti di geofisica e geologia del sottosuolo. Anche in questo caso, si può presumere che le scelte adottate risultino conservative.

Si può concludere che il valore di raccorciamento calcolato per la sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli (43.6%) corrisponda a quello minimo, compatibile con i dati di superficie e con lo stile deformativo adottato. L'entità del raccorciamento calcolato risulta comunque ben confrontabile con i valori ricavati dai diversi Autori che hanno applicato le tecniche del bilanciamento ai vari tipi di catene a pieghe: nella casistica riportata in HOSSACK (1979), tali valori sono infatti compresi fra il 35% e il 55%.

## 6- CONFRONTO CON LA SEZIONE TREVI-VALLE DELL'AMBRO

Allo scopo di trarre delle conclusioni generali sull'evoluzione tettonica del settore di catena studiato, i risultati del bilanciamento della sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli sono stati confrontati con quelli della più settentrionale Trevi-Valle dell'Ambro (BARCHI

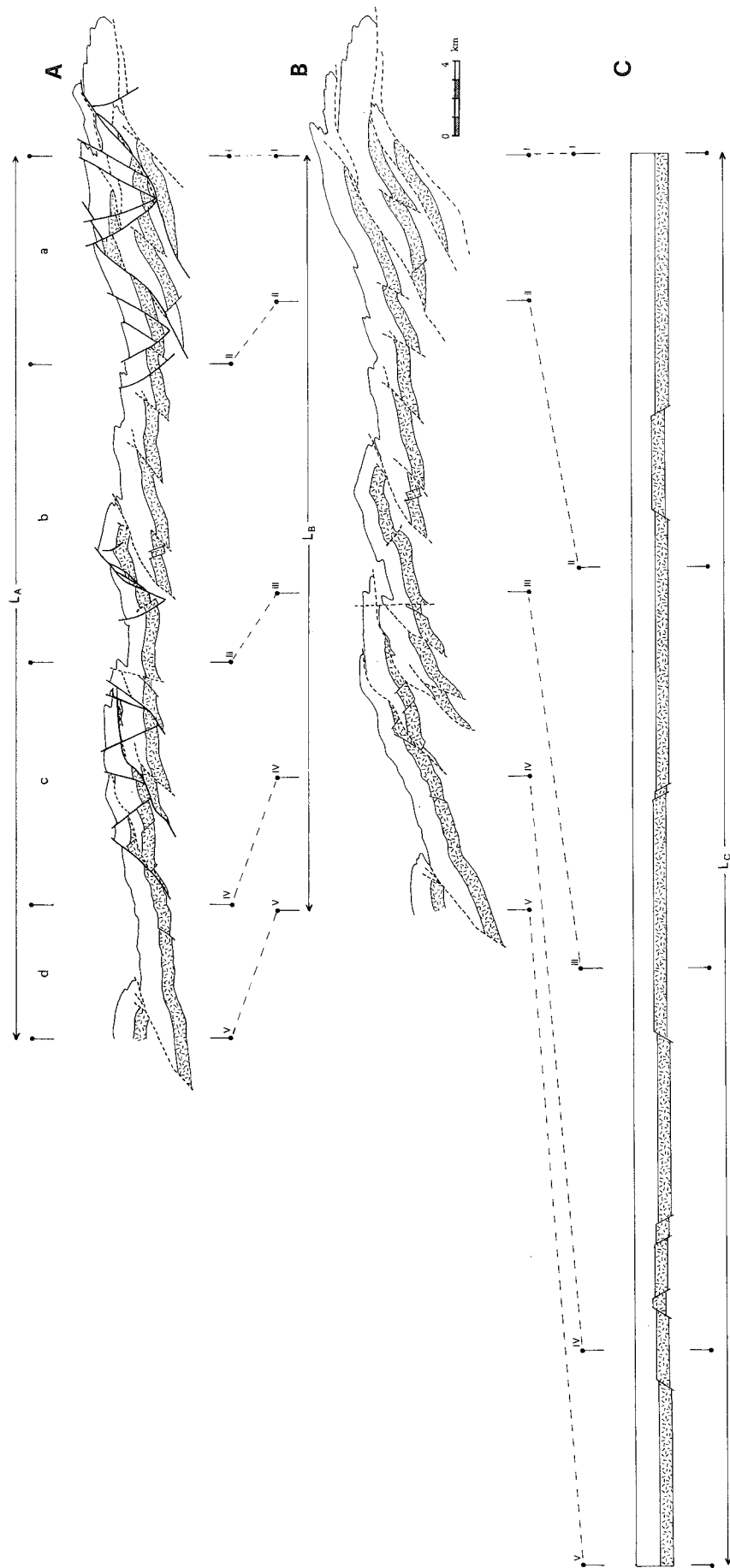


Fig. 8- La sezione Acquasparta-Spoleto-Accumoli: sezione restaurata e calcolo del raccorciamento.  
 A- Sezione bilanciata, condizione attuale; B- Sezione restaurata allo stato pre-tettonica distensiva (Pliocene inf.); C- Sezione restaurata allo stato pre-tettonica compressiva (Miocene inf.).

ANTICLINALE DI F. DI CERRO

ANTICLINALE DI M. SOLENNE

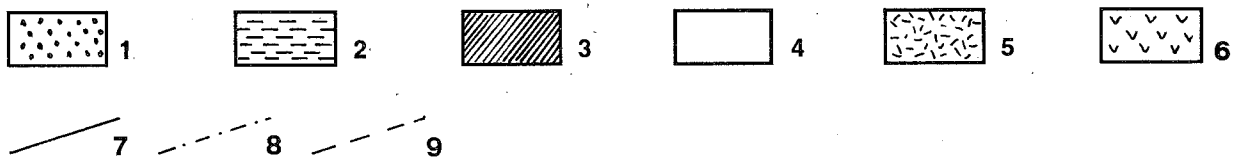
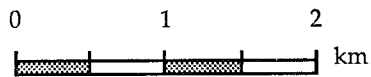
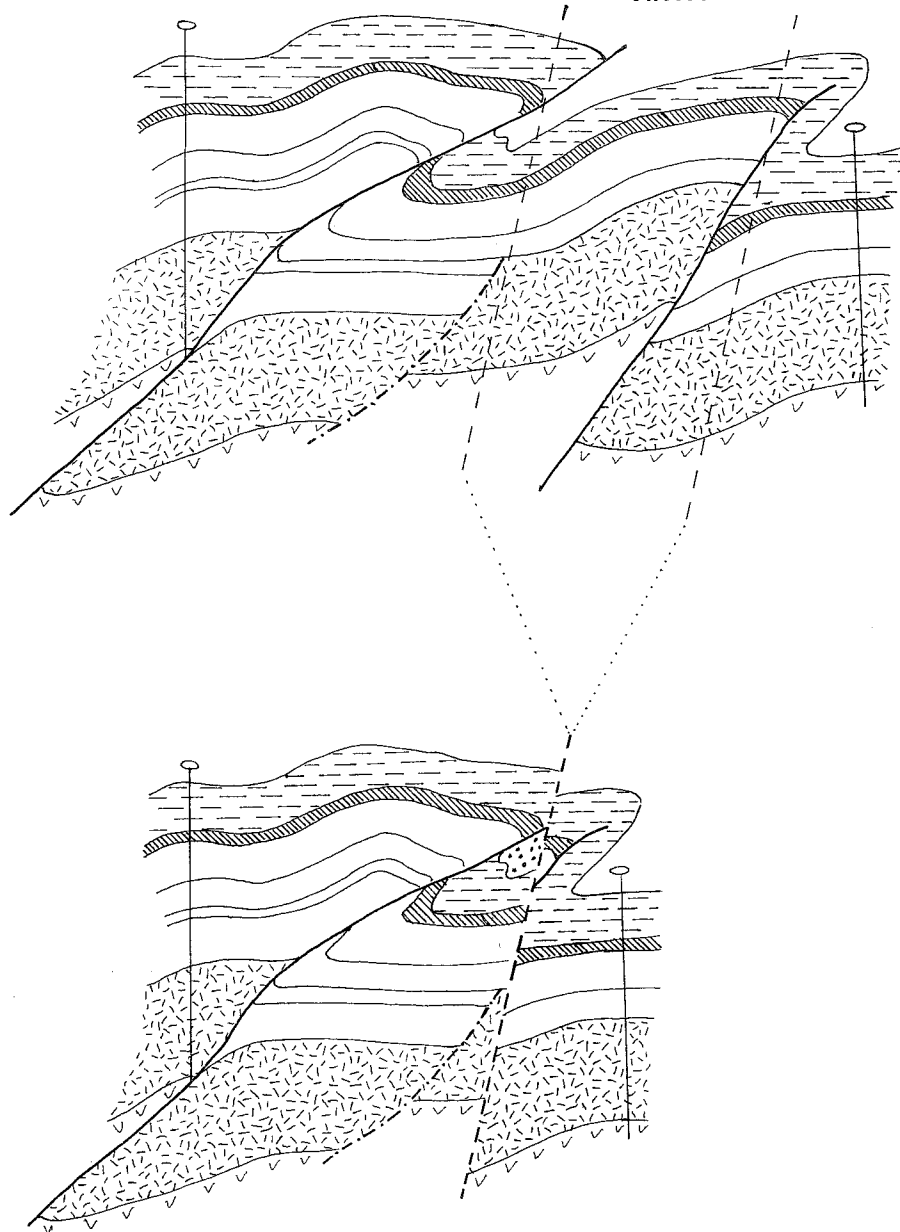


Fig. 9- Restauro della sezione lungo la faglia della Valnerina.

1-Scaglia Cinerea e Variiegata; 2-Scaglia Rossa e Bianca; 3-Marne a Fucoidi; 4-Maiolica, Calcarei Diaspri, Rosso Ammonitico, Corniola, Formazioni eteropiche di serie ridotta o composta; 5-Calcare Massiccio; 6-Anidriti di Burano; 7-sovrascorrimenti e faglie inverse; 8-faglie sinsedimentarie giurassiche; 9-faglia trascorrente della Valnerina.

et al., 1988). Per semplicità in questo paragrafo ci riferiremo alle due sezioni chiamandole rispettivamente *Sezione Sud* e *Sezione Nord*.

Per quanto riguarda la tettonica distensiva, il confronto fra le due sezioni non è significativo, in quanto i risultati ottenuti sono condizionati dalla scelta di stili deformativi completamente diversi: planari e ad alto angolo per la *Sezione Nord*; curvi, con tratti a basso angolo, per la *Sezione Sud*. In effetti, l'estensione calcolata lungo la *Sezione Nord*, i cui rilevamenti erano stati finalizzati precipuamente alla caratterizzazione della tettonica compressiva, è di soli .35 km (.75%), mentre quella lungo la *Sezione Sud* è di circa 8 km (18.9%): questa differenza ovviamente non è ragionevole, anche se le dislocazioni distensive appaiono effettivamente più frequenti ed efficaci lungo la *Sezione Sud*. Un dato più affidabile si ricava dal confronto delle sommatorie delle componenti verticali del rigetto delle faglie dirette, valore che è indipendente dalla geometria adottata, e che risulta essere di 2.7 km per la *Sezione Nord* e di 6.4 km per la *Sezione Sud*.

Bisogna anche tener conto che per la tettonica distensiva la correlazione fra le strutture lungo le due sezioni avviene lungo direttrici che sono diverse da quelle della tettonica compressiva e non esattamente ortogonali alle tracce delle sezioni.

Va rilevato, infine, che il differente stile deformativo adottato per la tettonica estensionale lungo le due sezioni si riflette anche, sia pur in misura minore, sul valore del raccorciamento, provocando una leggera sottostima del raccorciamento della *Sezione Nord*.

Per quanto riguarda la tettonica compressiva, le due sezioni sono state costruite adottando criteri analoghi: è pertanto possibile confrontare dal punto di vista quantitativo le due sezioni, analizzandone i valori del raccorciamento, i rigetti associati ai singoli sovrascorrimenti e le altezze strutturali dei corpi sovrascorsi.

Punto di partenza di tale confronto è la correlazione fra le strutture rappresentate lungo le due sezioni. Questa correlazione è immediata per il sovrascorrimento dei Sibillini e per la faglia della Valnerina, che hanno una elevata continuità longitudinale e subiscono solo dislocazioni minori fra la *Sezione Nord* e la *Sezione Sud*. Inoltre, nella *Sezione Nord* la struttura più occidentale dell'area di catena è quella di Trevi, separata dall'anticlinale del Monte Subasio da un sinclinorio, caratterizzato dall'affioramento di Marnoso-Arenacea: analogamente, nella *Sezione Sud* la struttura più occidentale è quella di Colle Barbacchiano, separata dall'anticlinale dei Monti Martani ad opera del già descritto sinclinorio di Icciano.

Stabilito questo quadro di riferimenti fondamentali, è possibile suddividere la sezione Trevi-Valle dell'Ambro in tre unità cinematiche principali (**a**, **b**, **c**; Fig. 10), corrispondenti alle 3 unità più esterne (**a**, **b**, **c**) della *Sezione Sud*. Sia il valore del raccorciamento globale, che quello delle singole unità è maggiore per la *Sezione Sud* rispetto a quella Nord. In entrambe le sezioni, poi, la unità **b** risulta meno raccorciata rispetto

alle unità adiacenti e, in generale, i raccorciamenti delle singole unità rispettano proporzioni simili, per cui l'unità **a** è più raccorciata della **c**, che è a sua volta più raccorciata della **b** (tab. 1).

Tab. 1 - RACCORCIAMENTI DELLE UNITÀ PRINCIPALI

	R%_globale	R%-A	R%-B	R%-C
Sezione Nord	31.1%	39.9%	17.1%	32.2%
Sezione Sud	47.4%	65.5%	25.8%	43.6%

In maggior dettaglio, è possibile tentare una correlazione fra i singoli sovrascorrimenti principali lungo le due sezioni: confrontando fra loro gli elementi così individuati, si nota che anche il rigetto lungo gli accavallamenti principali, misurato usando come livello di riferimento il tetto del Calcere Massiccio, risulta sistematicamente più elevato lungo la *Sezione Sud*, di una quantità che varia fra 1.5 e 3 km per ciascuno dei sovrascorrimenti (tab. 2). Nel valutare il significato di queste tabelle, occorre tener conto che il confronto contiene alcuni elementi di incertezza: sia nel valore assoluto del rigetto, visto che l'errore di interpretazione della singola struttura è maggiore che sull'intera sezione, sia nella scelta delle strutture da correlare fra loro. Ad esempio, nella *Sezione Nord* non esiste una struttura omologa al fronte di M. Pozzoni: l'interpretazione proposta si basa sull'ipotesi che questo fronte rappresenti una struttura embricata sull'antistante sovrascorrimento dei Monti Sibillini.

Tab. 2 - RIGETTI DEI SOVRASCORRIMENTI PRINCIPALI

Sezione Nord		Sezione Sud	
Trevi	0.9 km	C.le Barbacchiano	2.3 km
M. Brunette	3.0 km	Spoletto	4.8 km
Visso	1.0 km	M. Coscerno	4.2 km
F. Ambro	9.0 km	M. Pozzoni	7.4 km
		M. Utero	7.0 km
			14.4 km

È possibile anche confrontare le differenze fra le altezze strutturali delle scaglie sovrascorse, misurando la quota assoluta massima raggiunta da un livello di riferimento omogeneo, costituito dal tetto della formazione della Maiolica: è da notare che questo parametro non dipende in alcun modo dall'estrapolazione in profondità delle strutture, ed è quindi assai più "oggettivo" del precedente (tab. 3). Lungo la *Sezione Sud* l'altezza

Tab. 3 - ALTEZZA STRUTTURALE DEGLI ELEMENTI SOVRASCORSI

Sezione Nord	Sezione Sud	Differenza
Trevi	Barbacchiano	1900 +1150
Brunette	Spoletto	2750 +800
Vigi	Valnerina	1300 +100
Visso	Coscerno	1950 +700
Tre Vescovi	Pozzoni	2750 +1000
Piora	Utero	2700 +800

# SEZIONE RESTAURATA E CALCOLO DEL RACCORCIAMENTO

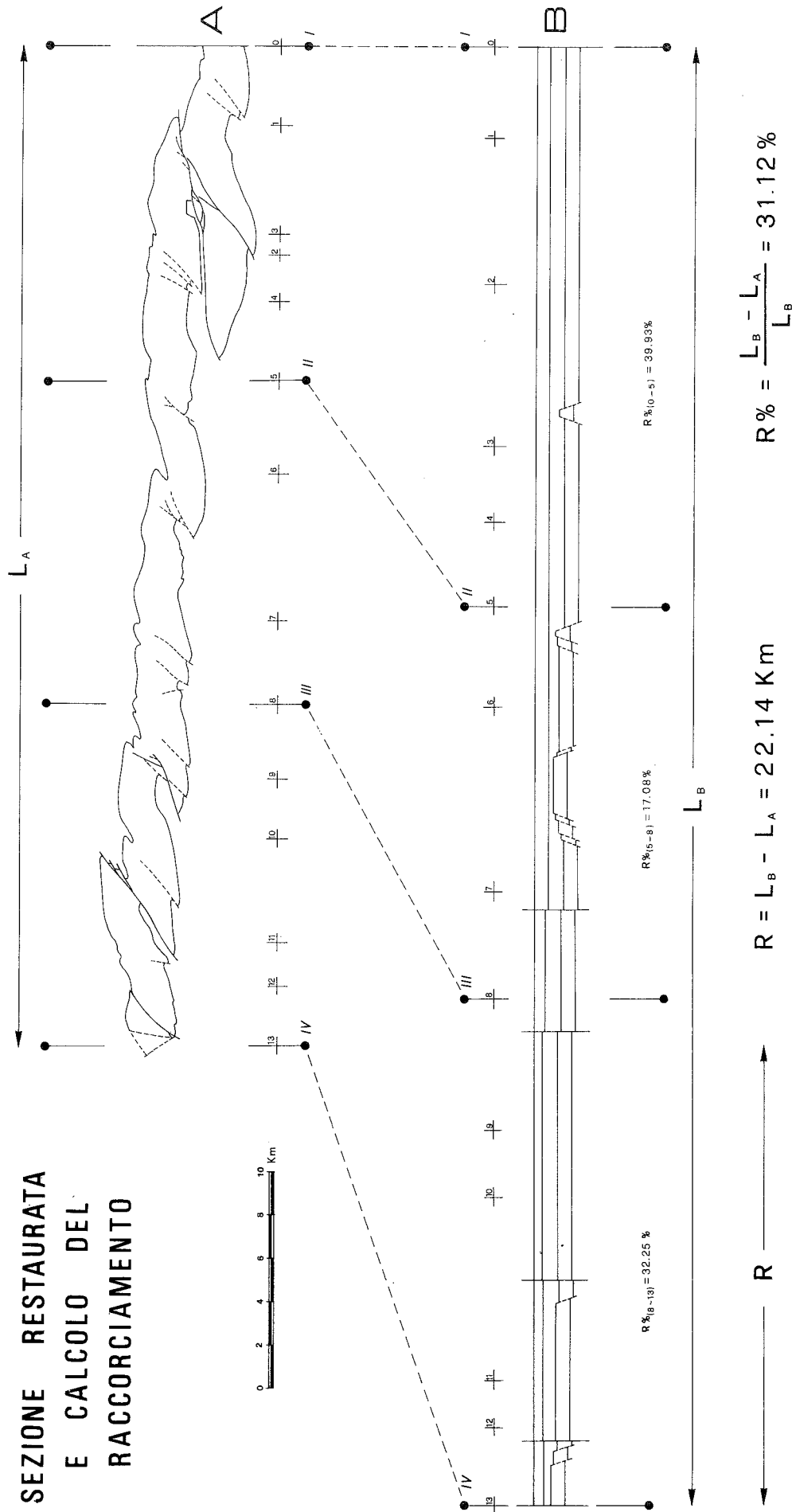


Fig. 10- Sezione Trevi-Valle dell'Ambro: sezione restaurata e calcolo del raccorciamento (da BARCHI *et al.*, 1988).  
A- Sezione bilanciata allo stato pre-tettonica distensiva (Pliocene inf.); B- Sezione restaurata allo stato pre-tettonica compressiva (Miocene inf.).

strutturale è mediamente da 700 m a 1150 m più elevata rispetto alla *Sezione Nord*. Questa differenza riflette il fatto che il raccorciamento della catena tende ad aumentare verso Sud. In un modello semplice, che preveda la presenza di un livello di scollamento basale, comune a tutto l'edificio compressivo (monoclinale regionale), i parametri sin qui considerati (altezza strutturale, raccorciamento, profondità e pendenza della monoclinale regionale) sarebbero legati da semplici relazioni geometriche. Come abbiamo visto nel paragrafo 4, però, la geometria e le reciproche relazioni fra le strutture compressive fanno ritenere che strutture plicative e strutture di taglio siano da collegare a livelli di scollamento diversi.

Al di là dei possibili errori ed incertezze nella interpretazione delle singole strutture, l'analisi svolta conferma, e in una certa misura quantifica, alcune caratteristiche della catena umbro-marchigiana, peraltro già riconosciute o ipotizzate da vari Autori:

- il raccorciamento della catena aumenta da Nord verso Sud, e corrispondentemente aumenta il rigetto dei singoli sovrascorrimenti;

- il raccorciamento è concentrato in fasce preferenziali, che comprendono gli elementi strutturali più importanti e continui (sovrascorrimento dei Monti Sibillini e faglia della Valnerina).

- le altezze strutturali mostrano che i singoli elementi accavallati, e conseguentemente tutta la catena, ha una componente di immersione verso N, che in quest'area è di circa 1 km su 20 km di distanza, pari al 5% di pendenza.

In conclusione, si possono individuare alcuni degli ulteriori passi da compiere per migliorare e completare questa parte della ricerca, rendendo pienamente confrontabili le due sezioni proposte:

- modificare opportunamente la *Sezione Nord*, attraverso una revisione dei dati dei rilevamenti, per rendere omogeneo lo stile deformativo relativo alla tettonica distensiva lungo le due sezioni;

- analizzare in dettaglio l'evoluzione dei principali elementi maggiori, compressivi e distensivi, lungo il loro sviluppo longitudinale, giungendo ad una migliore valutazione dei singoli rigetti e modificando, se del caso, le singole sezioni;

- integrare le conoscenze con i dati geofisici disponibili (gravimetria, sismica a riflessione, ecc.), correlando le strutture rilevate in superficie con i maggiori elementi profondi.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ACCORDI G. (1966) - *Il Retico dei Monti Martani (Perugia)*. Boll. Soc. Geol. It., **95**, 3-26.

AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LANDINI B. & PARISI G. (1987) - *Il Pliocene e il Pleistocene inferiore del bacino del fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geogr. Fis. Din. Quat., **10**, 10-33.

BALLY A.W., GORDY P.L. & STEWART G.A. (1966) - *Structure, seismic data and orogenic evolution of the southern Canadian Rockies*. Bull. Can. Petrol. Geol., **14**, 337-381.

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**, 257-310.

BARCHI M. (1990) - *Deformazioni compressive e distensive nel settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano: analisi cinematica e interpretazione strutturale*. Tesi di Dottorato, Università di Perugia.

BARCHI M. & BROZZETTI F. (questo volume) - *Il sovrascorrimento di Spoleto: un esempio di tettonica di inversione nell'Appennino umbro-marchigiano?*

BARCHI M., GUZZETTI F., LAVECCHIA G., LOLLI O. & BONTEMPO R. (1988) - *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano: 1- La sezione Trevi-Valle dell'Ambro*. Boll. Soc. Geol. It., **107**, 109-130.

BARCHI M., LAVECCHIA G. & MINELLI G. (1989) - *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano: 2- La sezione Scheggia-Serra S.Abbondio*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, 69-81.

CALAMITA F. (1990) - *Thrusts and fold-related structures in the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Annales Tectonicae, **4**, 83-117.

CALAMITA F., DEIANA G. & PAMBIANCHI G. (1981) - *Considerazioni strutturali sull'area compresa fra la conca di Cascia e la valle del Tronto (Appennino umbro-marchigiano meridionale)*. Problemi di raccorciamento e neotettonica. Boll. Soc. Geol. It., **100**, 415-422.

COOPER J.C. (1988) - *The geology of the Central Apennines and foreland basin, Italy*. Rice University, Ph.D. Thesis.

DAHLSTROM C.D.A. (1969) - *Balanced cross sections*. Can. Journ. Earth Sc., **6**, 744-757.

DECANDIA (1982) - *Geologia dei monti di Spoleto (provincia di Perugia)*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 291-315.

DE FEYTER A.J. & MENICHETTI M. (1986) - *Back thrusting in forelimbs of rootless anticlines, with examples from the Umbro-Marchean Apennines (Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 357-370.

DUFOUR & MAGNE (1969) - *Precisions sur l'age de la mise en place du chevauchement de Spoleto (Ombrie)*. C.R. Soc. Géol. Fr., **8**, 311-313.

ELLIOTT D. (1983) - *The construction of geological cross-sections*. Journ. Struct. Geol., **5**, 101-102.

HOSSACK J.R. (1979) - *The use of balanced cross-sections in the calculation of orogenic contraction: a review*. Journ. Geol. Soc. London, **136**, 705-711.

KOOPMAN A. (1983) - *Detachment tectonics in the Central Apennines (Italy)*. Geologica Ultraiectina, **30**, 1-155.

LAUBSCHER H.P. (1965) - *Ein kinematisch model der Jurafaltung*. Eclogae Geol. Helv., **58**, 231-318.

LAVECCHIA G. (1979) - *Analisi cinematica del sovrascorrimento del F. Fiastrone (Sibillini Nord-orientali)*. Boll. Soc. Geol. It., **98**, 457-468.

LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It. **104**, 161-194.