

**ANALISI GEOMETRICA E CINEMATICA DEL SETTORE CENTRALE
DELLA CATENA NARNESE-AMERINA (UMBRIA SUD-OCCIDENTALE)(***)**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 73
ABSTRACT	73
INTRODUZIONE	74
CENNI DI STRATIGRAFIA	74
ANALISI GEOMETRICA	76
<i>Deformazioni compressive</i>	76
<i>Deformazioni trascorrenti</i>	81
<i>Deformazioni distensive</i>	81
LA SEZIONE GEOLOGICA TAIZZANO-	
LAGO DELL'AIA	83
<i>Stile strutturale</i>	84
<i>Bilanciamento</i>	84
CONCLUSIONI	84
BIBLIOGRAFIA	86

RIASSUNTO

Vengono presentati i risultati di un'analisi geometrica e cinematica del settore centrale della Catena narnese-amerina (area di Narni, Umbria sud-occidentale) realizzata a partire da un rilevamento geologico-strutturale di dettaglio e dalla costruzione di una sezione geologica bilanciata attraverso la finestra tettonica del F. Nera.

Il principale carattere strutturale compressivo, databile all'intervallo Serravalliano *p.p.* - Tortonian *p.p.*, è rappresentato dalla sovrapposizione di una struttura anticlinale a direzione assiale N135° e vergenza orientale (anticlinale di Narni - M. Trassinari) su un'unità intermedia, con geometria di tipo *horse*, costituita dal fianco rovesciato ed intensamente laminato dell'anticlinale stessa ed affiorante in finestra tettonica lungo la gola del F. Nera. L'insieme delle due unità strutturali si accavalla a sua volta su un'unità più esterna già strutturata in sistemi di anticlinali (M. Ippolito) e sinclinali (S. Casciano - V. Valli), con direzione assiale N170°.

Le strutture plicative analizzate sono dislocate da zone di taglio trascorrenti e/o transpressive. Fra queste assumono particolare rilievo la faglia trascorrente destra Narni - P.gio Macchie, a direzione N155°, e la faglia trascorrente sinistra S. Casciano - Nera Montoro, che si sviluppa in direzione N45° attraverso la dorsale di M. S. Croce. Un'ulteriore zona di taglio trascorrente è rappresentata dalla faglia sinistra E-W di San Pellegrino che rappresenta un elemento di svincolo tra la dorsale narnese, a sud, e quella amerina, a nord. Locali rotazioni assiali sottolineano l'origine tardiva delle dislocazioni transpressive e trascorrenti.

Le strutture compressive e trascorrenti sono a loro volta dislocate da elementi strutturali distensivi plio-pleistocenici che condizionano fortemente l'assetto geometrico e la morfologia dell'area. Le direzioni più frequenti di tali sistemi sono comprese fra N140° e N160°, mentre meno frequenti sono sistemi di faglie dirette in direzione N100° ± 10°. Area chiave per l'analisi delle principali strutture distensive e per

la definizione dei rapporti geometrici con quelle compressive è la gola del F. Nera. In quest'area è evidente un sistema di faglie ad immersione occidentale con inclinazioni medie di 40° (Sistema bordiero occidentale) ed un sistema ad immersione orientale, con inclinazioni medie comprese tra 60° e 70° (Sistema bordiero orientale). La faglia della galleria Recentino, la cui geometria è stata dedotta integrando i dati di superficie con quelli di sottosuolo, pur appartenendo a quest'ultimo sistema se ne distingue per l'inclinazione inferiore, compresa fra 20° e 25°. L'effetto risultante è una geometria ad *horst* che presenta una massima culminazione in corrispondenza della dorsale di M. S. Croce.

L'applicazione di metodi analitici di inversione a popolazioni di faglie striate rilevate in siti strutturali idonei ha consentito di definire nell'intera area studiata un campo distensivo con σ_3 sub-orizzontale in direzione media N60°. Limitatamente al solo settore meridionale (area di Cappuccini - Cardano) è stata rilevata la presenza di un sistema di faglie "anomalo" compatibile con un tensore distensivo avente l'asse in direzione N20°.

Esempi di inversione tettonica sono dati dalla riattivazione come superficie distensiva della faglia trascorrente sinistra E-W di S. Pellegrino e della faglia trascorrente destra Narni - P.gio Macchie. Non mostrano, al contrario, evidenze di inversione le principali superfici di sovrascorrimento a basso angolo.

L'adozione di un modello cinematico e di uno stile deformativo coerenti con le osservazioni di campagna ha consentito di estrapolare in profondità la geologia di superficie lungo una sezione che si estende per circa 6,5 km tra Taizzano ed il Lago dell'Aia, attraverso la finestra tettonica del Nera. I calcoli di bilanciamento indicano che l'entità del raccorciamento per la struttura compressiva di Narni - M. S. Croce, ad ovest della faglia trascorrente destra Narni - P.gio Macchie è di 5,5 km, pari cioè al 65,48%; l'entità dell'estensione per l'intera struttura carbonatica è di 2,2 km e corrisponde al 45,8% della lunghezza pre-tettonica distensiva.

ABSTRACT

The results of a geometrical and kinematic analysis, carried out in the central sector of the Narni - Amelia mountain ridge by means of detailed geological survey, structural analysis and construction of a balanced geological section, are presented.

The main compressional structure in the study area is a NW-SE trending thrust, Serravallian *p.p.* - Tortonian *p.p.* in age, which produced the superposition of two main structural units with the interposition of an "intermediate" horse shaped *body*. The upper unit is formed by a N135°E trending, east-verging anticline named here Narni - M. Trassinari anticline. The lower unit, outcropping in the easternmost sector of the study area, corresponds with the N-S trending M. Ippolito anticline.

The intermediate *body*, well exposed in the Valle del Nera window, corresponds with the lower part of the intensely stretched and sheared overturned forelimb of the Narni - M. Trassinari anticline.

The described thrust and fold structure is displaced by major strike-slip and transpressive faults belonging to three main sets: N155°E right-lateral (Narni - P.gio Macchie fault),

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

(**)Facoltà di Scienze - Università G. D'Annunzio, Chieti Scalo (CH).

(***)Lavoro realizzato con i fondi MURST (60%), responsabile G. LAVECCHIA.

N45°E left-lateral (S. Casciano - Nera Montoro fault), E-W left-lateral (S. Pellegrino fault). Local dragging and rotations of the fold pattern around vertical axis suggest that the strike-slip deformations post-dates the fold and thrust structure.

In their turn the strike-slip structures are displaced by extensional Plio-Pleistocene faults mainly trending N140°-160°E and N100°E.

Cross-cutting the Narni - Amelia mountain ridge, the SW-NE trending Nera gorge is a key area to understand the time-space relationships between contractional and extensional structures. The western side of the valley is characterized by a W-dipping moderately inclined (40°) normal fault system while the eastern side shows both high angle (60-70°) and low angle (25°) east-dipping normal faults. On the whole, in the M. S. Croce area, the major extensional fault sets, give rise to an horst-graben structure.

In order to determine the orientation and the geometry of the extensional stress field, the techniques of the tensorial analysis have been applied to populations of normal faults surveyed in three narrow structurally well-defined areas. The Carey's inversion method shows for all the three areas the existence of a three-axial tensional tensor characterized by a SW-NE trending (N60°E) least principal stress (σ_3). In the southern area, an anomalous striated fault set, consistent with a N20°E main tensional axis has also been observed.

The tectonic inversion of major strike slip faults seems to be a diffuse feature in the study area. The best examples are the reactivation, with normal sense of slip, of the E-W trending S. Pellegrino sinistral fault and of the N155°E trending Narni - P. gio Macchie destral fault. On the contrary there is a general lack of evidences of low angle thrust inversion.

On the base of field observations and of the well-log data a kinematic model and a structural style characterized by initial buckle folding followed by thrust propagation have been assumed. This allowed us to extrapolate at depth the surface geology along a cross-section extended from Taizzano to Lago dell'Aia. The section balancing provides a contraction of about 5.5 km i.e. 65.48% of shortening, while the normal faults set produce an amount of extension of 2.2 km corresponding to the 45.8% of the pre-extensional length.

PAROLE CHIAVE: Catena narnese-amerina, Analisi geometrica, Sezione geologica bilanciata, Analisi cinematica.

KEY WORDS: Narni-Amelia mountain belt, Geometrical analysis, Balanced cross-section, Kinematic analysis.

INTRODUZIONE

La Catena narnese-amerina rappresenta un elemento strutturale compressivo di importanza regionale che si sviluppa secondo direttrici NW-SE per circa 45 Km fra i bacini plio-pleistocenici del Paglia - Tevere ad ovest e della Valle del Tevere - conca di Terni ad est (Umbria sud-occidentale) (Fig. 1). Con il presente lavoro si vuole dare un contributo alla comprensione dell'assetto strutturale e dell'evoluzione cinematica di questo settore dell'Appennino umbro-marchigiano interno. Vengono presentati, a tal fine, i risultati di un'analisi geometrica e cinematica realizzata in un'area che si estende per circa 65 Km² a cavallo della zona di Narni (Fig. 1B, Tav. 1) nel settore centrale della Catena. E' questa un'area di particolare interesse geologico-strutturale sia perché lungo la gola del F. Nera affiorano in "finestra" unità tettoniche non rilevabili in altri settori della Catena, sia perché sono disponibili in letteratura i dati relativi alla galleria di derivazione dell'impianto idroelettrico del Recentino, che si sviluppa per circa 2800 m tra l'invaso artificiale dell'Aia ed il F. Nera

(CONFORTO & PARBONI, 1963). Recentemente inoltre in quest'area sono stati realizzati numerosi sondaggi geognostici nell'ambito del progetto di costruzione della galleria Santa Croce, per il raddoppio e potenziamento della linea ferroviaria Orte - Falconara; i risultati di tali sondaggi, in parte pubblicati (CHIOCCHINI *et alii*, 1987) ed in parte inediti, sono stati gentilmente messi a nostra disposizione dal Consorzio COMAVI unitamente al rapporto geologico sull'avanzamento della galleria.

Sulla base di un rilevamento geologico alla scala 1:10.000 è stato possibile identificare i principali elementi geometrici e cinematici dell'area (Tav. 1). L'elaborazione statistica dei dati giacitureali (π -diagrams) e delle mesostrutture rappresentative associate a compressione ha consentito di ricavare le direzioni assiali medie delle megastrutture plicative e le loro locali rotazioni; le deformazioni fragili associate a distensione (faglie dirette striate) sono state invece analizzate con il metodo di inversione di CAREY & BRUNIER (1974) per definire orientazione e geometria del tensore degli sforzi associato.

La geologia di superficie, integrata con i dati di sottosuolo, è stata infine estrapolata in profondità lungo una sezione che si estende da Taizzano al Lago dell'Aia, in asse al tracciato della galleria Recentino, attraverso la finestra tettonica del Nera. La costruzione della sezione ed il relativo bilanciamento hanno fornito utili informazioni sull'evoluzione cinematica di questo settore della Catena ed hanno permesso di quantificare l'entità della deformazione associata a ciascuna fase tettonica.

CENNI DI STRATIGRAFIA

Nell'area di Narni affiorano le formazioni tipiche della successione stratigrafica umbro-marchigiana comprese fra il Trias superiore ed il Miocene inferiore. I loro spessori sono stati ricavati con misure stratigrafiche direttamente effettuate sul terreno, mediante l'esecuzione di sezioni geologiche di dettaglio e dai log dei sondaggi geognostici realizzati nell'area di M. S. Croce (in parte in CHIOCCHINI *et alii*, 1987). I dati così ottenuti sono stati infine confrontati con quelli esistenti in letteratura per la contigua area di Amelia (FAZZINI, 1968) e con quelli presenti in CHIOCCHINI *et alii* (1975), al fine di ricostruire il più fedelmente possibile la potenza della successione stratigrafica indeformata (Fig. 2).

L'unità più antica affiorante (Retico) è rappresentata dalla *Formazione* calcareo-marnosa del M. Cetona (CIARAPICA *et alii*, 1987), che si rileva in modo discontinuo ad est del M. Arnata e a Schifanoia. Superiormente la suddetta unità passa a calcari grossolanamente stratificati di piattaforma del Lias inferiore (*Calcare massiccio*), con uno spessore massimo di circa 350 m. Segue una successione giurassica regolarmente stratificata di tipo esteso (*sensu* COLACICCHI *et alii*, 1988) in cui si succedono litotipi calcarei (*Corniola*, Sinemuriano sup. - Toarciano basale), calcareo-marnosi (*Rosso ammonitico* e *Calcari con filaments*, Toarciano inf. p.p. - Bathoniano) e calcareo-silicei (*Calcari diasprigni* e *Calcari ad Aptici* del Calloviano - Titonico inf.) con uno spessore complessivo che oscilla intorno ai 250 m. Eteropici alle suddette sequenze bacinali sono i calcari rosati ad ammoniti, bivalvi, articoli di crinoidi, e foraminiferi planctonici (*packstone-wackestone* con

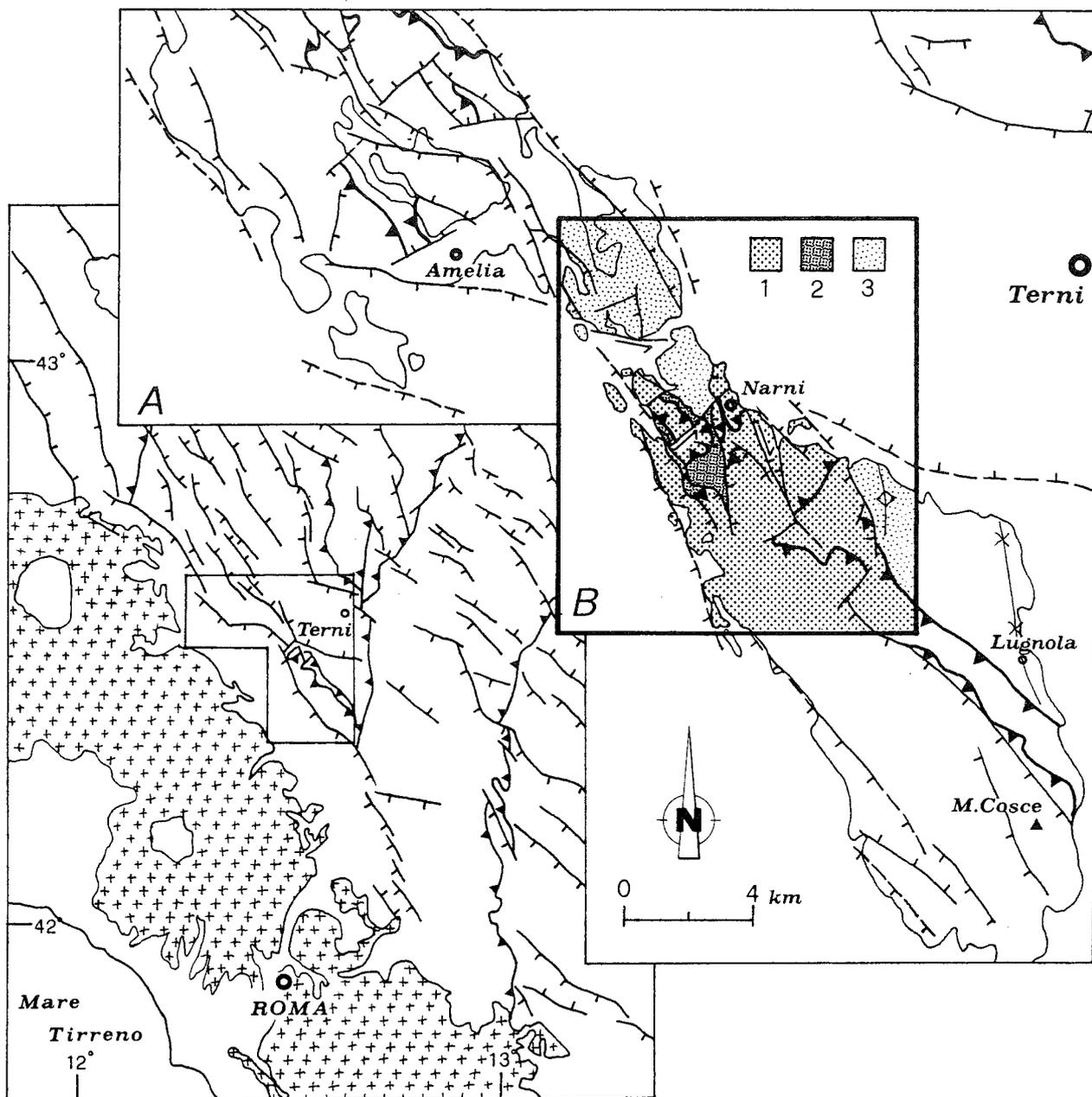


Fig. 1 - Localizzazione del settore centro-meridionale della catena Narnese-Amerina (A) e dell'area rilevata (B). 1) Corpo superiore; 2) Corpo intermedio; 3) Corpo inferiore.

Globuligerina oxfordiana) che si rinvengono nei pressi di Fornole e che possono ragionevolmente essere assimilati alle successioni condensate di COLACICCHI *et alii* (1988). I calcari micritici della *Maiolica* (Titonico sup. - Aptiano inf. *p.p.*), il cui spessore medio è di 60 m circa, chiudono la sedimentazione giurassica. Seguono verso l'alto le *Marne a Fucoidi* (Aptiano - Albiano), le unità calcaree, calcareo-marnose e marnoso-argillose del Gruppo della *Scaglia* (*Scaglia bianca*, *Scaglia rossa*, *Scaglia variegata* e *Scaglia cinerea* di età Cretaceo sup. - Oligocene) ed infine i calcari marnosi del *Bisciaro* (Aquitano - Burdigaliano *p.p.*). Lo spessore calcolato per la successione cretaceo-paleogenica è di circa 450-500 m.

Complessivamente la successione stratigrafica affiorante nell'area esaminata mostra uno spessore di circa 1100 m dalla base del *Calcere massiccio* al tetto del-

la *Scaglia cinerea*. Tale valore appare fortemente ridotto, se confrontato con i valori noti in letteratura per l'area appenninica (da 1700 a 2200 m per lo stesso intervallo stratigrafico). Una così sensibile differenza difficilmente può essere spiegata solo sulla base di un maggior grado di deformazione che avrebbe interessato l'area in studio rispetto ai settori più esterni. Al contrario sembra ragionevole ipotizzare una differenziazione sinsedimentaria fra il dominio dell'Umbria interna e l'area umbro-marchigiana *s.s.* per quanto riguarda la velocità di subsidenza ed il tasso di sedimentazione. Simili considerazioni sono peraltro state espresse già in CENTAMORE *et alii* (1972) ed in PASSERI & PIALLI (1972).

La dorsale carbonatica meso-cenozoica è delimitata sia ad ovest che ad est dai depositi trasgressivi del Plio-Pleistocene: ad ovest affiorano estesamente ter-

NARNI

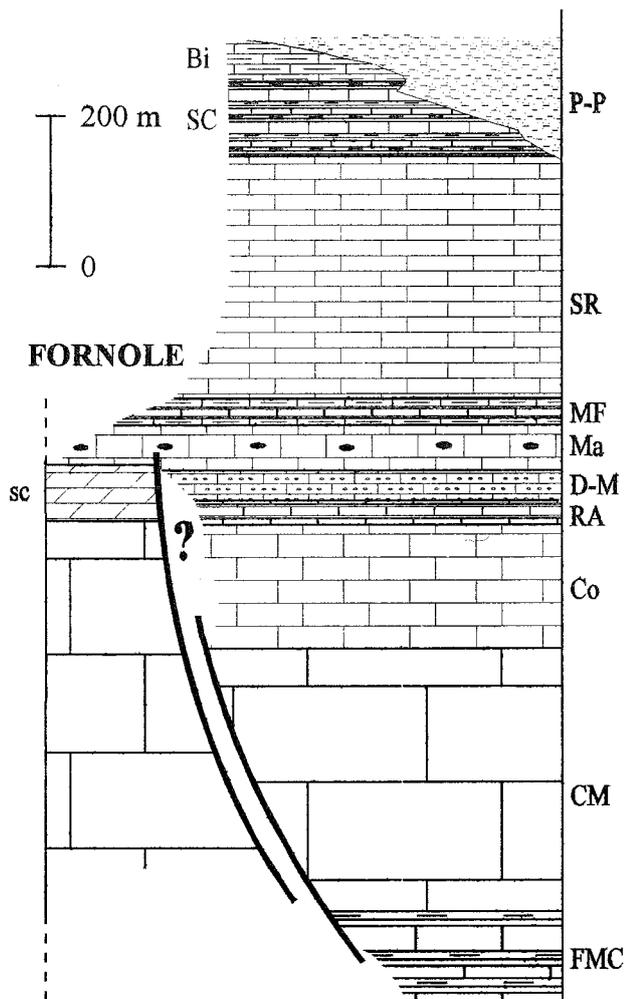


Fig. 2 - Schema dei rapporti stratigrafici. FMC) *Formazione del Monte Cetona* (Retico); CM) *Calcarea massiccio* (Lias inf.); Co) *Corniola* (Sinemuriano sup.-Toarciano basale); RA) *Rosso ammonitico e Calcari con Filaments* (Toarciano inf. p.p.-Bathoniano); D-M) Unità bacinali del Dogger-Malm; sc) successione giurassica condensata (*sensu* COLACICCHI *et alii*, 1988) di Fornole; Ma) *Maiolica* (Titonico sup.-Aptiano inf. p.p.); MF) *Marne a Fucoidi* (Aptiano-Albiano); SR) *Scaglia bianca, Scaglia rossa e Scaglia variegata* (Albiano sup. p.p.-Eocene sup. p.p.); SC) *Scaglia cinerea* (Eocene sup. p.p.-Oligocene); Bi) *Bisciario* (Aquitano-Burdigaliano p.p.); P-P) depositi plio-pleistocenici.

reni sabbiosi e argilloso-sabbiosi in facies marina-salmastra riferibili all'unità delle *argille sabbiose del Chiani-Tevere* (AMBROSETTI *et alii*, 1987); sul fianco orientale della catena poggiano in *on-lap* i depositi di ambiente continentale del Pleistocene inferiore costituiti prevalentemente da sabbie argillose, sabbie e conglomerati riferibili all'unità di *S. Maria di Ciciliano* (BASILICI, 1992). Nella zona di S. Pellegrino i depositi plio-pleistocenici si insinuano tra i rilievi mesozoici della catena interrompendone la continuità longitudinale; il rinvenimento al loro interno di faune salmastre (AMBROSETTI *et alii*, 1987) testimonia che nel Pleistocene inferiore quest'area ha rappresentato, a più riprese, una zona di interscambio tra le acque marine e quelle del Bacino Tiberino *auct.*

ANALISI GEOMETRICA

I primi studi sulla geometria dell'area di Narni risalgono agli anni Venti ad opera di LOTTI (1926). L'Autore propone una sezione geologica interpretativa lungo l'allineamento F. Nera - il Bastione - S. Lucia (Fig. 3A) in cui individua una struttura anticlinale a vergenza nord-orientale ed un'antistante sinclinale rovesciata con al nucleo *Scaglia cinerea*. Successivamente CONFORTO & PARBONI (1963) pubblicano i risultati delle indagini effettuate nell'ambito del progetto di costruzione della galleria Recentino. In una sezione realizzata lungo il tracciato della perforazione (Fig. 3B) questi ultimi propongono un motivo tettonico costituito da tre anticlinali fagliate a vergenza orientale cui si interpongono due sinclinali; la struttura a pieghe sarebbe stata interessata da fenomeni di accavallamento verso NE lungo piani a basso angolo e da successive dislocazioni distensive ad opera di faglie ad immersione sud-occidentale. Nel presente lavoro i dati di sottosuolo di CONFORTO & PARBONI (1963) vengono reinterpretati, in base al recente ed originale rilevamento di superficie, e proposti in una sezione in asse alla galleria Recentino (Fig. 3C). A tale sezione si farà spesso riferimento nel corso della trattazione.

Integrando le osservazioni di superficie con i dati di sottosuolo disponibili (CONFORTO & PARBONI, 1963; CHIOCCHINI *et alii*, 1987; dati inediti sulla perforazione della galleria S. Croce), è stato possibile individuare nell'area di studio un motivo strutturale caratterizzato dalla sovrapposizione di un'anticlinale rovesciata a direzione assiale NW-SE e vergenza orientale (anticlinale di Narni - M. Trassinari) da noi denominata Corpo superiore, su di un Corpo intermedio costituito dal fianco rovesciato ed intensamente laminato dell'anticlinale stessa ed affiorante in finestra tettonica lungo la gola del F. Nera. L'insieme delle due unità strutturali è sovrapposto ad un'unità più esterna (Corpo inferiore) già strutturata in sistemi di anticlinali (M. Ippolito) e sinclinali localmente a vergenza occidentale (S. Casciano - V. Valli). A più grande scala l'accavallamento della Catena narnese-amerina, a direzione assiale NW-SE, su di un *footwall* strutturato in sistemi di pieghe a varia scala e minori motivi di accavallamento con *trend* meridiano, è già stato messo in evidenza da CALAMITA *et alii* (1994).

La geometria delle varie unità strutturali è allo stato attuale complicata dalla presenza di faglie trascorrenti e distensive che hanno dissezionato la struttura compressiva.

La tavola 1 visualizza la distribuzione areale ed i rapporti geometrici in pianta fra le varie unità tettoniche e raffigura i principali elementi strutturali acquisiti durante il rilevamento di campagna o ricavati in fase di elaborazione.

Deformazioni compressive

Il Corpo superiore (C. sup.) è costituito da una struttura anticlinale che si sviluppa con continuità per oltre 15 km a sud di Narni fino al M. Cosce (Fig. 1A). Nella zona immediatamente a nord di M. S. Croce non è invece possibile seguirne la prosecuzione poiché, a causa di una culminazione assiale, affiorano solo i termini del Corpo inferiore (C. inf.). Nei settori del Bastione (Narni) e di M. Trassinari è possibile ricostruire dettagliatamente la geometria del fianco orientale, in giacitura rovescia, dell'anticlinale. Esso è costituito da

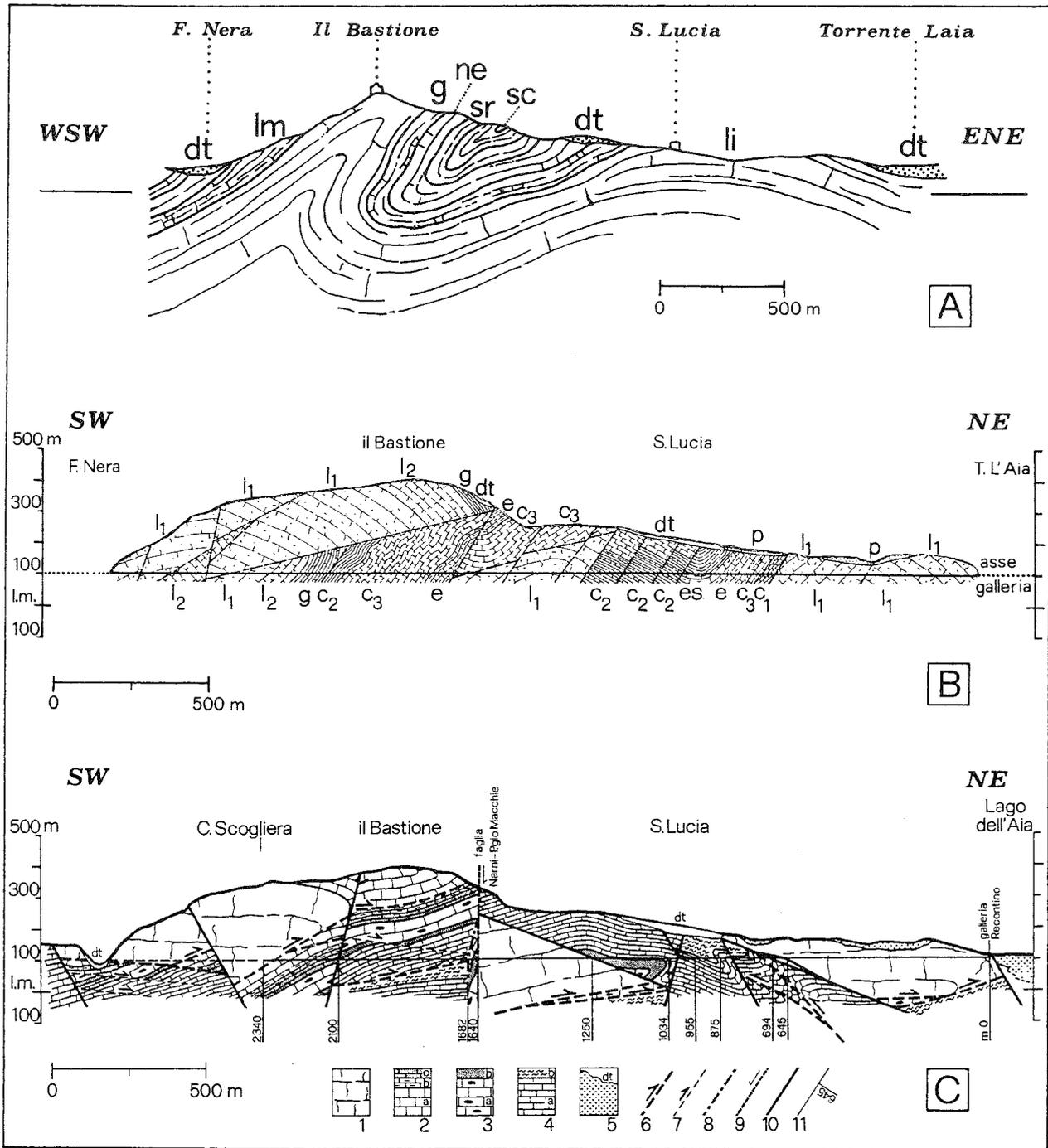


Fig. 3 - Sezioni geologiche attraverso la catena Narnese-Amerina nell'area a Sud di Narni.

A) Sezione geologica lungo l'allineamento F. Nera-il Bastione-S. Lucia (LORTI, 1926) - dt) detriti di falda; sc) Scaglia cinerea; sr) Scaglia rossa; ne) calcare neocomiano; g) scisti e calcari giurassici; lm) Lias superiore; li) Lias inferiore.

B) Sezione geologica lungo la galleria Recentino (CONFORTO & PARBONI, 1963) - dt) detrito di falda; p) argille, sabbie e conglomerati (Plio-Pleistocene); es) marne scistose verdastre (Eocene superiore); e) Scaglia rossa e cinerea (Eocene medio-inferiore); c₃) Scaglia rossa, rosata e bianca (Cretaceo superiore); c₂) Scaglia e Scisti a Fucoidi (Cretaceo medio); c₁) Maiolica (Cretaceo inferiore); g) Rosso ammonitico (Dogger-Malm); l₂) Corniola (Lias medio); l₁) Massiccio (Lias inferiore).

C) Sezione geologica in asse al tracciato della galleria Recentino (presente lavoro). La sezione coincide con il tratto orientale della sezione A-A' di Tav. 2 (ubicazione della traccia nella Tav. 1) - 1) Calcare massiccio; 2) Corniola (a), Rosso ammonitico (b), Unità bacinali del Dogger-Malm (c); 3) Maiolica (a), Marne a Fucoidi (b); 4) Scaglia bianca, rossa e variegata (a), Scaglia cinerea (b); 5) depositi plio-pleistocenici e detriti di falda (dt); 6) sovrascorrimenti e faglie inverse; 7) strutture di taglio minori associate al sovrascorrimento; 8) faglia trascorrente destra; 9) faglia trascorrente destra riattivata come superficie distensiva; 10) faglia diretta; 11) asse della galleria Recentino con progressive in metri.

N.B. Le sezioni B e C coincidono nel tratto compreso tra le progressive 0 e 2340 m. Le sensibili differenze sono legate ad una diversa interpretazione della geologia di sottosuolo in funzione dei dati di superficie; nella sezione C inoltre i dati strutturali della galleria sono stati semplificati, riportando solo i contatti tettonici di maggiore importanza e/o direttamente osservati in campagna.

tutte le formazioni comprese tra la *Corniola* e la *Scaglia* (Narni) o tra la *Corniola* ed il *Bisciario* (M. Trassinari) ed immerge verso SW con un'inclinazione che aumenta in media da 10-20° a 35-40° procedendo dal nucleo verso i termini più giovani. Laminazioni ed assottigliamenti intensi (localmente oltre il 50% dello spessore originario) caratterizzano le formazioni meno competenti (*R. ammonitico*, *M. a Fucoidi*, *Scaglia variegata* e *Scaglia cinerea*), mentre un clivaggio intenso e mesopieghie generalmente a cuspidate interessano le restanti formazioni a varia scala. Nella zona del Bastione (Fig. 3C) si può ricostruire la geometria del nucleo anticlinale dove il *Calcare massiccio*, delimitato verso NE da una faglia inversa ad alto angolo (*up-blind thrust*), si "incunea" mantenendo una giacitura diritta nel sovrastante *multilayer* pelagico. In località Cardano il *Bisciario* del fianco rovescio sovrascorre verso NE sulla *Scaglia cinerea* del C. inf. a mezzo di un piano a basso angolo immergente a SW (sovrascorrimento di Cardano) variamente dislocato dal sistema di faglie dirette di M. Ippolito.

Il fianco occidentale dell'anticlinale è costituito quasi esclusivamente da *Calcare massiccio* in giacitura diritta che lungo la gola del F. Nera sovrascorre, per oltre un chilometro, sulla *Corniola* rovesciata del sottostante Corpo intermedio (C. int.). La panoramica di figura 4a mostra come il sovrascorrimento (sovrascorrimento di M. S. Croce) presenti una giacitura suborizzontale o debolmente immergente verso SW. Lo stesso contatto tettonico in corrispondenza dell'abitato di Narni e, più a sud, nei pressi di Cappuccini evolve progressivamente ad una geometria di tipo "rampa laterale", disloca il fianco rovescio dell'anticlinale in direzione N40° e lo pone in contatto con il *Calcare massiccio* e la *Corniola* del fianco occidentale. L'esistenza di componenti di trascorrenza destra associate alla compressione è testimoniata dalla progressiva rotazione oraria delle mesostrutture planari e lineari del fianco rovescio, che da parallele all'asse della struttura principale (N135°) si dispongono in direzione N-S fino a parallelizzarsi alla rampa laterale (Tav. 1, località Narni e Cappuccini). Le analogie esistenti fra la rampa laterale di Narni e quella di Cappuccini suggeriscono che esse appartengano ad un'unica struttura dislocata e traslata nella posizione attuale da movimenti di trascorrenza destra lungo la faglia Narni - P. gio Macchie (a direzione N155°), di cui si discuterà nei paragrafi successivi. La rampa laterale di Narni - Cappuccini avrebbe agito quindi come struttura di trasferimento fra il C. sup. del settore meridionale (Narni - M. Trassinari) ed il C. sup. a nord di Narni, maggiormente avanzato verso NE.

I dati relativi alla stratificazione rilevati nella zona di Narni e ad est di M. Trassinari sono stati elaborati con il metodo del π -*diagram* ed hanno fornito un asse medio della struttura (asse π) con direzione N135° (Fig. 5). L'orientazione dei parametri planari e lineari associati a mesostrutture compressive (cerniere e piani assiali di mesopieghie, clivaggio da dissoluzione per pressione, L_{1-0}) risulta nella maggior parte dei casi concordante con quella della megastruttura ospite; locali divergenze (Narni e Cappuccini) sono imputabili a rotazioni lungo faglie a forte componente trascorrente.

Il Corpo intermedio affiora in finestra tettonica lungo la gola del F. Nera ed è osservabile con continuità lungo le strade che percorrono il versante settentrionale di M. S.S. Annunziata e negli affioramenti roc-

ciosi in destra idrografica del F. Nera (Fig. 4a). Tale unità strutturale è costituita da un'estesa porzione del fianco laminato e rovesciato dell'anticlinale del C. sup. ed è rappresentato da tutti i termini compresi tra la *Corniola* e la *Scaglia rossa - Scaglia variegata*, per uno spessore complessivo di circa 280 m. La geometria ricostruita è quella di un *horse* delimitato da due piani di sovrascorrimento: il piano superiore è rappresentato dal sovrascorrimento di M. S. Croce (Fig. 4); quello inferiore non è invece rilevabile lungo la gola del F. Nera, si possono tuttavia osservare le intense deformazioni ad esso associate (*C-S fabric*) nella *Scaglia rossa - Scaglia variegata* del tetto, poco ad ovest del tratto in cui il fiume cambia direzione da N-S ad E-W. Si ritiene che quest'ultimo piano di sovrascorrimento coincida con quello affiorante a Cardano (Tav. 1) e determini quindi l'accavallamento del C. int. e della soprastante struttura anticlinale sul C. inf.

A Stifone il C. int. è "troncato" da un sistema di faglie dirette ad immersione occidentale; è quindi verosimile ipotizzare che esso si sviluppi ulteriormente verso SW ed in profondità, fino a raccordarsi al sovrascorrimento inferiore. All'interno del C. int. le superfici di stratificazione, globalmente immergenti verso SW, sono dislocate da numerose superfici di taglio suborizzontali ed est-immergenti interpretabili come *C-surfaces* e/o *Riedels* coniugati associati ai piani di sovrascorrimento. Tali strutture di taglio minori unitamente a processi di deformazioni duttili (*cataclastic flow*) avrebbero determinato il forte assottigliamento dell'unità tettonica in parola (circa il 55-60% dello spessore originario).

A nord della faglia trascorrente sinistra S. Casciano - Nera Montoro, che disloca in direzione N45° la struttura di M. S. Croce, il C. int. appare più discontinuo e costituito da corpi lenticolari di limitata estensione di *Corniola*, *Maiolica* e *Scaglia* in giacitura rovescia.

L'analisi mesostrutturale delle deformazioni compressive rilevate nel C. int. (Fig. 5) ha fornito valori nella direzione assiale complessivamente concordanti con quelli ricavati per il C. sup. (N135°).

Il Corpo inferiore è costituito, per la porzione sud-orientale dell'area rilevata, da un'anticlinale con nucleo in *Scaglia rossa* a vergenza orientale (anticlinale di M. Ippolito) e da una più esterna sinclinale con nucleo in *Scaglia cinerea*. L'anticlinale è caratterizzata da una geometria a *box fold* e presenta un fianco orientale che da molto inclinato tende a disporsi verticalmente fino a rovesciarsi sull'antistante sinclinale. Il fianco occidentale invece non è osservabile in quanto dislocato dalle faglie dirette del sistema di M. Ippolito. Nella figura 5 sono raffigurati i risultati dell'analisi strutturale realizzata in quest'area: la direzione assiale della struttura anticlinale è N170°, non coassiale quindi rispetto al C. sup. (N135°).

Procedendo verso nord il C. inf. assume una geometria più complessa, caratterizzata dalle sinclinali con piano assiale ad immersione orientale di S. Casciano e V. Valli. In particolare nella zona compresa tra M. S. Croce e S. Casciano è possibile ricostruire in dettaglio la geometria di una sinclinale rovesciata verso ovest con al nucleo *Scaglia cinerea*. Il fianco orientale rovescio della sinclinale è dislocato da un sistema di faglie dirette ad immersione orientale che lo pongono in contatto con il *Calcare massiccio* del soprastante C. sup. (Tav. 1); ad ovest la sinclinale è invece ricoperta dal

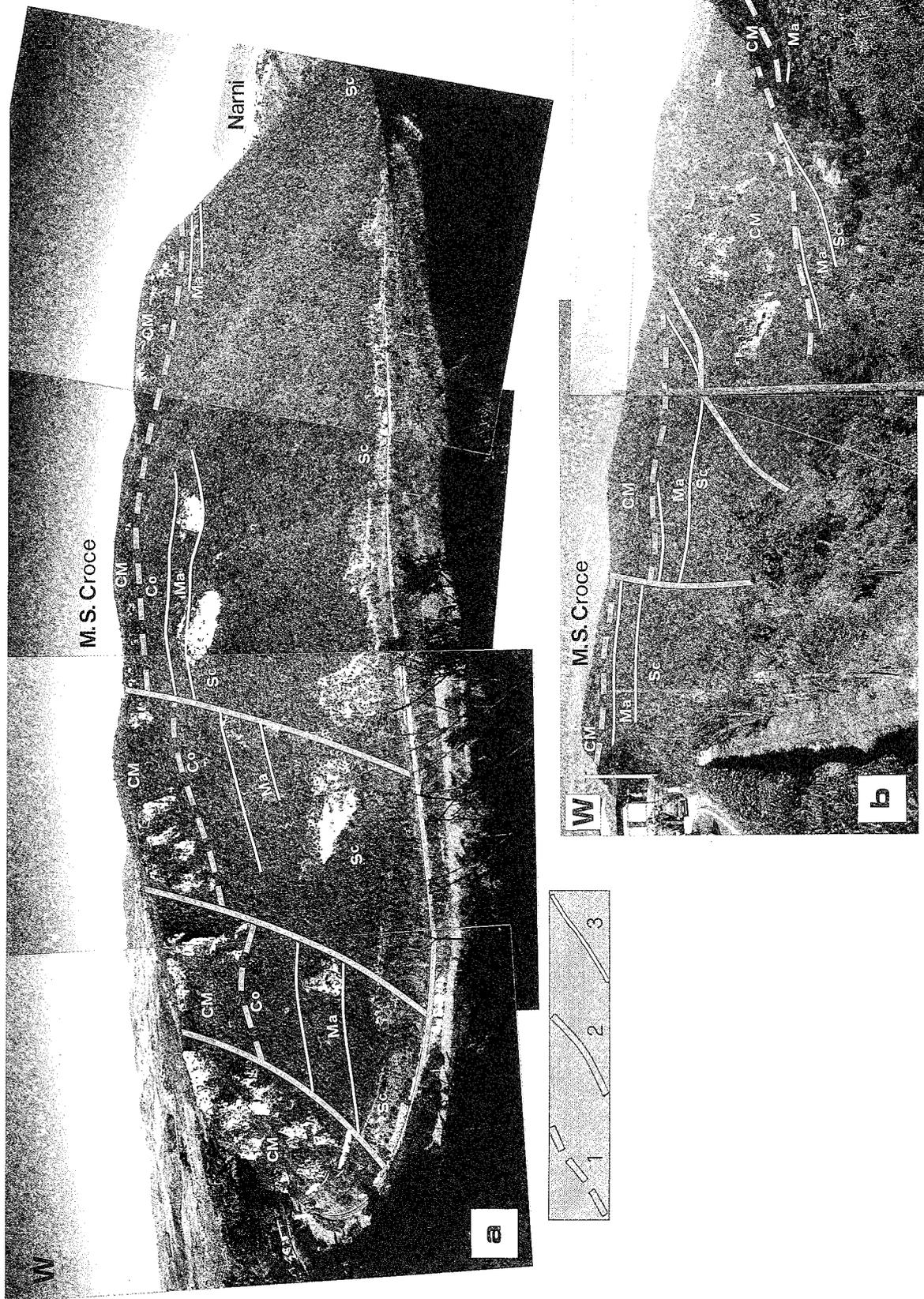


Fig. 4 - Panoramiche della gola del F. Nera ad Ovest di Narni: versante meridionale (a) ed orientale (b) di M. S. Croce.
 1) Sovrascorrimento di M. S. Croce; 2) faglie dirette; 3) limiti stratigrafici; CM) *Calcare massiccio*; Co) *Corniola*, *Rosso ammonitico*, Unità bacinali del Dogger-Malm; Ma) *Maiolica*; Sc) *Marne a Fucoidi*, *Scaglia bianca*, *Scaglia variegata*.

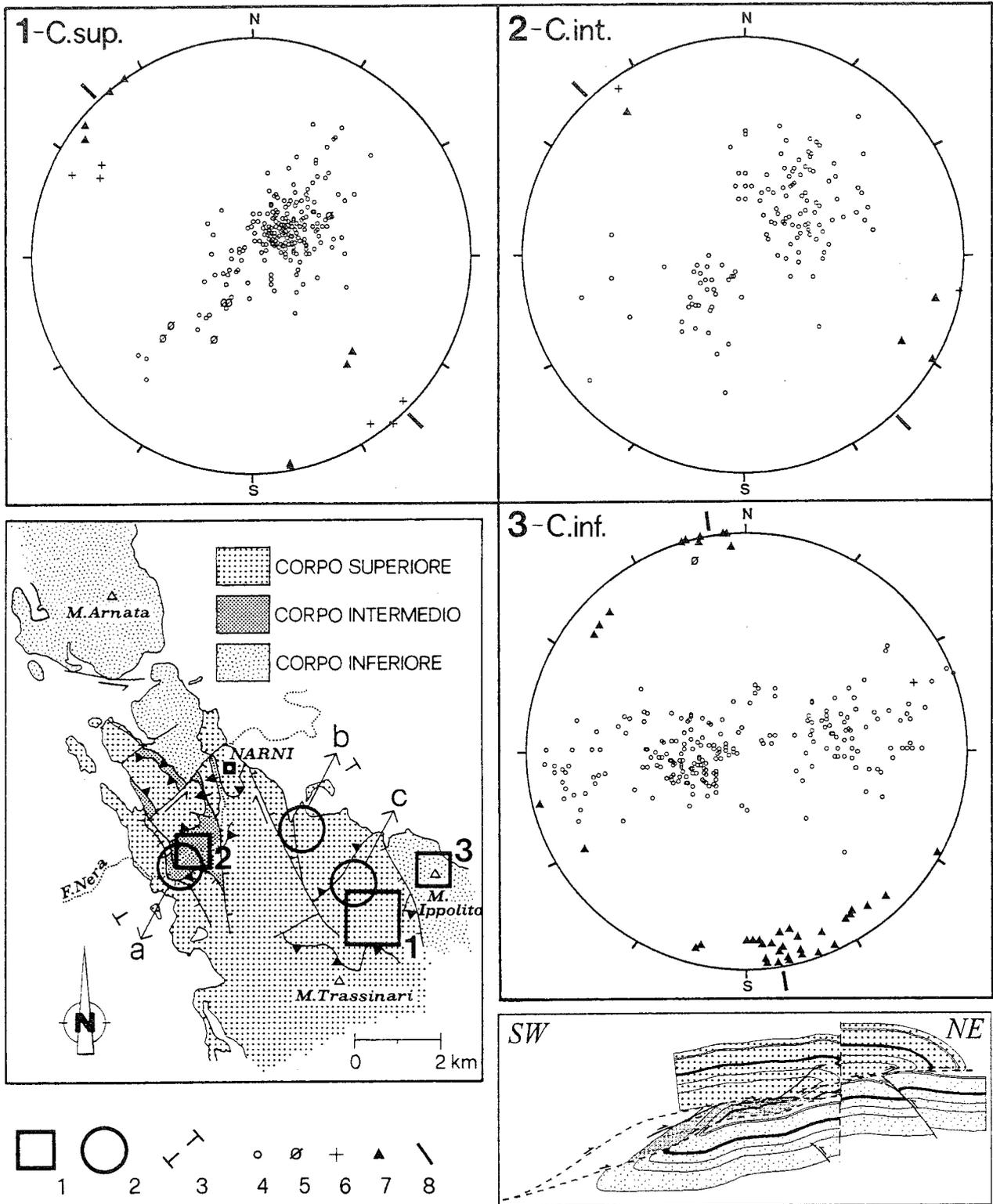


Fig. 5 - Proiezione su reticolo di Schmidt (emisfero inferiore) dei dati mesostrutturali rappresentativi rilevati nel Corpo superiore (M. Trassinari), Corpo intermedio (gola del F. Nera) e Corpo inferiore (M. Ippolito) della catena Narnese-Amerina nell'area in studio; ubicazione dei siti di analisi strutturale e sezione geologica schematica attraverso la gola del F. Nera restaurata allo stato pre-tettonica distensiva (stadio "b" di Tav. 2). 1) Siti di analisi strutturale delle deformazioni compressive; 2) siti di analisi tensoriale su popolazioni di faglie dirette striate (i risultati dell'analisi sono illustrati in Fig. 7); 3) traccia della sezione; 4) poli dei piani di strato; 5) poli dei piani assiali di mesopieghe; 6) cerniere di mesopieghe; 7) lineazione di intersezione tra stratificazione e clivaggio da dissoluzione per pressione; 8) cerniera della megastruttura plicativa.

C. int. e verso sud è "troncata" dalla faglia trascorrente sinistra S. Casciano - Nera Montoro. Una sinclinale con nucleo in Scaglia cinerea, in tutto analoga al-

la struttura di S. Casciano precedentemente descritta, affiora più a sud, nei pressi di V. Valli. La continuità longitudinale di tale struttura è confermata dai dati del-

la galleria Recentino (Fig. 3C). Tali analogie fanno ritenere che la sinclinale di V. Valli rappresenti la continuazione meridionale di quella di S. Casciano, traslata nella posizione attuale dall'azione combinata delle trascorrenti S. Casciano - Nera Montoro (sinistra) e Narni - P.gio Macchie (destra).

Ancora più a nord, nell'area di M. Arnata, il C. inf. risulta infine disarticolato in una serie di blocchi delimitati da faglie a geometria e cinematica non sempre agevolmente definibile.

Deformazioni trascorrenti

La struttura dei monti di Narni è dislocata da due importanti lineamenti tettonici: la faglia trascorrente sinistra S. Casciano - Nera Montoro, con direzione N45°, e la faglia trascorrente destra Narni - P.gio Macchie, con direzione N155°. Per quest'ultima nonostante si abbiano numerose evidenze geologiche e morfologiche della sua esistenza (Fig. 6), non è stato possibile osservare direttamente il piano di faglia né gli indicatori cinematici ad esso associati. Le correlazioni fra la rampa laterale di Narni e Cappuccini e fra la sinclinale rovesciata verso ovest di S. Casciano e V. Valli, nonché gli stretti vincoli geometrici imposti dai dati di sottosuolo (Fig. 3C) suggeriscono che tale faglia abbia una giacitura subverticale e che sia stata attiva a più riprese con cinematica diversa. Durante la fase compressiva essa avrebbe infatti agito come trascorrente destra dislocando la rampa laterale di Narni e mettendo in contatto il C. sup. del settore settentrionale con l'anticlinale di Narni. Durante la fase distensiva sarebbe stata invece riattivata con movimenti normali o transtensivi ribassando il blocco orientale rispetto a quello occidentale (Tav. 1, Fig. 3C). Un'importante elemento di svincolo trasversale alla Catena narnese-amerina è inoltre identificabile nella faglia trascorrente sinistra di S. Pellegrino il cui piano, sub-verticale, con direzione E-W, affiora in prossimità dell'omonima località.

Deformazioni distensive

Coerentemente con quanto si osserva alla scala dell'intera area umbra le strutture compressive e trascorrenti sono dislocate da elementi strutturali distensivi plio-pleistocenici. Sono stati riconosciuti due principali sistemi di faglie dirette: un Sistema bordiero occidentale (S. occ.) ed un Sistema bordiero orientale (S. or.). Nell'ambito di entrambi i sistemi è stato inoltre possibile individuare famiglie di piani di diversa generazione caratterizzate da differente inclinazione; in particolare le faglie dirette a più basso angolo, presumibilmente di genesi precoce, risultano dislocate da faglie a maggiore inclinazione enucleatesi successivamente.

Al S. occ. appartengono le faglie che si osservano lungo la gola del F. Nera, ad est di Stifone e Taizzano (Fig. 4a), e che più a nord bordano il versante occidentale di M. S. Croce. Si tratta di faglie vicarianti, a direzione compresa fra N135° e N150°, con inclinazione media di 40°. Complessivamente ribassano verso SW il sovrascorrimento di M. S. Croce fino a quote inferiori a quelle del F. Nera. La più interna delle faglie del S. occ., osservabile solo ad est di Nera Montoro, presumibilmente si sviluppa con continuità, al di sotto dei depositi marini, per tutto il margine sud-occidentale della struttura carbonatica. Nel settore nord-occidentale (Fornole) la tettonica distensiva ha dato origine ad un sistema di strette depressioni strutturali parallele all'allungamento della Catena e localmente

ricoperte dai depositi trasgressivi del Pleistocene (Tav. 1). Due principali sistemi di faglie dirette delimitano tali depressioni: uno ad alto angolo di inclinazione (80°) immergente a SW, ed uno a più basso angolo (45°) ad immersione orientale. Le faglie appartenenti ai due sistemi mostrano rigetti paragonabili ribassando sul *Calcarea massiccio* la successione cretacea compresa tra la *Maiolica* e la *Scaglia rossa*.

Al S. or. appartengono le faglie dirette che si sviluppano lungo la fascia orientale della dorsale carbonatica (Tav. 1). Tali strutture immergono prevalentemente verso NE e mostrano direzioni generalmente comprese fra N140° e N160°. L'inclinazione dei piani di faglia è di 60-70° e il rigetto massimo misurabile non supera alcune centinaia di metri. Più in particolare a tale sistema appartengono le faglie vicarianti di S. Casciano - Capitone, le strutture che, immediatamente ad ovest di Narni, delimitano verso est l'*horst* di M. S. Croce (Fig. 4b) e, più a sud, le faglie del sistema Montello - Lago dell'Aia e quelle del sistema di M. Ippolito. In quest'ultimo caso i piani di faglia immergono verso SW.

Pur appartenendo al S. or. la "faglia della galleria Recentino" la cui geometria, ricostruita nella sezione di figura 3C, è vincolata da dati geologici di superficie e di sottosuolo, mostra una giacitura anomala, caratterizzata da un'inclinazione non superiore a 25°. Essa può quindi essere ragionevolmente interpretata come faglia di prima generazione coniugata alle faglie a più basso angolo del S. occ.

Localmente (S. Casciano) la connessione fra faglie contigue si realizza lungo strutture trasversali che agiscono da faglie di trasferimento. Tali segmenti, per i quali è ipotizzabile una cinematica transtensiva, si sviluppano per lo più sull'ideale prolungamento di faglie trascorrenti che sembrano essere state in parte riattivate.

Da quanto sinora descritto e come si può dedurre dall'osservazione della tavola 1, la maggior parte delle dislocazioni distensive si realizzano lungo sistemi di faglie a direzione prevalentemente "appenninica" (da N135° a N170°). Tuttavia, per quanto subordinate, non possono essere trascurate le faglie a sviluppo circa E-W che, in alcuni casi, hanno un'importanza rilevante. Fra queste le principali sono: le faglie coniugate di Borgaria (a direzione E-W), la faglia di Taizzano (anch'essa a direzione E-W) e la faglia N105° di Narni.

Movimenti di tipo diretto o transtensivo hanno interessato anche faglie preesistenti ad alto angolo di inclinazione, come la trascorrente destra Narni - P.gio Macchie, di cui si è già discusso, e la trascorrente sinistra di S. Pellegrino. Per quest'ultima le evidenze di riattivazione, anche di carattere mesostrutturale, si osservano lungo il piano di faglia nei pressi di Pod. Camartana Alta.

L'applicazione di metodi analitici di inversione (CAREY & BRUNIER, 1974) a popolazioni di faglie dirette striate rilevate in aree campione rappresentative dei sistemi precedentemente descritti (Fig. 7) ha consentito di definire per i settori settentrionale e centrale dell'area in studio, un campo di sforzi distensivo con σ_3 sub-orizzontale in direzione media N60° e con rapporto di forma (R) compreso fra 0.5 e 0.7. Sensibili divergenze da questo campo dominante sono state ottenute per il settore meridionale (zona Cappuccini - Cardano) dove alcune faglie striate si mostrano compatibili con un campo di sforzi caratterizzato da σ_3 in direzione N20° (Fig. 7c'). Piuttosto che ad una polifasatura nel contesto della tettonica distensiva, tale di-

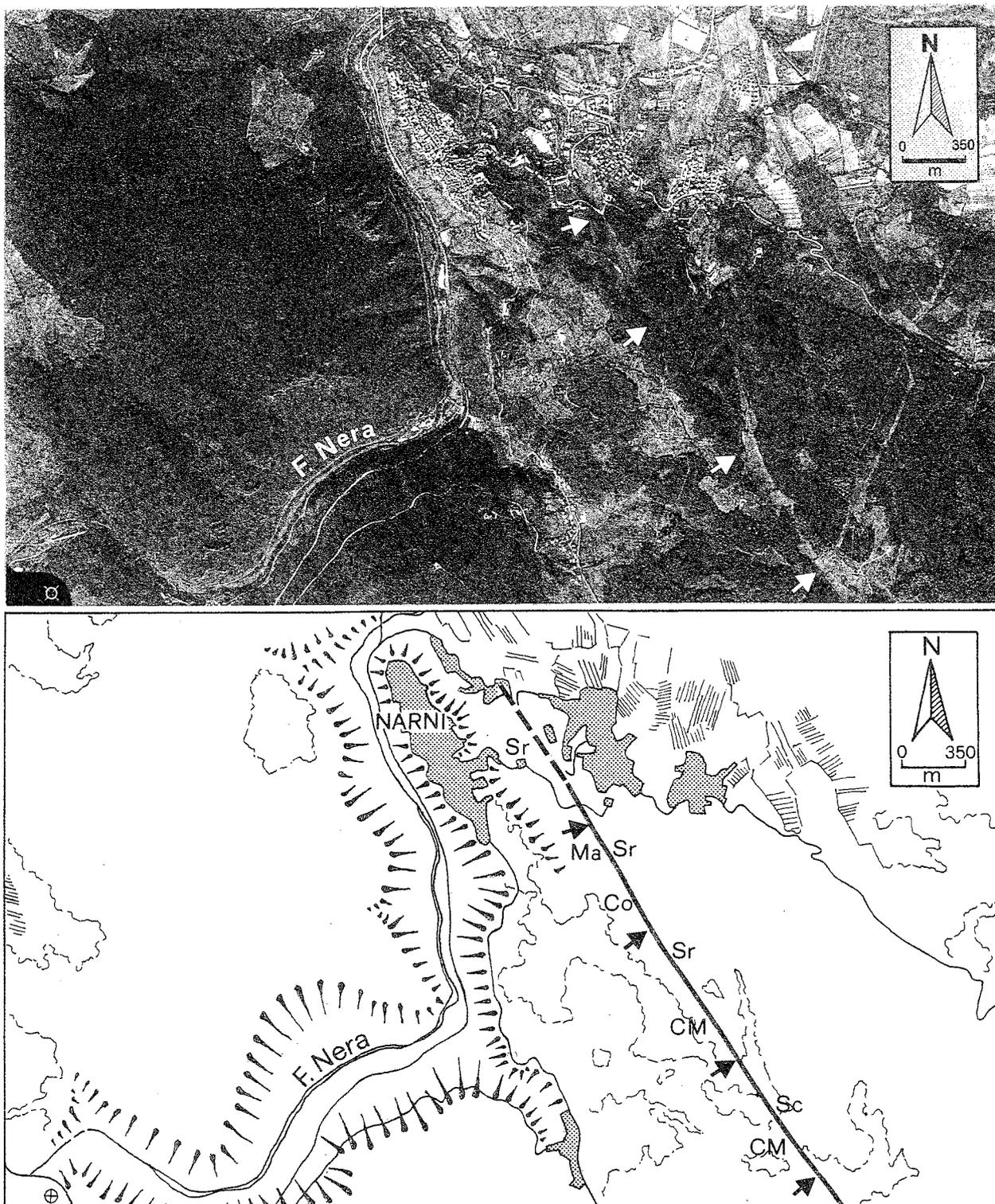


Fig. 6 - Foto aerea dell'area di Narni. Le frecce indicano la faglia Narni-P. gio Macchie. CM) *Calcere massiccio*; Co) *Corniola*; Ma) *Rosso ammonitico-Marne a Fucoidi*; Sr) *Scaglia bianca e rossa*; Sc) *Scaglia variegata e cinerea*. La successione compresa fra la Corniola e la Scaglia Rossa ad Ovest della faglia è in giacitura rovescia e costituisce il fianco orientale dell'anticlinale di Narni-M. Trassinari (C. sup.); ad Est della faglia la successione affiorante è in giacitura normale.

vergenza è a nostro avviso legata alla configurazione geometrica pre-estensionale dell'area. Infatti la presenza di discontinuità trascorrenti preesistenti, orientate obliquamente rispetto al σ_3 del campo distensivo regionale, potrebbe avere influenzato l'evoluzione delle strutture distensive in superficie, generando campi di sforzo locali con σ_3 in direzione N20°. Una seconda ipotesi è che le

faglie striate non compatibili con il tensore regionale calcolato possano in realtà essere state generate in un campo di sforzi ad esso coassiale ma caratterizzato da un diverso rapporto di forma. Queste ipotesi sono tuttavia in fase di verifica e necessitano di un campionamento mesostrutturale più esteso ed omogeneamente distribuito in tutta l'area di nostro interesse.

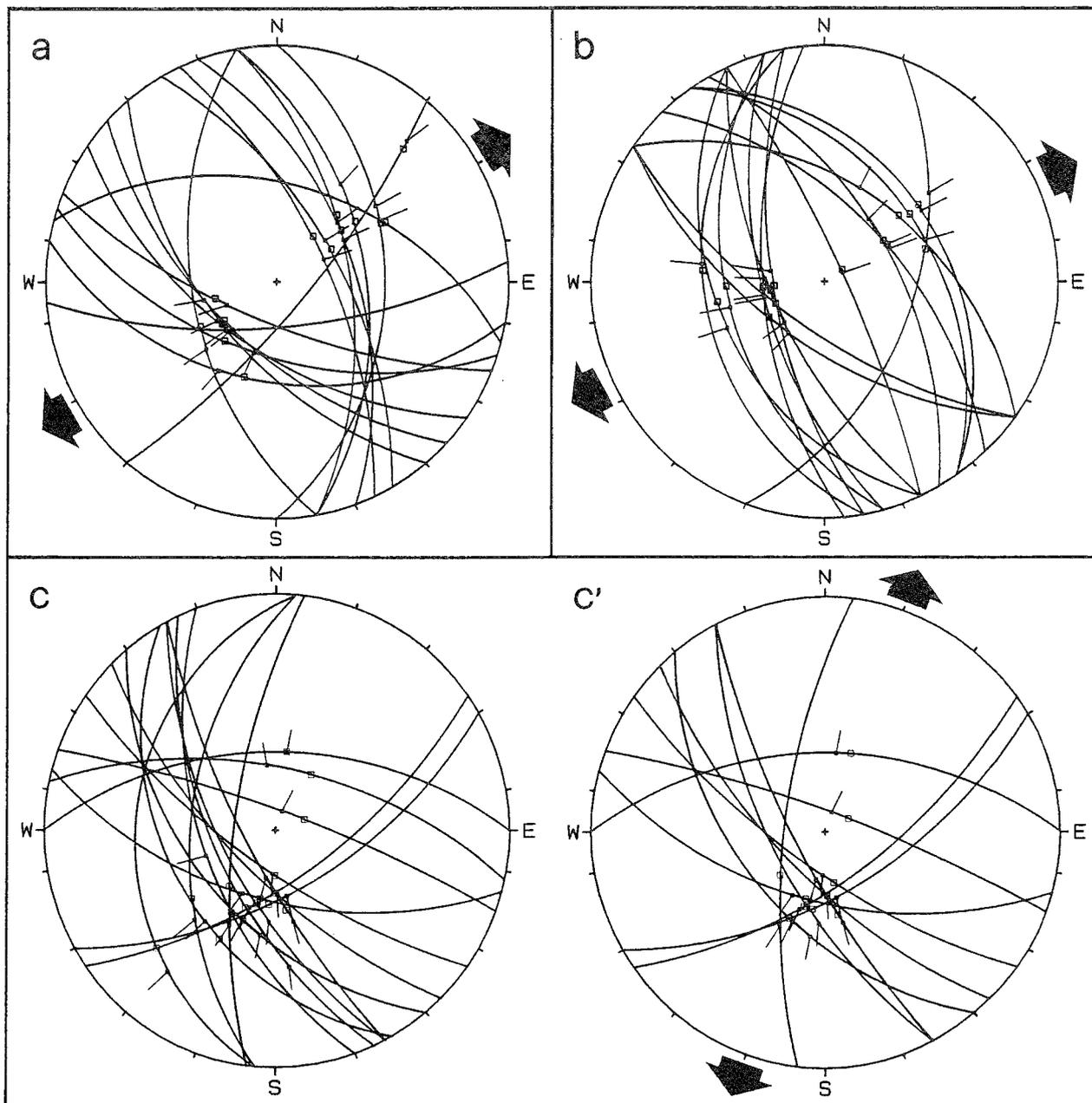


Fig. 7 - Analisi tensoriale delle faglie dirette striate (secondo il metodo di inversione di CAREY & BRUNIER, 1974) rilevate nella porzione occidentale della gola del F. Nera (a), nell'area di V.Valli (b) e nell'area di Cappuccini-Cardano (c); l'ubicazione dei siti strutturali è riportata in Fig. 5. I piani di faglia (tracce ciclografiche) e le relative strie (trattino = stria misurata, quadrato vuoto = stria teorica) sono proiettati su reticolo di *Wulff*, emisfero inferiore. La freccia materializza la direzione dell'asse σ_3 . Il calcolo ha fornito i seguenti risultati (gli assi degli sforzi vengono indicati in immersione ed inclinazione): area "a": $R = 0.5$; $\sigma_1 = 08278$; $\sigma_2 = 32905$; $\sigma_3 = 23810$; $(t-s) < 20^\circ = 100\%$; area "b": $R = 0.7$; $\sigma_1 = 04280$; $\sigma_2 = 15404$; $\sigma_3 = 24509$; $(t-s) < 20^\circ = 89\%$. Dallo stereogramma "c", dove vengono riportate tutte le faglie rilevate nell'area di Cappuccini-Cardano, è possibile individuare e selezionare una popolazione di strutture (c') compatibili con un tensore caratterizzato dai seguenti valori: $R = 0.79$; $\sigma_1 = 15581$; $\sigma_2 = 29106$; $\sigma_3 = 02106$; $(t-s) < 20^\circ = 92\%$ i restanti piani striati sono invece compatibili con il tensore calcolato nei settori "a" e "b" (σ_3 in direzione media N60°).

LA SEZIONE GEOLOGICA TAIZZANO - LAGO DELL'AIA

Le relazioni geometriche fra le varie strutture compressive e distensive osservate nella zona di Narni sono state estrapolate in profondità in una sezione geologica che si estende per circa 6,5 km in direzione SW-NE da Taizzano al Lago dell'Aia (Tav. 2). La porzione occidentale della sezione attraversa la finestra tet-

tonica del F. Nera, mentre la porzione orientale è in asse al tracciato della galleria Recentino e coincide, nel tratto compreso tra il F. Nera ed il Lago dell'Aia, con la sezione di figura 3C; essa mostra quindi le giuste condizioni di vincolo e la necessaria quantità di dati per l'estrapolazione in profondità delle geometrie di superficie e può essere ragionevolmente considerata come rappresentativa delle caratteristiche e dell'entità della deformazione per questo settore della Catena narnese-

amerina. La successione sedimentaria considerata per la costruzione della sezione comprende solo i termini per i quali è stato possibile misurarne o ricavarne lo spessore, è quindi compresa fra la base del *Calcare massiccio* ed il tetto della *Scaglia cinerea*. L'estrapolazione in profondità della geologia di superficie è stata seguita da un bilanciamento areale che ha consentito di limitare gli errori di costruzione e di quantificare l'entità della deformazione.

Stile strutturale

Come noto, la costruzione di sezioni geologiche bilanciate comporta l'assunzione di un modello che descriva l'evoluzione cinematica nello spazio delle strutture deformative. In questo lavoro si è assunto che la deformazione lungo la traccia della sezione sia avvenuta in condizioni di *plane strain* (i.e. deformazione cilindrica) e secondo i vincoli ampiamente discussi in BARCHI *et alii* (1988) per la costruzione di sezioni bilanciate attraverso l'Appennino umbro-marchigiano.

Allo stile deformativo adottato per l'estrapolazione in profondità delle strutture osservate in superficie possono essere applicate le stesse considerazioni espresse in LAVECCHIA (1985) e in BARCHI *et alii* (1988) sulle strutture compressive dell'Appennino umbro-marchigiano. Le geometrie rilevabili in copertura risultano infatti consistenti con un modello secondo il quale le strutture plicative maggiori e le mesostrutture ad esse associate precedono l'emersione in superficie delle strutture per taglio compressive, transpressive e trascorrenti, che le dislocano e/o ne producono la rotazione. In particolare, la geometria delle strutture compressive dell'area in studio è interpretabile come il prodotto di una deformazione progressiva articolata in due momenti successivi:

— al primo momento, in cui prevalgono le deformazioni plicative, sarebbe legata l'enucleazione dell'anticlinale asimmetrica a vergenza orientale di Narni - M. Trassinari dove anche il *Calcare massiccio*, in virtù di uno spessore (circa 350 m) ridotto rispetto a quello normalmente osservato nelle successioni dell'Appennino umbro-marchigiano, sarebbe stato coinvolto nel progressivo rovesciamento verso NE del fianco orientale (Tav. 2d). Più esternamente si sarebbero enucleate la sinclinale S. Casciano - V. Valli, con piano assiale ad immersione orientale, e l'anticlinale di M. Ippolito (C. inf.). Per quest'ultima la geometria a scatola è riconducibile ad un modello deformativo che prevede un raccorciamento per faglie inverse del *Calcare massiccio* su entrambi i fianchi della piega (LAVECCHIA, 1981); la struttura sinclinale di S. Casciano - V. Valli è quindi interpretabile come la manifestazione superficiale del *back thrust* posto sul fianco occidentale di una *box fold* vicariante con la struttura di M. Ippolito;

— nel secondo momento, in cui prevalgono le deformazioni per taglio, i due piani di sovrascorrimento che delimitano il C. int. avrebbero dislocato la struttura plicativa agendo subcontemporaneamente e determinando un ulteriore coricamento ed assottigliamento del fianco rovescio (Tav. 2c). Il sovrascorrimento superiore (di M. S. Croce) si sarebbe sviluppato alla base del *Calcare massiccio* determinando, nelle rocce al letto, intensi processi di laminazione. Le deformazioni associate a tali processi avrebbero quindi "assorbito" la maggior parte della dislocazione orizzontale. Il sovrascorrimento inferiore (di Cardano) avrebbe dislocato invece il fianco rovescio in profondità, trovando nella

Scaglia cinerea dell'antistante sinclinale un orizzonte preferenziale di scollamento e determinando l'accavallamento dell'intera struttura sul C. inf.

Bilanciamento

Per il bilanciamento della sezione (Tav. 2a) e, conseguentemente, per il calcolo del raccorciamento e dell'estensione, si è reso necessario eliminare preliminarmente gli effetti della tettonica distensiva. La sezione è stata quindi restaurata allo stato pre-tettonica distensiva (Tav. 2b) muovendo all'indietro i blocchi fagliati lungo le superfici di faglia normale fino a far coincidere punti omologhi. Nel retrodeformare i blocchi fagliati si è tenuta presente la successione degli eventi deformativi eliminando dapprima gli effetti delle faglie ad alto angolo e, ove non esistessero precisi vincoli geometrici, procedendo dall'esterno verso i settori più interni. La presenza della faglia trascorrente destra Narni - P.gio Macchie rappresenta un elemento non trascurabile ai fini del bilanciamento, risulta infatti non verificato uno dei presupposti fondamentali per l'applicazione del modello cinematico, che prevede la conservazione delle aree lungo il piano della sezione. Si è reso quindi necessario posizionare il chiodo esterno in corrispondenza della stessa faglia ed estrapolare verso est la continuazione del nucleo anticlinale di Narni (Tav. 2c). Un ulteriore problema per il calcolo del raccorciamento è rappresentato dall'estrapolazione in profondità della sinclinale antistante la struttura anticlinale di Narni, a causa dell'incertezza sull'entità del rigetto del sovrascorrimento inferiore. Si è quindi proceduto facendo in modo che quest'ultimo corrispondesse a quello minimo compatibile con i dati di superficie e con lo stile deformativo adottato; la sezione può quindi considerarsi, da questo punto di vista, conservativa.

L'entità del raccorciamento per la struttura compresa fra i chiodi della sezione di tavola 2c è di 5,5 km, pari cioè al 65,48% della lunghezza del *multilayer* indeformato (Tav. 2e). L'entità dell'estensione è stata invece determinata per l'intera struttura interessata dalla sezione (Tav. 2a); il valore ottenuto è di 2,2 km, pari cioè al 45,8% della lunghezza preestensionale (Tav. 2b).

CONCLUSIONI

L'analisi geometrica e cinematica realizzata nell'area circostante Narni ci consente di puntualizzare alcuni aspetti circa l'assetto tettonico e l'evoluzione spazio-temporale del settore centrale della Catena narnese-amerina:

— il principale carattere strutturale compressivo, databile all'intervallo Serravalliano *p.p.* - Tortonianiano *p.p.*, è rappresentato dalla sovrapposizione di una struttura anticlinale a direzione assiale N135° e vergenza orientale (anticlinale di Narni - M. Trassinari) su di un Corpo intermedio, con geometria di tipo *horse*, costituito da un'estesa porzione del fianco rovesciato e laminato dell'anticlinale stessa. L'insieme delle due unità strutturali si accavalla su un'unità più esterna (Corpo inferiore) già strutturata in sistemi di anticlinali (M. Ippolito) e sinclinali localmente a vergenza occidentale (S. Casciano - V. Valli), con direzione assiale N170°.

— Le sopraddette unità strutturali sono separate da due piani di sovrascorrimento (di M. S. Croce e di Carda-

no) che, ove direttamente osservabili, mostrano un basso angolo di inclinazione. Localmente (Narni - Capuccini) il sovrascorrimento superiore (di M. S. Croce) mostra una geometria di tipo "rampa laterale" con direzione N40° e cinematica transpressiva destra.

— Le geometrie di superficie sono compatibili con un modello deformativo secondo il quale le strutture plicative e le mesostrutture ad esse associate precedono l'emersione in superficie dei sovrascorrimenti e delle strutture di taglio transpressive (LAVECCHIA, 1985; BARCHI *et alii*, 1988) che le dislocano e/o ne producono rotazione.

— L'intera struttura compressiva è dislocata da importanti zone di taglio trascorrenti. Fra queste, di particolare importanza è la trascorrente sinistra E-W di San Pellegrino, elemento di svincolo tra la dorsale narnese a sud e quella amerina a nord, la trascorrente destra Narni - P.gio Macchie (a direzione N155°) e la trascorrente sinistra S. Casciano - Nera Montoro (a direzione N45°).

— L'entità delle deformazioni associate a compressione, calcolata lungo una sezione bilanciata che attraversa la finestra tettonica del F. Nera, è quantificabile dove le strutture non sono interessate da movimenti orizzontali dovuti a trascorrenza. E' quindi possibile definire l'entità del raccorciamento solo per la struttura di Narni - M. S. Croce, ad ovest della faglia trascorrente destra Narni - P.gio Macchie: esso è pari a 5,5 km e corrisponde al 65,48% del *multilayer* indeformato.

— Le strutture compressive e trascorrenti sono a loro volta dislocate da elementi strutturali distensivi plio-pleistocenici. Tali sistemi presentano direzioni medie comprese fra N140° e N160° e comprendono sia strutture a basso angolo di inclinazione (Sistema bordiero occidentale e faglia della galleria Recentino) che successive strutture ad alto angolo (60-70°) prevalentemente ad immersione orientale (Sistema bordiero orientale). Meno frequenti sono i sistemi di faglie dirette in direzione N100° ± 10°.

— Processi di inversione tettonica in distensione interessano preesistenti faglie trascorrenti (faglia di S. Pellegrino e faglia Narni - P.gio Macchie); non mostrano, al contrario, evidenze di inversione tettonica le principali superfici di sovrascorrimento a basso angolo.

— L'applicazione di metodi analitici di inversione (CAREY & BRUNIER, 1974) a popolazioni di faglie striate rilevate in idonei siti strutturali ha consentito di definire un campo di sforzi distensivo triassiale con σ_3 suborizzontale orientato mediamente in direzione N60°.

— L'entità dell'estensione calcolata per l'intera struttura carbonatica compresa fra i bacini plio-pleistocenici che la delimitano ad ovest e ad est è di 2,2 km, pari cioè al 45,8% della lunghezza pre-estensionale.

Un aspetto particolarmente interessante emerso dall'analisi geometrica e strutturale è rappresentato dalla sovrapposizione di unità tettoniche non coassiali: l'anticlinale di Narni - M. Trassinari, con direzione assiale N135°, si accavalla infatti su un'unità inferiore strutturata in sistemi di pieghe a direzione assiale N170° (anticlinale di M. Ippolito e sinclinale di S. Casciano - V. Valli). Tale situazione strutturale è già stata rilevata, alla scala dell'intera area umbro-sabina, da CALAMITA *et alii* (1994) i quali definiscono la Catena narnese-amerina come un'unità strutturale superiore, accavallata, a seguito della riattivazione del sovrascorrimento di Narni (*out of sequence*), su un edificio già

strutturato nelle unità dei M. Martani e dei M. Sabini. PIERANTONI & PONTONI (1995) evidenziano inoltre che nel settore meridionale della Catena narnese-amerina l'anticlinale di M. Cosce, che rappresenta la prosecuzione meridionale della struttura di Narni - M. Trassinari, si accavalla su un'antistante sinclinale a direzione N-S (sinclinale di Lugnola). MATTEI *et alii* (1995), sulla base di dati paleomagnetici, di AMS e strutturali, ritengono che l'attuale configurazione geometrica dell'area ad est di M. Cosce (area sabina), a direttrici strutturali prevalentemente N-S, sia il risultato di una progressiva rotazione in senso orario avvenuta contemporaneamente all'attivazione della linea Olevano - Antrodoco come *thrust* fuori sequenza e della Faglia sabina (ALFONSI *et alii*, 1991) come trascorrente destra. Secondo gli stessi autori le rotazioni evidenziate dai dati paleomagnetici si inquadrebbero nell'ambito di un modello di evoluzione tettonica dell'Appennino centrale caratterizzato da rotazioni differenziali di blocchi crostali avvenute in una fase tardiva dell'orogenesi neogenica, ad originarie direttrici tettoniche NW-SE.

Nell'ambito di tale modello tettonico resta tuttavia ancora non ben definita la collocazione spaziotemporale della Catena narnese-amerina ed in particolare la natura dei rapporti fra quest'ultima e le strutture ad essa sottostanti, ad affinità strutturale (direzioni assiali circa N-S) con il Dominio sabino. I dati in nostro possesso non ci consentono peraltro di definire in modo univoco la sequenza di eventi deformativi responsabile delle divergenze assiali rilevate. Sulla base dei dati raccolti e da osservazioni alla scala regionale, è tuttavia possibile ipotizzare che l'assetto strutturale dell'area di studio si sia originato nell'ambito di un contesto evolutivo caratterizzato dalla progressiva successione e migrazione verso est delle fasi deformative compressive e distensiva. In particolare si può ipotizzare il susseguirsi dei seguenti eventi deformativi: **Ia** - a partire dal Serravalliano (*p.p.*) l'area è interessata da una fase tettonica compressiva che determina l'enucleazione delle anticlinali di Narni - M. Trassinari e M. Ippolito e delle sinclinali di S. Casciano - V. Valli e Lugnola, a direzione assiale NW-SE; **Ib** - le strutture plicative più esterne (anticlinale di M. Ippolito e sinclinale di S. Casciano - V. Valli e Lugnola) subiscono una rotazione oraria (fino a direzioni N170°) lungo una fascia a trascorrenza destra di cui la Faglia sabina rappresenta l'espressione superficiale più evidente;

Ic - col progredire della deformazione l'anticlinale di Narni - M. Trassinari è dislocata dalle superfici di sovrascorrimento di M. S. Croce e di Cardano che ne producono l'accavallamento sulle strutture più esterne; contemporaneamente la rampa laterale di Narni - Capuccini, a direzione N40°, favorisce il maggiore avanzamento verso NE del C. sup. nel settore settentrionale; **Id** - le deformazioni trascorrenti, cominciate nella fase Ib, perdurano fin dopo l'accavallamento delle strutture compressive determinando la loro dislocazione e/o producendo locali rotazioni assiali.

Iia - Al campo di sforzi compressivo segue e si sovrappone, a partire dal Pliocene inferiore, un pressoché coassiale campo di sforzi distensivo con σ_3 suborizzontale "antiappenninico" cui è legata l'enucleazione di una prima generazione di faglie dirette a basso angolo di inclinazione (Sistema bordiero occidentale e faglia della galleria Recentino);

Iib - una seconda generazione di faglie dirette a più

alto angolo, immergenti prevalentemente a NE (Sistema bordiero orientale), disloca infine le strutture precedentemente formate.

Nell'ambito delle fasi IIa e IIb il regime tettonico distensivo comporta la riattivazione con movimenti normali o transtensivi di preesistenti faglie trascorrenti, come la trascorrente destra Narni - P. gio Macchie e la trascorrente sinistra di S. Pellegrino.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Consorzio COMAVI, ed in particolare il Dott. Ing. A. PIGORINI, per aver messo a disposizione i dati di sottosuolo acquisiti durante la campagna di indagine geognostica preliminare ed escavazione della galleria Santa Croce. Ringraziamo inoltre il Prof. G. PIALLI, i cui suggerimenti sono stati preziosi sia durante la fase di rilevamento di campagna che di analisi dei dati, ed un referee anonimo, per la revisione critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- ALFONSI L., FUNICIELLO R., MATTEI M., GIROTTI O., MAIORANI A., PREITE MARTINEZ M., TRUDU C. & TURI B. (1991) - *Structural and geochemical features of the Sabina strike-slip fault (Central Apennines)*. Boll. Soc. Geol. It. **110**, 217-230.
- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LANDINI B., PARISI G. (1987) - *Il Pliocene ed il Pleistocene inferiore del bacino del fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **10**, 10-33.
- 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.
- BASILICI G. (1992) - *Il Bacino continentale Tiberino (Plio-Pleistocene, Umbria): analisi sedimentologica e stratigrafica*. Tesi di Dottorato. Università degli Studi di Bologna.
- CALAMITA F., PIERANTONI P.P. & ROMANO A. (1994) - *La "virgazione" umbro-sabina (Appennino Centrale): assetto strutturale e cronologia della deformazione*. Riassunti 77^a riunione estiva, Congresso nazionale, Soc. Geol. It., Bari 26-28 sett. 1994, 84-86.
- CAREY E. ET BRUNIER B. (1974) - *Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles*. C.R. Acad. Sci., Paris, **269**, (D), 891-894.
- CENTAMORE E., IACOBACCI A. E MARTINELLI G. (1972) - *Modello strutturale umbro-marchigiano. Correlazioni possibili con le regioni adiacenti*. Boll. Serv. Geol. d'It., **83**, 155-188.
- CHIOCCHINI U., CHIOCCHINI M., MANNA F. (1987) - *Studio idrogeologico per il tracciato della Galleria Santa Croce della linea ferroviaria Orte-Falconara*. Geologia Applicata ed Idrogeologia, **22**, 105-140.
- CHIOCCHINI M., MANFREDINI M., MANGANELLI V., NAPPI G., PANNUZZI L., TILIA ZUCCARI A., ZATTINI N. (1975) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Fogli 138-144*. Serv. Geol. d'It., **117**.
- CIARAPICA G., CIRILLI S., PASSERI L., TRINCIANTI E. & ZANINETTI L. (1987) - *"Anidriti di Burano" et "Formation du Monte Cetona" (nouvelle formation), biostratigraphie de deux series-types du Trias superieur dans l'Appennin septentrional*. Revue de Paléobiol., Genève, **6** (2), 341-409.
- COLACICCHI R., NOCCHI M., PARISI G., MONACO P., BALDANZA A., CRESTA S., PALLINI G. (1988) - *Paleoenvironmental analysis from Lias to Malm (Corniola to Maiolica formations) in the Umbria-Marche Basin, central Italy*. In: second international symposium on jurassic stratigraphy, 717-728.
- CONFORTO B. & PARBONI F. (1963) - *Contributo alla conoscenza dei monti di Narni*. Boll. Soc. Geol. It., **82**, 3-15.
- FAZZINI P. (1968) - *La Geologia dei Monti d'Amelia (TR)*. Mem. Soc. Geol. It., **7**, 441-469.
- LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: Analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., **104**, 161-194.
- LOTTI B. (1926) - *Descrizione geologica dell'Umbria*. Mem. Descr. Carta Geol. It., **21**, 1-320.
- MATTEI M., FUNICIELLO R. & KISSEL C. (1995) - *Paleomagnetic and structural evidence for Neogene block rotations in the Central Apennines, Italy*. J. Geophys. Res., **100**, B9, 17,863-17,883.
- PASSERI L. & PIALLI G. (1972) - *Facies lagunari nel Calcare Massiccio dell'Umbria occidentale*. Boll. Soc. Geol. It., **91**, 345-364.
- PIERANTONI P.P. & PONTONI R. (1995) - *Il sovrascorrimento di Narni (Appennino centrale)*. Riassunti del Convegno Scientifico "Geodinamica e Tettonica Attiva del Sistema Tirreno-Appennino", Camerino 9-10 feb., 360-362.