

STILE STRUTTURALE E CRONOLOGIA DELLA DEFORMAZIONE  
LUNGO LA TRAVERSA M.S. VICINO - POLVERIGI (APPENNINO MARCHIGIANO ESTERNO)

INDICE

|   |      |
|---|------|
| RIASSUNTO   | pag. |
| ABSTRACT  | ”    |
| PREMESSA  | ”    |
| INQUADRAMENTO STRUTTURALE E DATI GEOLOGICI DI SUPERFICIE  | ”    |
| DATI GEOLOGICI DI SOTTOSUOLO ED INTERPRETAZIONE DELLE LINEE SISMICHE RELATIVE ALLA TRAVERSA M.S. VICINO-POLVERIGI | ”    |
| DISCUSSIONE E CONCLUSIONI   | ”    |
| BIBLIOGRAFIA  | ”    |

RIASSUNTO

L'analisi di dati geologici (di superficie e di sottosuolo) e di alcuni profili sismici relativi alla traversa M.S. Vicino-Polverigi (che si estende per una distanza di circa 35 km, dal fronte montuoso appenninico fino alla zona interna della fascia costiera adriatica) ha consentito di definire modalità e tempi di strutturazione delle zone esterne del settore centrale del sistema a *thrust* umbro-marchigiano.

In particolare, in questo lavoro, sono state affrontate le seguenti problematiche:

- individuazione dei sovrascorrimenti non affioranti e definizione delle loro geometrie;
- cronologia del sovrascorrimento dei M. Sibillini e di quelli più esterni compresi nella traversa;
- rapporti tra le faglie estensionali immergenti ad est ed i sovrascorrimenti.

Relativamente alla cronologia della strutturazione, i risultati ottenuti consentono di riferire principalmente al Messiniano superiore il sovrascorrimento non affiorante dei M. Sibillini. Per i sovrascorrimenti più esterni, la loro strutturazione è via via più recente verso est; infatti sono i depositi del Pliocene superiore che suturano il sovrascorrimento relativo alla culminazione di Polverigi che porta in affioramento i depositi del Pliocene inferiore.

Nell'ambito della traversa analizzata sono note le culminazioni dei terreni mesozoico-terziari di Cingoli e terziari di Strada, che in questo lavoro vengono attribuite all'unità di tetto del sovrascorrimento, non affiorante, di Cingoli. Tale sovrascorrimento è suturato dai depositi del Pliocene inferiore p.p. (zona a *G. puncticulata*).

Per quanto riguarda le faglie estensionali immergenti ad est, per esse viene ipotizzata un'attività sin dalle fasi terminali della messa in posto dei principali sovrascorrimenti.

Viene inoltre proposta una sezione geologica bilanciata lungo la medesima traversa e vengono calcolati i relativi raccorciamenti e tassi di *slip*.

ABSTRACT

Geological and seismic reflection data relative to the M.S.

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

(\*\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università della Calabria.

Indirizzo attuale: Dip. Scienze della Terra, Università di Camerino.

(\*\*\*) FIAT RI.MI. Milano

Vicino-Polverigi transect (Central Apennine) have been analyzed with the aim of characterizing the structural setting of the area and the timing of deformation in the external zones of the marchean thrust system.

The sedimentary fill of the NE migrating foredeep (and/or piggy-back) basins, associated with the sequential development of this thrust system, includes mostly siliciclastic deposits of Mio-Plio-Pleistocene age which are widespread in the whole external area.

Along the M.S. Vicino-Polverigi transect, axial culminations (Cingoli, Strada and Polverigi anticlines) of older sedimentary sequences have been recognized, and their mutual relationships established.

Surface geology data allowed us to recognize (and date) several unconformities and onlaps among the siliciclastic deposits and the anticline limbs as well as extensional features which are located along the macrofold forelimbs, whereas interpretation of a few seismic lines allowed us to identify five major thrust sheets and their associated post deformation sequences.

The main results of our work show that:

- the M. Sibillini thrust (in the study area) is buried below a complex triangle zone which completely masks the relationship between surface and subsurface geology; the age of thrust emplacement is mostly Upper Messinian;
- other thrusts which have been identified along the transect, are younger toward the east and they appear to be in sequence; the youngest recognized thrust (in the Polverigi area) is closed by Upper Pliocene deposits;
- north-east dipping extensional faults, as well as syn and post-thrusting deposits, outcropping in the area, often contribute to hidden thrusts and back-thrusts; thus demonstrating, again, that the complex relationships between surface and subsurface structures in the external zones of the marchean thrust system, need to be unravelled by means of integrated geological and seismic analyses.

These results also allowed us to draw a full-depth cross-section (Fig. 15) by assuming that the sole thrust is located at the base of the triassic evaporites, and that a deformation model of blind-thrust pre-thrusting may be applied to the system.

The section of Fig. 15, has been balanced between T2 and T5: the inferred shortening (derived for the balanced portion only) is roughly 30 km whereas slip rates (which have been calculated by using our own timing data) appear to be in the range of 7-8 mm/yr.

PAROLE CHIAVE: Analisi strutturale, Area marchigiana esterna, Età della deformazione, Stile deformativo.

KEY WORDS: Structural analysis, Outer marchean area, Timing of deformation, Structural style.

PREMESSA

L'analisi geologico-strutturale di superficie delle zone esterne dei sistemi a *thrust* risulta spesso complicata a causa della diffusione di coperture sedimentarie sin e post-orogeniche. D'altro canto, lo studio stratigrafico-sedimentologico di queste sequenze fornisce informazioni indispensabili sia per la definizione delle

modalità di strutturazione di tali aree che per la datazione degli eventi deformativi responsabili della costruzione della catena.

Per le zone esterne delle catene a pieghe e sovrascorrimenti è quindi fondamentale, ancor più che in altri contesti geologico-strutturali, integrare i dati di superficie con specifiche analisi di dati di sottosuolo (*logs* di pozzi e profili sismici calibrati).

Questo tipo di approccio, che ha fornito notevoli risultati nell'analisi regionale dei sistemi a *thrusts* (BALLY *et al.*, 1966; BALLY *et al.*, 1986), è stato da noi utilizzato per lo studio di dettaglio di un'area (quella marchigiana esterna) dove la risoluzione delle strutture sepolte al di sotto delle coperture plio-pleistoceniche è stata spesso problematica.

Un esempio nell'Appennino umbro-marchigiano è fornito dal *thrust* dei Sibillini il quale rappresenta una ben nota struttura regionale (KOOPMAN, 1983; LAVECCHIA, 1985; CALAMITA & DEIANA, 1986) che non è più osservabile, in affioramento, nell'area a nord del F. Chienti. Tale situazione è stata interpretata da alcuni Autori (Foglio 124, Macerata; AA.VV., 1982) come evidenza di un raccordo principalmente per piega tra l'anticlinale di M.S. Vicino (fronte montuoso appenninico) e la zona marchigiana esterna. Altri hanno considerato il *thrust* dei Sibillini come una struttura continua (DALLAN NARDI *et al.*, 1971) ed in parte sepolta, verso nord, nell'ambito di una zona triangolare complicata da una faglia estensiva immergente a NE (CALAMITA, 1986; CALAMITA & DEIANA, 1986; CALAMITA, 1990).

Questa problematica relativa al limite tra Appennino calcareo e zona marchigiana esterna è stata affrontata in questo lavoro, unitamente ad altri temi che riguardano le culminazioni esterne di Cingoli, Strada e Polverigi, integrando i dati di superficie e di sottosuolo disponibili lungo la traversa M.S. Vicino-Polverigi.

I risultati dello studio hanno consentito di costruire una sezione geologica pellicolare (dove sono riportate soluzioni rigidamente vincolate ai dati disponibili) lungo la quale sono stati definiti sia i rapporti geometrici che quelli cronologici tra il *thrust* dei Sibillini e quelli delle culminazioni più esterne. Sulla base di questi dati viene inoltre proposta una sezione interpretativa profonda per la quale sono stati stimati sia i raccorciamenti che i relativi tassi di *slip*.

## INQUADRAMENTO STRUTTURALE E DATI GEOLOGICI DI SUPERFICIE

L'area in esame fa parte del dominio esterno del sistema a *thrust* umbro-marchigiano. Questa catena a pieghe e sovrascorrimenti coinvolge una copertura sedimentaria rappresentata da una successione di piattaforma carbonatica spessa circa 800 m (Calcare massiccio, Trias superiore-Lias inferiore) che evolve a sequenze pelagiche con spessori variabili tra 900 e 1400 m. La differenza negli spessori delle sequenze di età post-liassica inferiore è da mettere in relazione all'esistenza di successioni giurassiche condensate, composte o complete (CENTAMORE *et al.*, 1986 e citazioni relative). Al di sopra delle sequenze pelagiche umbro-marchigiane si ritrovano depositi marini silico-clastici di età mio-plio-pleistocenica che rappresentano il riempimento di bacini di avanfossa e/ o di *piggy-back* che si impostano ed evolvono nel corso della strutturazio-

ne sequenziale della catena (BOCCALETTI *et al.*, 1986; PATACCA & SCANDONE, 1989; RICCI LUCCHI, 1990 e citazioni relative).

Le strutture regionali dell' Appennino umbro-marchigiano hanno un andamento NW-SE nel settore settentrionale (in cui ricade anche l'area in esame) e circa N-S in quello meridionale.

Il limite tra la zona marchigiana esterna e l'Appennino calcareo umbro-marchigiano è rappresentato, a scala regionale, dal sovrascorrimento dei Sibillini mentre, nell'area in esame, tale limite è dato dal fianco orientale dell'anticlinale di M.S. Vicino. In posizione esterna rispetto a questa struttura, lungo la traversa M.S. Vicino-Polverigi, affiorano le anticlinali di Cingoli, Strada e Polverigi (Fig. 1).

L'anticlinale di M.S. Vicino si segue con continuità verso sud (al di fuori dell'area studiata) fino a M. Vetore e porta in affioramento la successione liassico-miocenica. I termini oligo-miocenici della successione (dalla Scaglia cinerea allo Schlier) affioranti lungo il fianco orientale della struttura, sono in contatto tettonico (per faglia diretta) con quelli della successione messiniano-pliocenica della culminazione di Cingoli. Il contatto tettonico (immergente ad ENE) è ben visibile in località Palazzo ed a Serra S. Quirico (Figg. 2, 3), dove si realizza tra termini via via più recenti procedendo verso N.

La struttura di Cingoli è stata oggetto di numerosi studi a carattere principalmente geologico-stratigrafico (CIANCETTI & NANNI, 1989 e citazioni relative) ai quali si rimanda per la descrizione della successione affiorante. Tale culminazione è limitata, a nord, dalla faglia transpressiva sinistra di Apiro (ad andamento circa E-W) ed a sud dalla faglia di Monticoli, transpressiva destra e ad andamento circa NNE-SSW (Fig. 1). Le zone di taglio associate presentano piani transpressivi rispettivamente sinistri e destri, che si anastomizzano e delimitano un clivaggio di dissoluzione per pressione sigmoide orientato circa N140° (Fig. 4; tettoniti S-C secondo LISTER & SNOKE, 1984).

Lungo il fianco orientale dell'anticlinale di Cingoli, la successione messiniana post-Schlier è costituita dalla Formazione Gessoso-Solfifera e da conglomerati che, in quest'area, sostituiscono la Formazione delle Argille a Colombacci (Formazione di Avenale in: CARLONI, 1964). I corpi conglomeratici hanno geometria lenticolare e sono alternati a calcareniti e marne. I loro caratteri sedimentologici e petrografici suggeriscono una probabile iniziale elaborazione in un ambiente ad alta energia (verosimilmente subaereo) ed un'area di alimentazione prossimale individuabile nella stessa struttura di Cingoli; i clasti dei conglomerati derivano, infatti, quasi esclusivamente dalle Formazioni del Bisciario e della Scaglia. La successione messiniana è piegata e gli elementi dei conglomerati mostrano strie, legate a scorrimento frizionale, le quali indicano una direzione di massimo raccorciamento orientata circa NE-SW (CALAMITA *et al.*, 1987).

Il contatto tra la successione messiniana e la Scaglia cinerea affiorante lungo il fianco orientale dell'anticlinale di Cingoli è di natura tettonica. Gli elementi cinematici (essenzialmente slioccoliti e cavità di compenetrazione) presenti sulla superficie di faglia, osservabile in prossimità di Avenale, evidenziano un movimento normale seguito da uno inverso.

A Cingoli, il limite tra i conglomerati messiniani (in giacitura subverticale) ed i depositi del Pliocene in-

SCHEMA GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL SETTORE  
CENTRALE DEL SISTEMA A THRUST MARCHIGIANO

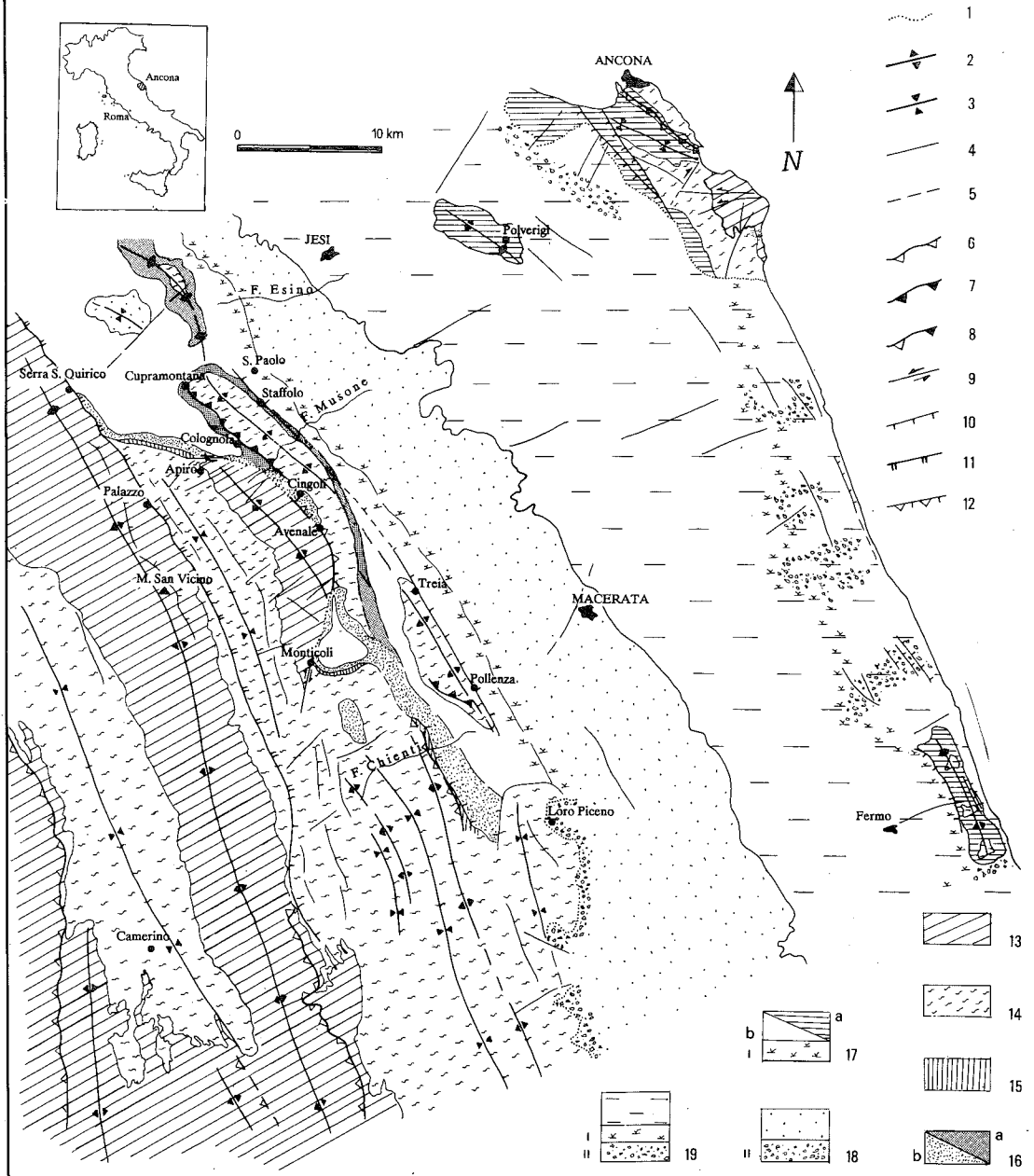


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale, da Invernizzi (1990), modificato.

Legenda: 1) contatto *on-lap*; 2) anticlinale; 3) sinclinale; 4) faglia non caratterizzata; 5) faglia probabile; 6) *thrusts* di età Messiniano - Pliocene inferiore pre-zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*; 7) *thrusts* di età Pliocene inferiore pre-zona a *G. puncticulata*; 8) *thrusts* che tagliano i depositi del Pliocene inferiore - zona a *G. puncticulata*; 9) faglie trascorrenti-transpressive; 10) faglie dirette; 11) faglia che ribassa unità precedentemente retroscorse; 12) faglia diretta riattivata in *back-thrust*; 13) successione umbro-marchigiana dal Calcare massiccio alla Scaglia cinerea (Lias-Oligocene); 14) depositi da calcareo-marnosi a marnoso-argillosi (Bisciaro-Schlier) e silico-clastici di avanfossa e/o di *piggy-back* (Miocene).  
DEPOSITI SILICO-CLASTICI PLIO-PLEISTOCENICI PREVALENTEMENTE PELITICI DI AMBIENTE BATIALE: 15) Pliocene inferiore (zona a *Sphaeroidinellopsis* e zona a *G. margaritae*) coinvolti nel *thrusting*; 16) Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*), a - coinvolto nel *thrusting*, b - post-*thrusting*; 17) a - Pliocene inferiore della struttura di Ancona, Pliocene inferiore-medio della struttura di Polverigi, Pliocene inferiore-superiore della struttura di Porto S. Giorgio coinvolto nel *thrusting*; b - Pliocene inferiore (zona a *G. puncticulata*) post-*thrusting*. I - *Facies* pelitica di ambiente neritico; 18) Pliocene medio-superiore post-*thrusting*. II - *Facies* arenaceo-conglomeratiche di ambiente litorale; 19) Pleistocene post-*thrusting*: I - *Facies* pelitica di ambiente neritico; II - *facies* arenaceo-conglomeratica di ambiente litorale.



Fig. 2 - Contatto tettonico per faglia normale, immergente ad ENE, tra la Scaglia cinerea (Sc) e la Formazione delle Argille a Colombacci (Ac) in località Palazzo, lungo il fianco orientale dell'anticlinale di M.S. Vicino.

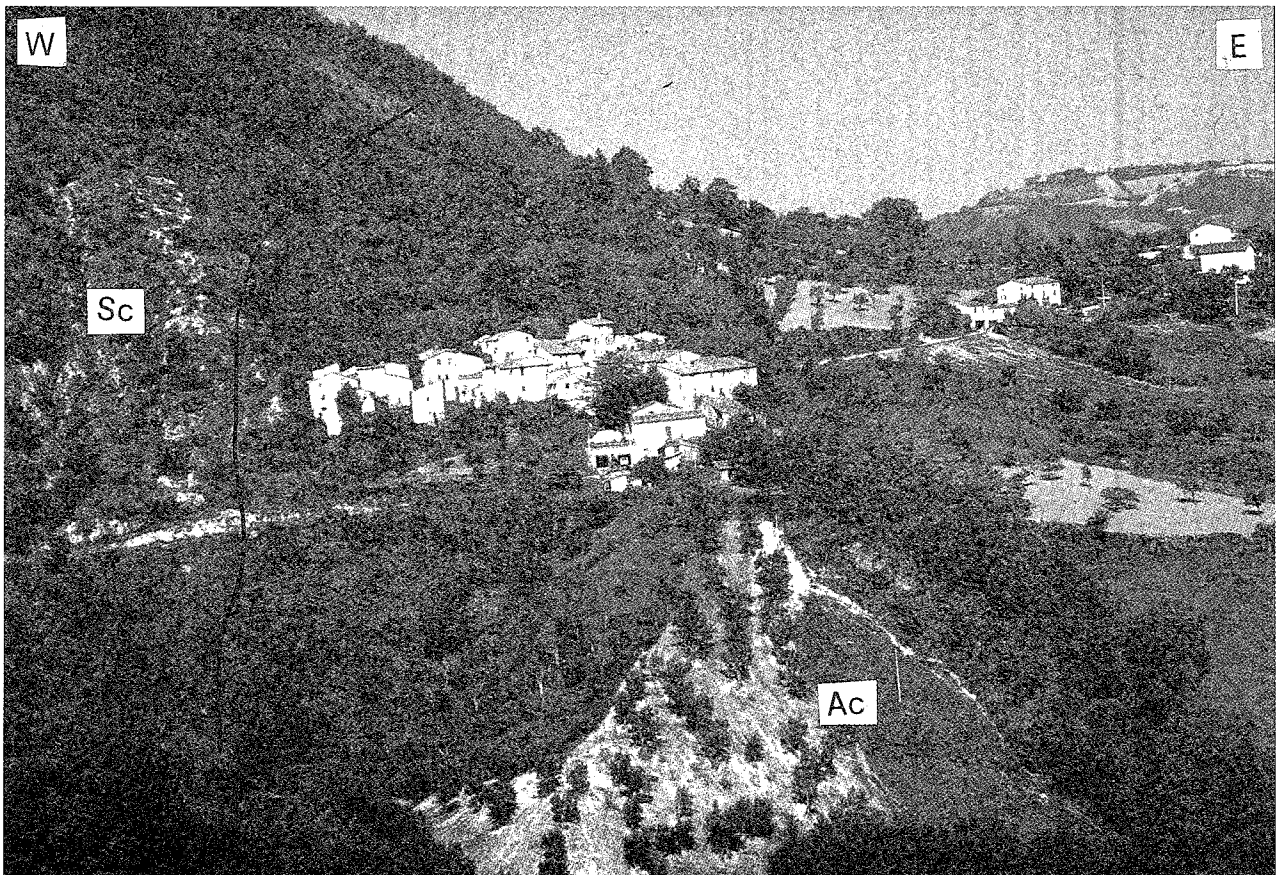


Fig.3 - Faglia estensionale immergente a NE (F) lungo il fronte montuoso nei pressi di Serra S. Quirico; essa pone a contatto la Scaglia cinerea (SC), appartenente al fianco orientale dell'anticlinale di M.S. Vicino, con i depositi silico-clastici del Pliocene inferiore - zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata* (Plmp) costituenti una monoclinale immergente a NE.

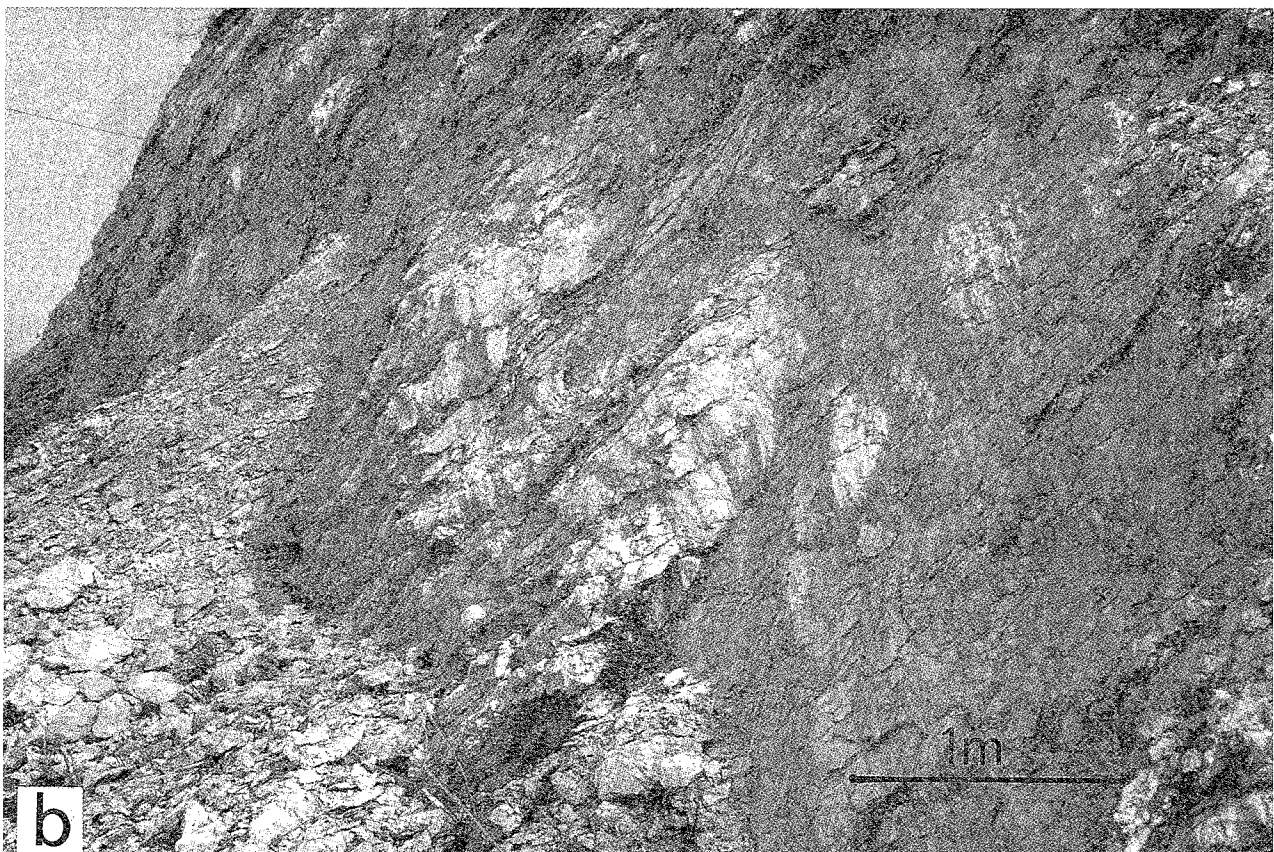
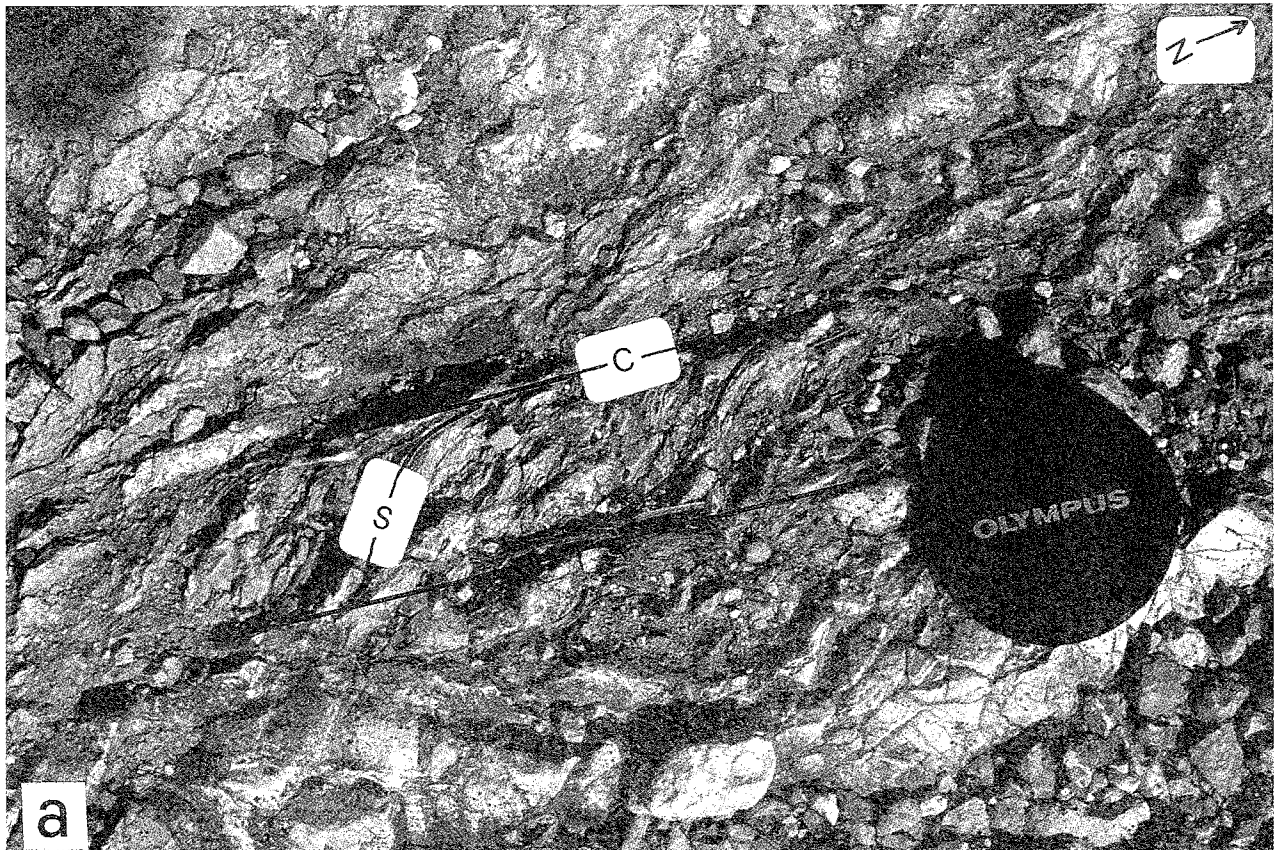


Fig.4 - a) Monticoli: zona di taglio (vista dall'alto) nella Scaglia rossa, associata alla faglia transpressiva destra ad andamento NNE-SSW. E' ben visibile il clivaggio di dissoluzione per pressione "S" compreso tra i piani di taglio "C" (tettoniti S-C sensu LISTER & SNOKE, 1984); b) Apiro: zona di taglio nella Scaglia cinerea associata alla faglia transpressiva sinistra ad andamento circa E-W (la foto è scattata da W).

feriore - zona concomitante a *Globorotalia margaritae* e *Globorotalia puncticulata*<sup>(1)</sup>, è chiaramente discordante (Fig. 5).

Gli stessi depositi del Pliocene inferiore si trovano in *on-lap* sulla Scaglia rossa in località F. Musone (CALAMITA *et al.*, 1987; CALAMITA *et al.*, 1989; CIANCETTI & NANNI, 1989) lungo la scarpata della faglia di Apiro (Fig. 6) e lungo la faglia di Monticoli (Fig. 7).

Altre discordanze sono state evidenziate lungo i fianchi dell'anticlinale di Staffolo. Nei pressi di Colognola, sul fianco occidentale della struttura, si osserva la discordanza tra i depositi del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. punctulata*) coinvolti nella deformazione ed in giacitura subverticale e quelli più recenti del Pliocene inferiore (zona a *G. puncticulata*; Fig. 8). Analoga discordanza è presente sul fianco orientale della medesima struttura (Fig. 9) dove si osserva anche una faglia normale (immergente a NE) che, più a sud, pone lo Schlier direttamente a contatto con i terreni del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*).

Subito a nord delle culminazioni di Cingoli e di Strada i depositi del Pliocene inferiore costituiscono una monoclinale blandamente immergente a NE, mentre nella culminazione di Polverigi questi stessi depositi sono strutturati in anticlinale e ricoperti, in discordanza, dai sedimenti pleistocenici (COLALONGO *et al.*, 1979; CELLO & COPPOLA, 1984).

#### DATI GEOLOGICI DI SOTTOSUOLO ED INTERPRETAZIONE DELLE LINEE SISMICHE RELATIVE ALLA TRAVERSA M.S. VICINO-POLVERIGI

I dati stratigrafici di sottosuolo utilizzati per lo studio dei profili sismici lungo le linee A, B e C di Fig. 10 provengono prevalentemente dai pozzi 3 e 4 di Fig. 11 (per l'ubicazione si veda Fig. 10).

L'analisi dei pozzi (nei quali è stata riconosciuta la successione dal Pleistocene fino al Lias inferiore) ha consentito di calibrare i diversi riflettori individuati nei profili sismici esaminati (Figg. 12 e 13). I più continui ed evidenti sono risultati: le Marne a Fucoidi ed i gessi messiniani; nell'ambito del Pliocene sono stati invece riconosciuti un riflettore intra-zona a *G. puncticulata*, *sensu lato*, ed una serie di discordanze.

Integrando queste informazioni con quelle della geologia di superficie, è stata costruita la sezione geologica di Fig. 14 nella quale si evidenzia una complessa strutturazione a *thrusts* (caratterizzata da 5 principali *thrust-sheets*) nonché la sequenza di chiusura dei vari eventi deformativi.

L'analisi di dettaglio dei profili sismici relativi alla zona più interna (Fig. 13a) ha evidenziato la ripetizione dei riflettori delle Marne a Fucoidi e dei gessi messiniani (e/o del Bisciario) che testimonia la presenza, in sottosuolo, del *thrust* dei Sibillini (T1), nonché una delaminazione nella successione del *foot-wall* di tale sovrascorrimento. La chiusura del sovrascorrimento stesso, determinata dal retroscorrimento, e la presenza di faglie estensionali immergenti a NE consentono di spiegare in maniera univoca i rapporti osservabili in affioramento (Fig. 1).

Poco a sud di questa area (zona di M. Fiungo) era stata ipotizzata invece da BALLY *et al.* (1986) l'emergenza del *thrust* dei Sibillini. Questi Autori non riconoscono infatti la complessa situazione di affioramento che deriva dalla presenza del *back thrust* che maschera il *thrust* dei Sibillini nell'ambito di una zona triangolare.

Nella parte centrale della sezione (Fig. 13a) si può osservare una struttura plicativa minore che coinvolge principalmente i depositi messiniani sui quali si riconoscono, in discordanza, orizzonti del Pliocene inferiore blandamente coinvolti nel piegamento. Ad oriente di questa struttura gli stessi riflettori del Pliocene inferiore, organizzati in *foresets*, sono discordanti sul riflettore n. 3 (livello intra-puncticulata) che risulta invece coinvolto nel sovrascorrimento più esterno (T2).

Sulla base di questi dati, e con i vincoli delle informazioni di campagna, riteniamo sufficientemente documentato che, nell'area in esame, il *thrust* dei Sibillini ha delaminato, probabilmente a livello della Scaglia cinerea, tutta la successione sovrastante riportandola in *back thrust* al di sopra del *thrust sheet* dei Sibillini. La delaminazione è stata favorita dalla presenza di un *foot-wall* già strutturato a seguito di un evento deformativo precoce connesso ad un momento di *blind thrust pre-thrusting* (CALAMITA, 1990). Dalla sezione di Fig. 13b, emerge inoltre chiaramente che la struttura di Strada è nell'*hanging-wall* del *thrust* T2. I gessi messiniani affioranti a Strada, si ritrovano infatti a circa 2000 m di profondità (riflettore n. 2 di Fig. 13b) immergenti al di sotto del *thrust* T2 che è sepolto dai depositi del Pliocene inferiore (zona a *G. puncticulata*) campionati in affioramento. Questi ultimi, in località S. Paolo di Jesi, sono a loro volta discordanti sui depositi del Pliocene inferiore - zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*.

I dati fin qui esposti evidenziano, pertanto, che la strutturazione di questa porzione di catena avviene nell'ambito del Pliocene inferiore (zona a *G. puncticulata*).

Nelle aree esterne alla struttura di Strada, si osservano alcune interessanti particolarità (Figg. 11 e 12b). Al fronte del *thrust sheet* T3, si realizza uno scollamento nell'ambito della successione del *foot-wall*. Il dislocamento è recuperato al fronte attraverso una serie di *splays*, mentre il *thrust*, con traiettoria *down section*, realizza una locale elisione della successione del *foot-wall* al di sopra delle Marne a Fucoidi. Il *thrust sheet* T3 è suturato dai depositi del Pliocene medio mentre il *thrust* più esterno (T4), dall'orizzonte infra-puncticulata; ciò implica che il *thrust* T4 è più antico rispetto ai *thrusts* più occidentali e che quindi la struttura è del tipo fuori-sequenza (BOYER & ELLIOT, 1982; BUTLER, 1982). In alternativa è possibile riferire il *thrust* T4 ad un livello di scollamento basale più profondo e/o attribuirlo ad un evento di *blind-thrusting* precedente a quello di *thrusting* s.s. (CALAMITA, 1990); in tal caso, la sequenza di strutturazione sarebbe pienamente rispettata sia in rapporto alle strutture interne che rispetto al *thrust* più esterno T5. Per quest'ultimo infatti è il riflettore del Pliocene superiore che chiude la deformazione (questo dato può essere estrapolato dalla correlazione tra i logs del pozzo 3 ed i riflettori della zona più esterna).

E' da osservare inoltre che le discordanze presenti nella sequenza pre-Pliocene inferiore (Fig. 12) suggeriscono, per l'area di Polverigi, un inizio della strut-

<sup>(1)</sup>La zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata* corrisponde alla zona a *G. puncticulata* parte bassa in CALAMITA *et al.* (1989).

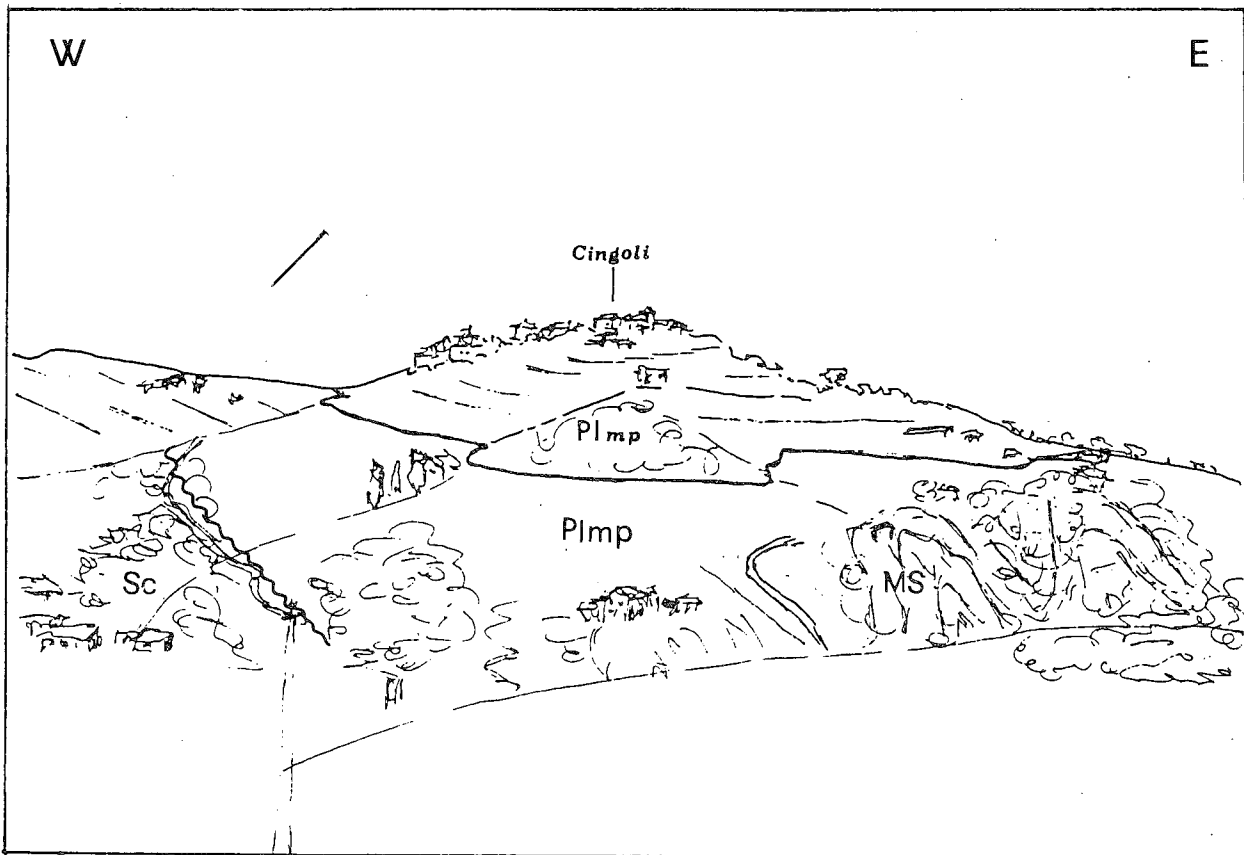


Fig. 5 - Cingoli: discordanza tra i conglomerati di Avenale (Messiniano: MS), in giacitura subverticale, ed i depositi silico-clastici del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*: Plmp) suborizzontali. Questi ultimi, verso ovest, sono in *on-lap* sulla Scaglia cinerea (Sc).

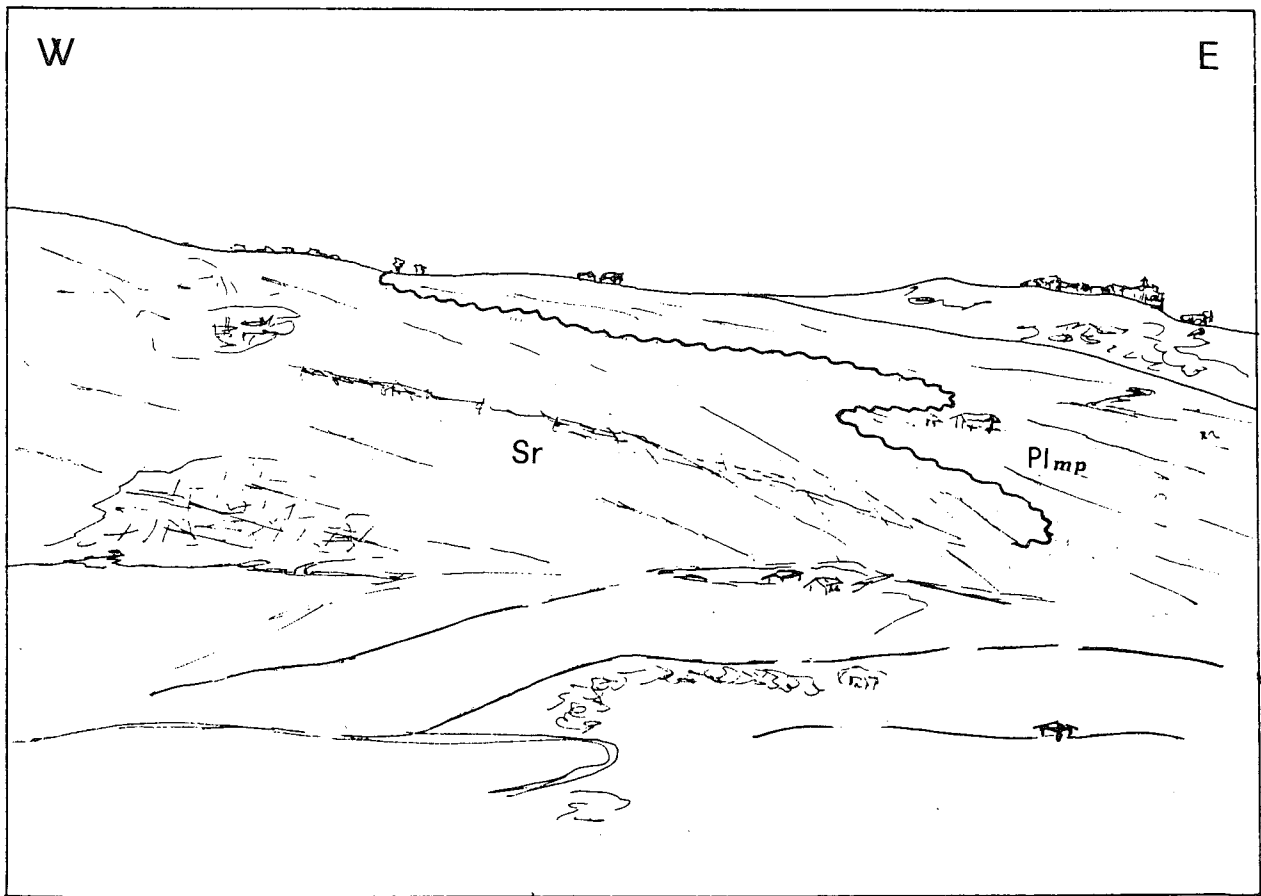
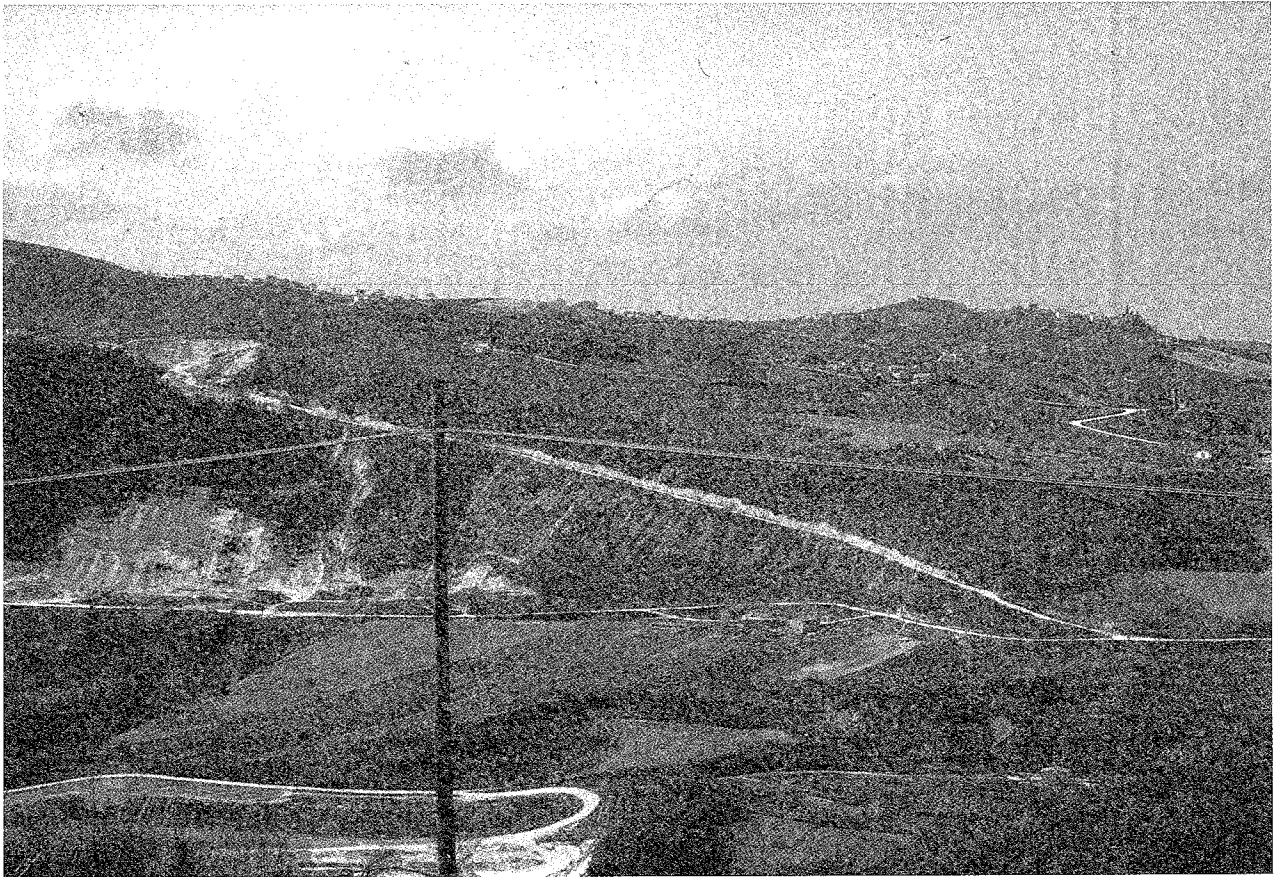


Fig. 6 - F. Musone (SE di Apiro): la successione silico-clastica del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*: Plmp) è in *on-lap* sulla Scaglia rossa (Sr) dell'anticlinale di Cingoli.



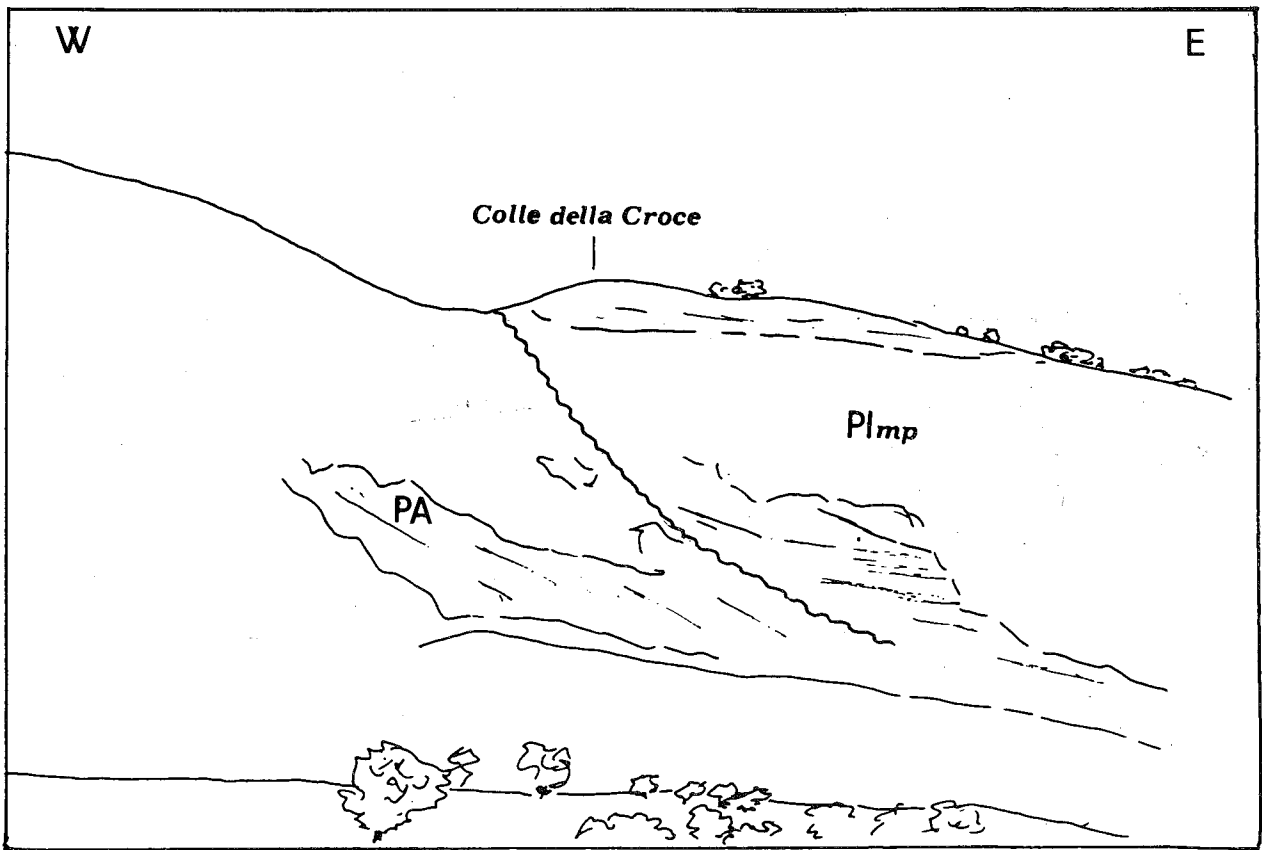


Fig. 7 - Rapporto di *on lap* tra la successione paleogenica dell'anticlinale di Cingoli (Scaglia rossa-Scaglia cinerea nei pressi di Monticoli: PA) ed i depositi del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*: PImp).

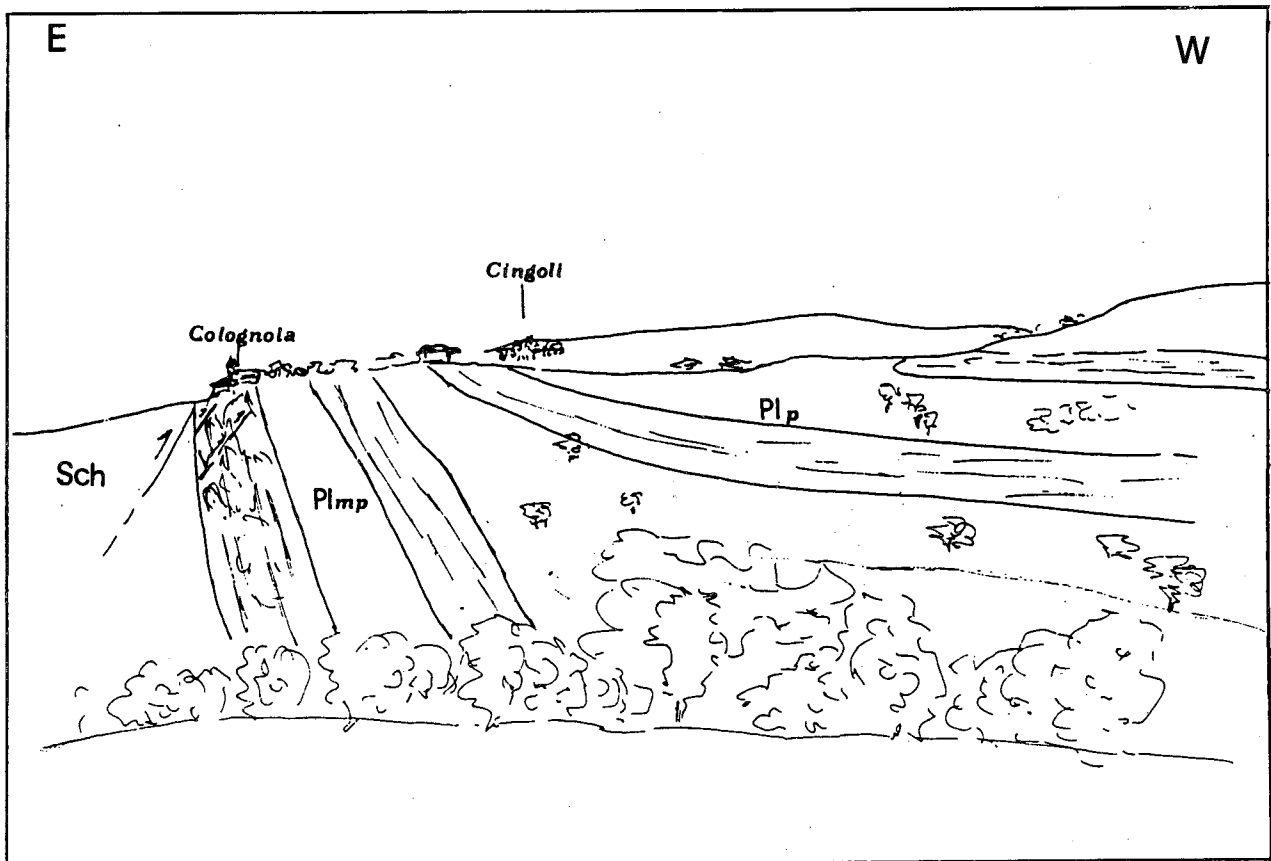
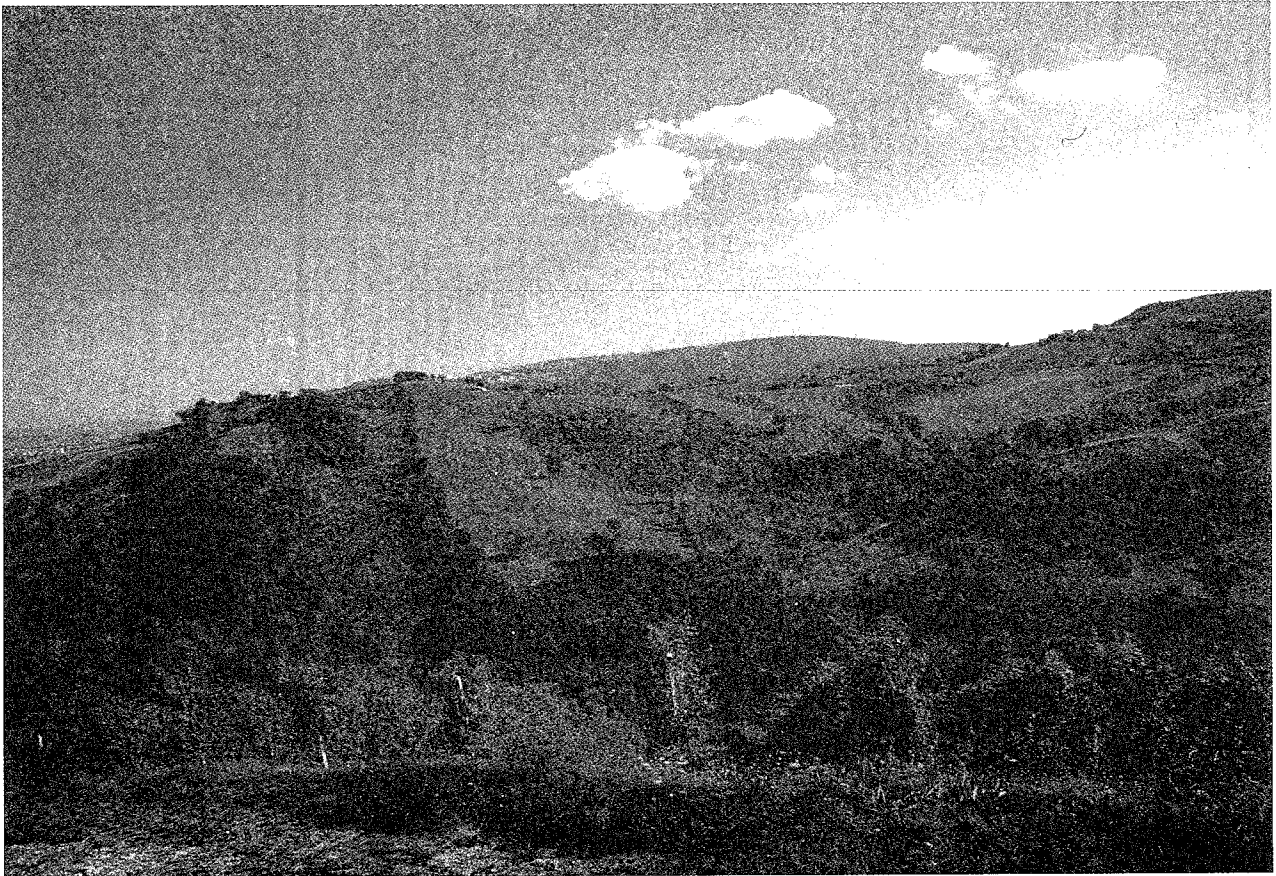


Fig. 8 - Fianco occidentale dell'anticlinale di Staffolo (località Colognola): gli orizzonti arenacei del Pliocene inferiore (zona a *G. puncticulata*: Plp) sono discordanti su quelli del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*: Plmp). Questi ultimi sono probabilmente nel *foot-wall* di un *back-thrust* che li pone a contatto con lo Schlier (Sch).

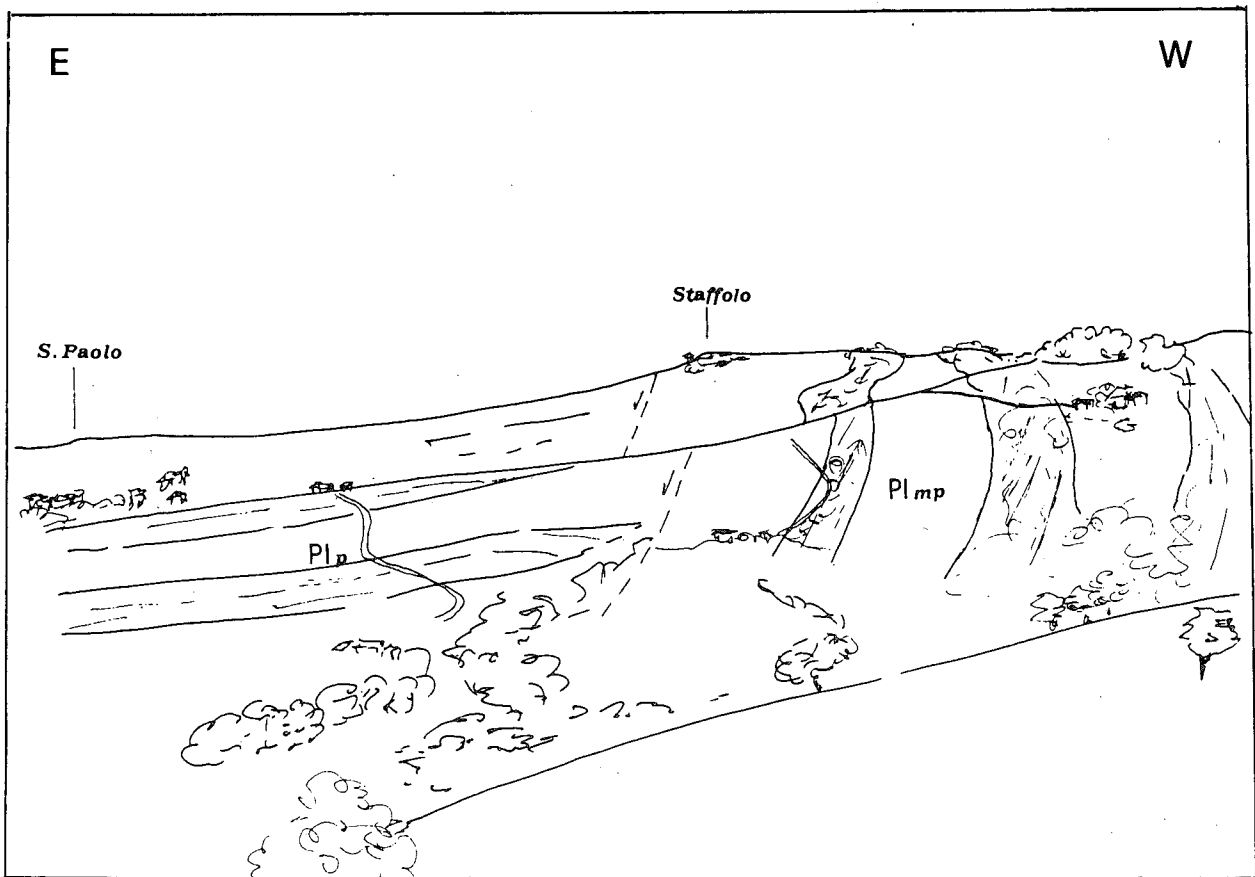


Fig. 9 - Fianco orientale dell'anticlinale di Staffolo (località S. Paolo di Jesi): discordanza tra i depositi del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. puncticulata*: Plmp) e quelli della zona a *G. puncticulata* (PIp).

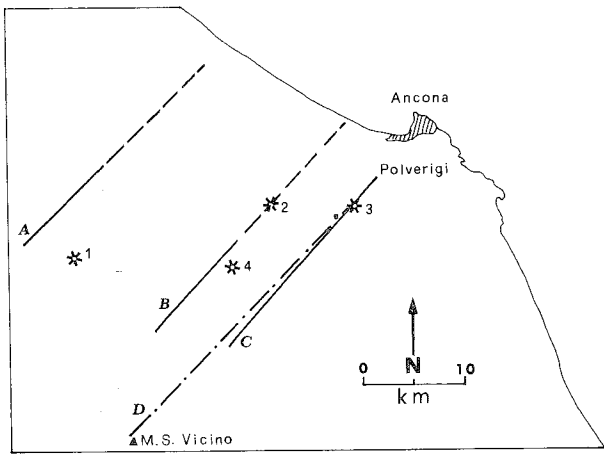


Fig. 10 - Ubicazione delle linee sismiche (A, B, C), dei pozzi (1, 2, 3, 4) utilizzati e della sezione geologica M.S. Vicino-Polverigi (D).

turazione già a partire dai livelli a *G. puncticulata*. Identiche e più chiare indicazioni derivano dal fianco occidentale della medesima struttura dove tali discordanze sono state riconosciute nei livelli sovrastanti il riflettore n. 3 (livello intra-puncticulata). Queste evidenze sembrano registrare il passaggio di porzioni discrete di avanz-fossa a condizioni di bacino intracatena in conseguenza dell'enucleazione del *thrust sheet* più esterno.

Si noti infine che anche al fronte della struttura di Polverigi si riconoscono faglie estensive (Figg. 12 e 13a) le quali realizzano l'elisione di una parte della successione della Scaglia rossa e di parte di quella del Pliocene inferiore; tali faglie sembrano essere saturate dai depositi del Pliocene superiore-Pleistocene.

Le soluzioni proposte nella sezione geologica di Fig. 14 rappresentano, a nostro avviso, vincoli indispensabili per la definizione della struttura profonda di questo settore della catena umbro-marchigiana.

Nel presente lavoro è stato infatti evidenziato, tra l'altro, che lo stile strutturale dell'area deriva principalmente dalle modalità di deformazione della successione sedimentaria coinvolta nel sistema a *thrust*. La successione pelagica umbro-marchigiana è, di fatto, costantemente in rapporto di *blind-thrust* con il sottostante Calcare massiccio (così come già documentato in altri settori di catena; CALAMITA, 1990). Utilizzando quindi le evaporiti triassiche come livello di scollamento basale e come modello deformativo quello di *blind-thrust pre-thrusting* di Calamita (1990) abbiamo ipotizzato che la struttura profonda della porzione di catena rappresentata lungo la traversa M.S. Vicino-Polverigi, potesse essere schematizzata come in Fig. 15.

Il bilanciamento della sezione interpretativa ci ha consentito inoltre di stimare l'entità del raccorciamento realizzato in un arco di tempo di circa 4 M.A. nell'area compresa tra Cingoli e Polverigi. detto raccorciamento risulta essere di circa di 28-30 km (tra il *thrust* T2 ed il *thrust* T5) con un tasso di *slip* medio di 7-8 mm/anno e con valori via via più bassi procedendo verso le zone esterne dove, per il *thrust* T5, sono stati calcolati valori di circa 2 mm/anno.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'analisi integrata di dati geologici di superficie

e di sottosuolo e di linee sismiche a riflessione ha consentito di definire lo stile strutturale e la cronologia della deformazione lungo la traversa M.S. Vicino-Polverigi (Appennino umbro-marchigiano).

L'organizzazione strutturale dell'area rappresentata lungo la traversa è caratterizzata da *thrust-related folds*, ascrivibili a cinque *thrust sheets*, che interessano la successione sedimentaria umbro-marchigiana almeno fino al Calcare massiccio (si veda la Fig. 14).

Nella zona di M.S. Vicino (fronte montuoso appenninico) è stata riconosciuta la presenza in sottosuolo del *thrust* dei Sibillini (T1) ed è stata interpretata la

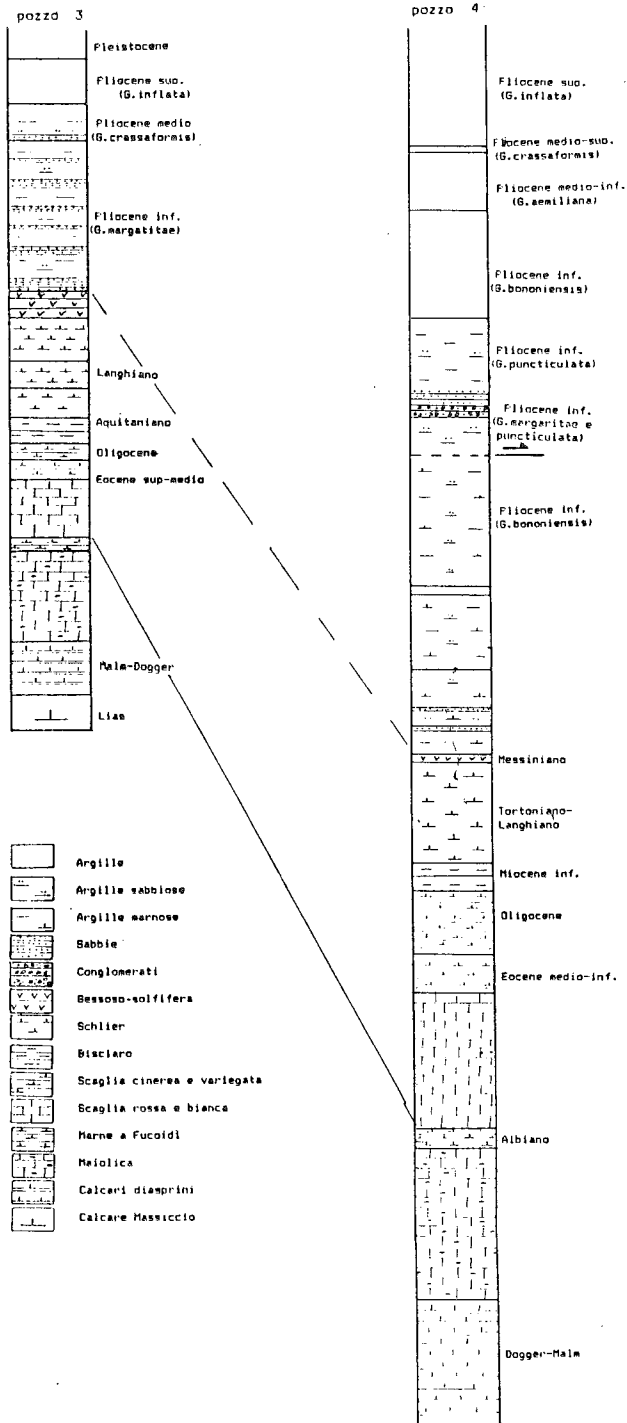
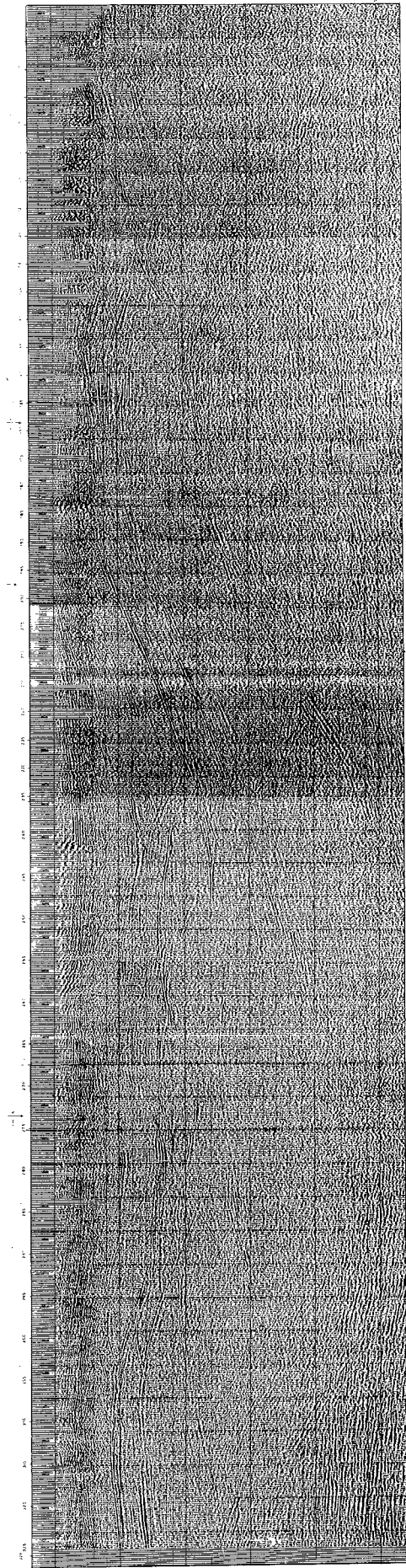
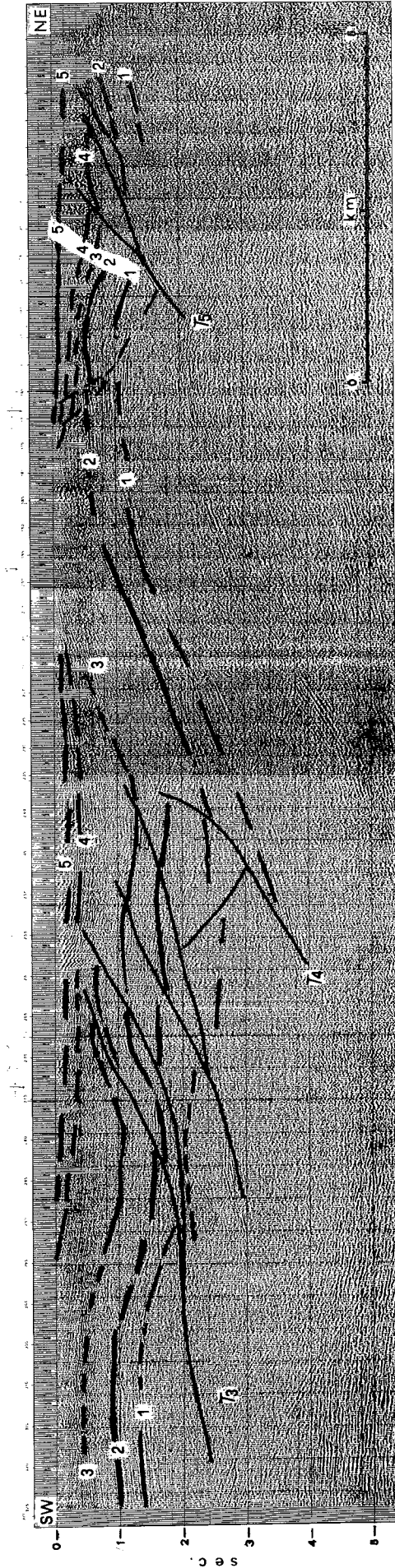


Fig. 11 - Successione stratigrafica attraversata dai pozzi 3 e 4 ubicati in Fig. 10.

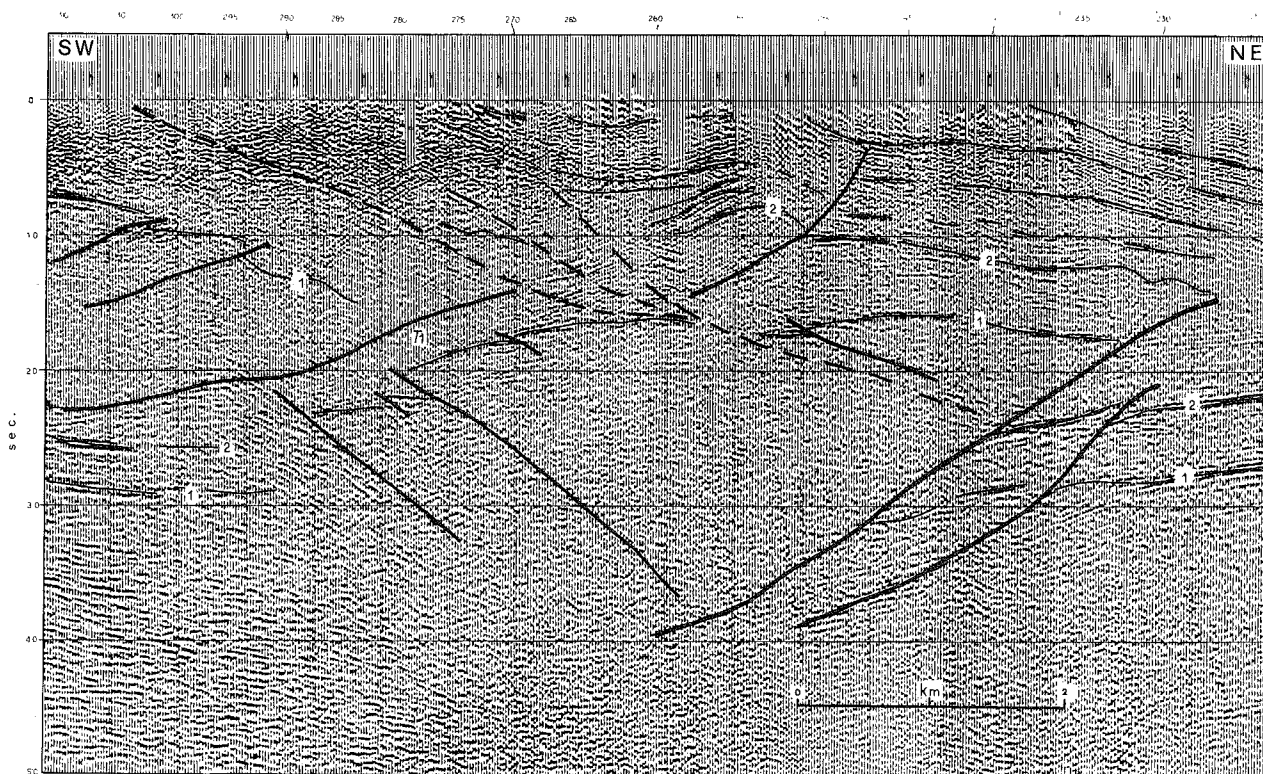


A

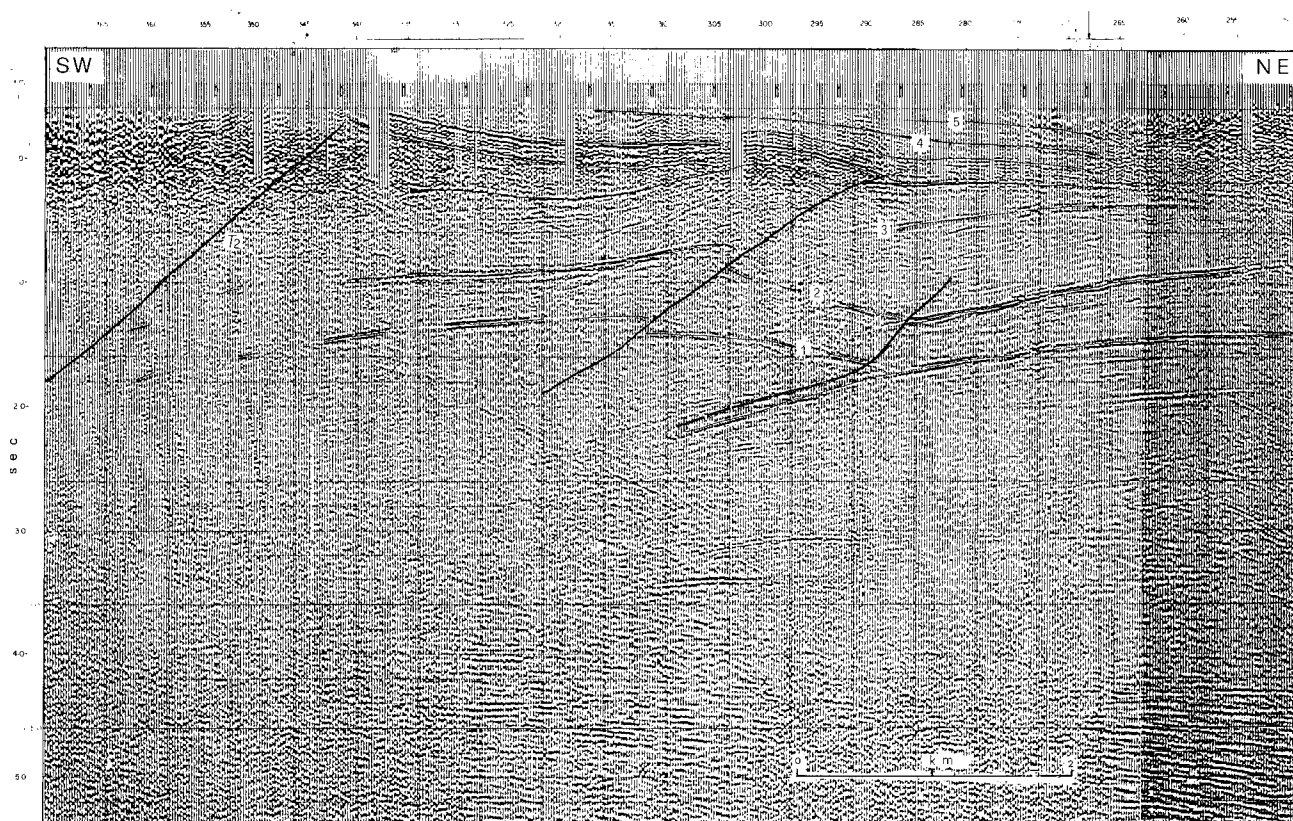


B

Fig. 12 - a) Profilo sismico (C della Fig. 10) lungo la traversa M.S. Vicino-Polverigi; b) profilo sismico interpretato. Riflettori sismici: 1 - Marne a Fucoidi, 2 - gessi messiniani, 3 - orizzonte intra-punctulata. Altri orizzonti Plioceni: 4 - base Pliocene medio, 5 - base Pliocene superiore.



A



B

Fig. 13 - a) Interpretazione della parte piú occidentale del profilo sismico A mostrandone il sovrascorrimento dei Sibillini (T1); b) interpretazione della parte piú occidentale del profilo sismico B mostrandone il sovrascorrimento di Cingoli (T2).

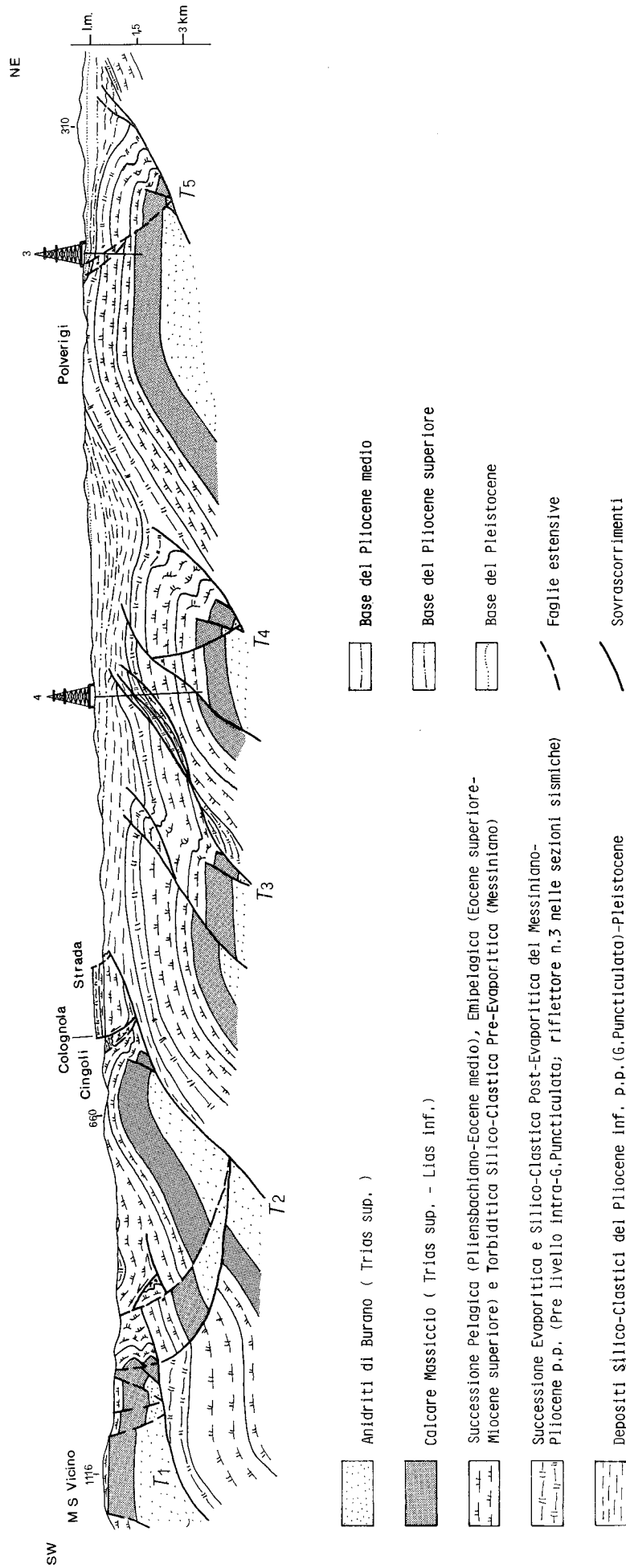


Fig. 14 - Sezione geologica lungo la traversa M.S. Vicino-Polverigi (D in Fig. 10): la scala orizzontale è uguale a quella verticale.

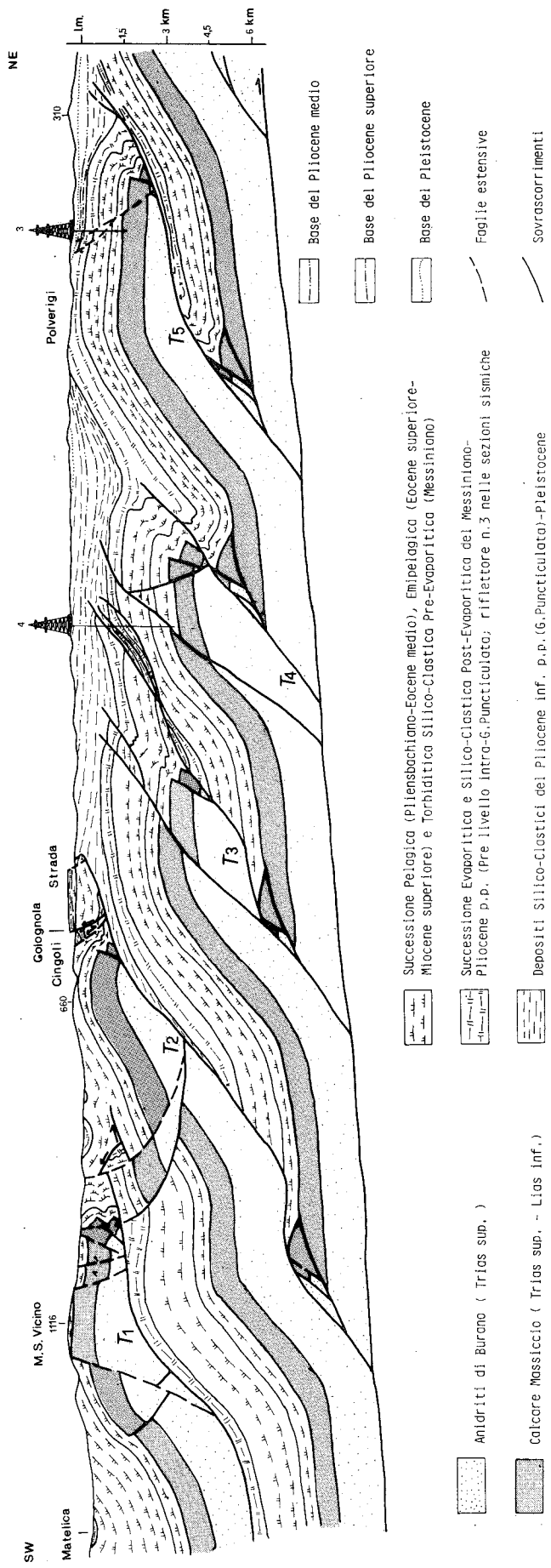


Fig. 15 - Sezione geologica interpretativa. La scala orizzontale è uguale a quella verticale.



struttura di superficie come una complessa zona triangolare complicata da una faglia estensiva immergente a NE.

Nel *foot-wall* del *thrust* dei Sibillini sono ubicate le anticlinali di Cingoli e Strada che costituiscono, a loro volta, l'*hanging-wall* del *thrust* T2 riconosciuto al di sotto dei depositi silico-clastici del Pliocene inferiore (zona a *G. punctulata*), affioranti subito ad oriente della struttura di Strada.

Sul fianco orientale dell'anticlinale di Cingoli si riconosce una faglia distensiva (forse attiva fin dal Messiniano, e quindi pene-contemporanea alla sedimentazione dei conglomerati di Avenale) invertita in *back thrust* durante il Messiniano superiore-Pliocene inferiore. Questa struttura era stata interpretata da diversi Autori come un sovrascorrimento (Foglio 117, Jesi della carta geologica d'Italia; AA.VV., 1982).

Verso l'esterno, i *thrust sheets* T3 e T4 sono sepolti al di sotto dei depositi silico-clastici plio-pleistocenici. Al fronte del *thrust sheet* T3 è stata evidenziata una struttura di *down section*, mentre nel *thrust sheet* T4 si riconosce una struttura di *back thrust* che interessa la successione almeno fino al Calcere massiccio (si veda la Fig. 14).

La culminazione più esterna affiorante lungo la traversa è l'anticlinale di Polverigi; questa è ubicata nell'*hanging-wall* del *thrust* T5 ed è caratterizzata in affioramento dalla presenza di depositi pleistocenici discordanti su quelli del Pliocene inferiore.

Le faglie estensive immergenti a NE, evidenziate al fronte dei vari *thrust sheets*, sono interpretate come strutture di collasso gravitativo. Esse risultano infatti attive nel corso della costruzione della catena (come ad Avenale) oppure chiuse dai depositi successivi alla strutturazione (come a Polverigi). La causa di questi fenomeni è da mettere probabilmente in relazione con parziali condizioni di disequilibrio durante la costruzione del cuneo di accrezione (DAVIS *et al.*, 1983; PLATT, 1986).

Per quanto riguarda la cronologia della deformazione, l'analisi dei rapporti attuali tra i diversi *thrust sheets* e tra questi ed i depositi di chiusura, ha messo in evidenza una strutturazione in sequenza normale (BOYER & ELLIOT, 1982; BUTLER, 1982; DHALSTROM, 1970) del sistema a *thrust* analizzato.

In particolare possiamo riferire essenzialmente al Messiniano superiore (post-Argille a Colombacci) il *thrust* dei Sibillini. La Formazione delle Argille a Colombacci, lungo il fronte del sovrascorrimento, risulta infatti coinvolta nella deformazione così come sono certamente coinvolti in una struttura plicativa minore, connessa con il *thrust* dei Sibillini, anche i gessi messiniani (Fig. 12a). Non è chiaro però se il riflettore più alto coinvolto in questa piega sia da ascrivere ad un intervallo ancora messiniano oppure se esso rappresenti porzioni basali della successione pliocenica. In ogni caso, la definitiva messa in posto del *thrust* dei Sibillini non è certamente più recente della base del Pliocene inferiore (zona concomitante a *G. margaritae* e *G. punctulata*) in quanto i relativi depositi non risultano coinvolti nella deformazione e costituiscono una monoclinale immergente a NE.

Il *thrust* T2 è suturato, in affioramento, dalla porzione sommitale dei depositi del Pliocene inferiore (zona a *G. punctulata*), mentre la sezione sismica (Fig. 12) mostra che, in profondità, le porzioni inferiori di tali depositi sono in parte strutturate. Il *thrust* T3 è si-

curamente suturato dai depositi del Pliocene medio (Fig. 12), mentre per il *thrust* T4 i primi livelli non deformati appartengono al riflettore intra-punctulata (Fig. 12). Questa anomalia nella sequenza di strutturazione può essere attribuita: i) all'attivazione di *thrusts* fuori sequenza; ii) all'enucleazione di un *thrust* riferibile ad un livello di scollamento profondo; iii) all'esistenza di eventi di *blind-thrust pre-thrusting*. In quest'ultimo caso la sequenza di strutturazione sarebbe rispettata anche in rapporto al *thrust* più esterno (T5) che è suturato dai depositi del Pliocene superiore.

I risultati dell'analisi geologico-strutturale relativa alla traversa M.S. Vicino-Polverigi hanno inoltre consentito di elaborare una sezione interpretativa della struttura profonda di questo settore di catena (Fig. 15). La sezione proposta è stata bilanciata tra i *thrusts* T2-T5 consentendo così una stima dell'entità di raccorciamento (che è dell'ordine di circa 30 km) e del tasso medio di *slip* (che è dell'ordine di 7-8 mm/anno).

## RINGRAZIAMENTI

Rigraziamo G. Deiana per le utili discussioni sul terreno e per la lettura critica del manoscritto.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1982) - *Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica.
- ARISI ROTA F. & FICHERA R. (1985) - *Magnetic interpretation connected to "geomagnetic provinces": The Italian case history*. Prepr., 47th Meet. Europ. Ass. Exploration Geophys.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1986) - *Balanced section and seismic reflection profiles across the central Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 257-310.
- 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.
- BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MICARELLI A., MORATTI G. & POTETTI M. (1986) - *Evoluzione dell'Appennino tosco-umbro-marchigiano durante il Neogene*. Giornale di Geologia, 48, 227-233.
- BOYER S.E. & ELLIOT D. (1982) - *Thrust systems*. A.A.P.G. Bull., 66, 1196-1230.
- BUTLER R. W. H. (1982) - *The terminology of structures in thrust belts*. J. Struct. Geol., 4, 239-245.
- CALAMITA F. (1986) - *I back-thrusts sul fronte montuoso dell'Appennino umbro-marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 539-545.
- CALAMITA F. (1990) - *Thrusts and fold-related structures in the umbria-marche Apennines (central Italy)*. Annales Tectonicae, IV, (1), 83-117.
- CALAMITA F., CRISTALLINI C., DEIANA G., INVERNIZZI C., MICARELLI A., PIZZI A., & POTETTI M. (1989) - *Timing of compressive deformation in the outer area of the Marche Apennine chain*. Convegno: La geologia strutturale ed i possibili contributi all'interpretazione della sismica profonda; CNR, Pisa, 26-27 ottobre. Riassunto.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino umbro-marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 311-316.
- CALAMITA F., MASTROVINCENTO S. & INVERNIZZI C. (1987) - *Analisi mesostrutturale sui depositi mio-pliocenici della zona marchigiana esterna*. Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense, 23, (4), 265-272.

- CARLONI G.C. (1964) - *La geologia dei dintorni di Cingoli (Appennino marchigiano)*. Giornale di Geologia, **32**, 365-401.
- CENTAMORE E., DELANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Il Trias-Paleogene delle Marche*. Studi Geologici Camerti, volume speciale: La Geologia delle Marche.
- CELLO G. & COPPOLA L. (1984) - *Assetto geologico-strutturale dell'area anconetana e sua evoluzione plio-quadernaria*. Boll. Soc. Geol. It., **103**, 97-109.
- CIANCETTI G. & NANNI T. (1989) - *Note sulla geologia dell'anticlinale di Monte Acuto di Cingoli (Marche)*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, 553-564.
- COLALONGO M.L., NANNI T. & RICCI LUCCHI F. (1979) - *Sedimentazione ciclica nel Pleistocene anconetano*. Geologica Rom., **18**, 71-92.
- DALLAN NARDI L., ELTER P. & NARDI R. (1971) - *Considerazioni sull'arco dell'Appennino settentrionale e sulla "linea" Ancona-Anzio*. Boll. Soc. Geol. It., **90**, 203-211.
- DAVIS D., SUPPE J. & DAHALEN F.A. (1983) - *Mechanic of fold and thrust belts and accretionary wedges*. J. Geophys. Res., **88**, 1153-1172.
- DHALSTROM C.D.A. (1970) - *Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountains*. Bull. Can. Petrol. Geol., **18**, 332-407.
- INVERNIZZI C. (1990) - *Evoluzione geologico-strutturale dell'area marchigiana esterna tra i fiumi Esino e Tronto*. Tesi di Dottorato.
- KOOPMAN A. (1983) - *Datachment tectonics in the central Apennines, Italy*. Geol. Ultraiectina, **30**, 1-155.
- LAVECCHIA G. (1985) - *Il Sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., **104**, 161-194.
- LISTER G.S. & SNOKE A.W. (1984) - *S-C milonites*. J. Struct. Geol., **6**, 617-638.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (1989) - *Post-Tortonian Mountain Building in the Apennines. The Role of the Passive Sinking of a Relik Lithospheric Slab*. In: The Lithosphere in Italy, Advances in Earth Science Research, Accademia Nazionale dei Lincei, (Roma, 5-6 maggio 1987) Ed: A.Boriani, M.Bonafede, G.B.Piccardo e G.B.Vai, **80**, 157-176.
- PLATT J.P. (1986) - *Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks*. Geol. Soc. Am. Bull., **97**, 1037-1053.
- RICCI LUCCHI F. (1990) - *Turbidites in foreland and on-thrust basins of the northern Apennines*. Paleo Paleo Paleo, **77**, 51-66.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1967) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio n. 124 - Macerata*.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1971) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio n. 117 - Jesi*.