

PROFILO GEOLOGICO NELL'APPENNINO MODENESE TRA IL CRINALE E IL MARGINE PADANO. EVENTI TETTONICI E IMPLICAZIONI PALEOGEOGRAFICHE(**)

INDICE

| | | |
|---|------|-----|
| RIASSUNTO | pag. | 251 |
| ABSTRACT | " | 251 |
| PRINCIPALI LINEAMENTI TETTONICI | " | 252 |
| ALTO APPENNINO | " | 252 |
| MEDIO-BASSO APPENNINO | " | 254 |
| SUCCESSIONE EPILIGURE E TERRENI PLIO-PLEISTOCENICI | | |
| DEL MARGINE PADANO | " | 256 |
| INTERPRETAZIONE DEI DATI GEOFISICI | " | 256 |
| CONCLUSIONI | " | 256 |
| BIBLIOGRAFIA | " | 257 |

RIASSUNTO

Il tratto di catena considerato è suddivisibile in tre parti: una meridionale a partire dal crinale, costituita dai Flysch arenacei terziari; una centrale in cui affiorano i terreni liguri ed epiliguri e la terza rappresentata dai depositi plio-quadernari del margine e che si continuano nel sottosuolo padano.

I Flysch terziari (*Macigno del Chianti, Arenarie di M. Modino* e di *M. Cervarola*) sono strutturati in una serie di scaglie tettoniche sovrapposte, vergenti a NE, fortemente compresse e interessate da *thrust* minori al loro interno. Il *Macigno* si accavalla sulle *Arenarie del Modino*, queste su quelle del *Cervarola* a loro volta sovrascorse dall'Unità Sestola-Vidiciatico e dai complessi liguri. Un altro fronte multiplo di accavallamento si ha nel sottosuolo in prossimità del margine padano.

Assai più problematica, per la scarsità di dati geofisici e di perforazioni profonde, è la ricostruzione in profondità dell'andamento del substrato al di sotto delle Liguridi; si può ipotizzare che si continui lo stesso motivo strutturale rilevato in superficie e documentato nel sottosuolo padano dalle ricerche dell'AGIP. Le scaglie tettoniche di *Macigno, Modino* e *Cervarola*, impilate l'una sull'altra, si accavallerebbero sulla *Marnoso-arenacea* o su formazioni mioceniche corrispondenti, anch'esse interessate da *thrust* vergenti a NE fino alla profondità di alcune migliaia di metri.

Le Liguridi, la cui messa in posto è collegabile al migrare dei *thrust* del substrato nel tempo e dall'interno verso l'esterno della catena, si spingono in profondità oltre i 4000 metri. Ciò è probabilmente da mettere in relazione, oltre che a raddoppi interni, a faglie dirette profonde, che però non trovano riscontro in superficie, forse perchè assorbite dalle deformazioni plastiche delle soprastanti Liguridi.

Nella strutturazione di questa parte della catena non risulta pertanto chiaro il ruolo svolto dalla tettonica distensiva, che appare di gran lunga meno importante di quella compressiva che, con episodi diversi, è continuata dal Miocene inferiore fino al Pleistocene.

La geometria a *thrust* ipotizzata può essere spiegata con una serie di eventi compressivi, separati tra loro da periodi di stasi, progressivamente più recenti procedendo verso NE, dal Miocene al Pleistocene. Tali episodi avrebbero così interessato bacini torbiditici (*Modino, Cervarola, Marnoso-arenacea*) e molassici plio-pleistocenici sempre più giovani a NE, disposti in fasce parallele, con uno stretto rapporto di causa/effetto tra avanzamento delle falde delimitate da *thrust* e formazione, verso l'esterno, di una nuova avanfossa.

ABSTRACT

In the Modenese Apennine three zones of different geological constitution are recognised from south to north: the first consists of Tertiary arenaceous Flysch; the second is constituted by Ligurian and Epiligurian Units and the last consists of Plio-Pleistocene sediments that are very developed in the subsurface of the Po Plain under the alluvial deposits.

The Tertiary Flysch (*Chianti Macigno, M. Modino* and *M. Cervarola Sandstones* ranging in age from late Oligocene to early-middle Miocene) are interested by a strong compression directed to NE with overthrusting of the internal over external units; the *Chianti Macigno* thrusts over the *M. Modino Sandstones* and that over the *M. Cervarola Sandstones*; the last unit thrusts probably over the Miocenic *Marnoso-arenacea*. Finally, the tectonic units of the Neogenic Flysch are overthrust by the Sestola-Vidiciatico and Ligurian Units.

The reconstruction of the structure of the basement under the Ligurian Units is very uncertain because the geophysical data (only aeromagnetic and gravimetric data are known) are not enough to define it.

We can suppose that the basement, consisting of Neogenic sediments, is structured by thrusts verging to NE as in the first zone and as in the subsurface of the Po Plain, investigated for the oil researches.

The magnetic anomalies trend shows a plunge of the magnetic basement from NE to SW until to the Apenninic ridge where it is about 20 km deep; on the contrary the Moho plunges to NE and reaches the greatest depth, over 40 km, near the Northeastern margin of the chain.

The allochthonous Ligurian Units, partly structured by Ligurian tectonic phases, are thrust over the Neogenic basement not for gravity slide, but transported by the thrusts of the basement that have migrated in time and space from the early Miocene to the Pleistocene and from the internal to the external sector of the chain.

The supposed thrust geometry can be explained by several compressive phases interesting turbiditic basins (*Chianti Macigno, M. Modino* and *M. Cervarola Sandstones, Marnoso-arenacea*) getting younger toward east, according to the migration of a deformation front-foredeep system.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Modena

(**) Lavoro eseguito con il contributo finanziario MURST 40%, responsabile R. Gelmini.

PAROLE CHIAVE: Appennino modenese; tettonica compressiva; evoluzione paleogeografica.

KEY WORDS: Modenese Apennine; compressional tectonics; palaeogeographic evolution.

PRINCIPALI LINEAMENTI TETTONICI

Il versante modenese dell'Appennino settentrionale ha una costituzione geologica assai complessa, caratterizzata da una struttura a falde sovrapposte che si sono messe in posto dal Miocene inferiore-medio al Plio-Pleistocene e che si continuano nel sottosuolo padano.

Procedendo da SW a NE, a partire dal crinale, affiorano i Flysch arenacei terziari della successione toscana sui quali sono sovrascorsi i complessi ligure ed epiligure di età compresa tra il Cretacico ed il Pliocene; nel margine collinare, prospiciente la pianura, compaiono i sedimenti trasgressivi plio-pleistocenici che hanno il loro massimo sviluppo nel sottosuolo padano, interessati dalla tettonica compressiva plio-quadernaria (Fig. 1).

ALTO APPENNINO

Nell'alto Appennino sono riconoscibili tre unità tettoniche che presentano una strutturazione a scaglie sovrapposte, vergenti a NE con piani immergenti a SW.

L'Unità più interna, formata dal *Macigno del Chianti*, costituisce il crinale e presenta sul fronte nord-orientale un'anticlinale rovesciata, laminata e sovrascorsa verso NE sull'Unità di *M. Modino* e su quella del *Cervarola*; a partire da Libro Aperto il sovrascorrimento del *Macigno del Chianti* prosegue nel versante toscano lungo la valle del T. Lima dove assume un andamento prossimo alla direzione nord-sud.

L'Unità costituita dalle *Arenarie di M. Modino*, sia nella fascia di M. Ravino ad occidente che nella zona di M. Cimone ad est, si rovescia e sovrascorre sulle *Arenarie del Cervarola*, sempre con piani poco o mediamente inclinati a SW.

Infine l'Unità formata dalle *Arenarie del Cervarola*, che sul versante emiliano dell'Appennino è quella che affiora con maggiore ampiezza, presenta, oltre al sovrascorrimento frontale sull'Unità Sestola-Vidiciatico accompagnato da rovesciamento localmente discontinuo, diversi altri sovrascorrimenti interni, soprattutto nell'area compresa tra la valle del T. Dardagna e quella del Reno. Anche in questi casi la presenza dei sovrascorrimenti è messa in evidenza da fasce, sempre ad andamento appenninico, di terreni appartenenti all'Unità Sestola-Vidiciatico coinvolti nel fronte laminato delle anticlinali sovrascorse.

Oltre a strutture tettoniche ad andamento appenninico, nella zona considerata sono presenti lineamenti tettonici trasversali, antiappenninici, tra cui spiccano le ipotizzate "Linea del Secchia", "Linea di Pievepelago" e "Linea del Dardagna" (GUENTHER & RUETTER, 1985; GELMINI, 1993).

Dal punto di vista stratigrafico il *Macigno del Chianti* è costituito da una sequenza flyscioide in prevalenza arenacea grossolana, con intervalli pelitici ridotti o assenti, di età oligocenica superiore che può raggiungere il Miocene inferiore.

I rapporti con le soprastanti *Arenarie di M. Modino* non hanno trovato ancora un'univoca interpretazione; per alcu-

ni autori (ABBATE & BRUNI, 1987; BRUNI *et al.*, 1992) tra le due formazioni esiste continuità di sedimentazione e il cosiddetto "olistostroma di M. Modino" sarebbe interno a quest'ultima formazione; per altri (BETTELLI *et al.*, 1987b; CONTI & GELMINI, 1992; GELMINI, 1993) il limite tra *Macigno* e *Modino* sarebbe tettonico e rappresentato dall'"olistostroma" che separerebbe la Falda Toscana (alla quale apparterebbe solo il *Macigno*) dalle soprastanti unità *Modino* e *Cervarola*.

La diversa interpretazione dei rapporti tra le due formazioni comporta anche una differente ricostruzione paleogeografica dei loro bacini di sedimentazione. Nel primo caso si avrebbe una continuità verticale di sedimentazione nello stesso bacino, nel secondo la loro deposizione sarebbe avvenuta in due bacini separati nel tempo e nello spazio.

Al fronte del *Macigno del Chianti* si riconosce la seguente sovrapposizione di unità tettoniche, dal basso:

- *Arenarie di M. Modino* e relativo "complesso di base"
- Formazione di *Pievepelago*
- *Arenarie di M. Cervarola*
- Unità Sestola - Vidiciatico

Il complesso di base di *M. Modino* (REUTTER, 1969) o Olistostroma di *M. Modino* (SAGRI, 1975) sovrasta il *Macigno* della Falda Toscana ma ne appare strutturalmente indipendente. Il complesso è costituito soprattutto da lembi tettonizzati di diverse formazioni liguri e/o subliguri e subordinatamente da breccie poligeniche di deposito gravitativo in massa o di colata sottomarina; seguono argille prevalentemente rosse ed arenarie risedimentate (*Argille ed Arenarie di Fiumalbo*) dell'Eocene- Oligocene inferiore e da marne siltose, compatte e grigie (*Marne di Marmoreto*) dell'Oligocene-Miocene inferiore (?).

Le *Arenarie di M. Modino*, costituite da torbiditi arenacei ed arenaceo-pelitici (Aquitani) presentano rapporti diversi col complesso sottostante: in transizione localmente sulle *Marne di Marmoreto*, o precedute da breccie marnose poligeniche di colata sottomarina, oppure in altri punti, in contatto tettonico. Lo spessore delle arenarie, è di circa 600-700 m.

La Formazione di *Pievepelago*, molto eterogenea, dovrebbe fare da collegamento tra le *Arenarie di M. Modino* e di *M. Cervarola* anche se i rapporti con le arenarie sotto e soprastanti sono per lo più tettonizzati. La formazione è costituita da marne siltose, compatte e grigie, con torbiditi arenaceo pelitici (*Marne ed Arenarie di Pievepelago*) dell'Oligocene-Aquitani, alle quali si intercalano meccanicamente lembi di argilliti rossastre tipo Fiumalbo con torbiditi arenaceo-marnose grigio-verdastro e lembi di natura varia di origine ligure e/o subligure con locali breccie argillose poligeniche di colata sottomarina.

Le *Arenarie di M. Cervarola* sono formate da una successione di torbiditi arenaceo-marnose di provenienza alpina, con uno spessore che può raggiungere il migliaio di metri.

Nella parte basale, intercalato nelle arenite litiche ed arcose, è presente uno strato calcarenitico risedimentato a Lepidocline e Miogypsine databile all'Aquitani. Assai più incerta è la datazione del tetto della formazione per il quale si può comunque indicare un'età medio-miocenica che, negli affioramenti a est del Dardagna, è riferibile al Serravalliano (GELMINI, 1993).

Il fronte delle *Arenarie del Cervarola* è accompagnato

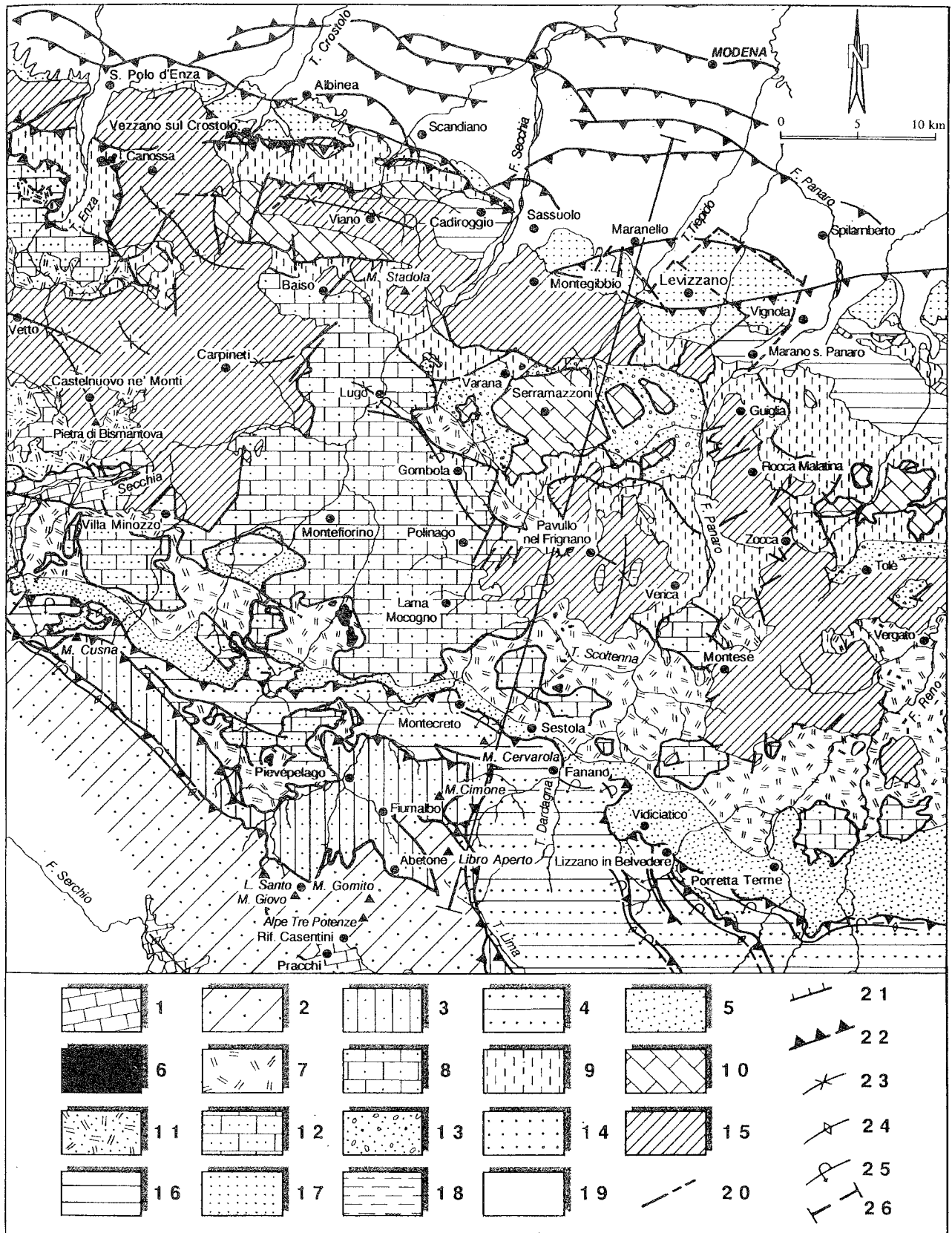


Fig. 1 - Schema tettonico dell'Appennino modenese e zone limitrofe. 1=Successione evaporitico-carbonatica e Scaglia toscana; 2=Macigno del Chianti; 3=Arenarie di M. Modino e Formazione di Pievepelago; 4=Arenarie di M. Cervarola; 5=Unità Sestola-Vidiciatico. Terreni delle Unità Liguri. 6=Olioli; 7=Complesso di base I (Argille a palombini; Argilliti variegate); 8=Successione Monteverere-Monghidoro-Rosenna; 9=Complesso di base II; 10=Successione Cassio-Viano; 11=Argille a Palombini e Arenarie di Ostia e Casanova; 12=Flysch di M. Caio; 13=Unità tettonica di Coscogno. 14=Terreni delle successioni epiliguri. 15=Successione *Marne di Monte Piano*-Formazione del *Termina*; 16=Depositi del Mio-Pliocene intrappenninico. Terreni neoautoctoni. 17=Depositi del Plio-Pleistocene padano. Terreni continentali. 18=Depositi lacustri; 19=Alluvioni recenti; 20=Faglia e suo probabile prolungamento; 21=Faglia diretta; 22=Sovrascorrimento; 23=Asse di sinclinale; 24=Asse di anticlinale; 25=Asse di piega rovesciata; 26=Traccia della sezione di Fig. 2.

dall'Unità Sestola-Vidiciatico che si è accavallata su di esse e che è stata coinvolta nel loro piegamento e sovrascorrimiento. Si tratta di un'unità tettonica costituita da lembi alloctoni di età cretacea superiore-eocenica di prevalente provenienza subligure accompagnati da limitati depositi di frane sottomarine e ricoperti da una sedimentazione in prevalenza marnosa del tipo delle marne della Formazione di *Pievepelago*.

Nella parte alta della Sestola-Vidiciatico sono presenti alcuni episodi di arenarie torbiditiche (*Arenarie di Porretta, di Suviana, di M. Gradi*) di età medio-miocenica, che possono rappresentare episodi risedimentati intercalati nei depositi marnosi di colmamento delle avanfosse flyscioidi, in un sistema migrante di fronte deformativo-avanfossa (CONTI & GELMINI, 1992).

Si può ipotizzare quindi che la distinzione tra Formazione di *Pievepelago* e Unità Sestola-Vidiciatico possa essere fatta in base alle diverse posizioni geometriche da loro attualmente occupate; infatti l'Unità Sestola-Vidiciatico altro non sarebbe che la porzione interna della stessa scarpata alla quale apparteneva anche la Formazione di *Pievepelago*, in seguito tettonicamente traslata sul fronte del *Cervarola*.

MEDIO-BASSO APPENNINO

Questa zona è caratterizzata da un grande sviluppo dei terreni liguri ed epiliguri per una descrizione dettagliata dei quali si rimanda ai recenti lavori di BETTELLI *et al.* (1987b; c; d). I terreni epiliguri sono assai meno deformati rispetto a quelli liguri che presentano una strutturazione molto complessa dovuta in gran parte ad eventi tettonici di età eoligocenica, precedenti cioè alla loro definitiva messa in posto, e in misura minore agli eventi tettonici mio-pleistocenici.

Le Liguridi possono essere suddivise (Fig. 1) in cinque unità tettoniche (BETTELLI *et al.*, 1987a;d), indicate in Fig. 2 come **LI**, **LII** e **MCO**. **LI** è costituito dal Complesso di base I e dalla successione *M. Venere-Monghidoro-Val Rossenna* (Gruppo della Val Sambro), mentre **LII** è rappresentato dal Complesso di base II e dalla successione *Cassio-Viano*, e infine con **MCO** si indica l'Unità tettonica di Coscogno (*Melange di Coscogno*) costituita da innumerevoli scaglie tettoniche anche di piccolissime dimensioni, appartenenti a diverse successioni liguri e/o subliguri.

In base alla loro distribuzione areale e alla presenza di alcuni litotipi comuni è possibile ipotizzare un originario legame stratigrafico tra la successione *M. Venere-Monghi-*

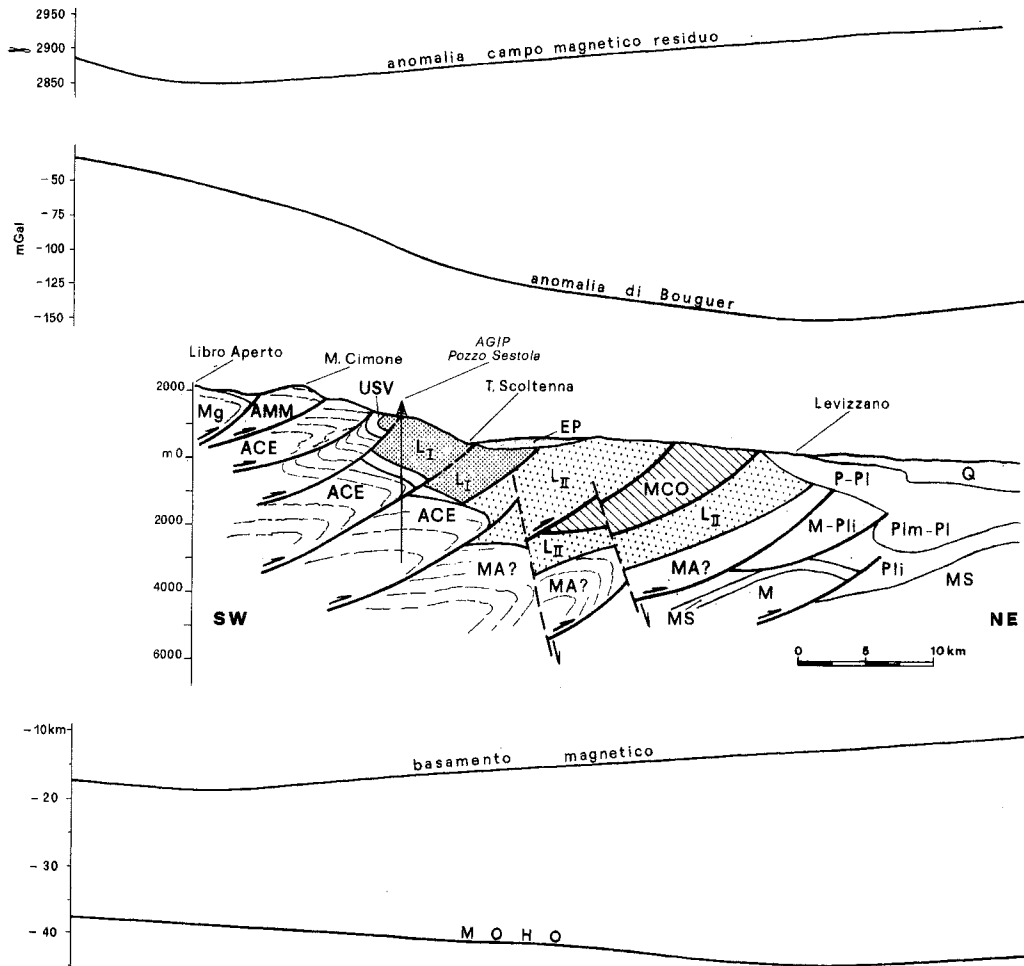


Fig. 2 - Sezione geologica schematica tra il crinale appenninico e il margine collinare padano Mg= *Macigno del Chianti*; AMM= *Arenarie di M. Modino*-Formazione di *Pievepelago*; ACE= *Arenarie di M. Cervarola*; USV= Unità Sestola-Vidiciatico; MA= *Marnoso-arenacea*; M= terreni del Miocene s.l.; M-Pli= terreni del Miocene-Pliocene inferiore; Pli= terreni del Pliocene inferiore; P-Pl e Pim-Pli= terreni del Plio-Pleistocene e del Pliocene medio-Pleistocene; Q= terreni del Quaternario; LI= Unità Liguri rappresentate dal Complesso di base I con ofioliti e dalla successione *M. Venere-Monghidoro-Val Rossenna*; LII= Unità Liguri rappresentate dal Complesso di base II con ofioliti e dalla successione *Cassio-Viano*; MCO= Unità tettonica di Coscogno; EP= terreni delle successioni epiliguri. (Le strutture del sottosuolo padano sono state riprese da PIETRI & GROPPI, 1981).

doro-Val Rossenna ed il Complesso di base I e tra la successione *Cassio-Viano* e il Complesso di base II. Nell'Appennino modenese e nelle aree limitrofe non è però possibile osservare in alcun punto rapporti stratigrafici fra le successioni torbiditiche cretaceo-eoceniche e i loro presunti complessi di base a causa della reciproca totale indipendenza tettonica.

LI. Complesso di base I e successione *M. Venere-Monghidoro-Val Rossenna*.

Il Complesso di base I è costituito dalle *Argille a Palombini* con incluse piccole masse di rocce ofiolitiche e da *Argilliti variegata* di età Cretaceo inf.-Cretaceo superiore. Su di esso poggia, sempre con contatti tettonici, la successione *M. Venere-Monghidoro-Val Rossenna* di età Cretaceo sup.-Eocene, rappresentata rispettivamente dal Flysch calcareo di *M. Venere*, da quello arenaceo di *Monghidoro* e infine dalle *Argille* e dal *Melange* della *Val Rossenna* (BETTELLI & PANINI, 1987). La successione, che è caratterizzata da prevalenti torbiditi calcarei alla base (Flysch di *M. Venere*) e dalla predominanza di torbiditi arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee o solo pelitiche nella parte sommitale (Flysch di *Monghidoro*), si chiude con peliti grigie o rossastre di probabile età eocenica (*Argille della Val Rossenna*) alle quali segue, con contatto stratigrafico, un potente corpo caotico costituito da depositi di colata (depositi di *debris flow*) e da estese masse monoformazionali di *Argille varicolori* (Brecce argillose poligeniche della *Val Rossenna* o *Melange* della *Val Rossenna*).

Le due unità di LI, sovrapposte all'Unità Sestola-Vidiciatico, sono quelle maggiormente estese. Mentre a est dello Scoltenna predomina l'unità costituita da terreni del Complesso di base, in quello occidentale è prevalente la successione dei Flysch di *M. Venere-Monghidoro* che presenta qui un'ampia continuità di affioramento ed un coerente assetto strutturale. La successione è piegata in un'ampia sinclinale (sinclinale della *Val Rossenna*) rovesciata verso NE con al nucleo le *Argille della Val Rossenna* e le Brecce argillose poligeniche; essa ad ovest di Pavullo, è bruscamente interrotta da un sistema di faglie a direzione antiappenninica.

Ancora più a SE il sistema di faglie della *Val Scoltenna* a direzione SW-NE accosta la successione dei Flysch e la sovrastante Formazione di *Monte Piano* all'unità costituita dal Complesso di base I (in prevalenza *Argille a Palombini*) sul quale giacciono tettonicamente varie placche, attualmente isolate, della Formazione di *Monte Venere* e/o di *Monghidoro*.

La sinclinale rovesciata della *Val Rossenna* è limitata a nord da un importante sistema di dislocazioni appenniniche (Linea della *Val Rossenna*) che prosegue fino alla valle del F. Reno; tale linea tettonica, dato che non attraversa i terreni epiliguri sovrastanti della zona di Pavullo e di Montese-Castel d' Aiano, risulta ad essi più antica, imputabile alla fasi tettoniche liguri.

LII. Complesso di base II e successione *Cassio-Viano*.

LII, sovrapposto tettonicamente al precedente, affiora nel basso Appennino ed è rappresentato da due unità tettoniche costituite rispettivamente da terreni del Complesso di base II e dalla successione *Cassio-Viano* (BETTELLI

et al., 1987d).

Il Complesso di base II ha una costituzione in parte analoga al Complesso di base I, con il quale ha in comune le *Argille a Palombini* con inclusi ofiolitici, mentre se ne differenzia per la presenza delle *Arenarie di Scabiazza* e delle *Argille varicolori*.

Sul Complesso di base II poggia la successione *Cassio-Viano* costituita da torbiditi in prevalenza calcareo-marnose di età campaniano-maastrichtiana e dalle ben note *Argille di Viano* di età paleocenica.

La successione *Cassio-Viano* affiora completa dei suoi termini in modo esteso e ad assetto regolare esclusivamente nella zona nord-occidentale dove costituisce la terminazione orientale della ben nota "struttura di Viano"; una sinclinale irregolare con asse a direzione appenninica presente tra i fiumi Enza e Secchia. La sinclinale è bordata a sud e a nord dai terreni del Complesso di base II dai quali è separata da importanti dislocazioni a direzione appenninica: a sud, dalla linea Canossa S. Romano e a nord dalla linea Pecorile-M. dell'Evangelo (PAPANI, 1971; BETTELLI *et al.*, 1987b).

La prima nel suo tratto nord-occidentale ha caratteristiche di faglia inversa che ha rigiocato come faglia diretta almeno fino al T. Tresinaro; tra il T. Tresinaro ed il F. Secchia rappresenta invece un vero e proprio sovrascorrimiento la cui entità aumenta progressivamente verso est e che ha sovrapposto i terreni del Complesso di base II, assieme ai sovrastanti terreni epiliguri, al fianco meridionale della struttura. La seconda è invece costituita da una serie di faglie dirette che dislocano, abbassandolo, il fianco settentrionale della struttura di Viano e lo giustappongono all'unità costituita dai terreni del Complesso di base II, fortemente rialzato, a sua volta sovrascorso verso nord sui terreni plio-pleistocenici del margine appenninico padano.

A nord del sistema della *Val Rossenna* è presente un altro sistema di dislocazioni appenniniche: la linea Alevara-Rodiano (BETTELLI *et al.*, 1987d) rappresentata da faglie inverse (molte delle quali hanno successivamente rigiocato come faglie dirette), che, giungendo fino al F. Panaro, limitano a nord l'area di affioramento dell'Unità tettonica di Coscogno ed isolano i grandi fronti di accavallamento ad arco di Montebanzone-Montegibbio costituiti dai depositi epiliguri e da terreni del Complesso di base II (Fig. 3).

MCO. Unità tettonica di Coscogno.

L'Unità di Coscogno (*Melange* di Coscogno, BETTELLI *et al.*, 1987b) è costituito in buona parte da scaglie di terreni del Complesso di base II e da blocchi esotici anche di età terziaria, quest'ultimi dubitativamente appartenenti alle unità subliguri.

L'area di affioramento dell'Unità di Coscogno corrisponde ad una zona di alto strutturale; essa è limitata a nord dalla linea Alevara-Rodiano mentre a est, lungo il basso corso del F. Panaro, si interrompe in corrispondenza della prosecuzione della linea dello Scoltenna avente direzione antiappenninica (Fig. 3).

Il collegamento tra gli affioramenti del modenese e quelli del bolognese non appare evidente. Una possibile soluzione è che l'Unità di Coscogno conservi ovunque il carattere di unità tettonica indipendente e che la sua presenza possa essere ammessa, sotto l'unità costituita dal Com-

pleso di base II, anche nell'area ad est del F. Panaro ricollegandosi così agli affioramenti del bolognese. In ogni caso l'Unità di Coscogno deve essersi formata prima dell'Oligocene superiore poichè la Formazione di *Antognola* nel bolognese si è deposta direttamente su di essa.

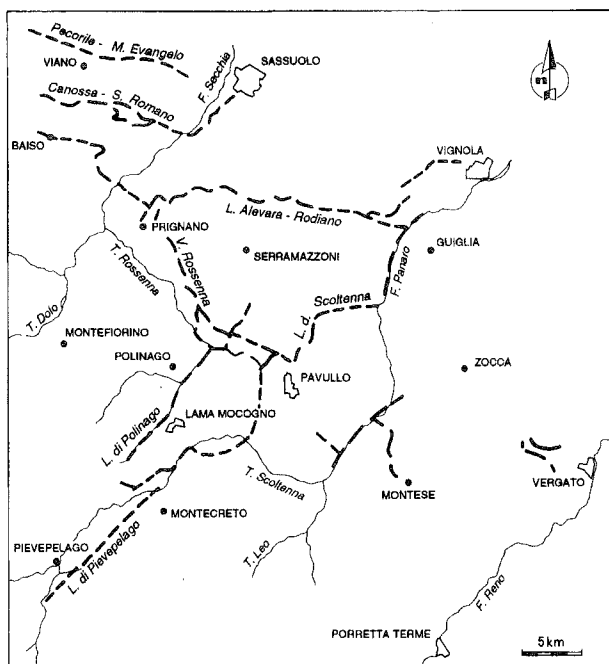


Fig. 3 - Principali linee tettoniche del medio Appennino modenese, da BETTELLI *et al.*, 1987d, modificata.

SUCCESSIONE EPILIGURE E TERRENI PLIO-PLIESTOCENICI DEL MARGINE PADANO

I terreni della successione epiligure oligo-miocenica (BETTELLI *et al.*, 1987c) si presentano per lo più poco deformati; sono di norma piegati in blande sinclinali (sinclinali di Vetto-Carpineti, di Viano, di Montebanzone) oppure come "zatteroni" suborizzontali con angoli di pochi gradi. Queste strutture sono interessate da una tettonica disgiuntiva con faglie dirette o subverticali, diversamente orientate, con modesto rigetto.

Anche i depositi plio-pleistocenici, affioranti nelle colline a margine della pianura (GASPERI *et al.*, 1987) si presentano poco deformati; normalmente costituiscono delle omoclinali immergenti verso nord, tagliate da modeste faglie dirette e/o verticali; negli affioramenti più settentrionali, come tra Sassuolo e Maranello nel modenese, gli strati tendono però a verticalizzarsi dando luogo ad una flessura (detta anche Lineamento Frontale Pedeappenninico) collegabile al sistema delle pieghe emiliane che hanno il massimo sviluppo nel sottosuolo della pianura (CASTELLARIN *et al.*, 1985).

INTERPRETAZIONE DEI DATI GEOFISICI

L'interpretazione dell'andamento strutturale profondo è assai problematico per la scarsità di dati geofisici e di perforazioni.

Per quanto riguarda i primi chilometri di profondità si

può ipotizzare (Fig. 2) che si continui lo stesso motivo strutturale a scaglie tettoniche sovrascorse a NE rilevate in superficie e documentate nel sottosuolo padano dalle ricerche dell'AGIP (PIERI & GROPPI, 1981; CASTELLARIN *et al.*, 1985; CASSANO *et al.*, 1986).

Molto più problematico è ipotizzare, con un minimo di fondatezza, quanto succede a profondità maggiore, fino alla Moho.

L'anomalia di Bouguer (CARROZZO *et al.*, 1991) decresce gradualmente dal crinale appenninico al margine della pianura passando da -50 a -150 mGal; procedendo verso nord i valori aumentano di nuovo gradualmente.

Se si confrontano i dati gravimetrici con l'andamento della Moho (NICOLICH & DAL PIAZ, 1991) lungo la linea del profilo (Fig. 2), si nota una loro sostanziale concordanza con la Moho che, posta a una profondità intorno a 40 chilometri in corrispondenza del crinale, tocca i 45 lungo il margine pedecollinare (qui l'anomalia di Bouguer raggiunge il valore minimo) da dove ricomincia gradualmente a risalire.

L'andamento delle anomalie magnetiche indica un substrato suscettivo che, contrariamente alla Moho, si inflette verso il basso in corrispondenza del crinale per risalire in modo abbastanza uniforme procedendo verso nord.

Interpolando la ricostruzione di CASSANO *et al.* (1986), si può ritenere che il basamento magnetico nella zona del crinale sia a una profondità superiore ai 15 chilometri e ciò può essere interpretato come dovuto al considerevole spessore determinato dall'impilamento delle numerose scaglie tettoniche.

I dati disponibili consentono pertanto di ipotizzare andamenti della Moho e del basamento magnetico molto regolari dei quali mi sembra lecito dubitare, soprattutto in considerazione di quanto emerso in altre parti della catena appenninica e nel sottosuolo della pianura dove indagini geofisiche dettagliate hanno consentito di ipotizzare situazioni molto più complesse; permane quindi molta incertezza sul loro andamento che potrà essere colmata con la realizzazione del profilo sismico CROP.

CONCLUSIONI

Nel Burdigaliano (GELMINI, 1993) il fronte deformativo, costituito dall'impilamento *Macigno del Chianti-Arenarie di M. Modino*-Formazione di *Pievepelago*-Unità Liguri e Subliguri con i loro bacini satelliti epiliguri, sovrascorre sull'antistante avanfossa dove si depositano le *Arenarie del Cervarola* più interne determinandone la parziale chiusura mentre all'esterno si forma una nuova zona subsidente, parallela alla precedente in cui si sedimentano nel Langhiano(?) - Serravalliano le *Arenarie del Cervarola* più esterne, in accordo con un modello evolutivo che prevede lo spostamento di un sistema fronte deformativo-avanfossa verso l'esterno della catena (VAL, 1987; CONTI & GELMINI, 1992).

In un non meglio precisato Serravalliano anche le *Arenarie del Cervarola* vengono interessate dalla tettonica compressiva e dalla generale rotazione antioraria della catena appenninica (ALVAREZ, 1972, 1973; ALVAREZ & LOWRIE, 1974; WESTPHAL *et al.*, 1976; FAZZINI & GELMINI,

1982; VIGLIOTTI & KENT, 1990) con un generale scorrimento verso E-NE. Per effetto della rotazione antioraria gli elementi strutturali da meridiani tendono a disporsi in direzione appenninica che diviene via via sempre più marcata negli stadi successivi, e si accentuano i movimenti trascorrenti lungo gli svincoli trasversali.

Contemporaneamente al formarsi delle strutture sopra ricordate le *Arenarie del Cervarola* vengono sovrascorse dall'Unità Sestola-Vidiciatico e dalle Unità Liguri. La Sestola-Vidiciatico in parte rimane pizzicata nei fianchi rovesciati e sovrascorsi interni, mentre la maggiore parte sopravanza le *Arenarie del Cervarola* venendosi a collocare a nord-est del sovrascorrimento frontale nel quale vengono direttamente coinvolte. I complessi liguri invece vengono traslati ancora più avanti, nel versante padano dell'Appennino; la loro messa in posto avviene con il loro coinvolgimento nei *thrust* del substrato che migrano nel tempo e dall'interno verso l'esterno della catena.

Le scaglie tettoniche di *Macigno*, *Modino* e *Cervarola*, impilate l'una sull'altra si accavallano sulla *Marnoso arenacea* o su formazioni mioceniche corrispondenti, anch'esse deformate, fino alla profondità di alcune migliaia di metri, com'è stato messo in evidenza anche dal pozzo "Sestola" dell'AGIP (ANELLI *et al.*, 1992).

Le Liguridi, sovrapposte alle scaglie tettoniche sopra ricordate, sono particolarmente potenti nel medio Appennino dove si spingono in profondità fin oltre i 4000 metri. Ciò è forse da mettere in relazione, oltre che a raddoppi interni, a faglie dirette profonde, delle quali però non si hanno evidenze in superficie.

I rapporti tra le diverse Unità Liguri (BETTELLI *et al.*, 1987d) sono condizionati in buona parte all'esistenza di marcate linee e sistemi di dislocazioni compressive a carattere regionale che si sono formate in tempi diversi, in parte almeno prima dell'Oligocene superiore, come starebbe a dimostrare la suturazione della linea della Val Rossenna da parte dei terreni epiliguri della zona di Pavullo.

La maggior parte di questi sistemi (Fig. 3) ha direzione appenninica ed è rappresentata, da SW a NE, dal Sistema dalla Val Rossenna, dalla Linea Canossa-S. Romano e dalla Linea Alevara-Rodiano e delimita differenti unità strutturali. Essi sono intersecati da una serie di faglie antiappenniniche, prevalentemente verticali, che costituiscono la Linea della Val Scoltenna; quest'ultima taglia trasversalmente tutte le Liguridi e giunge fino al bordo appenninico padano individuando due ampi settori: uno nord-occidentale e l'altro sud-orientale.

Nel settore nord-occidentale i sistemi di dislocazioni ad andamento appenninico (Sistema della Val Rossenna, Linea Alevara-Rodiano e Linea Canossa-S. Romano) sono stati riattivati in maggiore o minor misura dalle più recenti fasi tettoniche, prima compressive e successivamente distensive, mentre in quello sud-orientale, che presenta un minor raccorciamento, si hanno deformazioni assai meno pronunciate.

La Linea della Val Scoltenna rappresenta pertanto un elemento di separazione tra due settori che hanno subito un diverso grado di tettonizzazione e di raccorciamento. Essa potrebbe costituire uno svincolo meccanico tra il settore nord-occidentale più raccorciato e quello sud-orientale meno raccorciato e, nel complesso, più ribassato; tale linea potrebbe essere un elemento superficiale limitato alla sola

copertura alloctona ligure o riprodurre più o meno fedelmente un'analogia struttura presente al di sotto delle Liguridi; in questo caso potrebbe rappresentare la prosecuzione verso nord della Linea di Pievepelago.

In ogni caso il quadro tettonico e strutturale mostra come le Liguridi si siano deformate in modo fragile secondo ampie fasce delimitate da dislocazioni ad andamento appenninico che hanno riutilizzato preesistenti discontinuità tettoniche di età pre-miocenica. La tettonica delle Liguridi prima e dopo la loro messa in posto meglio si spiega con una tettonica attiva di tipo compressivo piuttosto che gravitativa (CASTELLARIN, *et al.*, 1985; 1986; CASTELLARIN & PINI, 1986; CONTI *et al.*, 1987). Da una parte, infatti, l'assetto strutturale acquisito dalle Liguridi durante l'Eocene e l'Oligocene trova una soddisfacente spiegazione solo se queste vengono considerate come una porzione di un prisma di accrezione (TREVES, 1984), mentre dall'altra l'assetto strutturale attuale delle Liguridi, oltre che essere costantemente determinato dalle strutture formatesi durante le fasi tettoniche liguri, è fortemente condizionato da uno stile di deformazione a sovrascorrimenti, molto accentuato soprattutto in prossimità del margine appenninico padano, che, assecondato da un analogo andamento del fronte di accavallamento delle Unità Toscane retrostanti, permette di inquadrare le Liguridi, le Unità Toscane e Padane sepolte in un unico schema regionale coerente di tettonica compressiva.

BIBLIOGRAFIA

ABBATE E. & BRUNI P. (1987) - *Modino-Cervarola o Modino e Cervarola? Torbiditi mioceniche ed evoluzione del margine nord-appenninico*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 19-33.

ALVAREZ W. (1972) - *Rotation of the Corsica-Sardinia microplate*. Nature, **235**, 103-105.

ALVAREZ W. (1973) - *Sardinia and Corsica: one microplate or two?* In: Paleogeografia del Terziario sardo nell'ambito del Mediterraneo occidentale. Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, suppl. **53**, 1-4.

ALVAREZ W. & LOWRIE W. (1974) - *Paleomagnetismo della Scaglia rossa umbra e rotazione della penisola italiana*. Boll. Soc. Geol. It., **93**, 883-891.

ANELLI L., GORZA M., PIERI M. & RIVA M. (1992) - *Dati di pozzi profondi dell'Appennino Settentrionale*. (Riassunto). Atti della 76° Riunione Estiva della Soc. Geol. It., Firenze 21-23 sett. 1992.

BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P., GASPERI G., GELMINI R. & PANINI F. (1987a) - *Nota illustrativa alla Carta Geologica Schematica dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 487-498.

BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P. & GELMINI R. (1987b) - *Macigno, Arenarie di Monte Modino e Arenarie del Monte Cervarola del crinale appenninico emiliano*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 1-18.

BETTELLI G., BONAZZI U., FAZZINI P. & PANINI F. (1987c) - *Schema introduttivo alla geologia delle Epiliguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 215-244.

- BETTELLI G., BONAZZI U. & PANINI F. (1987d) - *Schema introduttivo alla geologia delle Liguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 91-126.
- BETTELLI G. & PANINI F. (1987) - *I melanges dell'Appennino settentrionale dal T. Tresinaro al T. Sillaro*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 187-214.
- BRUNI P., CIPRIANI N., FALCO E. & PANDELI E. (1992) - *Nuovi dati sedimentologici e petrografici delle formazioni torbiditiche oligo-mioceniche del Dominio Toscano*. (Riassunto). Atti del 76° congresso della Soc. Geol. It., Firenze 21-23 sett. 1992.
- CARROZZO M.T., LUZIO D., MARGIOTTA C. & QUARTA T. (1991) - *Gravity map of Italy. Isoanomalies of Bouguer, scale 1:500000. Sheet n.1*. P.F. Geodinamica, CNR. Quaderni della Ricerca Sc. **114**.
- CASSANO E., ANELLI L., FICHERA R. & CAPPELLI V. (1986) - *Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. AGIP, 1-27.
- CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (con contributo di RABBI E., PINI G.A. & CRESTANA G. (1985) - *Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano*. Giornale di Geol., **47**, 47-76.
- CASTELLARIN A. & PINI G.A. (con contributo di BORSETTI A.M. & RABBI E.) (1987) - *L'arco del Sillaro: la messa in posto delle Argille Scagliose al margine appenninico padano (Appennino bolognese)*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 127-141.
- CASTELLARIN A. PINI G.A. CRESTANA G. & RABBI E. (1986) - *Caratteri strutturali mesoscopici delle Argille Scagliose dell'Appennino bolognese*. Mem. Soc. Geol., **38**, 459-477.
- CONTI S., FREGNI P. & GELMINI R. (1987) - *L'età della messa in posto della coltre della Val Marecchia, Implicazioni paleogeografiche e strutturali*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 143-167.
- CONTI S. & GELMINI R. (1992) - *Eventi tettonici e migrazione del sistema fronte deformativo-avanfossa nell'Appennino Settentrionale dal Miocene inferiore al Pliocene inferiore*. (Riassunto). Atti della 76° Riunione Estiva della Soc. Geol. It., Firenze 21-23 sett. 1992.
- FAZZINI P. & GELMINI R. (1982) - *Tettonica trasversale nell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., **24**, 299-309.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M. & LABATE D. (1989) - *Evoluzione Plio-Quaternaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla Carta Geologica*. Mem. Soc. Geol. It., **39**, 375-431.
- GELMINI R. (1993) - *Le Arenarie di Monte Cervarola tra il T. Fellicarolo e il F. Reno (Appennino modenese-bolognese)*. Atti Tic. Sc. Terra, **36**, 11-32.
- GUENTHER K. & REUTTER K.J. (1985) - *Il significato delle strutture dell'Unità di M. Modino-M. Cervarola tra il Passo delle Radici e il M. Falterona in relazione alla tettonica dell'Appennino Settentrionale*. Giornale di Geologia, **47**, 15-34.
- NICOLICH R. & DAL PIAZ G.V. (1991) - *Moho isobaths*. In: Structural model of Italy, scale 1:500000, sheet n.2. P.F. Geodinamica, CNR. Quaderni della Ricerca Sc. , **114**.
- PIERI M. & GROPPI G. (1981) - *Subsurface geological structure of the Po Plain*. Pubbl. **414** P.F. Geodinamica, CNR, 23 p.
- RUETTER K.J. (1969) - *La geologia dell'alto Appennino Modenese tra Civago e Fanano e considerazioni geotettoniche sull'Unità di M. Modino-Cervarola*. L'Ateneo Parmense, **5**, 1-88.
- SAGRI M. (1975) - *Ambienti di deposizione e meccanismi di sedimentazione nella successione Macigno-olistostroma-Arenarie del M. Modino (Appennino modenese)*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, 771-778.
- TREVES B. (1984) - *Orogenic belts as accretionary prism: the example of the Northern Apennines*. Ofioliti, **9**, 577-618.
- VAI G.B. (1987) - *Migrazione complessa del fronte deformativo-avanfossa-cercine periferico: il caso dell'Appennino Settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., **38**, 95-105.
- VIGLIOTTI L. & KENT D.V. (1990) - *Paleomagnetic results of Tertiary sediments from Corsica: evidence of post-Eocene rotation*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, **62**, 97-108.
- WESTPHAL M., ORSINI J. & VELLUTINI P. (1976) - *Le microcontinent corso-sarde, sa position initiale: donnees paleomagnetiques et raccords geologiques*. Tectonophysics, **30**, 141-157.