

S. DEL TREDICI (\*), A. ROBBIANO (\*)

## EVOLUZIONE STRUTTURALE DELL'UNITÀ SUBLIGURE IN VAL DI MAGRA (APPENNINO SETTENTRIONALE)

**Riassunto** - Vengono esposti alcuni risultati di un rilevamento sviluppato alla scala 1:5.000 che ha interessato l'area compresa tra le Cinqueterre e la Lunigiana meridionale, sino all'allineamento Licciana Nardi-Minucciano.

In particolare si intende rivolgere l'attenzione ai problemi relativi all'Unità Subligure, nota anche come Unità di Canetolo, tradizionalmente oggetto di controverse interpretazioni, e, in quest'area, scarsamente conosciuta.

Dal rilevamento dettagliato della Bassa Val di Magra è emersa l'esistenza di un edificio strutturale costituito da almeno quattro ripetizioni tettoniche della successione dell'Unità di Canetolo. In base al coinvolgimento delle formazioni oligoceniche dell'Unità Subligure, l'evento responsabile di tale strutturazione a *thrust* è riferito alla fase di sovrascorrimento Adriatico-vergente delle Unità Liguri s.l. al di sopra di quelle Toscane s.l. Durante tale fase compressiva, le Arenarie di Ponte Bratica vengono infatti più volte raddoppiate ad opera di superfici di sovrascorrimento localizzate principalmente nei livelli meno competenti della successione, e cioè nella Formazione delle Argille e Calcari.

In quest'area le Arenarie di Ponte Bratica contengono livelli di conglomerati poligenici che tendono ad assottigliarsi sino a sparire man mano che ci si sposta nei *thrust* inferiori e quindi originariamente più esterni. Questa considerazione porta a ipotizzare una alimentazione dalle zone più interne dell'edificio appenninico in formazione. La precedente attribuzione di tali livelli conglomeratici alla Formazione di Petriagnacola è stata modificata sulla base delle datazioni con Nannoplankton calcareo, indicanti un'età oligocenica superiore, in contrasto con la recente determinazione dell'età oligocenica inferiore delle Arenarie di Petriagnacola.

La presenza di questi livelli ha permesso inoltre di correlare la sequenza dei raddoppi su entrambe le sponde del *Graben* della Bassa Val di Magra.

**Parole Chiave** - Appennino settentrionale, liguridi, evoluzione strutturale, terziario, Unità di Canetolo.

**Abstract** - *Structural evolution of the Sub-ligurian Unit in the Magra Valley (Northern Apennines)*. Some relevant results obtained by a detailed geological survey, at scale 1:5.000, regarding the Cinqueterre and the Southern Lunigiana area, up to the Minucciano-Licciana Nardi alignment, are presented. In particular it has been pointed out the discussed interpretation of the Canetolo Unit structural evolution. The detailed geological survey of the Lower Magra Valley has shown the presence of a thrust belt which is constituted by at least four Canetolo Unit sequence duplexes.

The most recent formation involved in this thrust belt is

the oligocenic Ponte Bratica sandstone, therefore the tectonic event which generated the duplexes has been related to the overthrusting of the Ligurian Units s.l. onto the Tuscan Units l.s. The flats are located in the less competent formation of the sedimentary sequence, represented by the Argille e Calcari di Canetolo.

In the area under consideration, the Ponte Bratica sandstone includes some levels of polymict conglomerates which disappear in the lower thrusts. As a consequence, the probable source area can be identified in the internal part of the apenninic accretionary prism. The former attribution of these conglomeratic levels to the Petriagnacola Formation has been modified because of the dating based on a nannoplankton association indicating an upper oligocenic age, in contrast to the recent determination of the lower oligocenic age of the Petriagnacola sandstone. The existence of these markers allows the reconstruction of the thrust sequence at both edges of the Lower Magra *Graben*.

**Key Words** - Northern Apennines, ligurian units, structural evolution, tertiary, Canetolo complex.

### INTRODUZIONE

Il Dominio Subligure è rappresentato da una successione sedimentaria della quale non si conosce il substrato. In base sia alla posizione geometrica occupata all'interno dell'edificio a falde appenninico, che a considerazioni stratigrafiche, appare verosimile che essa si sia depositata su un substrato formato da una crosta continentale assottigliata localizzata in una fascia di transizione tra la crosta continentale insubrica e quella oceanica ligure.

Dagli studi più recenti sviluppati su questa Unità, sembra che il numero di formazioni e l'intervallo cronostratigrafico coperto dalla successione vada modificato: alle tradizionali formazioni terziarie dei Calcari di Groppo del Vescovo, delle Argille e Calcari e delle Arenarie di Ponte Bratica e Petriagnacola (complessivamente comprese tra l'Eocene inferiore e l'Oligocene superiore) andrebbe ad aggiungersi una ulteriore formazione, rappresentata dalle Arenarie di Ostia (Coniaciano-Santoniano), che occuperebbero la base della successione (Cerrina Feroni *et al.*, 1991). Recenti lavori di biostratigrafia retrodaterebbero inoltre la formazione delle Arenarie di Petriagnacola all'Oligocene inferiore: queste, attualmente sovrapposte alle Arenarie di Ponte Bratica, verrebbero quindi a for-

\* Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Genova, C.so Europa, 26; 16132 - Genova.

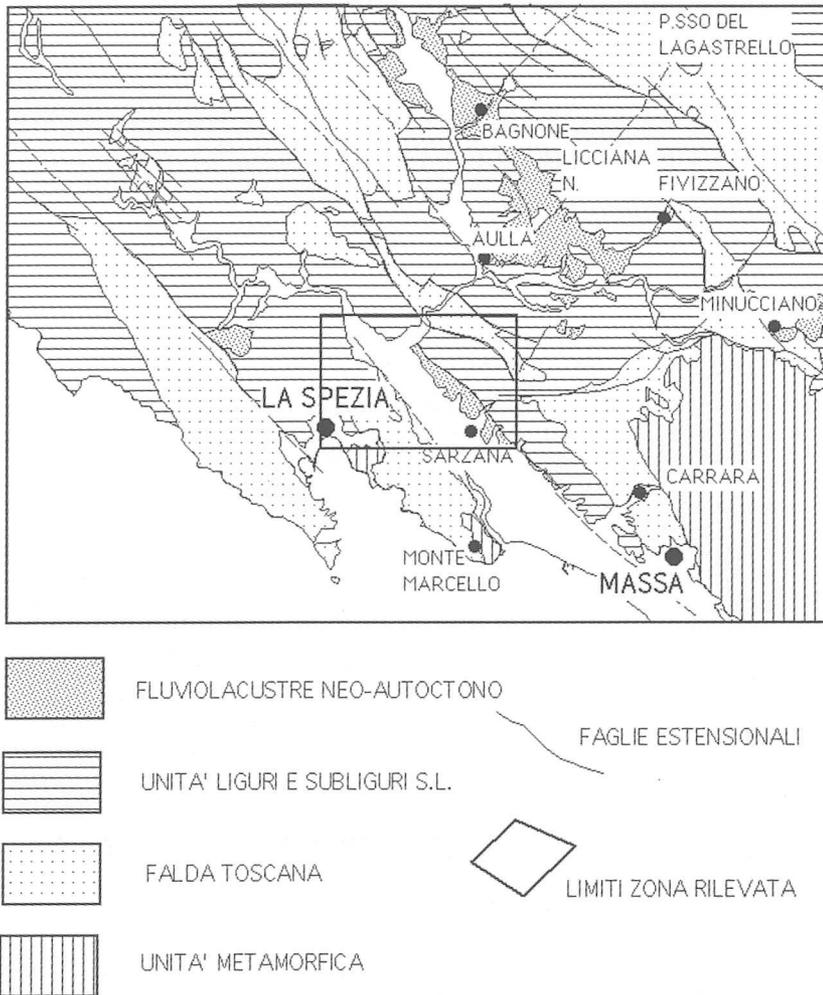


Fig. 1 - Localizzazione dell'area in esame.

mare una unità tettonica a se stante, sovrascorsa al di sopra delle stesse Arenarie di Ponte Bratica dell'Oligocene superiore (Cerrina Feroni *et al.*, 1991). In linea di massima, l'Unità di Canetolo è stata interessata da una storia strutturale polifasica che ha inizio con una prima deformazione che interessa la successione prima della deposizione delle Arenarie di Ponte Bratica (Fase Pre-Bratica). Tale fase, in Val Cedra, è testimoniata dalla formazione di un edificio strutturale complesso che vede la formazione di grandi pieghe isoclinali che evolvono, su superfici di taglio multiple, in una serie di accavallamenti che interessano almeno cinque distinti elementi strutturali (Cerrina Feroni *et al.*, 1991).

A questo primo evento deformativo, di età precedente all'Oligocene superiore, ha fatto seguito la fase compressiva responsabile della strutturazione a *thrust* oggetto del presente lavoro, verosimilmente correlabile alla fase collisionale appenninica nota come D1 apuana (Carmignani e Giglia, 1975). Successivamente, nell'area da noi considerata, l'Unità di Canetolo, così accoppiata alle altre falde appenniniche, avrebbe partecipato assieme a queste alle fasi di collasso

tettonico dell'edificio appena strutturato, manifestatesi dapprima con carattere duttile (Fase D2 apuana; Carmignani e Kligfield, 1990), e quindi evolute verso regimi di transizione duttile-fragile a causa del progressivo *unroofing* del paleoappennino miocenico.

L'assetto delle strutture generate sino a questo momento è stato poi ulteriormente frammentato dalla tettonica estensionale a carattere francamente fragile responsabile dell'impostazione dei *Graben* della Bassa Val di Magra e della Garfagnana.

#### LITOSTRATIGRAFIA DELL'UNITÀ DI CANETOLO IN VAL DI MAGRA

La stratigrafia dell'Unità del Canetolo in questa zona è di difficile ricostruzione, in quanto le diverse fasi tettoniche che hanno interessato molto intensamente la fascia interna dell'Appennino settentrionale hanno quasi del tutto obliterato le originarie relazioni sedimentarie tra le formazioni. L'andamento dell'Unità Subligure è fortemente influenzato dalla tettonica sia

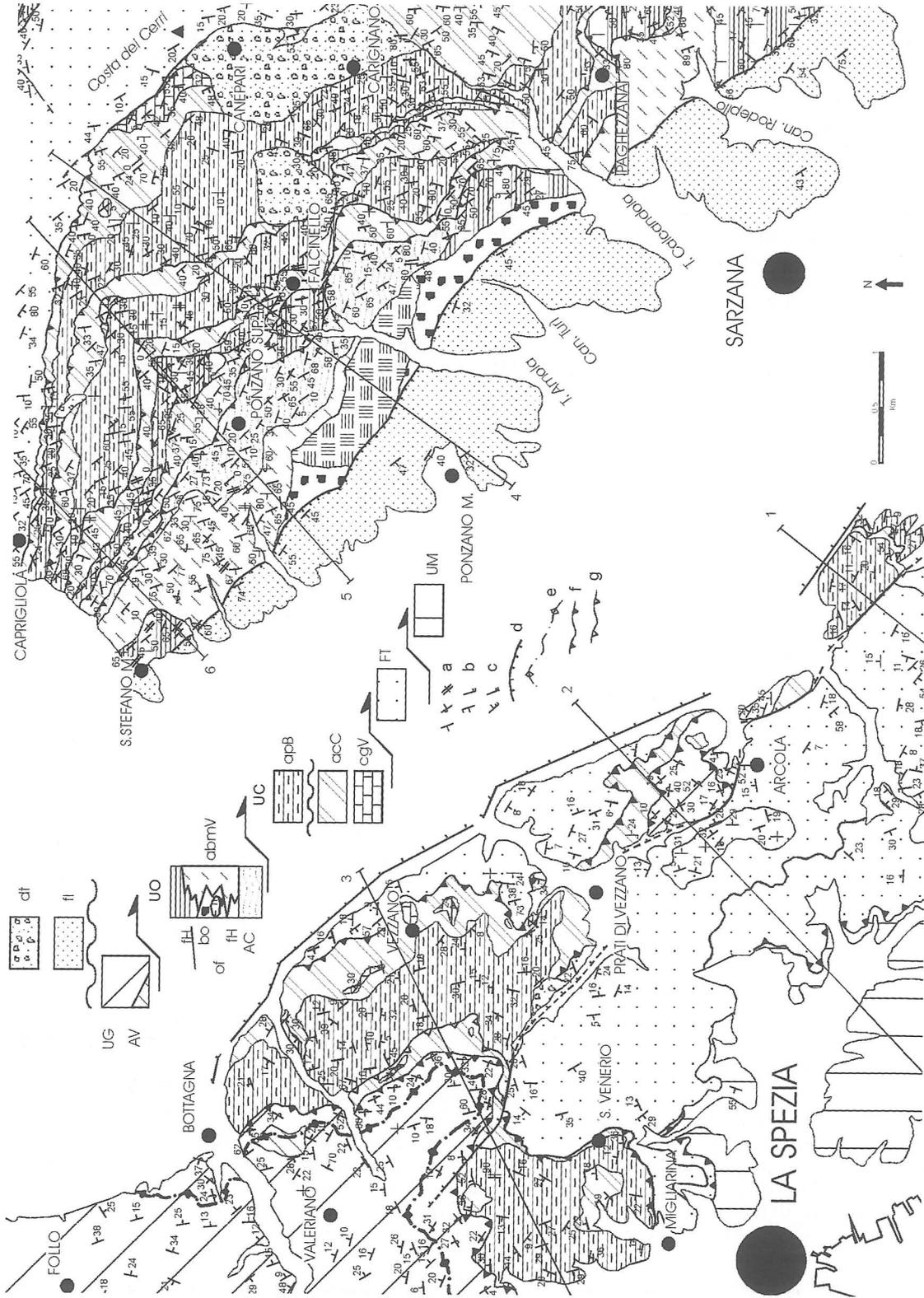


Fig. 2 - Schema tettonico dell'area in esame.  
 Legenda: UM, Unità Metamorfica; FT, Falda Toscana; UC, Unità di Canetolo; egV, Calci di Gruppo del Vesco; acC, Argille e Calciari di Canetolo; apb, Arenarie di Ponte Bratica; UO, Unità di Ottone S. Stefano; AC, Arenarie di Casanova; abmV, Argille a Blocchi di M. Veri; bo, breccie ofiolitiche; of, serpentiniti; fh, Flysch ad Elimitordi; UG, Unità del Gottero; AV, argilliti varicolori; fl, fluvioacustre; di, coperture detritiche; a, sup. di strato diritte, rovesciate e verticali; b, foliazione della fase compressiva; c, clivaggio e sup. assiali delle pieghe della Fase Ligure nell'unità del Gottero; e, sup. assiali delle pieghe della Fase Ligure nell'unità del Gottero; f, sovraccorrimenti principali tra le Falde; g, sup. assiali laminati o sovraccorrimenti interni alle Falde.

per quanto riguarda gli spessori dell'intero complesso e delle singole formazioni, che per la loro distribuzione areale.

Nella parte orientale della Bassa Val di Magra, l'Unità di Canetolo si trova compresa tra la Falda Toscana alla base ed una Unità di pertinenza ligure esterna riferibile al Flysch di Ottone-S. Stefano/Complesso M. Penna-Casanova al tetto.

Gli affioramenti si distribuiscono in modo discontinuo lungo l'allineamento Carrara-S. Stefano Magra: alle spalle delle Colline di Ortonovo e Castelnuovo Magra l'unità è fortemente laminata sino alla totale scomparsa, mentre raggiunge spessori dell'ordine dei millecinquecento metri più a nord, tra Sarzana e S. Stefano Magra, ad opera dei molteplici raddoppi tettonici.

Lungo la terminazione nordoccidentale delle Alpi Apuane l'Unità di Canetolo affiora a semicerchio seguendo l'andamento della conca del *Graben* della Lunigiana.

Ad ovest del *Graben* della Bassa Val di Magra, l'Unità di Canetolo compare su entrambi i promontori del Golfo di La Spezia: sul Promontorio Occidentale essa occupa una fascia che si estende con continuità dalle Cinqueterre a Carrodano, costituendo il limite occidentale del settore rilevato; sul Promontorio Orientale, invece, affiora con diverse soluzioni di continuità, interposta fra la Falda Toscana e le Liguridi. Qui, è stata ufficialmente riconosciuta a partire dagli anni '60: gli studi precedenti documentavano la presenza di «Scisti Galestrini» nei dintorni di Vezzano Ligure, considerandoli però come intercalazioni argilloso-calcaree del Macigno Toscano (Zaccagna, 1936; Merla, 1951).

Dopo il lavoro sulla località-tipo di Barbieri e Zanzucchi (1963) e Zanzucchi (1964), nel 1966, Abbate e Bortolotti riconoscono in zona la presenza dell'Unità di Canetolo: secondo gli Autori, l'unità sarebbe caratterizzata da un «Complesso di Canetolo s.s.», dominante, costituito da argille con interstrati calcarei, in cui si trovano lenti, sia calcareo-marnose tipo Groppo del Vescovo, sia siltoso-arenacee (Siltiti ed Arenarie di Vezzano Ligure).

Secondo la ricostruzione di Montanari e Rossi (1982), l'Unità di Canetolo nell'area in esame sarebbe costituita da una successione pelitico-arenacea mesoauctoetona (di età presumibilmente oligocenica sup. - miocenica inf.) inglobante al suo interno lembi dissociati di un fronte di falda di «argille e calcari» paleocenico-eocenico in avanzamento; la condizione di intensa caoticizzazione dell'intero complesso, riferibile ad energetici fenomeni tettonici sinsedimentari durante la fase di messa in posto delle unità alloctone, non permetterebbe di precisare i rapporti reciproci tra i vari termini del complesso.

Recentemente, sulla base di dati essenzialmente biostratigrafici, è stata proposta da Catanzariti *et al.* (1996), una differenziazione dell'Unità di Canetolo in due sottunità (Unità di Canetolo e Unità delle Cinque Terre) provenienti da due sottodomini paleogeografici contigui; nel più esterno si sarebbe depositata una sottile successione di Marne denomina-

te Marne del Torrente Pignone, presenti in modo discontinuo alla base dell'Unità di Canetolo.

Il grado metamorfico, ricostruito nel lavoro di Cerrina Feroni *et al.* (1985), riporta dei valori, misurati lungo una trasversale alla catena che passa pochi chilometri a NW della zona di interesse, che indicano un campo compreso tra la parte più profonda della diagenesi e l'anchizona.

Dal punto di vista litostratigrafico, le formazioni rappresentative del Dominio Subligure possono essere in prima approssimazione suddivise in un insieme inferiore a dominante calcareo-argilloso, costituito dai Calcari di Groppo del Vescovo (Eocene inf.-medio) e dalla Formazione delle Argille e Calcari (Eocene medio), ed uno superiore, a dominante arenacea, comprendente le Arenarie di Petriagnacola (Oligocene inf.), non rappresentate nel settore in esame, e le Arenarie di Ponte Bratica (Oligocene inf. - sup.). Come accennato in precedenza, alla base della successione potrebbero trovarsi le Arenarie di Ostia (Campaniano - Santoniano), comunque assenti nell'area oggetto di studio.

### *I Calcari di Groppo del Vescovo*

Sono costituiti da bancate torbiditiche calcareo marnose di colore grigio chiaro o biancastro, in strati spessi o medio-spessi a base calcarenitica, separati da livelli siltitici o argillitici.

Si tratta prevalentemente di calcari micritici compatti in strati di 15/20 centimetri o in banchi superiori al metro, marnomicritici grigie fissili in strati da qualche decimetro a qualche metro e veli argillitici o argillitico-marnosi che separano l'uno dall'altro gli strati dei litotipi precedentemente descritti.

Alcuni straterelli calcarenitici nei pressi di Vezzano Ligure hanno fornito una microfauna eocenica con discocicline, alveoline, nummuliti, *Asterodiscus sp.*, globorotalie a margine acuto e arrotondato, globigerine, miliolitidi, rotalidi, textularidi, nodosaridi. Già nel 1936, Zaccagna rinvenne esemplari di *Nummulites planulata* e *N. striata*. Gli strati calcareo-marnosi presentano talvolta fucoidi ed elmintoidi (Abbate e Bortolotti, 1966).

In zona, si trovano compresi all'interno delle Argille e Calcari in lenti di dimensioni anche rilevanti, come avviene nei pressi di Vezzano Ligure o nella fascia compresa tra Marciaso e Ponte di Monzone, dove raggiungono spessori che superano i 100 metri.

Le polarità riscontrate variano nelle diverse lenti, talvolta normali come nella zona di Carignano, oppure rovescie, come avviene per tutta la zona settentrionale, tra Marciaso e Ponte di Monzone. I contatti con le Argille e Calcari che inglobano le lenti di Calcari di Groppo del Vescovo sono, quando visibili, di natura tettonica e sempre molto deformati.

Recentemente la formazione è stata studiata in modo approfondito in Val Cedra da Cerrina Feroni *et al.* (1991) dove è presente un edificio strutturale simile a quello riconosciuto nella zona compresa tra Sarzana e S. Stefano Magra del quale tratteremo gli aspet-

ti strettamente strutturali nel capitolo dedicato alla tettonica. Anche in Val Cedra, le relazioni tra questa formazione e le Argille e Calcari sono di natura tettonica e le deformazioni responsabili della loro strutturazione sono state attribuite alle fasi pre-oligoce-niche. Sempre in Val Cedra i Calcari di Groppo del Vescovo sono stati datati sulla base del nannoplancton calcareo all'Eocene inferiore-medio (Cerrina Feroni *et al.*, 1991).

#### *Le Argille e Calcari di Canetolo*

Si mostrano in zona sempre intensamente deformate, analogamente a quanto si osserva nella località-tipo (Barbieri e Zanzucchi, 1963). Il litotipo più abbondante è costituito da argilliti grigio scure, nerastre, fissili a scaglie, con superfici lucenti; troviamo poi calcari e calcari marnosi micritici, compatti, grigio chiari e grigio verdastri in strati spessi al massimo qualche metro, scompagnati all'interno della matrice argillitica. Infine, si hanno rare calcareniti grigie in strati spessi qualche decimetro.

Spesso si presentano come una breccia tettonica definibile come una cataclasi foliata, ove la matrice è costituita da argilliti nere fissili e all'interno della quale si trovano, spesso appiattiti lungo la foliazione, elementi da centimetrici a metrici di calcari a grana fine, sino a calcarenitici, talvolta con liste di selce associati a più rare arenarie litiche.

Raramente, si incontrano limitati affioramenti in cui l'originario assetto stratigrafico viene parzialmente mantenuto ed è preservata una certa continuità dei livelli calcarei; in particolare questo avviene poco a nord di Carignano.

Le Argille e Calcari, tranne che nel caso citato, si presentano sempre brecciate in conseguenza del loro coinvolgimento nelle varie fasi deformative correlabili alla strutturazione dell'edificio a falde appenni-

nico. Questa formazione a bassa competenza sembra infatti essere stata utilizzata inizialmente come «lubrificante» durante la messa in posto delle Falde Liguri s.l. su quelle Toscane s.l. Successivamente sarebbe stato riutilizzato come livello di scollamento, permettendo lo svincolo tra il Macigno ed il Complesso Ligure durante la fase estensionale duttile.

Proprio a causa delle forti deformazioni che ha subito, non è possibile stimare uno spessore stratigrafico per questa formazione che in alcuni casi supera il centinaio di metri ed in altri viene totalmente laminata, come accade per un lungo tratto tra il paese di Vallecchia e le Colline del Sole (poco a NE dei paesi di Castelnuovo Magra ed Ortonovo.) e tutto attorno all'alto strutturale di Macigno compreso fra S. Venerio e Prati di Vezzano, sulla prosecuzione nord del Promontorio Orientale di La Spezia.

Le età generalmente accettate per questa formazione sono riferite all'Eocene medio, come recentemente confermato dall'analisi del nannoplancton calcareo (Rio e Catanzariti in Foglio 217 «Neviano degli Arduini», 1990; Cerrina Feroni *et al.*, 1991).

#### *Le Arenarie di Ponte Bratica*

Si presentano frequentemente come arenarie torbiditiche silicoclastiche, da fini a grossolane, di colore grigio, molto micacee, spesso a cemento calcareo, in strati di spessore sino a qualche decimetro, cui si alternano rare calcareniti; seguono argilliti e siltiti poco calcaree, straterellate, di color grigio scuro. Nella quasi totalità dei casi, appaiono molto alterate e decalcificate, divenendo friabili e porose e di colorazione giallo-ocracea.

La potenza totale della formazione, per i già noti fenomeni tettonici, può variare fra 0 e 500 metri.

La formazione corrisponde alle «Siltiti ed Arenarie



Foto 1 - Aspetto fortemente tettonizzato delle Argille e Calcari di Canetolo, verticalizzato dalla Fase D2.

di Vezzano» di Abbate e Bortolotti (1966); già nel 1975, Monteforti e Raggi avevano correlato tali affioramenti della bassa Val di Magra con le classiche Arenarie di Ponte Bratica dell'Appennino emiliano. Queste arenarie si incontrano solo nella fascia sudoccidentale dell'area rilevata e si spingono sino a poche centinaia di metri a nord-est dello spartiacque di Macigno che corre da Capriogliola a Ponzanello. In questa posizione si trovano deformate da un piegamento in roll-over a causa del contatto per faglia con la Falda Toscana.

La mancanza delle Arenarie di Ponte Bratica verso SE, sia nella fascia di Canetolo compresa tra Fossinovo e Carrara, che in quella che si segue in continuità da Pulica a Codiponte, sembra essere conseguenza di una laminazione tettonica associabile alla fase di sovrascorrimento delle Unità Liguri s.l. al di sopra delle Unità Toscane.

Fenomeni di laminazione tettonica si trovano già in modo evidente nella zona nordoccidentale presso Falcinello e Paghezzana o nella fascia compresa tra il paese di Vallecchia e le Colline del Sole alle spalle di Castelnuovo Magra ed Ortonovo (Del Tredici, 1996) e sono anche frequenti nella zona più interna, lungo la prosecuzione nordoccidentale del Promontorio Orientale di La Spezia, ove coinvolgono talvolta l'intera successione (Robbiano, 1996).

Nella parte medio-alta della formazione delle Arenarie di Ponte Bratica si riscontra un generale aumento della granulometria che passa ad arenarie grossolane e microconglomerati sino a conglomerati con elementi da centimetrici a decimetrici inglobati in una matrice abbondante di natura arenaceo-siltosa.

Questi conglomerati, con gli associati livelli di arenarie molto grossolane, si trovano intercalati nelle Arenarie di Ponte Bratica; malgrado ciò, erano stati interpretati da Monteforti e Raggi (1975) come appartenenti alle Arenarie di Petriagnacola, in base alla presenza di elementi di vulcaniti basiche di tipo andesitico presenti talvolta nei conglomerati, associati tuttavia a ciottoli di quarzo, gneiss e graniti. E' stato necessario ricorrere all'esame del nannoplanton per riferire con maggiore certezza questi conglomerati alle stesse Arenarie di Ponte Bratica.

Come studio preliminare, sono stati campionati alcuni livelli siltosi di alcune bancate arenacee in continuità al di sopra di un livello conglomeratico che affiora a poca distanza dalla strada lungo il torrente Calcandola.

I campioni raccolti sono sei dei quali uno è risultato sterile mentre gli altri presentano associazioni molto povere, in cattivo stato di conservazione e caratterizzate da rimaneggiamento.

Contengono: *Coccolitus pelagicus*, *Cyclicargolithus floridanus*, *Dictyococites bisectus*, *Discoaster deflandrei*, *Sphenolithus dissimilis*, *S. moriformis*, *Zygrhabilitus biyugatus*. Tra le forme considerate rimaneggiate si trovano *Sphenolithus radians* e *Micula decussata*.

La scarsità delle associazioni non permette di determinare con precisione l'età di questi campioni che si possono tuttavia attribuire all'Oligocene superiore,

o meglio, si può dire che non sono più antichi dell'Oligocene superiore per la presenza di *S. dissimilis* che ha una distribuzione compresa tra le biozone NP24/NN2 Oligocene superiore-Miocene inferiore (Martini, 1971).

Questo fatto contemporaneamente esclude l'attribuzione delle facies grossolane alle Arenarie di Petriagnacola, recentemente datate all'Oligocene inferiore (NP21-22; Rio e Catanzariti in Foglio 217 «Neviano degli Arduini», 1990; Cerrina Feroni *et al.*, 1991) e fornisce un dato per la parte alta delle Arenarie di Ponte Bratica che si affianca alle attribuzioni alle biozone NP23-25 (Chattiano) ritrovate in Val Cedra da Cerrina Feroni *et al.*, (1991).

Un altro aspetto interessante è costituito dal fatto che, analogamente a quanto avviene in Val Parma (fide Zanzucchi), nell'edificio strutturale generato dalle ripetizioni tettoniche dell'Unità Subligure, solo nel *duplex* più alto le Arenarie di Ponte Bratica mostrano queste intercalazioni conglomeratiche, mentre nel *duplex* intermedio si trovano raramente solo episodi microconglomeratici, che sono del tutto assenti in quello inferiore.

Tali lenti di conglomerato compaiono in abbondanza anche nel settore più occidentale dell'area rilevata, fra Arcola e Vezzano Ligure (Robbiano, 1996); questo fatto induce a ritenere che, essendo le lenti conglomeratiche meno frequenti procedendo dall'in-

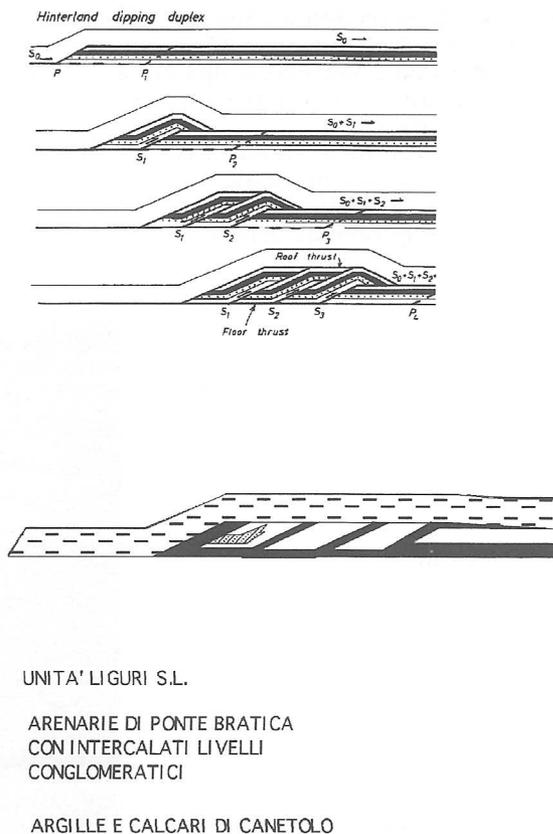


Fig. 3 - Schema della struttura a thrusts (da Ramsay e Huber, 1987).

terno verso l'esterno (cioè dai *duplex* superiori verso quelli inferiori), queste possano rappresentare l'evidenza di un apporto grossolano proveniente dalla fascia interna già strutturata del paleoappennino oligocenico. La presenza di ciottoli di graniti e gneiss, d'altronde, rafforzerebbe l'ipotesi di una provenienza da una crosta continentale in rapido sollevamento ed erosione.

## L'EVOLUZIONE TETTONICA

### La Fase Subligure

Le fasi di strutturazione appenninica, tralasciando eventuali deformazioni associabili a fasi alpine che hanno interessato le Unità Liguri Interne (Marroni *et al.*, 1988; Marroni, 1990, 1991), sono riconducibili sostanzialmente a tre eventi compressivi successivi.

Il primo è riferibile alle fasi di strutturazione delle Unità Liguri durante l'Eocene ed è responsabile della formazione delle grandi pieghe subsioclinali che interessano le Unità Liguri riscontrabili nei Flysch ad Elmintoidi (Fase Ligure). Il secondo è ricostruibile in funzione della discordanza regionale evidenziata alla base delle Arenarie di Ponte Bratica nelle successioni del Supergruppo di Roccaferarra (Vai e Castellarin, 1992) ed è denominato Fase Subligure. Il terzo è quello di sovrascorrimento delle Unità Liguri e Subliguri al di sopra delle Unità Toscane; in bibliografia tale evento è conosciuto come Fase D1 apuana (Carmignani e Giglia, 1975).

La Fase Subligure è ricostruita in Appennino in base alla discordanza stratigrafica documentata alla base delle Arenarie di Ponte Bratica (Plesi, 1975; Elter, 1975; Zanzucchi, 1980). È la fase tettonica più antica riconosciuta nell'Unità Subligure ed è molto probabile che si sia verificata tra l'Eocene medio e l'Oligocene basale (Carmignani *et al.*, 1992) in relazione ad un forte raccorciamento tangenziale, che rappresenterebbe la propagazione della tettonogenesi medio-eocenica verso la fascia più esterna della catena in formazione.

Evidenze dell'edificio strutturale realizzato in questa fase si conservano ancora in Val Cedra (Cerrina Feroni *et al.*, 1991) dove si riscontra l'esistenza di *duplex* che interessano varie formazioni e lembi rovesciati di Calcari di Groppo del Vescovo suturati, in discordanza stratigrafica, dalla base delle Arenarie di Ponte Bratica.

Nella zona oggetto di questo studio non si conservano evidenze precise di questo evento, a causa della totale obliterazione di qualunque struttura precedente l'Oligocene superiore ad opera delle fasi tettoniche successive che, in questo settore si sono sviluppate in modo particolarmente intenso.

L'unico indizio evidente di una strutturazione precedente alla deposizione delle Arenarie di Ponte Bratica si ha dalla ricostruzione delle polarità dei lembi di Calcari di Groppo del Vescovo presenti in Bassa Val di Magra e, in Lunigiana, nella fascia compresa tra Marciasio e Codiponte. I Calcari di Groppo del Vescovo si trovano infatti frammentati in lenti pi- o meno estese comprese all'interno delle Argille e Calcari; le polarità che presentano in affioramento

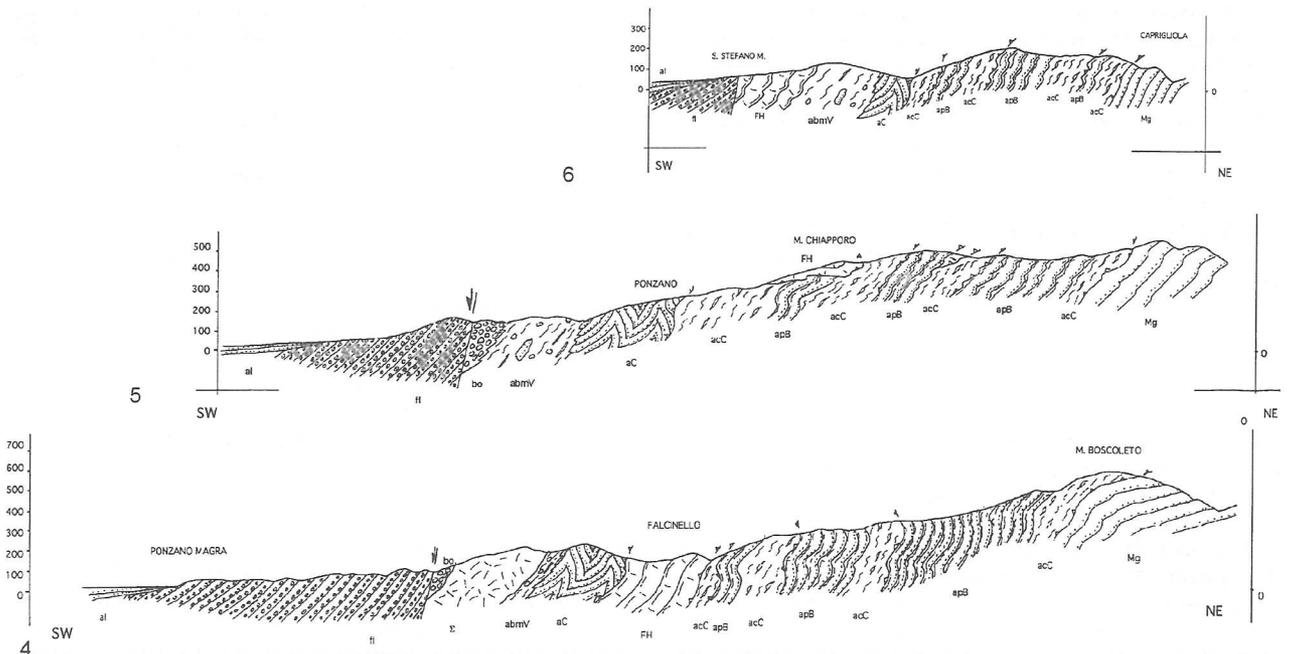


Fig. 4 - Sezioni geologiche dell'area orientale tra Sarzana e S. Stefano Magra.

Legenda: al, alluvioni recenti; fl, fluvioiacustre del bacino di Sarzana; bo, breccie ofiolitiche; S, serpentiniti; abmV, argille a blocchi di M. Veri; aC, arenarie di Casanova; FH, Flysch di Ottono-S. Stefano; acC, argille e calcari di Canetolo; cgV, calcari di Groppo del Vescovo; apB, arenarie di Ponte Bratica; Mg, Macigno)

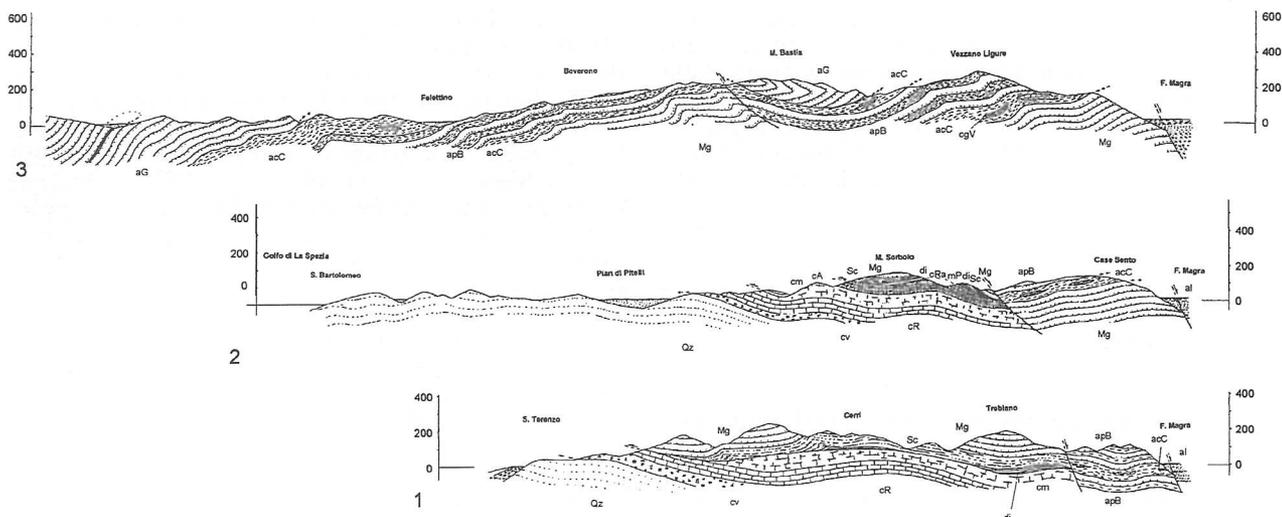


Fig. 5 - Sezioni geologiche dell'area occidentale della Val di Magra.

Legenda: al, alluvioni recenti; aG, arenarie del Gottero; acC, argille e calcari di Canetolo; cgV, calcari di Groppo del Vescovo; apB, arenarie di Ponte Bratica; Mg, Macigno; Sc, Scaglia; cs, calcari selciferi; cRa, Rosso ammonitico; cA, calcari ad Angulati; cm, calcare massiccio; cR, calcare a *Rhaeticavicula C.*; cv, calcare cavernoso; Qz, quarziti di M. Marcello (Verrucano).

sono diverse: nella zona di Carignano si presentano infatti normali mentre nella lente più estesa tra Minucciano e Codiponte si riscontrano sempre polarità rovesciate.

Le Arenarie di Ponte Bratica, al contrario, non mostrano mai rovesciamenti se non molto limitati e sempre riferibili a pieghe plurimetriche a carattere compressivo o concentriche a geometria aperta e raggio di curvatura decametrico a carattere estensionale, che deformano in modo solidale l'intera successione dei *thrust*. È molto probabile che l'esistenza di estesi lembi rovesciati di Calcari di Groppo del Vescovo compresi al tetto ed al letto dalle Argille e Calcari sia quindi da imputare ad una fase precedente alla deposizione delle Arenarie di Ponte Bratica.

Questi rovesciamenti potrebbero perciò rappresentare fianchi di pieghe della Fase Subligure poi smembrate dalle successive fasi a carattere compressivo.

#### *La Fase Compressiva miocenica nell'Unità di Canetolo*

L'Unità di Canetolo, qui costituita dalle formazioni dei Calcari di Groppo del Vescovo, dalle Argille e Calcari (già deformate durante la Fase Subligure) e dalle Arenarie di Ponte Bratica, subisce una ulteriore fase deformativa responsabile dell'attuale assetto dell'unità. Durante tale evento, le strutture precedenti vengono in gran parte obliterate dall'intensità delle compressioni, smembrando quelle che attualmente si possono solo ipotizzare come pieghe (dalla presenza di lembi di Calcari di Groppo del Vescovo con polarità sia normali che rovesciate) in tronconi disarticolati.

Successivamente alla deposizione delle Arenarie di Ponte Bratica, avvenuta nell'Oligocene superiore, si assiste infatti alla formazione di un edificio strutturale costituito da una serie di *duplex*. Tali ripetizioni tettoniche coinvolgono l'intera successione, comprese le Arenarie di Ponte Bratica: questo fatto, permettendo di datare l'evento a *thrust* ad un'età necessariamente posteriore alla deposizione delle stesse Arenarie di Ponte Bratica (e cioè posteriore al passaggio Oligo-Miocene), suggerisce fortemente una correlazione di tale evento con la fase di sovrascorimento delle Unità Liguri s.l. al di sopra di quelle Toscane, nota in letteratura come Fase D1 apuana. Tale correlazione è peraltro supportata dall'analisi degli indicatori cinematici che mostrano invariabilmente come il movimento relativo dei singoli *thrust sheets* che interessano l'Unità di Canetolo in zona sia avvenuto con direzioni di movimento dirette dall'interno verso l'esterno della catena.

I *duplex* riconosciuti sono almeno quattro e sono rappresentati da tre ripetizioni complete della successione sormontate da un ulteriore livello di sole Argille e Calcari. Su quest'ultimo poggiano le Unità Liguri, rappresentate dal Flysch ad Elmintoidi di Ottone-S. Stefano nella zona ad est del fiume Magra, o dalle Arenarie del Gottero nei settori più occidentali.

Questo edificio strutturale trova la sua massima estensione tra Sarzana e S. Stefano Magra dove l'Unità di Canetolo raggiunge spessori totali di oltre 1500 metri. Le superfici di scollamento dei *duplex* si impostano nei livelli meno competenti delle Argille e Calcari che subiscono una deformazione molto intensa perdendo quasi totalmente l'originale assetto stratigrafico. Tali superfici sono caratterizzate dalla presen-



Foto 2 - Pieghe centimetriche che deformano la foliazione delle Argille e Calcari.

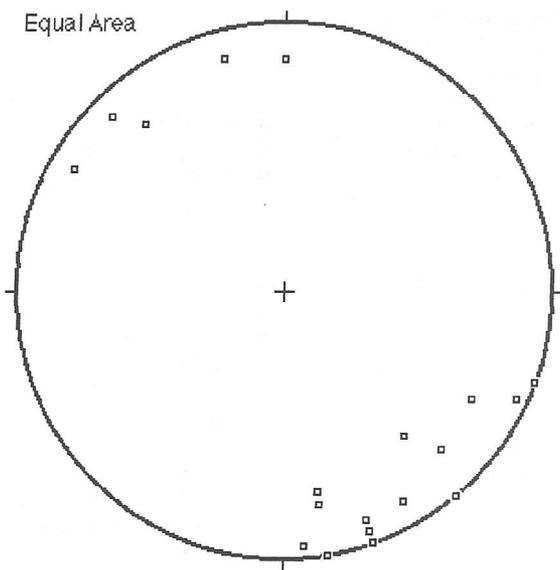
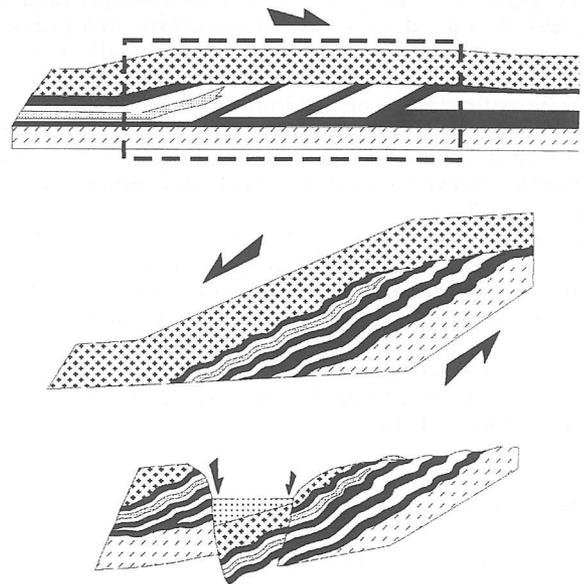


Fig. 6 - Proiezione stereografica degli assi delle pieghe riferibili alla fase estensionale duttile nell'Unità di Canetolo nell'area compresa tra Sarzana e S. Stefano Magra.

za di una cataclasite foliata, dove la totale riorganizzazione porta alla dispersione dei clasti subangolari di calcare nella abbondante matrice argillitica. La superficie più evidente che si riscontra nelle Argille e Calcari è proprio questa foliazione su cui vengono totalmente trasposte le bancate calcaree e calcarenitiche che talvolta mostrano clasti di dimensioni metriche, appiattiti ed allungati lungo tale clivaggio. Le Arenarie di Ponte Bratica presentano talvolta evidenti deformazioni plicative alla mesoscala, tuttavia non sono mai rovesciate alla scala regionale.



-  Alluvionale.
-  Unità Liguri s.l.
- Unità di Canetolo
-  Arenarie di P. Bratica con livelli conglomeratici
-  Argille e Calcari di Canetolo e Calcari di G. del Vescovo
-  Falda Toscana

Fig. 7 - Evoluzione schematizzata degli eventi che hanno interessato l'Unità di Canetolo in Val di Magra: 1- strutturazione a thrusts; 2- piegamento della fase estensionale duttile; 3- formazione del Graben della Bassa Val di Magra.

Gli affioramenti tendono a laminarsi verso SE dove tutta l'Unità di Canetolo perde progressivamente spessore sino alla totale scomparsa.

In base alla presenza delle lenti di conglomerati precedentemente descritte, è stato possibile fare una correlazione tra le zone a SW e a NE del *Graben* della Bassa Val di Magra. Come già accennato, infatti, i conglomerati sono presenti sia nella zona a SW del Magra che nel secondo *thrust* dell'edificio strutturale della fascia nord-orientale, al di sotto di un livello di Argille e Calcari. Tali affioramenti conglomeratici, fungendo da livelli di riferimento, permettono di ricostruire la struttura (ripristinando le deformazioni correlabili alle successive fasi estensionali sia duttili che fragili) come una serie di *hinterland dipping duplex* con un *roof thrust* coincidente con il contatto con le Unità Liguri in sovrascorrimento e come *floor thrust* il contatto con la sottostante Falda Toscana (Fig. 2).

L'esistenza di un contatto tipo *roof thrust* tra l'Unità di Canetolo così strutturata e le Unità Liguri è confermata dal rapporto angolare tra i contatti presenti tra le formazioni subliguri e le sovrastanti Liguridi, come si può osservare, ad esempio, nei pressi di M. Chiapporo ove la base del klippen di flysch ad elmintoidi taglia indistintamente i contatti formazionali delle sottostanti successioni subliguri. Questo lembo di flysch ad elmintoidi, preservato in una sinforme generata durante la successiva fase estensionale duttile, mostra ancora gli originali rapporti angolari tra i *duplex* di Canetolo e la Falda Ligure al tetto (Fig. 3).

Le dimensioni dell'edificio a *thrust* summenzionato sembrerebbero poi limitate verso nordest dall'alto strutturale di Macigno di Ponzanello in quanto non si trovano ulteriori ripetizioni delle Arenarie di Ponte Bratica a NW di questo allineamento, neanche lungo la fascia di Canetolo che orla tutta la terminazione delle Alpi Apuane.

### La Fase Estensionale Duttile

Alle fasi compressive sin qui descritte ne è seguita una terza, a comportamento di transizione duttile-fragile, ma questa volta a carattere estensionale.

Il tipo di deformazione correlabile a tale fase estensionale duttile si diversifica molto tra le formazioni a dominante argillosa e quelle arenacee.

Abbiamo già avuto modo di evidenziare la natura tettonica della superficie più evidente presente nelle Argille e Calcari, che si presentano quasi ovunque come una cataclasite foliata. Come si può osservare in affioramento, questa foliazione viene spesso deformata a tutte le scale dalle pieghe correlabili alla fase estensionale duttile. Queste pieghe concentriche si mostrano sempre con geometrie analoghe a quelle caratteristiche della fase estensionale duttile (Giammarino e Giglia, 1990; Del Tredici *et al.*, 1997), e sono riconducibili ad un piegamento passivo per taglio semplice (Carmignani *et al.*, 1993) realizzato all'interno di fasce di taglio con un campo di sforzi a carattere estensionale, in modo del tutto analogo a

quanto si riscontra in tutta la pila di falde, dall'Unità metaforfica, all'Unità del Gottero (Cerrina Feroni *et al.*, 1995, Del Tredici e Robbiano, 1997).

Per le loro caratteristiche reologiche, le Argille e Calcari sono infatti una delle formazioni più adatte a comportarsi come livello di scollamento e, dove queste si ripetono tettonicamente, vengono tutte utilizzate per permettere il piegamento disarmonico delle più competenti Arenarie di Ponte Bratica interposte. Alla scala dell'affioramento si osservano spesso fenomeni di rotazione dei blocchi di calcare, già appiattiti lungo la fissilità precedente: questa risulta a luoghi deformata da un incipiente clivaggio di crenulazione che solo di rado si sviluppa in modo pervasivo. Sempre in conseguenza di tale fase estensionale, si osservano ribaltamenti della successione correlabili a pieghe ettometriche che, nelle Arenarie di Ponte Bratica, si sviluppano prevalentemente per geometrie concentriche, spesso evidenziate dal tipico scorrimento strato su strato denunciato dalla frammentazione delle vene generate nelle fasi precedenti che vengono dislocate lateralmente.

Tutte queste deformazioni non rappresentano altro che parassite del piegamento chilometrico che coinvolge l'intera unità insieme a tutte le altre falde sulla prosecuzione del sistema di pieghe mediante le quali si è realizzato lo «scarico tettonico» sul versante sudoccidentale delle Alpi Apuane, da quelle più orientali che deformano il nucleo Metamorfico Apuano, passando per Castelpoggio, sino a quelle più occidentali di Punta Bianca e La Spezia.

### La Fase Estensionale Fragile

La continuità dell'edificio a *thrusts* nell'Unità di Canetolo, già deformata dalla fase estensionale sopra descritta, è stata poi ulteriormente frammentata dalla impostazione del *Graben* della Bassa Val di Magra.

Questa fossa tettonica si è generata quando le successioni Liguri e Subliguri erano già state riesumate dall'*unroofing* del prisma appenninico durante la Fase D2 apuana ed avevano già raggiunto un livello superficiale, come testimoniato dalla successione fluvioacustre che si è depositata al di sopra di un substrato costituito dalle Unità Liguri s.l.

Al passaggio Miocene-Pliocene (Bertoldi *et al.*, 1994) si assiste quindi ad una fase tettonica a carattere estensionale caratterizzata da faglie ad alto angolo che guidano le sedimentazioni neoautoctone.

Tali sedimenti fluvioacustri si sono depositati su successioni che erano già state deformate dalla tettonica estensionale duttile nel Miocene inferiore-medio, e datano quindi solo l'ultima fase estensionale a cui sono attribuite le faglie ad alto angolo come quella che rigetta il nucleo metamorfico di P.ta Bianca a livello delle Unità Liguri e quella che mette a contatto laterale le successioni fluvioacustri del Bacino di Sarzana soggette a *tilting* solidalmente alla parte ribassata e, localmente, deformate in *dragging* contro la superficie di faglia.

Durante quest'ultima fase si sono formate le depres-

sioni tettoniche della Bassa Val di Magra e della Garfagnana, insieme alle faglie ad alto angolo presenti all'interno del *Graben* della Lunigiana (Del Tredici, 1996).

## CONCLUSIONI

Il rilevamento di dettaglio ha consentito di ricostruire per l'Unità di Canetolo in Val di Magra una evoluzione polifasica realizzata in quattro principali eventi. Il più antico, supposto in base agli estesi rovesciamenti dei Calcari di Groppo del Vescovo compresi all'interno delle Argille e Calcari, sembrerebbe correlabile all'edificio strutturale riconosciuto da Cerrina Feroni *et al.* (1991) in Val Cedra (Fase Subligure o Pre-Bratica).

Un secondo episodio compressivo, responsabile della strutturazione a *thrust* (mai evidenziata in questo settore dell'Appennino settentrionale) che, coinvolgendo anche le Arenarie di Ponte Bratica, è riferito alla messa in posto delle Unità Liguri s.l. su quelle Toscane s.l. realizzati al passaggio Oligocene-Miocene (Fase D1 apuana).

Un terzo episodio con comportamento duttile o di transizione duttile-fragile, responsabile dei locali piegamenti concentrici a scala ettometrica che deformano l'intera successione di falde e tutte le superfici meccanicamente acquisite delle fasi precedenti, ed evoluto successivamente in faglie a basso angolo a cui si associano fenomeni di *roll-over*, riconducibile alla fase estensionale D2 apuana che ha interessato questo settore dell'Appennino settentrionale nel Miocene medio?-superiore (Carmignani e Kligfield, 1990).

Una ultima fase a carattere francamente fragile responsabile della formazione delle faglie dirette ad alto angolo che, generando il *Graben* della Bassa Val di Magra, ha frammentato l'edificio strutturale poli-deformato precedentemente realizzati.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dott. A. Cascella per le datazioni con il Nannoplancton calcareo e il Prof. G. Zanzucchi per la revisione critica del manoscritto. Lavoro finanziato con i fondi MURST 40%, responsabile Prof. Gaetano Giglia.

## BIBLIOGRAFIA

- Abbate, E. e Bortolotti, V., 1966. Osservazioni geologiche nei dintorni di Vezzano Ligure (La Spezia). Mem. Soc. geol. ital., 6: 1-22.
- Barbieri, F. e Zanzucchi, G., 1963. La stratigrafia della Valle di Roccaferara (App. Parmense). Atti Soc. ital. Sci. nat. Mus. civ. Storia nat. [Milano], 102: 155-210.
- Bertoldi, R., Binotti, A. e Castello, F., 1994. Reevesia and *Itea* in the pollen flora of the upper Neogene continental deposit at Sarzana (lower Magra Valley, northern Italy). Rev. Palebot. Palynol., 80: 159-172.
- Carmignani, L. e Kligfield, R., 1990. The transition from compression to extension in mountain belts: evidence from the Northern Appennines Core Complex. Tectonics, 9: 1275-1303.
- Carmignani, L. e Giglia, G., 1975. Le fasi tettoniche terziarie dell'Autoctono delle Alpi Apuane: studio delle strutture minori della zona centro-meridionale. Boll. Soc. geol. ital., 94: 1957-1981.
- Carmignani, L., Cerrina Feroni, A., Del Tredici, S., Fantozzi, P.L., Giglia, G., Martinelli, P., Meccheri, M., e Robbiano, A., 1992. Considerazioni sul profilo La Spezia - Reggio Emilia. Stud. geol. camerti, Vol. Spec. CROP 1-1A, 1992/2 (appendice): 17-29.
- Carmignani L., Fantozzi, P. L., Giglia, G. e Meccheri, M., 1993. Pieghe associate alla distensione duttile del Complesso Metamorfico Apuano. Mem. Soc. geol. ital., Volume in Onore di L. Trevisan, 49: 99-124.
- Catanzariti R., Cerrina Feroni A., Martinelli P. e Ottria G., 1996. Le marne dell'Oligocene-Miocene inferiore al limite tra Dominio Subligure e Dominio Toscano: dati biostratigrafici ed evoluzione spazio-temporale. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Serie A, 103: 1-30
- Cerrina Feroni, A., Martinelli, P., Plesi, G., Giammattei, L., Franceschelli, M. e Leoni, L., 1985. La cristallinità dell'illite nelle Argille e Calcari (Unità di Canetolo) tra La Spezia e l'alta Val Parma (Appennino settentrionale). Boll. Soc. geol. ital., 104: 421-427.
- Cerrina Feroni, A., Martinelli, P. e Perilli, N.M.L., 1991. Stratigrafia e struttura dell'Unità di Canetolo in Val Cedra (Appennino parmense). Mem. descr. Carta Geol. Ital., 46: 301-312.
- Cerrina Feroni, A., Martinelli, P. e Ottria, G., 1995. La posizione del Flysch ad Elmintoidi (Formazione del M. Antola e Formazione di Ortonovo) nella piega di Castelpoggio-Ortonovo a NW delle Alpi Apuane. Collana «Scritti e documenti n. XIV» Acc. Naz. Sci. dei XL, Roma, 14: 181-193.
- Del Tredici, S., 1996. Evoluzione post-collisionale delle falde appenniniche nel settore settentrionale delle Alpi Apuane. Tesi Dott. Consorzio CA-GE-TO.
- Del Tredici, S., Giglia, G. e Robbiano, A., 1997. Le strutture estensionali duttili della Falda Toscana nelle Apuane nord-occidentali (Appennino Settentrionale). Atti Tic. Sc. Terra, 39: 217-237.
- Del Tredici, S. e Robbiano, A., 1997. Le strutture delle Unità Liguri Esterne in Lunigiana e nella bassa Val di Magra (Appennino Settentrionale). Atti ticin. Sci. Terra, 39:129-147.
- Elter, P., 1975. Introduction à la géologie de l'Apennin Septentrional. Bull. Soc. Geol. France, 17: 984-997.
- Foglio 217 Neviano degli Arduini, 1990. Carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo. 2° seminario «Cartografia Geologica» della Regione Emilia-Romagna, Bologna 1990, SELCA Firenze.
- Giammarino, S. e Giglia, G., 1990. Gli elementi strutturali della piega di La Spezia nel contesto geodinamico dell'Appennino Settentrionale. Boll. Soc. geol. ital., 109: 683-692.
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. Proc. II Planktonic Confer., Roma 1970, 2: 739-785.
- Marroni, M., 1990. Le Unità Liguri Interne tra l'Alta Val di Vara e il Mar Ligure (Appennino settentrionale): evoluzione di un settore del dominio oceanico ligure-piemontese. Tesi di Dott., Univ. Pisa.
- Marroni, M., 1991. Deformation history of the Mt. Gottero Unit (Internal Ligurid Units, Northern Appennines). Boll. Soc. geol. ital., 110: 727-736.
- Marroni, M., Della Croce, G. e Meccheri, M., 1988. Structural evolution of the Mt. Gottero Unit in the Mt. Zatta-Mt. Ghiffi sector, ligurian-emilian Apennines, Italy. Ofioliti, 13 (1): 29-42.
- Merla, G., 1951. Geologia dell'Appennino Settentrionale. Boll. Soc. geol. ital., 70 (3): 95-382.
- Montanari, L. e Rossi, M., 1982. Evoluzione delle unità stratigrafico-strutturali terziarie del Nordappennino: 1. L'Unità di Canetolo. Boll. Soc. geol. ital., 101 (2): 275-289.
- Monteforti, B. e Raggi G., 1975. Per la geologia dell'entroterra di La Spezia tra Sarzana e Zignago. Boll. Soc. geol. ital., 94: 927-943.
- Plesi, G., 1975. La giacitura del complesso Bratica-Petrignacola nella serie del Rio di Roccaferara (Val Parma) e dei Flysch

- arenacei tipo cervarola dell'Appennino Settentrionale. Boll. Soc. geol. ital., 94: 157-176.
- Ramsay, J.G. e Huber, M.I., 1987. The techniques of modern Structural Geology: Folds and Fractures. Academic press. London, Vol. 2.
- Robbiano, A., 1996. Evoluzione strutturale dell'area di La Spezia. Tesi Dott. Consorzio CA-GE-TO.
- Vai, G.B. e Castellarin, A., 1992. Correlazione sinottica delle Unità Stratigrafiche nell'Appennino settentrionale. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. CROP 1-1A, 1992/2 (appendice): 171-185.
- Zaccagna, D., 1936. La geologia del Golfo della Spezia. Accad. Lunig. Sci. Anno XVI Fasc.II.
- Zanzucchi, G., 1964. La geologia dell'alta Val Parma. Mem. Soc. geol. ital., 4: 130-212.
- Zanzucchi, G., 1980. Lineamenti geologici dell'Appennino parmense. Note illustrative alla Carta e Sezioni geologiche della Provincia di Parma e Zone Limitrofe (1:100.000). STEP Parma.

*(ms. pres. il 22 luglio 1997; ult. bozze l'11 settembre 1998)*