

RENZO MAZZANTI\*

UN FRAMMENTO DI TOSCANA  
COSTIERA:  
L'AREA LIVORNESE  
FRA IL MARE TIRRENO E  
L'APPENNINO

L'evoluzione geologica di un territorio è ricostruibile con lo studio delle rocce che vi affiorano, di quelle raggiunte dalle perforazioni del sottosuolo e attraverso l'interpretazione di vari tipi di onde (sismiche, elettriche, ecc.) che si propagano in profondità, vengono riflesse dai vari tipi di rocce e quindi captate in superficie da apposite apparecchiature.

L'area livornese fa parte della Toscana costiera, nella quale dal punto di vista geologico va compresa anche l'area del Mar Tirreno settentrionale con tutto l'arcipelago: una regione che presenta grande varietà di rocce per la complessità degli eventi che hanno contribuito a formarla. Risalendo le incisioni fluviali più profonde è possibile seguire la successione (detta «toscana», fig. 1) delle rocce che formano i nuclei centrali di molti monti di questo territorio; si tratta, a partire dal basso, di:

— *Metamorfiti varie (nere, grigie, rosse le superiori)* — Sono rocce in origine costituite da argille, sabbie e ciottoli, meno di frequente da calcari, che vicende posteriori alla deposizione (forti aumenti di pressione e di temperatura dovuti alle profondità nel sottosuolo cui furono spinte) hanno trasformato (cioè metamorfosato) rispettivamente in scisti filladici, quarziti, anageniti (= conglomerati metamorfici) e calcari cristallini (= marmi). Risalgono per la maggior parte al Carbonico sup. e al Permico, vale a dire da 300 a 225 MA (= milioni di anni or sono) e furono deposte prevalentemente in laghi e delta lacustri, raggiunti solo parzialmente dal mare. Questi strati sono famosi in special modo per le flore fossili provenienti dal Monte Pisano e da Iano (Volterra), note fin dal secolo scorso, e per le faune marine rinvenute più di recente nel T. Farma (Siena); il loro spessore non è misurabile perché non affiora la base, si tratta, comunque, almeno di alcune centinaia di metri. Ad essi si aggiungono nei livelli più alti intercalazioni di «porfiroidi» derivanti dal metamorfismo di lave.

— *Filladi, quarziti, anageniti (di colore rosa, violetto, verde e bianco)* — riunite nel Gruppo del «Verrucano» (termine derivato dalla Verruca sul Monte Pisano), si sono deposte in pianure alluvionali e in delta nel Trias medio (225-210 MA) per spessori molto variabili che possono sorpassare i 500 m. Povere di fossili, vi sono stati rinvenuti resti di Lamellibranchi, di Brachiopodi, di Echinidi e impronte di Tetrapodi.

— *Dolomie grigie (grossolanamente stratificate), evaporiti (rocce di precipitazione chimica per evaporazione di acque soprassature)*: sottili alternanze di anidriti bianche e dolomie nere, trasformate in superficie in una breccia calcareo-dolomitica a cellette vacuolari, detta «Calcarea cavernoso»), calcari e marne neri stratificati — Rappresentano rispettivamente gli ambienti di piattaforma carbonatica soprasalata, di laguna soprasalata e piana costiera, di laguna e palude costiera. Questi furono l'uno in comunicazione con l'altro durante il Trias sup. (210-190 MA) in un sistema piuttosto complesso corrispondente alla sostituzione dell'ambiente marino a quello continentale. Questi strati hanno spessori di alcune centinaia di metri e sono in genere poveri di fossili.

— «*Calcarea massiccio*» — Ha colore bianco e si depositò in una piattaforma carbonatica marina ricca di Alghe di vari tipi. Ha restituito scarsi fossili animali come Ammoniti e Lamellibranchi; raggiunge talora 200 m di spessore e corrisponde alla parte iniziale del Giurese inf.

— «*Calcari rossi con Ammoniti*» — Presentano stratificazione più o meno netta, talora con interstrati marnosi (la marna è un sedimento al 50% argilloso e al 50% calcareo), sono ricchi di fossili, specialmente di Ammoniti che ne hanno permesso la datazione alla parte centrale del Giurese inf.; hanno spessori modesti, di poche decine di metri. Indicano la prima fase di approfondimento della piattaforma carbonatica marina rappresentata dal «Calcarea massiccio».

— «*Calcari selciferi*» — Si presentano in strati di colore grigio chiaro o scuro con liste o noduli di selce, talora con intercalazioni marnose che possono raggiungere alcune decine di metri di spessore e quindi assumere il significato di una formazione stratigrafica autonoma (le «Marne a *Posidonomya*», dal nome del Lamellibranco che contengono comunemente). Tutto il complesso di questi calcari ha spessori molto vari che possono raggiungere i 500 m. Corrispondono alla parte centrale del Giurese e rappresentano il sedimento di un bacino marino in rapido sprofondamento su un orlo continentale (= bacino epicontinentale).

— «*Diaspri*» — Sono un sedimento di mare profondo, formatosi al di sotto del limite di compensazione dei carbonati in un ambiente nel quale questi ultimi si dissolvono e nel quale si depongono solo fanghiglie silicee. La potenza d'insieme dei sottili strati silicei dei *Diaspri* è di poche decine di metri che corrispondono alla parte più alta del Giurese sup. (circa 150-140 MA). Contengono Radiolari, microfossili silicei.

— *Calcare «Maiolica»* — E' un calcare stratificato, grigio chiaro o bianco latte, selcifero, caratterizzato dai Tintinnidi (fra i quali le Calpionelle), microfossili molto minuti ma buoni indicatori cronologici nell'ambito del Cretaceo inf. Questo insieme di strati, di spessore molto variabile fino a un centinaio di metri, si è depositato in un mare aperto, profondo, che tuttavia tornava a trovarsi al di sopra del livello di compensazione dei carbonati dopo l'episodio di sedimentazione solo silicea dei «*Diaspri*».

— *Marne «Scaglia»* — E anche questo un sedimento di mare aperto, profondo, nel quale si deponeva una fanghiglia molto sottile a composizione mista argilloso-calcareo, appunto una marna. Ha colore prevalentemente rosso fegato e spessore di alcune centinaia di metri; contiene in abbondanza microfossili, fra i quali i Foraminiferi iniziano ad assumere un ruolo fondamentale per le determinazioni cronologiche, riferibili al Cretaceo, Paleocene, Eocene e parte dell'Oligocene inf. (dai 140 ai 35 MA)

— «Brecciole calcaree» — Formano strati che si intercalano nella parte alta (paleocenico-oligocenica) della «*Scaglia*» o si addensano a costituire grosse bancate indipendenti da quest'ultima. Rappresentano ancora un sedimento di mare profondo nel quale tuttavia segnano l'inizio dell'arrivo di materiali (le «brecciole») strappati dall'erosione di piattaforme continentali. Sono delle «torbidite calcaree» risultanti da materiali detritici in prevalenza calcarei che costituivano «nuvole» (le «torbide») ad alta densità nelle acque marine e che vagavano sospinti dalle correnti fino a grandi distanze dai cigli delle piattaforme continentali dai quali si distaccavano durante le frane. Da queste torbide man mano che diminuivano le velocità delle correnti cadevano i materiali maggiori e più pesanti e, via via, quelli minori e più leggeri fino a costituire al fondo banchi di sedimenti «gradati» con gli elementi più grossi in basso e più fini in alto. Con questo sistema di deposizione ciascun banco corrisponde a un episodio di decantazione di una «nuvola torbida». Queste brecciole calcaree sono ricche di fossili, in specie di Foraminiferi, fra i quali i Nummuliti sono ottimi indicatori cronologici; nell'insieme è stato possibile determinare età paleoceniche, eoceniche e oligoceniche inferiori.

— *Flysch «Macigno»* — Successione di banchi «gradati» a base arenacea e tetto marnoso-siltoso (il *silt* è un sedimento fine con granuli di dimensioni comprese tra quelle di una sabbia e quelle di un'argilla). Questo sedimento è una tipica «torbidite», ha spessori notevoli fin oltre i 1000 m a seconda delle località, corrisponde all'Oligocene sup. — probabile inizio del Miocene inf. Con il termine di «*Flysch*» si intendono i sedimenti clastici (perché in prevalenza risultanti da accumulo di particelle detritiche come sabbie, limi, argille) che rappresentano la fase di rapido colmamento e di chiusura degli ampi bacini marini (detti «geosinclinali») nei quali si raccolgono i sedimenti che sono coinvolti nella formazione delle montagne (oro-genesi). Così il «*Macigno*» è il «*Flysch*» che chiude la sedimentazione nella successione toscana poco prima dell'orogenesi che coinvolgerà tutti i sedimenti finora esaminati, sollevandoli nelle varie vicende della formazione delle montagne della Toscana costiera e delle aree limitrofe (Arcipelago Toscano, Appennino, ecc.). Nella parte alta del «*Macigno*» sono intercalati gli «olistostromi», materiali a struttura caotica e di età più antica (Paleocene-Eocene) dei banchi che li contengono (Oligocene); essi risultano dall'accumulo di frane sottomarine provenienti da Occidente, cioè dal fronte dei complessi rocciosi in rapido sollevamento orogenetico e accavallantisi sopra il bacino di sedimentazione del «*Macigno*» stesso fino a colmarlo.

Tutto intorno e al di sopra dei nuclei nei quali affiorano le rocce della «successione toscana» compaiono quelle della «successione intermedia» (fig. 1), costituite da argilliti e calcari attribuiti, attraverso lo studio dei microfossili che contengono, al Paleocene-Eocene. Lo spessore di questo insieme di rocce è molto vario (intorno ad alcune centinaia di metri anche perché non si sono conservati né la loro base né il tetto stratigrafico. Queste rocce sono identiche a quelle degli

olistostromi della parte alta del «Macigno» oligo-miocenico e non possono essersi sedimentate sopra quest'ultimo essendone sicuramente più antiche (paleo-eoceniche). La loro giacitura va considerata il risultato di un accavallamento tettonico (cioè determinato da forze interne alle compagini rocciose) di dimensioni regionali, visto che è stato documentato dalle montagne della Lucchesia fino in Maremma. La regione di provenienza di questa successione di rocce sarà precisata con più argomenti in seguito.

Tutto intorno e al di sopra dei nuclei montuosi a successione intermedia affiorano le rocce della successione ligure, così nominata perché più uniformemente diffusa in Liguria che in Toscana. Essa è costituita dai seguenti termini nell'ordine dal basso:

— «*Rocce verdi*» — Sono attribuibili a una «crosta di tipo oceanico», di spessore non misurabile, ma certamente di diverse centinaia di metri; sono derivate dal raffreddamento e cristallizzazione di materiali fusi profondi (magmi), provenienti dalla parte superiore del mantello (l'involucro che costituisce la Terra per lo spessore di 2900 km al di sopra del nucleo di 3470 km). Le serpentiniti provengono da idratazione (per infiltrazioni di acque di mare o per circolazione di acque separate dal magma di cui sopra) delle rocce della parte superiore del mantello (lherzoliti), i gabbri derivano da cristallizzazioni intrusive e i basalti da effusioni laviche dello stesso magma.

— «*Diaspri*» — Corrispondono esattamente per litologia, spessore ed età a quelli della successione toscana.

— «*Calcari con Calpionelle*» — Sono l'equivalente del Calcare «Maiolica» della successione toscana.

— «*Argilliti e calcari silicei Palombini*» (dal colore grigio ferro simile al piumaggio dei «Palombi» o colombe selvatici) — Rappresentano una sedimentazione di mare profondo e contengono scarsi microfossili (Calpionelle, Radiolari, ecc.) indicanti il Cretaceo inf.

— «*Brecce*» — Sono formate da elementi clastici spigolosi e talora grossolani di tutti i tipi litologici ad esse sottostanti della successione ligure. Indicano grande instabilità dei fondali marini con notevole erosione di alcune loro parti a cominciare dal Cretaceo sup. al quale sono riferite quelle più antiche.

— «*Flysch a Elmintoidi*» — Questo Flysch trae il nome dalle tracce meandriche dei percorsi degli Elmintoidi, Vermi che si nutrono di fango. E' formato da banchi a sedimentazione gradata di calcari arenacei — marne calcaree — argilliti. Ha spessori di parecchie centinaia di metri ed è considerato corrispondere all'intervallo Cretaceo sup.

— Paleocene e al colmamento e chiusura del bacino della successione ligure.

Anche l'insieme della successione ligure non può essersi deposto né sopra quello della successione intermedia, né su quello della successione toscana; infatti le rocce della sua base sono molto più antiche di quelle delle parti superiori di queste due ultime successioni. Si tratta in questo caso di una sovrapposizione dovuta ad accavallamento tettonico di dimensioni sopra regionali, visto che le rocce della successione ligure si estendono, oltre che in Liguria, in tutta la Toscana.

L'esistenza in Toscana di tre successioni stratigrafiche diverse, ma in parte coeve, e la giacitura di quella ligure sopra quella intermedia e di quest'ultima sopra quella toscana indicano l'impossibilità di una deposizione in loco di tutte e tre e pongono il problema di rintracciare i loro paesi di origine. Considerate le dimensioni almeno regionali delle aree nelle quali queste successioni stratigrafiche affiorano, il problema va affrontato con la dovuta ampiezza, almeno secondo quanto indicato dalla fig. 2 che mostra il tratto mediterraneo delle catene dell'orogenesi alpina e gli stretti rapporti tra Alpi occidentali e Appennino settentrionale. In fig. 2 la situazione attuale (c) viene considerata derivare da una rotazione antioraria di circa 45° del Massiccio Sardo-Corso e dell'Appennino settentrionale, cioè da una situazione corrispondente a quella dell'Eocene (a) nella quale le due catene erano appaiate e in continuità, verso SO, con la Catena Betica spagnola e, verso NE, con le Alpi austriache e meridionali. Questa ipotesi, avvalorata dal fatto che la successione ligure è comune sia alla catena alpina che a quella appenninica, permette di risolvere molti problemi paleogeografici. Il distacco fra Alpi occidentali e Appennino settentrionale sarebbe stato un avvenimento piuttosto tardo (ovviamente per i tempi geologici) e legato all'apertura del Mare di Sardegna e del Mar Tirreno. Secondo questa ipotesi sono stati disegnati gli stereogrammi (fig. 3)

dello sviluppo paleogeografico di una fettuccia di territorio fra Corsica e Toscana costiera a partire dal Carbonico, cioè dall'età per la quale cominciamo a disporre di informazioni più copiose.

La fig. 3 si riferisce in A alla situazione della fettuccia di territorio di cui sopra nel Carbonico sup. durante il quale il paesaggio era caratterizzato da terre emerse con scarso rilievo, costellate di laghi e delta lacustri al margine di un sinus marino documentato nella Toscana meridionale (Senese): parte alta (morfologica) dello stereogramma che mostra inoltre, al di sotto, una sezione verticale della crosta continentale (a puntini) e dell'inizio del mantello superiore (a trattini disordinati).

L'omogeneità con la quale è stata disegnata la crosta continentale non deve indurre in errore in quanto è dovuta a una semplificazione per scarsità di dati. In realtà è noto che la parte superiore della crosta continentale dell'area in esame nel Carbonico fu corrugata nelle pieghe dell'orogenesi ercinica che portò al sollevamento di montagne. Il paesaggio piuttosto piatto qui rappresentato si riferisce alla fase posteriore a questo corrugamento quando la superficie morfologica montuosa era ormai stata livellata dall'erosione anche se, ovviamente, le pieghe sviluppatasi durante l'orogenesi ercinica sotto ad essa erano, e sono, rimaste.

In B correnti divergenti nel mantello (freccie nere) vi innescano un processo di sollevamento e provocano distensione (freccie bianche) nella crosta continentale che si assottiglia in corrispondenza della zona di addensamento del mantello e si frattura (f = faglie) con fenomeni di magmatismo (v = vulcani) che, nel Permico, producono le lave in seguito metamorfosate nei «porfiroidi». Nel Trias medio lo sprofondamento di alcuni settori di superficie, provocato dall'assottigliamento e distensione della crosta, favorisce la deposizione di sedimenti di pianura alluvionale («Verrucano»). Nel Trias sup. (C) proseguono e si accentuano i fenomeni di risalita e divergenza nel mantello e di distensione e fratturazione nella crosta, in subsidenza. L'area in esame è quasi completamente sommersa dal mare con depositi di ambiente poco profondo, di scogliera (dolomie), retroscogliera evaporitica (strati sottili di anidriti e dolomie) e lagunare (calcari e marne neri); il vulcanismo è in diminuzione.

Nel Giurese (D), col proseguire dei fenomeni di divergenza nel mantello e di distensione nella crosta, aumenta notevolmente la subsidenza e la profondità del fondo marino. Si depositano prima sedimenti di piattaforma carbonatica («Calcarea massiccio») e successivamente depositi di mare sempre più profondo (fenomeno di «affogamento» del bacino di sedimentazione) quali il «Rosso ammonitico», le «Marne a *Posidonomya*» e i «Calcari selciferi» nei quali, appunto, la comparsa dei noduli e liste di selce indica che ormai l'ambiente di sedimentazione aveva raggiunto profondità intorno al limite di compensazione dei carbonati.

Nel Giurese sup. (E), in conseguenza della continua risalita di magmi profondi dal mantello superiore si «lacera» la crosta che si suddivide in due tronconi (uno corrispondente alla Paleoeuropa e l'altro alla Paleoafrica) fra i quali vengono ad affiorare le «rocce verdi», tipiche di crosta oceanica di derivazione magmatica della parte superiore del mantello. Ciò avviene in un'area ristretta che tuttavia rifornirà in seguito, con l'emissione di ulteriori rocce verdi, gli spazi centrali del fondo oceanico (Dorsale centro oceanica) man mano che questo si «espanderà» dietro ai due tronconi continentali paleoeuropeo e paleoafricano in allontanamento e che si formerà tra questi il Paleoceano Ligure, appunto caratterizzato da avere un supporto di crosta oceanica di neoformazione (rocce verdi). Al di sopra di questa durante il Giurese sup. si depongono i «Diaspri» e nel Cretaceo inf. i «Calcari con Calpionelle» e le «Argilliti con calcari silicei Palombini». I «Diaspri» si depongono pure in corrispondenza delle aree marginali dei paleocontinenti europeo ed africano sommerse anch'esse da un mare assai profondo. Nel Cretaceo inf. sopra quest'ultima area (che qui interessa maggiormente perché corrisponde a quella di deposizione della successione toscana) si depositano ancora sedimenti di mare profondo come il Calcarea «Maiolica» e la porzione inferiore della «Scaglia».

Nel Cretaceo sup. (F) l'evento paleotettonico più importante è l'inversione della tendenza all'espansione del fondo del Paleoceano Ligure, collegata all'inversione dell'andamento delle correnti profonde (del mantello) e alla loro sostituzione con movimenti di convergenza verso la Dorsale centro-oceanica (dco) che ne risulta maggiormente sollevata e probabilmente in parte emerge. Questa inversione di tendenza tettonica sembra essere stata più precoce (limite fra il

Cretaceo inf. e sup.) nella porzione di Paleoceano Ligure rivolta verso il Paleocontinente Europeo nella quale si deposita il «Flysch calcareo-marnoso a Elmintoidi» al di sopra delle successioni stratigrafiche «oceaniche» precedentemente deposte, e già strutturate in pieghe, e di un poco posteriore (Cretaceo sup. — Paleocene) nella porzione rivolta verso il Paleocontinente Africano nella quale, ancora, si depositano breccie e il «Flysch a Elmintoidi» di età supracretacea-paleocenica in continuità o in discordanza, a seconda dei casi, sui sedimenti «oceanici» tipo «Argilliti e calcari silicei Palombini». Nell'inversione dei movimenti tettonici sopra definita risulta sollevato, fino a formare una dorsale semi-emersa, anche il lembo più occidentale della crosta continentale paleo-africana (di): immediatamente a Oriente di questa dorsale si deporranno i sedimenti della successione intermedia, e, più ad Est, continuerà la sedimentazione della «Scaglia» della successione toscana.

Nel Paleocene (G) si accentua fortemente il corrugamento dei sedimenti del Paleoceano Ligure depositi a Occidente della Dorsale medio-oceanica fino all'ora «risucchio» in profondità lungo piani di taglio inclinati verso Est (pte), con formazione di numerosi accavallamenti tettonici e chiusura del braccio occidentale del Paleoceano Ligure. Nel braccio orientale di quest'ultimo (a Est dell'antica Dorsale medio-oceanica ormai «risucchiata» in profondità) continua la sedimentazione del «Flysch a Elmintoidi», a Est della Dorsale intermedia inizia la deposizione delle «Argilliti e calcari» e, ancora più a Oriente, continua quella di mare profondo con la «Scaglia» della successione toscana.

l'Eocene (H) vede una situazione paleotettonica e paleogeografica nella quale prosegue il movimento di convergenza dei due blocchi a crosta continentale paleoeuropeo e paleoafriano con «consunzione» (o strizzamento) dell'area del Paleoceano Ligure ormai ridotta alla sola porzione più orientale nella quale si depositano (talora in concordanza, altre volte in discordanza stratigrafica sui tetto del «Flysch a Elmintoidi») complessi detritici in prevalenza arenacei e argillosi (Arenarie di Ranzano, Marne di Montepiano, ecc.) presenti e solo scarsamente, in Toscana (Arenarie di Manciano, di Ponsano, di Rencine, ecc.) solo con termini più recenti dell'Eocene. In profondità l'accumulo di scaglie di crosta di materiali più leggeri (densità 2,7 gr per cm<sup>3</sup> per la crosta continentale e di 2,9 per la crosta oceanica) di quelli del mantello superficiale (densità di 3,2), collegato all'inghiottimento lungo piani di taglio e sprofondamento (pte), muta l'equilibrio isostatico dell'orlo orientale del blocco continentale paleoeuropeo e provoca il sollevamento (frecce grigie) delle Alpi occidentali che vengono ad avere le «radici» più leggere (perché composte di crosta) del mantello che le circonda. Al di sotto dell'area residua, orientale, del Paleoceano Ligure si individuano piani di taglio e di subduzione immergenti a Ovest (pto). Nell'area di deposizione della successione intermedia continuano a sedimentarsi le «Argilliti e calcari» e, in quella della successione toscana, seguita la formazione della «Scaglia» cui si associa quella delle «Breccie calcaree».

Nell'Oligocene (I) il grande sollevamento delle Alpi Occidentali favorisce il distacco e l'avanscorrimento superficiale di falde gravitative (frecce a righe), vaste distese di insiemi di rocce che si distaccano in genere lungo i livelli «plastici» e avanzano, ancora in compagine, anche per molti chilometri sotto l'impulso della gravità. Il notevole scorrimento verso Ovest del blocco continentale paleoafriano, dopo avere «strizzato» il residuo spazio orientale del Paleoceano Ligure e causato il sollevamento dei materiali della crosta di quest'ultimo, giunge a provocare la Collisione fra le due masse convergenti di crosta continentale paleoeuropea e paleo africana. Sul lato occidentale di quest'ultima si accentuano i piani di taglio ad immersione verso Ovest (pto) lungo i quali cunei di crosta scorrono in profondità accatastandosi a formare le radici del Paleoappennino. Si ripete per quest'ultimo la situazione di instabilità vista per le Alpi occidentali con il conseguente sollevamento della catena vera e propria mentre, verso Est, nell'area di sedimentazione della successione toscana, si depone il Flysch «Macigno» che riceve gran quantità di materiali detritici per la forte erosione delle montagne sollevatesi ad Occidente.

Nel Miocene inf. (L) una nuova fase distensiva, che vedremo meglio in seguito, provoca assottigliamento crustale e fratturazione per faglie a Occidente dell'area che è stata coinvolta nel sollevamento delle Alpi occidentali. Gli sprofondamenti che ne conseguono provocano l'apertura di

un nuovo bacino di sedimentazione (Bacino ligure-balearico) con la formazione del Mare di Sardegna (fig. 2-b). Continua intanto il sollevamento delle due catene montuose «appaiate»: Alpi occidentali e Paleoappennino settentrionale. In quest'ultimo si individuano, in superficie, falde gravitative con scivolamenti per molti chilometri verso Est (con sovrapposizione delle «Argilliti e calcari» della successione intermedia sopra il «Macigno» della successione toscana e delle rocce della successione ligure sopra entrambe) mentre, in profondità, si formano ulteriori tagli e scorrimenti di porzioni di crosta. Questi investono anche parte della successione toscana nella quale si determinano raddoppi e metamorfismo delle parti che finiscono più in profondità o più prossime alle zone di taglio profondo (è questo il momento della formazione dei famosi «marmi» nella zona apuana).

All'inizio del Miocene inf. nella zona oggi occupata dal Mare Tirreno si estendevano due sistemi montuosi — le Alpi occidentali e il Paleoappennino settentrionale — vale a dire una zona continentale denominata «Tirrenide». A Occidente si andava aprendo il Mare di Sardegna mentre verso Oriente esisteva ancora un ampio mare epicontinentale nel quale, ormai chiusa la sedimentazione del «Macigno» nell'area toscana in sollevamento, continuava quella di altri *Flysch* nelle aree umbre e marchigiane ancora sommerse e si producevano scivolamenti gravitativi di rocce della successione ligure nelle aree delle attuali Emilia e Romagna.

La parte terminale del Miocene inf. e il Miocene sup. (M) vedono nuovamente l'attivarsi di correnti divergenti nel mantello superiore in corrispondenza dell'area occupata dalla Tirrenide, la crosta continentale ora segnata a crocette (fig. 3 - M) per indicare che comprende sia quella antica, corrugata dall'orogenesi ercinica, sia quella corrugata dall'orogenesi recente alpino-appenninica — si distende, si frattura per faglie con sprofondamento di ampi settori nei quali si formano laghi ed entra il mare. Il bacino marino di neoformazione è il Mare Tirreno del quale la fig. 3 mostra la striscia compresa fra il Capo Corso e i Monti Livornesi: più a Oriente emergono i Monti di Casciana Terme e quelli del Cornocchio a NE di Volterra. La fratturazione della crosta è accompagnata da manifestazioni magmatiche fra le quali la fig. 3 - M indica il vulcano miocenico della Capraia. I depositi marini del Miocene sup. sono caratterizzati dalla presenza di evaporiti fra le quali vengono sfruttati industrialmente i gessi (nella varietà alabastro) e il salgemma.

Il Pliocene inf. e il medio (N) corrispondono al massimo della distensione e degli sprofondamenti con ampliamento del Mare Tirreno che, oltre a occupare tutta la superficie attuale, si estende in profondità nell'entroterra toscano fino al Monte Albano e alle propaggini occidentali del Chianti. Il Pliocene sup. (O) coincide con un sollevamento generale, col conseguente prosciugamento dei bacini interni della Toscana costiera e con il raggiungimento di una situazione paleogeografica molto simile all'attuale, caratterizzata da montagne isolate (come i Monti Livornesi, i Monti di Casciana Terme, ecc.) in un paesaggio collinare formato dai sedimenti in prevalenza argillosi e sabbiosi del Pliocene («paesaggio volterrano»).

La prima metà del Quaternario vede gli ultimi sprofondamenti tettonici limitati solo ad alcuni settori della Toscana costiera come la Pianura Versiliese-Pisana, le Colline Pisane e la Piana di Livorno, la Piana di Rosignano Solvay - Cecina - Donoratico e il suo prolungamento nella Pianura di Piombino, mentre del tutto sconosciuta è finora la situazione nella Pianura di Grosseto. Nella seconda metà del Quaternario l'entità dei movimenti tettonici nella Toscana costiera, dopo la documentazione di un lento sollevamento generale, diventa mal valutabile nella limitatezza delle loro dimensioni; si fanno invece molto più importanti le escursioni negative o positive del livello del mare in conseguenza delle notevoli variazioni climatiche, influenti sull'aumento o sulla diminuzione delle masse dei ghiacciai polari e montani e, quindi, con abbassamenti o innalzamenti nell'ambito di 150 m di oscillazione massima. I sedimenti legati a queste ultime variazioni interessano comunque le aree più costiere della terra-ferma. La situazione attuale segue all'ultima fase glaciale (circa 18 mila anni or sono) durante la quale il mare era più basso di almeno 100 m e le isole d'Elba, di Pianosa e di Giannutri furono raggiunte dagli animali terrestri. Il sollevamento del livello del mare posteriore a quest'ultimo periodo glaciale ha ampiamente contribuito alla conformazione morfologica di tutti i terreni più recenti e, in specie, all'assetto attuale delle pianure costiere.

\* Centro di Geologia strutturale e dinamica dell'Appennino (CNR., Pisa).

## RIASSUNTO

Questo articolo è un tentativo di mostrare a lettori colti, ma non specialisti di geologia le vicende stratigrafiche, tettoniche e paleogeografiche che si sono svolte nella Toscana costiera l'area geografica in cui è posto il territorio livornese fra il Mare Tirreno e l'Appennino. Per facilitare al massimo la comprensione di una materia piuttosto complessa è stato fatto ampio uso di disegni e si è cercato di ricorrere il meno possibile all'uso di termini ormai correnti nella letteratura scientifica, ma sconosciuti al di fuori della ristretta cerchia degli specialisti.

La Toscana costiera è un'ottima palestra per gli studi geologici, in essa è possibile seguire le vicende dell'evoluzione paleogeografica fin dal tardo Paleozoico (da circa 300 milioni di anni or sono), con le ultime pulsazioni dell'orogenesi ercinica, e, attraverso l'apertura del Paleoceano Ligure tra paleoEuropa e paleoAfrica, giungere alla ricostruzione dello sviluppo di una catena di montagne — detta «Tirrenide» — che circa 20 milioni di anni or sono è sorta nell'area oggi corrispondente al Mare Tirreno. L'apertura di quest'ultimo, dopo lo sprofondamento della «Tirrenide», è l'episodio che ci riporta alla situazione geografica attuale alla quale si sono aggiunti, nei dintorni della città di Livorno, piccoli ma interessanti fenomeni sedimentari collegati alle variazioni del livello del mare dovute alle fasi di avanzata e di ritiro dei ghiacciai polari e montani sviluppatasi nell'ultimo milione di anni.

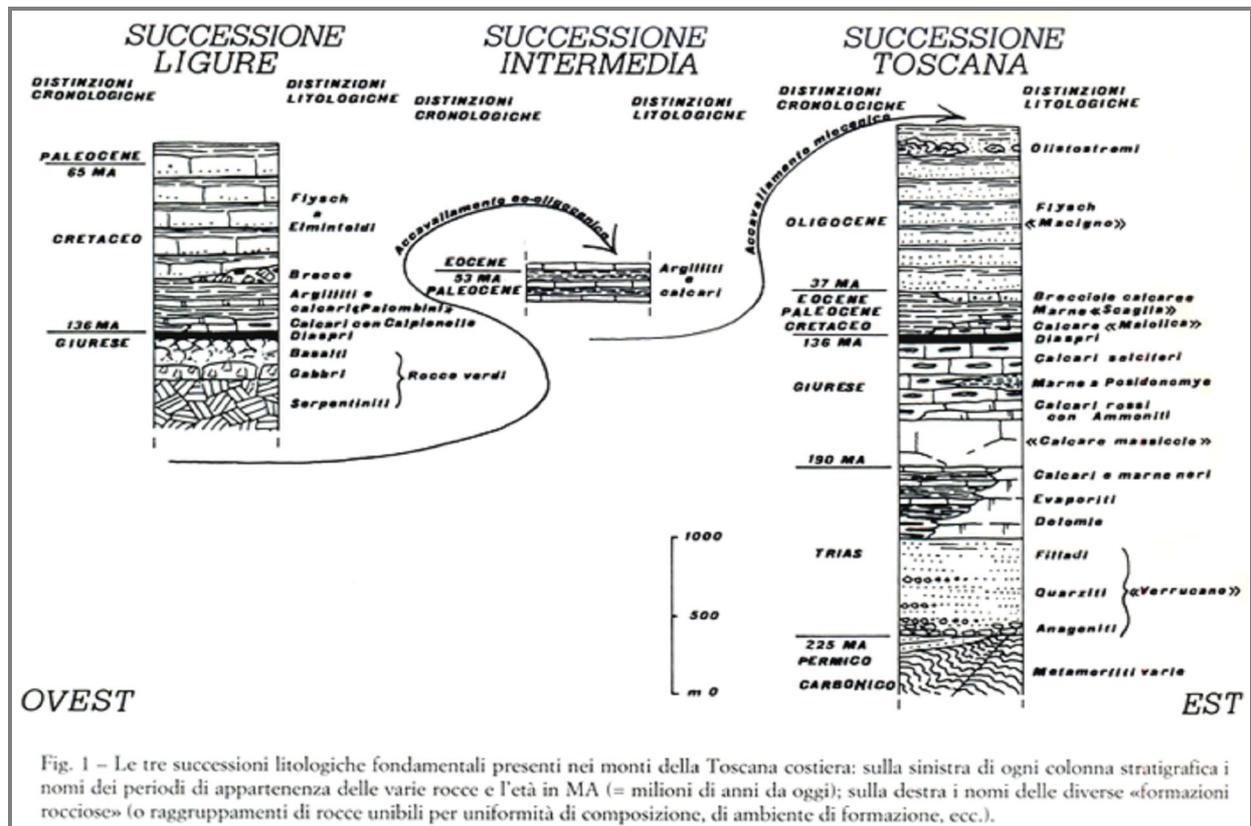
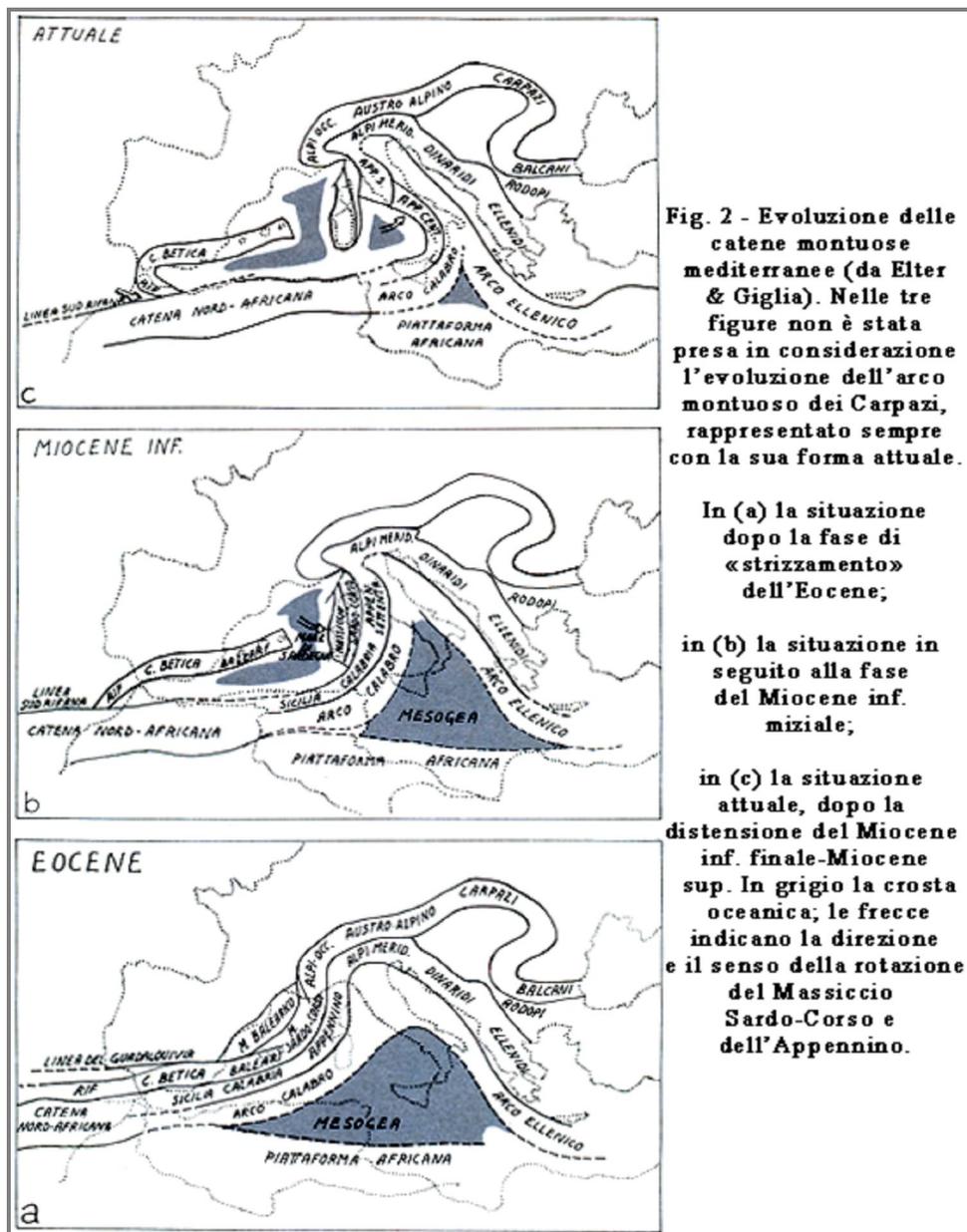


Fig. 1 - Le tre successioni litologiche fondamentali presenti nei monti della Toscana costiera: sulla sinistra di ogni colonna stratigrafica i nomi dei periodi di appartenenza delle varie rocce e l'età in MA (= milioni di anni da oggi); sulla destra i nomi delle diverse «formazioni rocciose» (o raggruppamenti di rocce unibili per uniformità di composizione, di ambiente di formazione, ecc.).

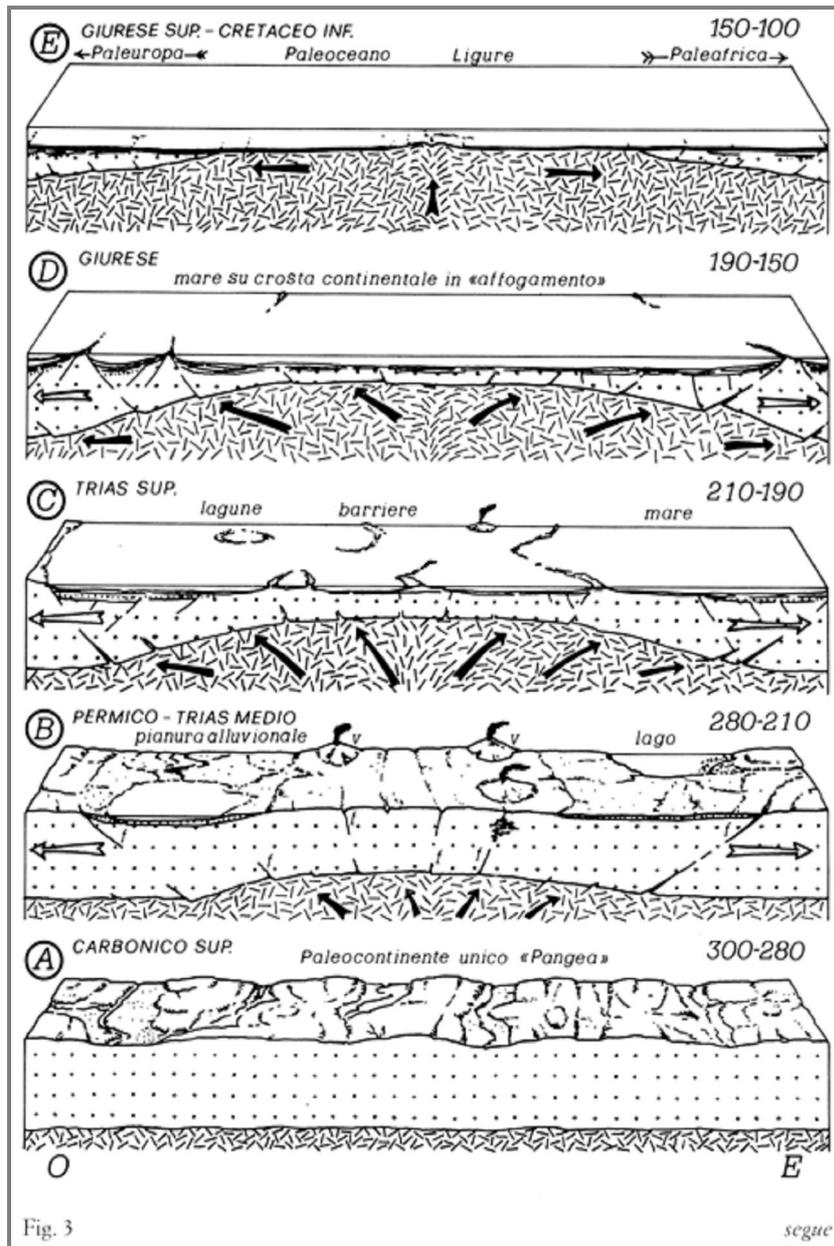


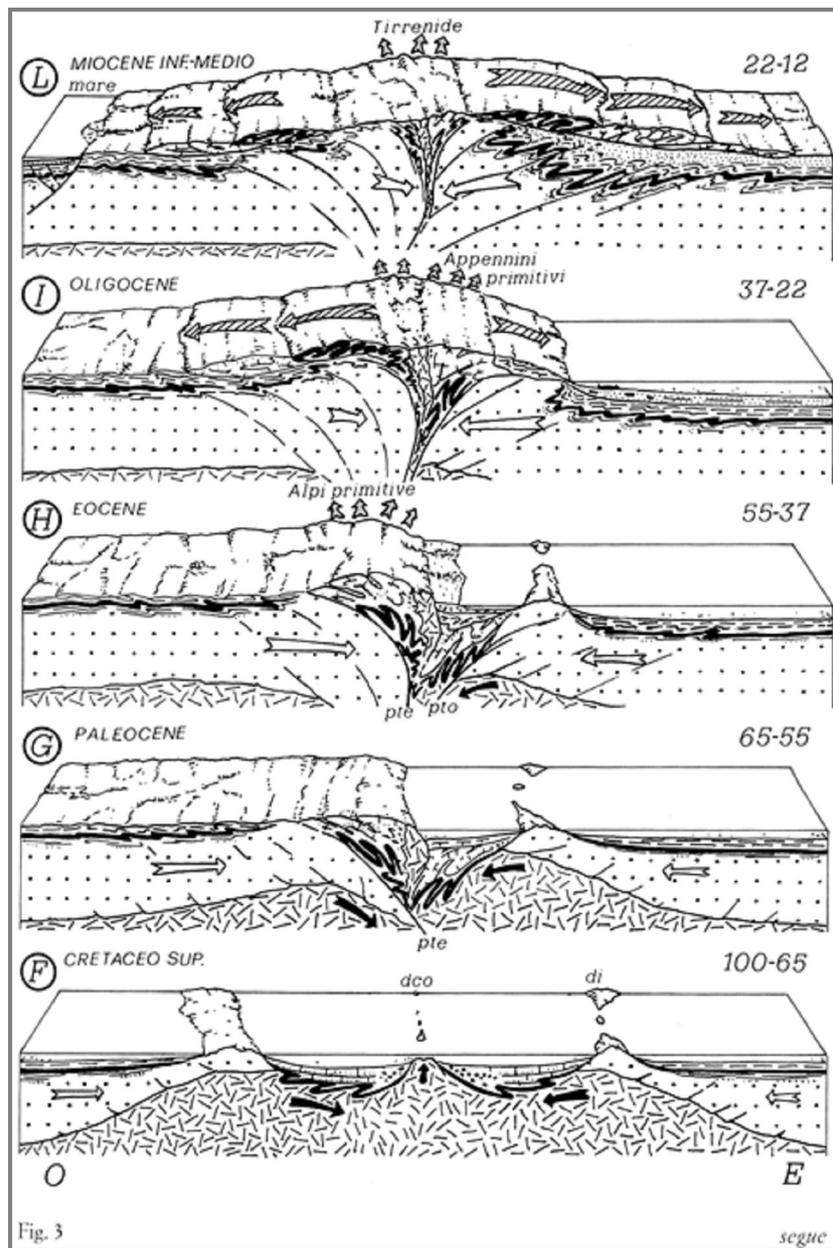
**Fig. 2 - Evoluzione delle catene montuose mediterranee (da Elter & Giglia). Nelle tre figure non è stata presa in considerazione l'evoluzione dell'arco montuoso dei Carpazi, rappresentato sempre con la sua forma attuale.**

**In (a) la situazione dopo la fase di «strizzamento» dell'Eocene;**

**in (b) la situazione in seguito alla fase del Miocene inf. miziale;**

**in (c) la situazione attuale, dopo la distensione del Miocene inf. finale-Miocene sup. In grigio la crosta oceanica; le frecce indicano la direzione e il senso della rotazione del Massiccio Sardo-Corso e dell'Appennino.**





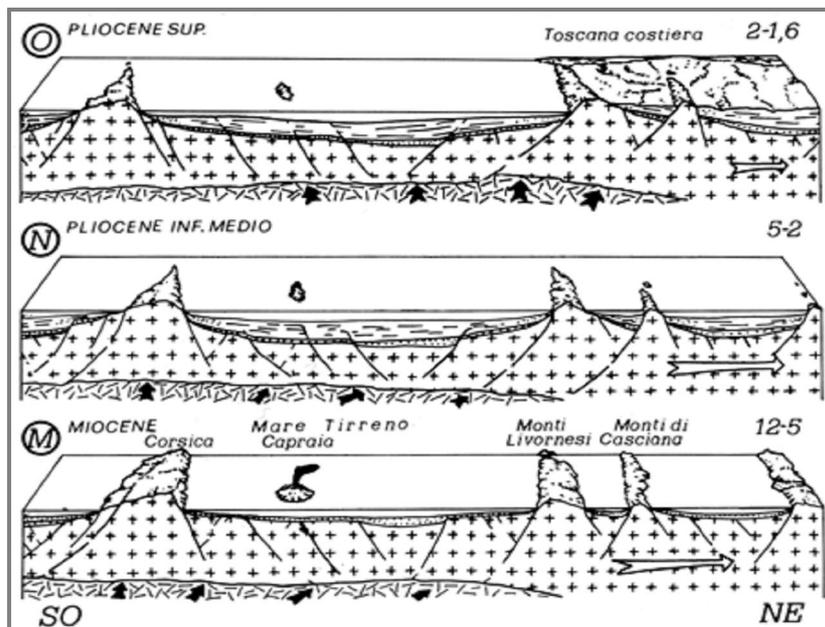


Fig. 3 – Stereogrammi per mostrare lo sviluppo paleotettonico e paleogeografico della «fettuccia» di territorio compresa fra la Corsica e i Monti di Livorno-Monti di Casciana Terme-Colline di Volterra (gli stereogrammi sarebbero comunque validi, con cambiamenti non fondamentali, per tutto il territorio compreso fra il Massiccio Sardo-Corso e la Toscana costiera); i numeri in destra indicano le età in milioni di anni; la spiegazione, periodo per periodo, è richiamata nel testo.