

Renzo Mazzanti

**Evoluzione del pensiero geologico in Europa e in
Toscana dalle origini a tutto il XIX secolo**

(Già Ricercatore presso il Centro di Geologia dinamica e strutturale dell' Appennino del CNR)
Via Bellini, 64- 57013 Rosignano Solvay (Livorno)

L'interpretazione dei fossili come resti di organismi e la loro presenza su colline e montagne sembra inizialmente convalidare l'idea biblica del diluvio.

A partire dal XVII secolo furono sempre più abbandonate perché inconsistenti le teorie sui fossili risalenti a Platone e ad Aristotele (o con più certezza al suo traduttore dall'arabo al greco Avicenna, vissuto a cavallo tra il X e l'XI secolo). Per il primo, infatti, i fossili erano prodotti da un "seme" presente nel terreno e capace di farli nascere quali veri e propri organismi viventi sotto l'azione di una forza o "virtù plastica", mentre per il secondo essi andavano attribuiti all'azione di succhi o di arie circolanti dentro o sopra il terreno.

Secondo quanto già osservato dal Boccaccio e da Leonardo da Vinci, nel XVII secolo il significato dei fossili quali resti di organismi deceduti veniva ormai accettato da un numero sempre maggiore di studiosi, il cui sforzo interpretativo era rivolto a spiegare in qual modo questi resti di organismi, moltissimi dei quali identici alle conchiglie o alle ossa di quelli che vivono sicuramente in mare, potessero essere finiti in così gran copia su monti e colline.

L'antica descrizione biblica del diluvio forniva un'interpretazione a portata di mano, consona alla tradizione di una Chiesa che aveva, col Concilio di Trento, prese le distanze dallo spirito innovatore dei nuovi studiosi ed imboccata la strada che vide nell'imposizione dell'abiura a Galileo l'episodio più eclatante fra i tanti. D'altra parte montagne e colline erano da sempre state viste come il massimo simbolo dell'immobilità e non fu facile giungere alla considerazione che tale era solo un'apparenza collegata alla lentezza dei loro movimenti.

Nicola Stenone e il suo Prodomus: prima sintesi interpretativa dell'origine dei sedimenti (stratigrafia) e della loro disposizione (tettonica).

Niels Stensen, scienziato danese che soggiornò a lungo in Toscana presso la corte di Ferdinando II, italianizzò il suo nome in Stenone e viaggiò specialmente a Sud dell'Arno tra Firenze, Volterra e Livorno. Egli trasse dall'osservazione della complessa geologia di quei luoghi una lucida sintesi geologico-morfologico-paleontologica che pubblicò nel 1669 nel suo *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, opera che sottintendeva un lavoro più ampio che tuttavia non fu mai eseguito per la conversione dell'autore al cattolicesimo, con conseguente abbandono della ricerca e dedizione alla vita apostolica, essendo stato fatto vescovo.

Nella regione in cui viaggiò Stenone (parte della Toscana Marittima) esistono diversi monti isolati, costituiti da rocce dure e coerenti come scisti cristallini (Montagnola Senese), arenarie e calcari (M. Albano, Larderello, Massa Marittima, M. Livornesi, M. Campigliesi, M. Piombinesi, ecc.), circondati da colline formate da rocce molli o poco coerenti come argille e sabbie marine riccamente fossilifere. Stenone in una figura in sei episodi (Fig. 1) ne precisò le tappe successive di sviluppo stratigrafico, tettonico e morfologico a partire dalla situazione attuale (Fig. I: 20).

In una fase primitiva (Fig. 1: 25) il mare, che viene indicato come quello "primordiale" della Genesi, si estese su tutta la regione deponendo *strata lapidea* orizzontali. In una seconda fase (Fig. I: 24) il mare si ritirò di modo che tutta la regione divenne una grande pianura. In una terza fase (Fig. 1:23) si formarono ampie valli in corrispondenza di aree sprofondate per l'azione sotterranea del fuoco e dell'acqua: le zone scampate a questi sprofondamenti (Fig. I: F, O) costituiscono i monti di cui sopra. In una quarta fase (Fig. I: 22) il mare, indicato come quello corrispondente al diluvio universale, penetrò nelle valli e vi depose gli strati (A, B, C) argillosi e sabbiosi orizzontali. In una quinta fase (Fig. 1: 21) il mare si ritirò e nuovi sprofondamenti per le forze interne del fuoco e dell'acqua determinarono la vacuità al di sotto di alcune aree (A) che crollarono (Fig. 1:20) dando origine alle pianure (D) che furono separate dalle colline (B, C).

Questa ricostruzione può essere considerata la prima (non solo per la Toscana) nella quale la deposizione dei sedimenti viene messa chiaramente in relazione con l'ingressione del mare sulle terre (detta successivamente "trasgressione") e vien data una spiegazione meccanica (detta in

seguito “tettonica”) della inclinazione degli strati per perdita di una originale orizzontalità di deposizione;

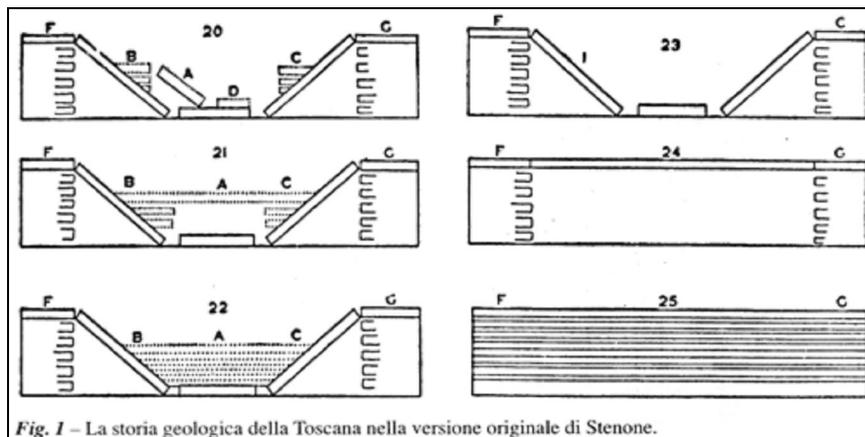


Fig. 1 - La storia geologica della Toscana nella versione originale di Stenone.

ha inoltre il grandissimo merito di essere applicata a un caso concreto di dimensioni regionali e di essere stata tratta dalla osservazione diretta in campagna. A questa ricostruzione, ovviamente schematica e “semplicitica”, ancor oggi si può solo eccepire che i monti individuati nella fase 4 in maggioranza non hanno strati orizzontali.

L'ipotesi diluvialistica di Stenone entra in crisi per i “difficili” fossili inglesi di Martin Lister.

Stenone era giunto all'intuizione di una struttura a strati sovrapposti della crosta terrestre per sedimentazione nell'acqua del mare di particelle inorganiche e di resti degli organismi che vi vivevano, attraverso l'osservazione dei terreni delle colline toscane che oggi sappiamo essere geologicamente recenti (neogeniche e quaternarie). Ciò comporta che i fossili osservati da Stenone erano tutti identici (o molto simili) alle parti conchigliari od ossee degli organismi ancora viventi e non era in contrasto netto con l'ipotesi ‘diluvialista’, tanto più che gli strati dei monti toscani che si credevano privi di fossili (in realtà ne sono anch'essi ricchi ma, in prevalenza, di dimensioni microscopiche), potevano venire riferiti ad un'origine nel mare “primordiale” e precedente ad ogni forma di vita sulla Terra.

Le ricche collezioni di Lister e di altri naturalisti inglesi, vissuti fra il XVII e l'inizio del XVIII secolo, avevano fossili (che oggi sappiamo appartenere al Giurassico e al Carbonifero) molto più antichi di quelli osservati da Stenone e, più che altro, con forme assolutamente non paragonabili a nessuna di quelle viventi conosciute. Ne derivò il dubbio che tutti gli strati con forme così varie di fossili si fossero potuti sedimentare nei soli 40 giorni del diluvio, tanto più che lo stesso Lister aveva molto acutamente osservato che determinati fossili sono caratteristici di determinati strati; per cui diveniva inevitabile ammettere l'esistenza di forme estinte o viventi in recessi ancora inesplorati della Terra. Per non ammettere queste ipotesi, e in particolare la prima che contrastava con una natura perfetta e conservatrice delle forme originate all'atto della creazione, Lister finì per sostenere l'origine inorganica dei fossili, compiendo un netto passo indietro rispetto alle sue precedenti intuizioni.

Fra il XVII e il XVIII secolo i naturalisti cessano di ricercare la verità nei testi classici secondo la tradizione umanistica e, sull'esempio del medico e botanico bolognese Ulisse Aldrovandi del secolo precedente, si gettano alla risoluzione dei problemi “dal vivo”, cioè viaggiando.

Il veneto Antonio Vallisnieri in uno dei suoi viaggi visitava le Colline Pisane e Livornesi e così riferiva nelle *Opere fisico-mediche* del 1733: “Era una maraviglia, il non poter mettere piede innanzi piede su que' colli, che non si calpestasse qualche... produzione di mare, essendo tutti

seminati anche gli arati campi delle medesime; ed era un diletto o un curioso spettacolo da filosofo il veder germogliare e pini e olive e viti e fichi ed altre piante fruttifere dove probabilmente una volta nuotarono i pesci, e di tanti crostacei fu nido graditissimo”. E sulle caverne, delle quali aveva esperienza diretta per averne esplorate alcune anche nelle Apuane, così scriveva: “In tante caverne... ho pur veduto per lo più generarsi... certe croste di tartaro o certe piramidi alla rovescia, dette da alcuni *stalagmites* o varie altre bizzarre figure per mezzo delle cadenti gocce, segno evidente, che non erano formate sempre da puri vapori, ma da acque, che venivano dal di sopra, le quali in passando per la terra, o per certe pietre dette calcarie, o per altre dell’indole del gesso, o simili, trascinarono seco sali e particelle che combaciandosi insieme formavano que’ tartari o quelle stalagmiti, dette volgarmente *acque impietrite*”. Infine, nel medesimo lavoro descrive il ciclo delle acque, tanto importante nei processi erosivi: “Il sole e l’aria fanno che si sollevino sciolte in vapori le acque del mare, i quali si raunano e si stringono in nuvole, e dalle nuvole grondano le piogge, piombano le grandini e fioccano le nevi, che formano i fonti e i fiumi, che ritornano al mare; onde ecco dal mare al cielo, dal cielo a’ monti, da’ monti al mare un’incessante vertiginosa circolazione dell’acque”.

Pier Antonio Micheli, botanico fiorentino capace di argute osservazioni geologiche, riconosceva ad Ischia “pietre bruciate molto simili a quelle vomitate dal Vesuvio” e a Procida pietre “tormentate dal massimo grado di fuoco, e ridotte in stato di vetro nero”; per cui considerava le due isole come “due vulcani estinti”. Nel 1722, mentre erborizzava tra Radicofani e Montefiascone, si convinceva che questi ed “altri luoghi circonvicini... altro non sono... che tanti vulcani o mongibelli estinti”. Ed altrettanto intuiva per il M. Amiata, sulla base di tracce di colate sovrapposte di rocce ignee: “di tanti strati di diversi colori e grossezze, che dall’alto al basso discendessero, in modo appunto, come se la materia che gli compone fosse stata liquefatta dal fuoco, e che quella di uno strato avesse di mano in mano fluuto sopra dell’altro”.

L’evoluzione geomorfologica della Toscana Marittima nei rapporti fra “monti primitivi” e “colline” secondo le osservazioni di Gio’ Targioni Tozzetti, il più famoso dei “naturalisti viaggiatori” toscani.

Targioni Tozzetti, nelle sue *Relazioni di alcuni viaggi...*, uscite in prima edizione nel 1751 ed in seconda ampliata dal 1768 al 1779, distinse nei rilievi della Toscana i “monti”, di quote maggiori e costituiti da strati variamente inclinati composti per la maggior parte da Macigno (prevalentemente arenaceo) e Alberese (in prevalenza marnoso e calcareo-marnoso), dalle “colline”, di quote minori, formate da strati orizzontali di ghiaie, sabbie e argille. Le colline sarebbero state dunque “monti secondari” prodotti dal disfaccimento dei “monti primitivi” (quelli, appunto, di cui sopra), per i quali Targioni Tozzetti aveva l’accortezza di precisare: “Col termine primitivo non intendo esprimere che i moderni [lèggi: attuali] monti sieno tali quali furono creati in principio [lèggi: primigeni], ma in realtà non sono tali, e sono ancora essi secondari, forse di terza o quarta mano, cosicché manifestamente composti di rovine e rottami di altri monti più antichi”.

Sui rapporti tra Macigno e Alberese, entrambi riconosciuti, per quanto sopra, come rocce di natura clastica (o formate dall’accumulo sedimentario di particelle provenienti dall’erosione di altre rocce preesistenti) così si esprimeva: “le falde più basse e le radici delle montagne di macigno sono fasciate e sotterrate da pendici di alberesi. Ciò non ostante sembra credibile che le sotterranee pendici di macigno sieno vastissime, e si estendano tortuose a grandi distanze, protuberando di tanto in tanto, quasi come fanno le tortuose radici rampanti dei grandi alberi, che si fanno vedere a luogo a luogo scoperte dal terreno”. Così Macigno ed Alberese è ovvio che dovrebbero costituire in gran parte il substrato delle “colline”; i Gabbri, come masse non vulcaniche perché non vi è mai stato rinvenuto vetro, si trovano associati agli Alberesi nei “monti”.

Targioni Tozzetti precisava che le “colline”, i cui sedimenti si deposero in aree sprofondate dei “monti primitivi”, emersero in seguito ad un abbassamento del mare avvenuto in epoca remotissima; inoltre riteneva che “le sommità... più alte delle colline restano tutte quante ad un medesimo livello,

come persuade l'oculare ispezione, meglio di qualunque discorso; poiché stando sopra d'una delle sommità maggiori di colline si vedono tutte quante le altre tornare ad una medesima linea, e presentare all'occhio l'immagine di una vastissima pianura". Quest'ultima corrispondeva, nelle intenzioni di Targioni Tozzetti, alla superficie di ritiro ("regressione") di un mare che trasgredì su

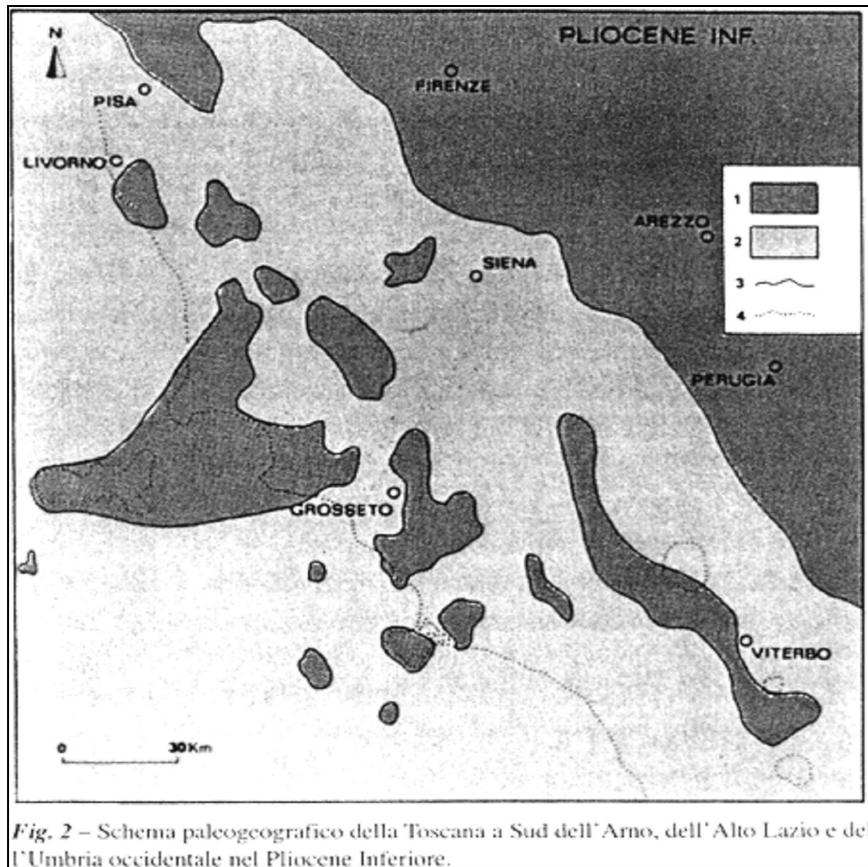


Fig. 2 - Schema paleogeografico della Toscana a Sud dell'Arno, dell'Alto Lazio e dell'Umbria occidentale nel Pliocene Inferiore.

tutta la Toscana Marittima fino a lambire il piede del M. Pisano, del M. Albano, dei M.ti del Chianti, del M. Cetona, ecc. e che ridusse ad isole tutti i rilievi montuosi presenti ad occidente di detto allineamento. Si tratta di quella che sarà in seguito riconosciuta come la trasgressione del Pliocene inferiore (Fig. 2).

Questa ricostruzione è un'applicazione più raffinata del modello di Stenone, rispetto al quale risulta però completamente liberata da indimostrabili riferimenti a miti biblici. Va comunque fatto notare che la presenza di strati marini a quote molto alte, nei "monti" oltre che nelle "colline", non essendo ancora stata presentata l'ipotesi di un sollevamento delle terre, veniva supposta, anche se non esplicitamente, come dovuta a grandi rigonfiamenti delle acque marine.

Fra la seconda metà del XVIII ed i primi anni del XIX secolo gli ultimi "naturalisti viaggiatori", ormai liberi da vincoli di credenze sorpassate, arricchiscono le conoscenze geologiche della Toscana Marittima.

Così Giuseppe Baldassarri, che studiò principalmente il territorio di Siena, scriveva nel suo *Saggio di osservazioni...* del 1763: "La posizione naturale con cui si trovano nei monti i polipari, simile appunto a quella che hanno in mare; i forami scavati dai datteri negli scogli di alcuni monti primitivi [quelli di natura calcarea], sulle pendici dei quali sono depositati i monti di posteriore formazione [le "colline" di Targioni Tozzetti], e molte altre non poche consimili osservazioni rappresentavano la difficoltà di concepire questo trasporto cagionato dalla violenza e confusione dell'universale diluvio, anzi che sembrava più tosto ciò dimostrare essere una volta soggiornato il mare per lungo tempo in questi stessi luoghi del continente". E, ancora, fra le rocce comuni nel

Senese riguardo alla formazione dei travertini osservava (nel volume *Delle acque minerali di Chianciano, Siena, 1756*) che il: “letto petrificato si stende da Asciano con direzione alla parte di greco fino in vicinanza del castello delle Serre per la lunghezza di tre miglia circa ... Di presente in tutto questo lungo tratto d’impietramento non si scorgono acque minerali, ma sembra peraltro cosa naturalissima il credere, che una volta sgorgassero e che poi accecate le polle nel luogo delle prime sorgenti, siansi queste aperta l’uscita successivamente sempre più a basso ... terminando finalmente nel luogo, nel quale è fabbricata la terra di Asciano”.

Forti dubbi rimanevano invece a Baldassarri (nello stesso saggio) circa la natura vulcanica delle rocce di Roccastrada che somigliavano moltissimo a quelle dell’Amiata, ormai noto come un vulcano spento, ma nelle quali non rinvenne “o vetrificazioni o pomici o ceneri vulcaniche”, allora ritenute documenti indispensabili per il riconoscimento di una roccia come ignea (o “magmatica”, secondo l’uso moderno). In analoghe incertezze rimase Giorgio Santi, discepolo di Baldassarri e “viaggiatore” nel Senese, che, addirittura, applicando le stesse regole al granito di Gavorrano, finì per considerarlo una roccia di seconda formazione, derivata dalla distruzione di antichi graniti. Santi, nel suo *Viaggio secondo per le due province senesi...* del 1798, riconosceva invece con molta proprietà l’origine dei tufi: “Ovunque si volga l’occhio in queste parti scorgonsi immense produzioni del fuoco. Tufe compatte, tufe tenere e cellulose, scorie, pomici, ceneri, o per meglio dire arene vulcaniche, ecco ciò che largamente si offre all’occhio dal fiume Fiora a Pitigliano, Soana, Sorano, Castellottieri, Montorio e a tutti questi paesi toscani di confino. Legasi ad essi immediatamente, e senza interruzione le regioni vulcaniche dello Stato Romano”; ed inoltre: “non il fuoco immediatamente, non le convulse eiezioni di voi- cani, ma i trasporti e le deposizioni successive e regolari delle acque marine formarono già quei strati immensi, quelle rupi, quei banchi paralleli e sì bene ordinati di sostanze vulcaniche, che da Soana e da Pitigliano per le basse province dell’Italia Cisappenninica tant’oltre si estendono”. Riconosceva altresì, al di sotto dei terreni argillosi e sabbiosi di origine marina (della trasgressione del Pliocene) i rilievi calcarei più antichi del M. Cetona e dei Bagni di San Casciano, nei quali rinvenne numerose Ammoniti (presenti, va ricordato, tra i fossili “difficili” di Lister). Ancora molto importante, nel *Viaggio terzo...* del 1806, è il riconoscimento del Verrucano, breccia silicea, che compare spesso “Dal Monte Argentario fino ai Monti Pisani, da un’estremità all’altra della Toscana, senza quasi interruzione, o almeno con traccia di una corrispondenza contigua per tutta la Maremma”.

Il problema della datazione delle rocce e della Terra: uno degli argomenti meno risolvibili per gli studiosi dei secoli XVII e XVIII.

Alla fine del XVII e, ancor più, durante il XVIII secolo molti studiosi si resero conto della difficoltà di riferire l’origine delle rocce ai due unici episodi rintracciabili nella tradizione biblica: la genesi (alla quale veniva riferita la formazione dei monti primitivi) e il diluvio (con la formazione dei monti secondari). Queste difficoltà non sfiorarono peraltro la mente di James Ussher, vescovo di Armagh in Irlanda, che nei suoi *Annales Veteris Testamenti* del 1650, appunto sulla base dell’esegesi biblica, del calendario ebraico e di altri riferimenti “storici”, datava la creazione del mondo alle ore 9 della domenica 23 ottobre 4.004 a.C., la creazione dei viventi ai sei giorni successivi, il diluvio a 1.656 anni dopo la creazione e la fermata dell’Arca sul Monte Ararat al 6 maggio 2.349 a.C.

Non così Targioni Tozzetti, per il quale: “la superficie a noi cognita del globo terracqueo ha sofferto più e diverse alterazioni magne, essenziali e paradosse, ed è stata, per così dire, affracassata e sminuzzolata più d’una volta, e poi rifatta e rimessa insieme alla meglio, quasi come certe fabbriche antiche state più volte rovinare e risarcite”; perciò chi “si darà la pena di osservare con occhio filosofico i monti della Toscana..., vi troverà da per tutto prove dimostrative degli accennati disfacimenti e risarcimenti irregolari e tumultuari, seguiti in diversi tempi, ma non potrà giammai metter in chiaro le vere cagioni, né l’epoche precise”. Da cui la conclusione negativa di chi non

vedeva soluzioni logiche al problema: “Questo è un nodo gordiano che neppure la remota posterità saprà giammai sciogliere!”.

Ma già un contemporaneo di Targioni Tozzetti, Giovanni Arduino, in base alla costituzione litologica e alla disposizione morfologica delle rocce, distingueva sulle Alpi Orientali tre grandi ordini (Primario, Secondario e Terziario), ai quali aggiungeva un quarto (Quaternario) per la pianura alluvionale. E nella sua *Lettera ad Antonio Vallisneri...*, pubblicata nel 1760, attribuiva al suo ordine Terziario le “... colline della Toscana, chiamate monti secondari dal chiarissimo sig. Targioni Tozzetti, che le ha giudiciosamente osservate e descritte”.

I tempi erano ormai maturi per la messa a punto della tecnica di studio stratigrafico, che giunge alla datazione e all’ interpretazione paleoambientale dei pacchi di strati rocciosi mediante i fossili in essi contenuti. Questa tecnica fu applicata per la prima volta nel Bacino della Senna da Georges Dagobert de Cuvier e da Alexandre Brongniart, e resa pubblica nel 1811 con il loro volume *Essai sur la géographie des environs de Paris*. Cinque anni dopo, e in maniera del tutto indipendente, la stessa tecnica veniva teorizzata anche da William Smith nel volume *Strata identified by organized fossils ...*. E risale ancora a quegli anni (1820) la pubblicazione di *Dello stato fisico del suolo di Roma...*, ove Giovanni Battista Brocchi, grande conoscitore di tutto l’ Appennino e dei suoi fossili, intuiva la possibilità di usare un criterio paleontologico per la determinazione cronologica delle successioni sedimentarie delle diverse località:

“Se impossibil riesce di determinare la età assoluta delle rocce, si può bensì arguirne la età relativa ponendo mente alla loro giacitura, alle scambievoli loro relazioni, alla qualità de’ corpi organici che vi sono racchiusi. Rispetto a questi ultimi osservare possiamo che alcune rocce sono più antiche di certe altre se contengono testacei [conchiglie] le cui spezie [specie] o sono per la massima parte perdute, o hanno così insolita forma che non si saprebbe tampoco riferirle a veruno de’ generi in cui stanno comprese quelle degli odierni mari. Più moderne relativamente a queste saranno le altre rocce che offriranno testacei di cui o esistono gli analoghi viventi, o se alcuni rimangono sconosciuti se ne può almeno determinare il genere ... Finalmente di data vie più recente si riconoscono quelle rocce nelle quali tutti i testacei coincidono e coi generi e con le spezie indigene dei mari vicini”.

L’evoluzione delle specie nel mondo organico, intuuta da Jean-Baptiste Monet de Lamarck, trova in Charles Robert Darwin una semplice spiegazione e giustifica le differenze tra i fossili nelle varie successioni stratigrafiche. Nasce così la cronologia relativa.

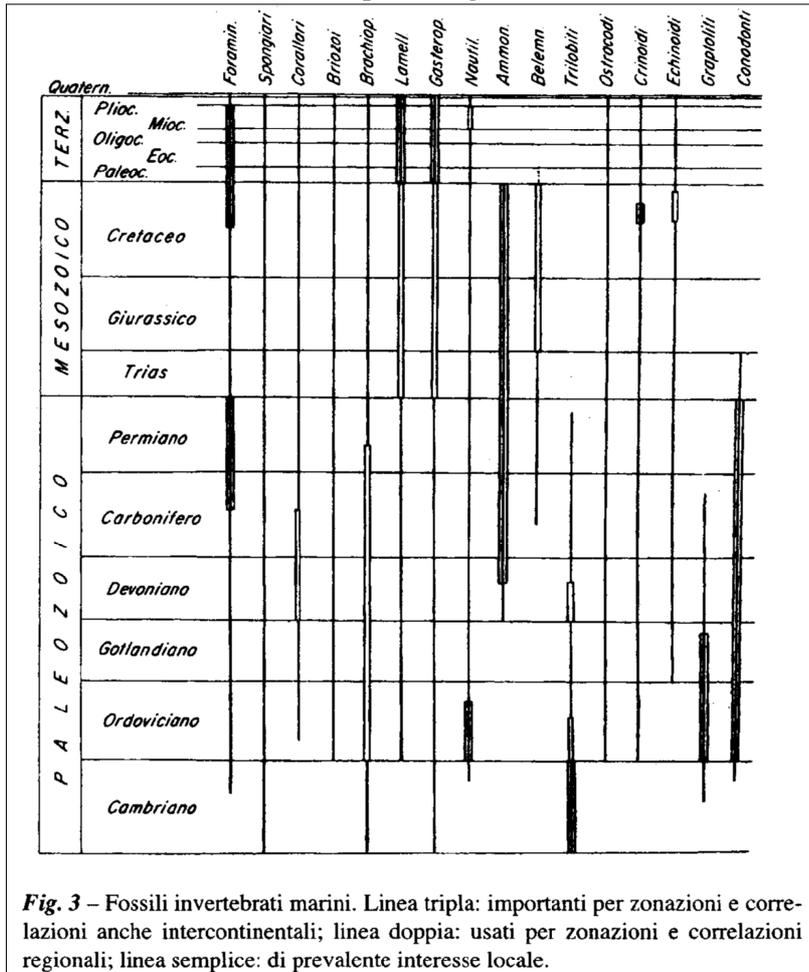
La tecnica di studio stratigrafica richiede, come abbiamo veduto, il riconoscimento nelle successioni sedimentarie dei resti fossili di un susseguirsi di differenti gruppi animali; d’altra parte risulta evidente che molte specie di questi gruppi oggi non vivono più, mentre la comparsa di altre non può essere considerata come avvenuta in un unico episodio, in quanto i loro fossili appaiono in strati diversi. Queste constatazioni portarono gli studiosi alla considerazione che: o le diverse specie erano state “create” in più episodi frazionati del passato; oppure c’era stata una trasformazione dalle forme più primitive a quelle più recenti. Per Lamarck, le specie si sarebbero originate da modificazioni di altre preesistenti attraverso pressioni dell’ambiente, secondo la legge per cui “le funzioni sviluppano gli organi”. Per Cuvier, invece, le comparse di nuove specie in determinati territori sarebbero state successive ad eventi catastrofici che avevano spopolato quei territori, e dovute ad immigrazioni da aree più o meno limitrofe non colpite da tali eventi. Per Darwin, infine, le modificazioni da cui si sarebbero originate nuove specie sarebbero state il risultato della variabilità individuale e della selezione naturale, intesa in senso generale come competizione per la sopravvivenza e preservazione dei più adatti; in altre parole, la pressione ambientale selezionerebbe le forme maggiormente capaci di sopravvivere e di procreare nuovi tipi.

Qualunque fossero i meccanismi del processo evolutivo, la sola e semplice scoperta, avvenuta grazie alla paleontologia, che la vita sulla Terra aveva ripetutamente cambiato di configurazione nel corso del tempo, consentiva di collegare i particolari contenuti fossiliferi a determinati pacchi di

strati e, pertanto, di porre questi ultimi nella loro corretta successione verticale. Era nata, cioè, la cronologia relativa, per mezzo della quale diveniva possibile assegnare ogni roccia sedimentaria fossilifera al punto ad essa spettante nel quadro evolutivo generale del mondo organico (Fig. 3).

Fra polemiche spesso più infuocate dei magmi di cui trattano, i vulcanisti, i nettunisti e i plutonisti della seconda metà del XVIII e dei primi anni del XIX secolo finiscono per porre i fondamenti della moderna petrografia.

Un primo “incidente” nelle relazioni fra naturalisti nacque quando Nicolas Desmarest, che dal 1763 al 1769 aveva lavorato in Alvernia, distretto francese particolarmente ricco di rocce ignee, riconobbe che il basalto di quella regione sormontava uno strato di scorie vulcaniche a loro volta



poggianti sul granito; di conseguenza, affermò che il basalto derivava, come ogni altra roccia vulcanica, dalla fusione parziale dei componenti del granito. Questa conclusione non poteva essere accettata dai nettunisti, che avevano sempre sostenuto la natura sedimentaria del basalto in quanto privo di vetro, ceneri e scorie e lo ritenevano una roccia “primaria” (leggi “primordiale”). Il caposcuola dei nettunisti, Abraham Gottlieb Werner, docente alla Bergakademie di Friburgo, in due volumi del 1774 e del 1787 gettò le basi della classificazione rispettivamente dei minerali e delle rocce. Nel secondo di questi volumi espose la sua “geognosia”, secondo la quale la Terra sarebbe stata sommersa da un oceano primordiale in cui si sarebbe formata la maggior parte delle rocce. Questa parte di rocce sarebbe poi emersa in seguito al lento ritiro del mare, mentre altre

rocce più recenti si sarebbero formate sempre in mare, ma in conseguenza di trasgressioni parziali successive. Nel 1795 fu stampato ad Edimburgo il volume *Theory of the Earth with Proofs and Illustrations* di James Hutton, caposcuola dei plutonisti. Molte delle idee proposte in questo volume sono rivoluzionarie. Così la denudazione dei continenti da parte dell’erosione, considerata fino allora come un segno di decadenza della Terra, è presentata come un elemento di vitalità e di rinnovo perché fornisce quel materiale che, depositato negli oceani, finisce in profondità dove viene fuso e consolidato dal grande calore proveniente dal centro del globo. E lo stesso calore è ritenuto responsabile del sollevamento dei sedimenti marini e, talora, della loro dislocazione dall’originale orizzontalità. Così la comparsa di nuovi continenti può far seguito alla distruzione per erosione di quelli più antichi e assicurare la continuità della vita terrestre. Il grande calore dell’interno della Terra è anche considerato produrre il “magma”, materiale fuso che tende a risalire e a fuoriuscire producendo lave (delle quali il basalto è la più diffusa) e vulcani (a struttura quasi sempre mista di

lave, scorie, ceneri, ecc.), mentre se rimane stretto nel sottosuolo si raffredda lentamente e produce le rocce intrusive di struttura tutta cristallina e senza vetro (delle quali la più comune è il granito).

Con i *Principles of Geology* del 1830 Charles Lyell pone le basi della geologia moderna.

La geologia fu considerata da Lyell una nuova scienza in grado di operare una sintesi tra petrografia, paleontologia e biologia, in grado di ricostruire la storia sulla Terra del mondo inorganico e delle sue relazioni con quello organico. L'opera di Lyell si basa sul principio attualistico, ovvero sull'intuizione che le forze che nel passato hanno agito nella formazione delle rocce siano simili a quelle che agiscono attualmente nella deposizione dei sedimenti, nell'eruzione dei vulcani, nella cristallizzazione (raffreddamento e solidificazione) dei magmi, nell'erosione delle rocce, ecc. Il presupposto di una lunga e costante azione nel tempo per la formazione delle rocce era stato fornito dai plutonisti, i quali lo contrapponevano alla visione propugnata dai nettunisti werneriani e da molti vulcanisti, secondo cui le modificazioni geologiche erano dovute ad una serie di distruzioni catastrofiche provocate da eruzioni.

Così l'attualismo di Lyell può essere veduto come il coronamento e la maturazione del plutonismo, ma più che altro come un notevole passo in avanti nella liberazione del pensiero scientifico da pregiudizi di natura fideistico-religiosa. È ovvio che anche la pubblicazione nel 1859 del volume *On the Origin of Species* di Darwin segnò un ulteriore punto fondamentale sulla strada di questo affrancamento per la comprensione dei meccanismi con i quali ha operato e opera la natura. L'altro passo decisivo, nella determinazione della reale entità cronologica dei tempi geologici (cronologia assoluta), si renderà possibile solo molti anni più tardi con la scoperta del decadimento radioattivo, cioè della trasformazione (in tempi fissi e determinabili) di atomi di certi elementi in altri, con emissione di raggi alfa, beta e gamma.

Nel 1850, la *Struttura geologica delle Alpi, degli Appennini e dei Carpazi* di Roderick Impey Murchison, della Società Geologica di Londra, e le *Considerazioni sulla geologia stratigrafica della Toscana* di Paolo Savi e Giuseppe Meneghini, dell'Università di Pisa, sintetizzano i risultati di mezzo secolo di ricerche geopaleontologiche in Toscana.

Nel seguente passo dell'inizio dell'opera dei due professori pisani è condensata la loro ampia esperienza di campagna avvalorata dal consenso di Murchison, che aveva iniziato a visitare l'Europa in compagnia di Lyell: "È noto a chiunque si è occupato un poco del nostro paese, e conosce gli studi fatti sul medesimo, non che quelli da uno di noi [Savi] pubblicati nel 1846, nella memoria sulla *Costituzione geologica de' Monti Pisani*, che ove osservasi completa la successione delle varie rocce secondarie e terziarie, delle quali si compone la superficie della Toscana, questa si forma della seguente serie di depositi, quando se ne incominci l'esame dal basso, cioè dai più antichi passando ai più recenti.

Anageniti quarzose e scisti del Verrucano.

Calcere grigio cupo senza selce.

Calcere salino.

Calcarei Ammonitici.

Scisti varicolori e calcare impuro.

Calcere grigio scuro, spesso con selce piromaca.

Scisti galestrini e calcare compatto.

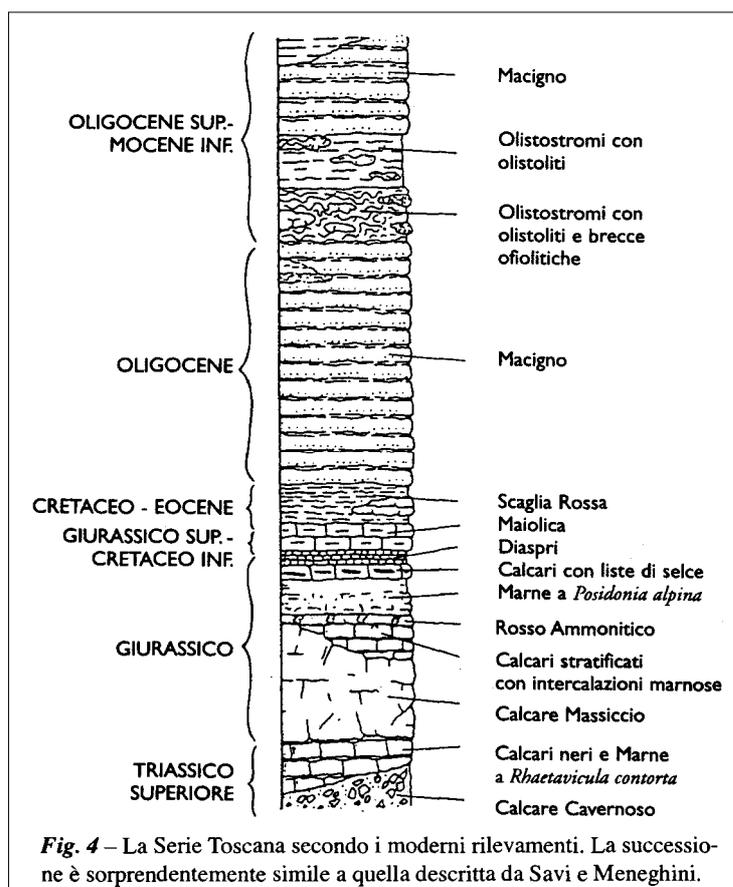
Calcere screziato o nummulitico e scisti galestrini superiori.

Arenaria macigno e calcare alberese.

Oltre le quali rocce, succedono quelle del periodo Miocenico, indi le Plioceniche, le Pliostoceniche [oggi: Pleistoceniche] e le Attuali [oggi: Oloceniche], nell'insieme definite come 'subappennine' perché non affiorano nell'Appennino vero e proprio, ma ai piedi della catena."

Il confronto della serie di depositi descritta da Savi e Meneghini con la medesima tracciata in base ai rilevamenti moderni e corredata dei nomi delle attuali suddivisioni stratigrafiche (dette “formazioni”) (Fig. 4), mostra come questi Autori abbiano ricostruito la serie stratigrafica della Toscana con precisione sorprendente; tanto più quando si consideri l’estrema scarsità di fossili (lo studio dei microfossili, infatti, non era ancora di uso comune) e la grande complessità (ad essi in gran parte sfuggita) delle strutture tettoniche che la caratterizzano.

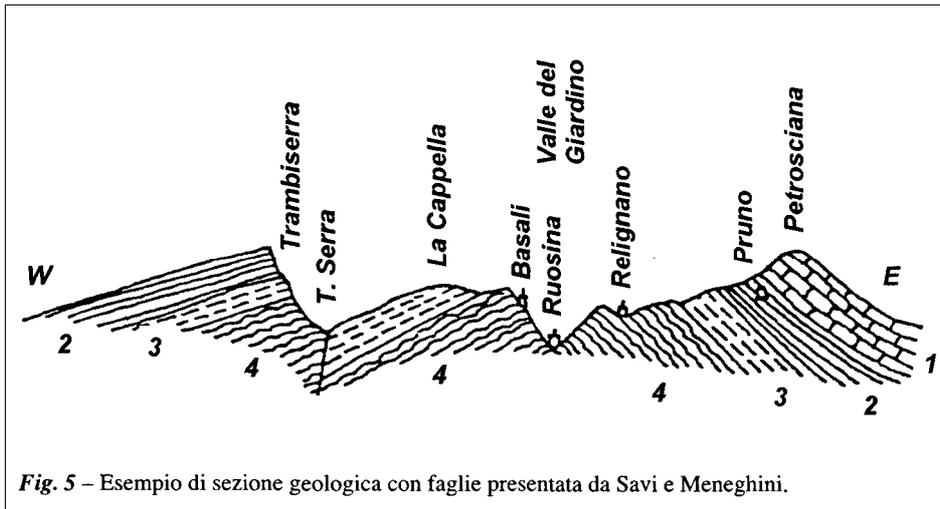
Assai differenti dalle attuali risultano, invece, le attribuzioni cronologiche delle varie formazioni, pur così ben riconosciute. Di tali attribuzioni, infatti, rimangono valide solo quelle del Calcere nummulitico all’Eocene, del Calcere salino (oggi Calcere massiccio) al Lias (Giurassico inferiore), del Calcere grigio cupo senza selce (corrispondente all’insieme dei Calcari e marne a *Rhaetavicula contorta* e del Calcere cavernoso) al Trias, degli strati inferiori (ma che oggi consideriamo sottostanti ed estranei) del Verrucano al Carbonifero.



Tutti gli strati delle formazioni toscane dal Carbonifero al Miocene sono stati giudicati da Savi e Meneghini in giacitura concordante.

Visto che solo gli strati carboniferi ed alcuni di quelli miocenici, per la presenza di resti vegetali, erano da considerare depositi in ambiente continentale, mentre tutti gli altri, a partire dal Trias, erano indubbiamente di sedimentazione marina, questi autori ritennero che la Toscana fosse stata sommersa dal mare, appunto, dal Trias fino alle soglie del Miocene. Un sollevamento ad “ellissoidi” avrebbe poi interessato l’insieme di questa serie più che altro in corrispondenza dei maggiori rilievi della Toscana Marittima: “Il nome di Alpi Apuane comprende un gruppo di montagne disposte e conformate in modo da

presentare il più chiaro ed istruttivo esempio di sollevamento ellissoidale; ed essa non è in realtà che una delle ellissoidi, le quali, allineate dal nord-ovest al sud-est, fra la catena Appenninica ed il mar Tirreno, costituiscono l’altra catena, da noi chiamata Metallifera [che coincide, poi, con la Toscana Marittima]. Esso è il più settentrionale ed il maggiore di tali sollevamenti e, procedendo al mezzogiorno, è susseguito da quello dei Monti Pisani, quindi dal gruppo dei Monti Campigliesi, da quelli del Massetano, della Montagnola Senese e dei Monti di Cetona, ed, in una linea parallela più occidentale, da quelli delle isole dell’Elba, del Giglio e del Promontorio Argentale. I diversi sollevamenti, dalla cui serie è formata la indicata catena metallifera, non furono tutti egualmente energici ed attivi. Alcuni di questi produssero lo squarciamento solo dei vari depositi terziari e di alcuni dei secondari, talché rimasero scoperti e prominenti a cupole i terreni liassici, come fu per la ellissoide del Massetano, nella quale le grandi montagne liassiche della Cornata di Gerfalco e di Montieri s’innalzano a guisa di gigantesche cupole nel centro della ellissoide. In altre, invece, la forza sollevatrice ed espansiva centrale, che sempre agì in un maggior diametro diretto da nord-ovest a sud-est, diede origine all’innalzamento anche dei terreni paleozoici, i quali, perciò, sollevati



in anticlinale, costituirono l'asse di una catena, come ne vediamo chiaro esempio nella ellissoide del Monte Pisano". Molte di queste ellissoidi, secondo tali autori, furono tagliate da faglie (Fig. 5) ad esse contemporanee: "... anche nei monti oltre Serchio, la ondulazione, che produsse il

sollevamento, produsse anche uno spostamento o faglia, il cui effetto fu di portare a più elevato livello i terreni del lembo più interno, come vedesi nel monte dei Sassi Grossi, nella foce di Baraglia ecc.". Infine, i sedimenti del Pliocene, come chiaramente indicato nella figura dedicata al "Taglio del Monte di Torri, dalla Valle dell'Era all'O, alla Valle dell'Evola all'E." (Fig. 6) sono stati riconosciuti discordanti sopra varie formazioni secondarie e terziarie, senza che sia stata presentata un'ipotesi per l'interpretazione di questa giacitura esplicitamente trasgressiva, né per la regressione che necessariamente ha preceduto l'attuale posizione emersa.

Ancora Savi e Meneghini elencano le rocce magmatiche della Toscana Marittima a loro note, e sono la maggior parte, e iniziano a parlare di problemi di metamorfismo.

Dal "Prospetto generale della geologia toscana" contenuto nelle *Considerazioni* ... di questi autori si può trarre come ad essi fossero noti: i graniti dell'Elba e di Gavorrano; i porfidi ancora dell'Elba e del Campigliese; i filoni mineralizzati del Massetano, del Campigliese e delle Apuane; le vulcaniti di S. Vincenzo, di Roccastrada, del M. Amiata, di Radicofani, di Montecatini Val di Cecina e di Orciatico; le masse ofiolitiche (o rocce verdi come serpentine e gabbri) affioranti estesamente in molti luoghi della Toscana Marittima (M. Livornesi e di Castellina Marittima, monti in sinistra della Val di Cecina e monti compresi tra le valli dell'Era e dell'Elsa, monti incisi dal corso del Mestre, ecc.). Erano loro anche note le manifestazioni come i soffioni, le mofete, le putizze, le sorgenti termali e minerali, tanto diffuse nella Toscana Marittima e metallifera e dovute alla presenza nel sottosuolo di temperature superiori al normale, verosimilmente collegate a risalite di masse magmatiche non affioranti in superficie. In questo lungo elenco non sono citate, fra le maggiori, solo le masse granitiche di Montecristo e del Giglio e le vulcaniti di Capraia, e non è facile giudicare se ciò sia dovuto a semplice dimenticanza o a non conoscenza. Senza entrare nel merito delle idee di questi autori sul magmatismo, ancora molto legate alle dottrine nettuniste imperanti in Italia fino allo scadere del XIX secolo, è importante notare come, sulla base dell'osservazione delle rocce sedimentarie entro le quali questi magmi si trovano (criterio della giacitura), riuscirono a fare una scala delle età (ovviamente ancora solo relative) delle loro messe in posto nella quale sono indicati il Pliocene, il Pleistocene e, addirittura, l'Olocene. Ciò malgrado accettarono un'età paleozoica per il granito elbano secondo le teorie nettuniste che consideravano i graniti come rocce prodottesi al fondo dell'oceano primordiale per cristallizzazione di sostanze contenute nel "solvente universale" o acqua di mare primitiva; mentre attribuirono alle ofioliti varie età comprese fra il Cretaceo superiore e il Miocene.

Per quanto riguarda il metamorfismo, è certo che i due Autori si resero conto della sua notevole diffusione in Toscana Marittima: tanto che essi lamentarono le difficoltà di applicare i criteri essenziali della stratigrafia nello studio di molti sedimenti "... imperocché, non avendo sovente fra noi i caratteri litologici per causa del metamorfismo quasi verun valore; non essendo in più luoghi

apprezzabili gli stratigrafici per i dislocamenti sostanziali che vi esercitano le azioni dinamiche delle cause plutoniche ... non possiamo prevalerci neppure d'uno di tali criteri". Comunque molto importante è il riconoscimento che le rocce metamorfiche toscane sono "semplici modificazioni delle rocce secondarie" dovute all'azione di "rocce tefoniane" (peraltro mai considerate affioranti dai due autori) ai centro del sollevamento degli ellissoidi, nell'ambito di una tettonica guidata solo da spinte dal basso e da sprofondamenti verticali.

È del 1880 l'idea di Grosselet secondo la quale nel Nord della Francia formazioni del Devoniano sono sovrascorse su quelle del Carbonifero.

Ma l'esistenza di "carreggiamenti" (o ampi sovrascorrimenti orizzontali o suborizzontali) fu energeticamente osteggiata dai geologi toscani per tutto il XIX e fino agli anni '30 del XX secolo. Questo rifiuto di ammettere l'esistenza di sovrascorrimenti ritardò la comprensione del raddoppio della serie toscana nelle Alpi Apuane, nel M. Pisano e nella Montagnola Senese dove, d'altra parte, il metamorfismo della serie inferiore ha reso problematico il reperimento e lo studio dei fossili. In tante incertezze e contraddizioni, le ricerche procedettero fra polemiche clamorose che tendevano a conformare il reale contenuto paleontologico delle diverse formazioni geologiche alla loro posizione geometrica. Senza entrare nei moltissimi particolari di queste questioni, ci limitiamo ad osservare, poiché la serie sovrascorsa ha nella posizione medio-inferiore strati sicuramente del Lias, che nella serie metamorfica sottostante non furono accettate attribuzioni più recenti del Trias. E quando furono rinvenute faune liassiche nei Calcari ceroidi [o massicci], faune medio-liassiche nelle Marne a Posidonia ed Aptici del Giurassico superiore nei Diaspri della serie toscana inferiore metamorfica, furono messe in dubbio le determinazioni di quei fossili e si giunse addirittura al limite della truffa modificandone con l'acido i caratteri (con la scusa di metterne meglio in evidenza i particolari) al fine di poterne affermare l'età triassica. In un altro caso, essendo stati rinvenuti Nummuliti ed altri fossili universalmente ritenuti eocenici in alcune lenti calcaree della Scaglia metamorfica della serie toscana inferiore della Garfagnana e della Lunigiana, nel 1887 Mario Canavari accennò a forme ancestrali di Nummuliti triassiche. Questo importante materiale fu riesaminato da A. Silvestri nel 1939 che così concluse: "Considerate le condizioni del giacimento e sottoposte a critica, l'a. manifesta l'opinione che esso sia da riferirsi al Neotriassico": verosimilmente cinquant'anni di progressi delle scienze geopaleontologiche non sono bastati a far recedere dall'opinione insostenibile delle Nummuliti triassiche!

Nel 1867 è istituito il Regio Comitato Geologico, ad opera del quale viene pubblicata, tra la fine del XIX e gli inizi del XX secolo, la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Questa importante opera in Toscana fu realizzata in prevalenza da Bernardino Lotti di Massa Marittima, che operò principalmente nella Toscana Marittima, e da Dario Zaccagna di Carrara, che curò in particolare le Alpi Apuane. Le opere di questi due studiosi e infaticabili rilevatori di campagna, sintetizzate rispettivamente nella Geologia della Toscana del 1910 e nella Descrizione

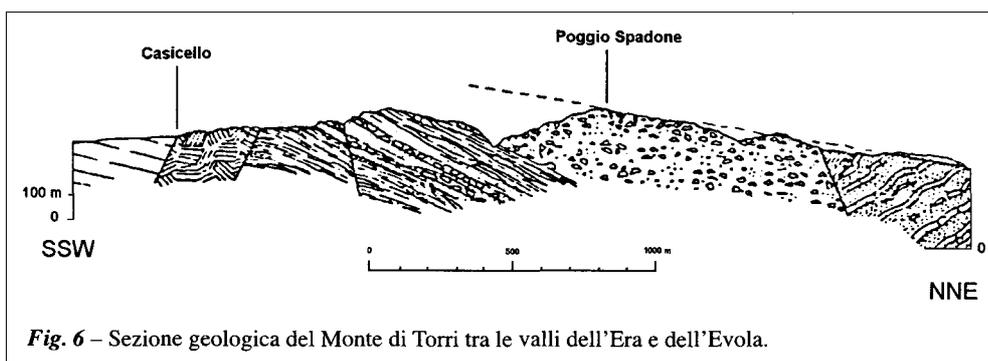


Fig. 6 – Sezione geologica del Monte di Torri tra le valli dell'Era e dell'Evola.

geologica delle Alpi Apuane del 1932 sono state a fondamento delle interpretazioni geologiche in Toscana fino agli anni Sessanta, quando furono eseguiti nuovi rilevamenti generali

per la II edizione della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Con l'eccezione di alcuni particolari, le loro opere sono improntate a grande uniformità di idee, per cui possono essere riassunte contemporaneamente. Dal punto di vista stratigrafico:

- per il Verrucano, in conformità con il significato crono stratigrafico che questa formazione ampiamente diffusa anche nelle Alpi assunse più che altro fuori di Toscana, accettavano un'età permo-carbonifera; anche se Lotti nel 1919 ebbe a ripensarci: "Ma le mie idee sono già da un pezzo queste: che una parte degli scisti superiori del Verrucano siano triassici; sebbene nella carta da me rilevata non mi sia stato possibile delimitarli...";
- presenza del Trias (molto sviluppato e corrispondente grosso modo alla seconda metà del periodo) alla base della serie sedimentaria mesozoica; questa mostra in molte località un moderato metamorfismo nei calcari dolomitici spesso brecciati (noti come "Grezzoni"), nei marmi (fra i quali il famoso "Statuario" delle Alpi Apuane, calcescisti e scisti sericitici di vario tipo, negli scisti ardesiaci, cipollini e calcari selciferi; nelle Alpi Apuane, nel Monte Pisano, nella Montagnola Senese e nel M. Argentario, tutte le rocce precedenti considerate triassiche (anche se in realtà con documentazione paleontologica tutt'altro che convincente in questo senso) sono sormontate da calcari cavernosi attribuiti al Retico (piano più alto del Trias superiore);
- al di sopra del calcare cavernoso si estende la serie toscana non metamorfica con i calcari a Rhaetavicula contorta, i calcari liassici, i calcari ammonitici, ecc. ma nella quale ora si afferma di avere rintracciato due importanti e generali lacune di sedimentazione: una tra il Lias superiore e il Titonico (Giurassico superiore) ("molto evidente" e accompagnata da discordanza tettonica nella Catena Metallifera), un'altra tra il Neocomiano (Cretaceo inferiore) e il Senoniano (Cretaceo superiore);
- la serie toscana si chiuderebbe con un "Eocene" eccezionalmente potente formato dalla seguente successione dal basso: calcari nummulitici, arenaria Macigno, argilloscisti e calcari con rocce ofiolitiche e diaspri, calcari marnosi a Helminthoides o, talora, arenarie "superiori";
- lunga lacuna di sedimentazione dall'Eocene al Miocene superiore o, in certe località, al Pliocene con discordanza dei sedimenti di questi ultimi, presenti solo nel "subappennino" ma non nell'arco appenninico vero e proprio o catena montuosa attuale.

Dal punto di vista tettonico:

esistenza di una Catena Metallifera anche in senso geologico che fu corrugata (cioè nella quale gli strati furono dislocati in pieghe) con emersione dal mare ed erosione fra il Lias e il Giurassico superiore (fase "batoniana") della quale avrebbero fatto parte le località nelle quali oggi affiorano le rocce mesozoiche;

- inizio del corrugamento solo fra il Cretaceo inferiore e il superiore (fase "cenomaniana") nella Catena Appenninica vera e propria nella quale non affiorano le rocce mesozoiche;
- stile tettonico della Catena Metallifera caratterizzato da pieghe armoniche (magari fittamente addossate ma mai stirate da originare contatti tettonici anormali come faglie inverse, piani di accavallamento, ecc.) con grande raccorciamento crustale di tutta la regione rispetto al substrato e prevalenza di anticlinali o ellessoidi come strutture tettoniche;
- nella Catena Metallifera, Lotti ammette la presenza di una quantità notevole di faglie normali (Zaccagna, pur non avendo mai negato l'eventualità della formazione di questo tipo di faglie, non ne ha mai segnalata una in tutti i suoi estesissimi rilevamenti) collegate ad una grande distensione crustale che sarebbe stata molto posteriore al corrugamento appenninico e contemporanea (nel Quaternario) allo sprofondamento dell'area tirrenica e alle manifestazioni idrotermali e metallogeniche.

Da rigoroso pragmatista, Lotti introduce nelle conoscenze geologiche della Toscana due idee rivoluzionarie: l'esistenza di graniti recenti e quella di raddoppi tettonici.

Dell'esistenza di graniti recenti, Lotti ebbe la certezza quando individuò nell'Isola d'Elba un calcare nummulitico metamorfosato dal contatto col magma grafitico del M. Capanne. Malgrado fosse

ancora imperante fra gli studiosi l'idea, di antica derivazione nettunista, della formazione "primaria" di tutti i graniti, Lotti nel suo lavoro del 1884 *Considerazioni sull'età e sull'origine dei graniti toscani* attribuì al granito del M. Capanne un'età sicuramente post-eocenica e, sulla base di altre considerazioni geologiche, probabilmente miocenica. Questa presa di posizione fu considerata quasi un'impertinenza da Carlo De Stefani, professore di geologia a Firenze, che iniziò una polemica virulenta in difesa della natura antica ("primaria") non soltanto del granito elbano, ma anche di qualsiasi altro granito che si rispetti. Questa polemica durò per trent'anni, nel corso dei quali Lotti continuò sempre a proporre quanto derivava dai suoi semplicissimi dati di osservazione, mentre De Stefani ebbe agio di sfoderare tutte le elucubrazioni di un'arte oratoria raffinata che gli derivava dalla sua laurea in legge. Comunque l'età recente del granito elbano fu confermata nel 1919 da Pietro Aloisi in uno studio petrografico moderno e trovò più recenti attestazioni nei metodi di datazione assoluta entrati in uso circa cinquant'anni fa.

La seconda osservazione "esplosiva" (in quanto non conforme alle idee degli studiosi toscani del tempo, i quali non prevedevano accavallamenti tettonici) fu da Lotti resa nota nel 1888 con il suo *Un problema stratigrafico del Monte Pisano*, in cui proponeva l'esistenza di un'anticlinale ribaltata verso Est con il fianco inverso tagliato da una faglia per spiegare il raddoppio, da lui constatato, fra i Diaspri di età titonica (cioè dell'ultimo piano del Giurassico), documentata dai fossili studiati nel 1887 da Canavari, della serie toscana metamorfica della Valle del Guappero ed i Diaspri, ancora titonici perché sottostanti il Calcere Maiolica fossilifero non metamorfico del M. Maggiore nel M. Pisano. Di nuovo De Stefani prese le difese delle idee conformiste, che non accettavano raddoppi tettonici, negando l'identità cronologica nei due affioramenti di Diaspri: "... si tratta dunque di semplici affinità litologiche quali si trovano normalmente fra rocce di età diversissime, non suffragate da altro argomento, anzi già contrariate dagli indizi paleontologici, oltre che escluse dalla situazione stratigrafica". La giusta via da seguire, dunque, era quella di: "... tornare al primo modo di vedere mio e del Savi, cioè all'idea di rocce in posto, regolarissime, appartenenti alla serie che sta fra il Titonico e l'Eocene, senza ripiegamenti autoctoni e senza carreggiamenti".

Ma l'identità cronologica e stratigrafica (a parte un leggero metamorfismo per i Diaspri del Guappero) era ormai accertata e Lotti, malgrado altre prese di posizione a lui contrarie di Alberto Fucini nel 1907 e di Riccardo Ugolini nel 1908, seguì la strada indicatagli dalle sue osservazioni. Avendo constatato che il fenomeno del raddoppio si estendeva per almeno 4 km, finì per riconoscere in questo un vero e proprio carreggiamento, che considerò tuttavia locale e in tutto riportabile ad una "eccezione" nel quadro tettonico, del quale lui stesso era convinto, della assoluta prevalenza di movimenti tettonici sulla verticale, manifestati dai sollevamenti delle ellissoidi.

Epilogo

Con le due opere fondamentali di Lotti e di Zaccagna, le quali furono pubblicate nei primi decenni del XX secolo, ma erano state concepite in base a rilevamenti di campagna e studi in gran parte eseguiti nella seconda metà del XIX, possiamo considerare concluso l'argomento di questo articolo. Ciò non tanto perché ai due maggiori rilevatori del paesaggio geologico della Toscana siano sfuggite evidenze che non sembravano loro ben inseribili nel quadro culturale derivato dalle esperienze dei loro predecessori (in specie di Savi e Meneghini che operarono maggiormente nella prima metà del XIX secolo), ma probabilmente perché la teoria delle falde di ricoprimento (introdotta da M. Bertrand nel 1884 in uno studio sulle Alpi Svizzere per spiegare la sovrapposizione di serie più antiche su altre più recenti), non aveva ancora ottenuto il favore legato alla convalida in innumerevoli catene di montagne in Europa e nel resto della Terra, né era stata ancora concepita l'idea della mobilità dei continenti che nel XX secolo sarebbe diventata un corollario per ogni teoria orogenetica.