

L'orogenesi secondo la teoria di Wegener in rapporto ad alcuni recenti studi sulla tettonica del sistema Alpino

Nota del dott. DINO GRIBAUDI

Tra i più ponderosi problemi che attendono dai progressi delle scienze geologiche una soluzione per quanto è possibile soddisfacente, quelli relativi all'orogenesi occupano pur sempre il posto d'onore. Se, grazie all'applicazione vieppiù profonda ed estesa delle idee bertrandiane circa le falde di ricoprimento ed i carreggiamenti, l'interpretazione strutturale delle catene a pieghe ha visto in questi ultimi anni schiudersi nuovi orizzonti, è pur certo che i tratti più imponenti del rilievo terrestre nascondono ancora gelosamente nelle proprie viscere le testimonianze indispensabili per ricostruire con sicurezza gli avvenimenti parossismici e diastrofici, che ne hanno preceduta ed accompagnata la nascita.

È perciò naturale che ad ogni nuova teoria, invocata a rendere ragione delle linee fondamentali della litosfera, si domandi anzitutto quali maggiori possibilità di spiegazione essa offra in ordine al sorgere ed al formarsi delle grandi catene montuose. Ciò è avvenuto di fatto per le cause geofisiche, e particolarmente geodinamiche, chiamate in gioco al fine di chiarire l'attuale conformazione delle aree continentali e dei bacini oceanici.

Di queste cause due soltanto hanno tenuto, sino a ieri, con fortuna il campo, mercè appunto l'attendibilità delle risposte che, in base ad esse, s'è creduto poter dare ai molti interrogativi dei quesiti orogenetici: la teoria della contrazione della crosta terrestre per graduale raffreddamento del nucleo centrale (Elie de Beaumont, Dana, La Conte) e quella dell'isostasi o della condizione d'equilibrio che la figura della Terra assume per effetto

della gravitazione (Pratt-Dutton) (1). Oggi si fa innanzi a contrastare loro il terreno l'ipotesi delle traslazioni continentali, formulata da A. Wegener (2).

È noto il fervore di discussioni accesi intorno ai principi informatori di questa teoria, ed alle prove geofisiche, geologiche, biologiche, climatiche e geodetiche, di cui il Wegener conforta le sue vedute. Una già copiosa bibliografia dovrebbe raccogliersi da chi intendesse seriamente vagliare quanto si è scritto pro e contro l'ipotesi della deriva dei continenti. Senza tentare una simile impresa e senza voler prevenire i futuri sviluppi della concezione ora ricordata, si può tuttavia ritenere ch'essa avrà superata la prova del fuoco, quando le sue premesse generali s'accorderanno via via più strettamente con i risultati che verranno conseguendosi dagli studi dei geologi sulle zone di corrugamento. Sarà quindi molto interessante seguire passo passo il verificarsi o no di tali concordanze.

Per ora giova tener presente, che a possibili relazioni tra i capisaldi della tettonica delle catene a pieghe e quelli della teoria wegeneriana fanno appello dei lavori recenti in cui si ricostruisce a mo' di sintesi la storia geologica delle Alpi. A queste relazioni mi propongo di accennare, dopo aver brevemente riassunto quanto la nuova ipotesi sostiene nei confronti dell'orogenesi. Il modesto fine di mettere in rilievo dei contatti ideali che non è escluso possano in avvenire trovare conferma nella realtà delle cose, ma il cui valore attuale è e rimane puramente sintomatico, mi fa sperare riesca sufficiente quel poco [che ora si verrà rammentando, mentre la somma e la complessità degli argomenti che entrano in causa richiederebbero una ben più ampia trattazione.

È ormai risaputo che Wegener riguarda le masse dei continenti come enormi zattere, costituite da rocce prevalentemente silico-alluminose (Sial), vaganti su di un magma più pesante,

(1) HAUG E., *Traité de Géologie*, Paris, Colin, 1907. Vol. I, p. 539.

(2) WEGENER A., *La genèse des Continents et des Océans*, trad. Reichel dalla 3^a ed. ted., Paris, Blanchard 1924, 161 p.

più plastico, ricco di silicio e di magnesio (Sima) (1). Egli spiega la differenza costituzionale tra blocchi continentali e fondi oceanici ricorrendo agli insegnamenti dell'isostasi: considera le trasgressioni marine come dovute alla formazione di mari poco profondi (epicontinentali) su vasti tratti della terra ferma, che, mancando determinate condizioni di equilibrio, si sono immersi entro le zolle malleabili: ritiene i continenti collegati un tempo fra di loro, ma direttamente, senza l'intervento di ponti superficiali man mano inabissatisi: difende la legge della permanenza degli oceani e delle terre emerse, riferendola, non alla loro posizione attuale, ma alla superficie complessiva ch'essi occupano. La configurazione geografica dei mari e dei continenti sta in stretto rapporto di causa ad effetto con ampi spostamenti, in senso orizzontale, delle masse che formano la crosta terrestre.

In quest'ultima affermazione è la chiave di volta dell'intera costruzione teorica alla quale Wegener ha legato il suo nome. Essa dovrà, dunque, renderci conto, non solo delle grandi linee esterne che i sistemi montuosi presentano, ma anche del meccanismo che ne ha determinato il costituirsi. La preoccupazione di dimostrare come l'ipotesi della deriva dei continenti ottimamente si presti a risolvere quesiti tanto ardui ed essenziali per la storia della nostra madre comune, è presente sempre al Wegener ed ha chiaro risalto sin dalle prime pagine della sua opera. Ammettiamo, per un istante, come completamente probatorie le numerose testimonianze colle quali egli intende suffragare l'ardita sua concezione, ed accontentiamoci di seguire il corso delle idee.

Riunite nel Carbonifero superiore a formare una specie di « Pangea », circondata tutt'intorno dall'oceano, le odierne aree continentali sarebbero derivate dal frantumarsi della massa compatta primeva in giganteschi blocchi, sospinti da forze, non ancora esattamente valutabili, ad occupare il posto che conosciamo. Così la teoria spiega il frazionamento del famoso continente di Gondwana, il quale, secondo le opinioni abbastanza concordi di molti geologi e paleogeografi, doveva, alla fine del-

(1) Un ottimo riassunto critico delle idee di Wegener ha pubblicato S. VARDABASSO in *Natura* (vol. XV, fasc. III, ottobre 1924, pp. 89-124) col titolo « *I continenti vanno alla deriva?* ».

l'era primaria, comprendere l'America del Sud, l'Antartide, l'Africa, il Madagascar, l'India peninsulare e l'Australia. Un sistema di fratture smembrò questa massa durante il giurassico, il cretacico, e l'era terziaria, ed i frammenti che ne risultarono andarono spostandosi in varie direzioni. Per l'India peninsulare il fenomeno fu un po' differente. Prima congiunta al continente asiatico mediante una zolla in gran parte debolmente sommersa, nel giurassico inferiore si staccò dall'Australia, nel passaggio dal cretacico all'era terziaria dal Madagascar, e, camminando verso l'Asia, sollevò in pieghe la zolla di congiunzione, schiacciata tra i due grandi traini in movimento. Nacque così il sistema più gigantesco di monti che corrughi la crosta terrestre: l'Himalaja con le numerose catene dell'Asia centrale.

Ma anche le regioni sulle quali s'ergono le catene costiere palesano l'effetto che sulla loro genesi ha esercitato la traslazione dei blocchi continentali. Le due Americhe, per es., andando alla deriva verso O, hanno subito forti piegamenti per compressione contro il fondo del Pacifico, tanto più resistente, in quanto consolidatosi in tempi geologicamente remotissimi. Ecco sorgere in tal modo la lunghissima Cordigliera delle Ande, che si estende dall'Alasca all'Antartide.

Analoga origine hanno avuto le catene della Nuova Zelanda e della Nuova Guinea, drizzatesi sul bordo del blocco australiano, in seguito ai suoi spostamenti verso E e verso N: con la differenza però che, nel corso delle dislocazioni, esse si staccarono dal grosso del continente, per formare quella ghirlanda caratteristica di isole che ne accompagna le tozze linee. Più antiche sono le cordigliere dell'Australia orientale, poichè datano dall'era in cui tutte le terre costituivano ancora un'unica massa alla deriva, il lembo anteriore della quale si corrugava, urtando contro le formazioni più rigide che ne ostacolavano il cammino.

Alla direzione prevalente delle traslazioni, orientata grosso modo verso O, s'è accompagnata pure la tendenza degli zoccoli continentali ad avvicinarsi all'equatore. Con questo fenomeno è da mettersi in relazione l'andamento generale delle catene terziarie, dall'Himalaja all'Atlante, in quanto esse occupavano un tempo la zona equatoriale (1).

(1) WEGENER A., o. c., pp. 1-3.

I pochi, frettolosi accenni ora riassunti costituiscono il punto d'arrivo del processo logico seguito dal geofisico tedesco nel convalidare l'ipotesi, che da lui ha nome. Come tali potranno destare viva curiosità, persuadere, no certamente. Ed ecco il Wegener riprendere l'argomento in un capitolo dedicato quasi per intero ai problemi dell'orogenesi (1). Tra le importanti questioni connesse col modo d'essere dei grandi rilievi primeggia quella del valore della gravità.

È noto che gli studi accurati per determinare tale valore, nelle vicinanze e sopra gli alti sistemi di monti, hanno dimostrato esistere al di sotto di questi, un *deficit* di massa che, dal punto di vista isostatico, compensa la loro altezza; *deficit* non dovuto a dei vuoti, ma al fatto che per l'azione della gravità l'accrescimento di una catena oltre che prodursi verso l'alto avviene anche verso il basso. Sì che sotto le Alpi, dove l'anomalia della gravità raggiunge il suo massimo valore negativo, si ha la più profonda penetrazione delle masse leggere del Sial entro quelle dense del Sima.

Il difetto di massa sotterraneo e l'eccesso di massa dipendente dall'altezza del rilievo si compensano secondo vogliono i principî dell'isostasi. Donde l'enunciato di Wegener: « Il corrugamento delle catene di montagne risulta da una compressione, essendo mantenuta l'isostasi ». In altre parole, quando una massa continentale, navigando sul Sima, subisce una compressione, il suo ispessimento deve essere tale che il rapporto delle altezze, calcolato da una parte e dall'altra del livello del Sima, resti ovunque il medesimo. Attribuendo ai blocchi dei continenti una potenza totale di 100 km. ed un'emergenza di 5 km., questo rapporto è di $\frac{1}{20}$. Per conseguenza la massa ricacciata dalla spinta in profondità deve raggiungere uno spessore 19 volte più grande di quello delle zone sporgenti. Le montagne non rappresentano di fatto che un'assai piccola parte del corrugamento reale e potrebbero paragonarsi nel loro aspetto complessivo a degli iceberg.

Da ciò deriva che alla formazione del loro apparato esterno partecipano soltanto quegli strati che si trovavano diggià al disopra del livello abissale. Una coltre sedimentaria di grande spessore costituisce interamente la catena agli inizi. Ma durante l'erosione dei sedimenti la compensazione isostatica fa sorgere

(1) WEGENER A., o. c., cap. XI (Plissement et disjonction).

una catena centrale formata da terreni antichi. Quando la coltre sedimentare è interamente asportata, questi terreni affiorano in una larga zona, d'altezza press' a poco uguale. Come esempi del primo stadio Wegener cita l' Himalaja ed i sistemi vicini, costituiti da sedimenti soggetti ad un'attivissima erosione. Le Alpi, con la loro zona assiale occupata già da rocce antiche, mentre quelle marginali sono ancora coperte di sedimenti, appartengono al secondo stadio. Il terzo stadio, in fine, è rappresentato dalle montagne della Norvegia; lo strato sedimentare è scomparso, e il sollevarsi della catena primitiva è terminato.

Attribuita, come si è visto, una parte considerevole del meccanismo orogenetico alla ripartizione isostatica delle masse di cui consta la litosfera, Wegener tratta brevemente la questione della dissimmetria dei versanti, quale si riscontra quasi sempre nei profili trasversali delle catene a pieghe. Egli afferma che il Sial, sospinto verso il basso dal corrugamento, si spande pure sotto le zone non corrugate, che circondano le catene, e le solleva, naturalmente a spese dell'altezza delle montagne. Le masse di Sial non si ripartiscono ugualmente sui due lati del rilievo, se non nel caso in cui la scorza non si sposta sul Sima. Se invece essa è animata da un moto di traslazione, diverso da quello che genera la sua compressione, vale a dire d'una traslazione d'insieme, ed è il caso più comune, allora il Sial non si spargerà che da un solo lato. I continenti europeo ed asiatico tendono da lunghissimo tempo ad avvicinarsi all'equatore: derivano cioè verso il S rispetto al Sima. Inoltre essi prendono parte, secondo ogni probabilità, allo spostamento delle zattere continentali verso O. Il loro movimento risultante deve, dunque, essere diretto verso SO. Per conseguenza la diffusione del Sial profondo dovrà avvenire sul lato NE delle montagne.

Ed è quanto si ha effettivamente. Nella regione alpina si constata l'esistenza di una zona di anomalie negative della gravità corrispondente al versante N, dove il Sial si è innalzato nel Sima. Una zona di anomalie positive domina invece il versante S.

Passando ad esaminare le ragioni per le quali il corrugamento si manifesta precisamente nelle aree di forte accumulo sedimentare (geosinclinali), Wegener s'accontenta di far notare che que-

ste aree corrispondono ai suoi mari epicontinentali, e di ritenere come probabile che la loro plasticità provenga dalla presenza di interclusi di Sima, particolarmente numerosi, e di grandi dimensioni. Riconosce, però, che la causa da lui addotta può agire simultaneamente a quelle invocate da diversi autori.

Ma di notevole importanza nei confronti della teoria delle traslazioni continentali è la ripartizione generale dei rilievi sulla superficie del globo. Questa presenta due zone principali in cui l'orogenesi si è manifestata con forte intensità; l'una comprende il bordo anteriore dei blocchi in deriva, l'altro segue l'equatore. L'era terziaria, contraddistinta dagli ultimi grandi movimenti orogenetici, ce lo prova con la massima evidenza: di fatto vediamo durante il suo corso formarsi i corrugamenti più considerevoli: da una parte sulla fronte delle zolle americane ed australiano-neoguineesi, dall'altra sulla zona equatoriale d'allora (Alpi, Atlante, Caucaso, Himalaja).

Nel loro insieme i due tipi di increspamento ora citati trovano riscontro nei due movimenti dei blocchi continentali: la deriva verso O e la deriva verso l'equatore (Polflucht). Codesta regola s'applica pure ai tempi più antichi come il carbonifero; il corrugamento principale delle Ande e dei pari le catene che, dall'America del Nord si continuano attraverso l'Europa e l'Asia nella zona equatoriale di quell'epoca, stanno a dimostrarcelo.

Lo spostamento relativo delle masse continentali produce effetti diversi a seconda della direzione in cui si esercita. Così immaginando ferma una di tali masse ed un'altra mobile; se quest'ultima di dirige normalmente alla fronte del suo ostacolo ne risulteranno delle pieghe di grandi dimensioni: se invece le si avvicina obliquamente si avranno, come si nota di frequente, delle pieghe a gradini, i quali saranno tanto più stipati e più bassi quanto maggiormente la deriva tenderà ad essere parallela al piano di contatto delle masse.

È facile vedere dai pochi cenni che siamo venuti qui esponendo, come Wegener consideri la traslazione dei continenti quale causa efficiente dell'orogenesi, nonostante i frequenti ricorsi alla isostasi ed alla teoria delle aree sinclinaliche. Ma il meccanismo di formazione dei rilievi montuosi quale l'intende il Wegener stesso, non può trovare ancora la sua ragion prima nelle dislocazioni conseguenti alla contrazione della crosta terrestre? No

assolutamente, risponde egli sin dalle prime battute, dichiarando la teoria del raffreddamento in contraddizione con i dati più recenti della geofisica ed assai indebolita dalle moderne ricerche geologiche (1).

Al dire di M. Gignoux, autore di un recentissimo e pregiato volume di geologia stratigrafica (2), le opere di Wegener hanno destato grande interesse per il fatto sopra tutto ch'esse sono arrivate ad un momento critico dell'evoluzione delle nostre idee sulla genesi delle montagne, dei continenti, degli oceani, ed in un certo senso, ad una svolta della storia della tettonica (3). Ed invero, se può essere avventato l'affermare recisamente come fa il Gignoux, che l'ipotesi della contrazione ha fatto oramai il suo tempo, deve pur riconoscersi che contro di essa vanno man mano aumentando gli oppositori temibili quanto fortunati. Nè scarseggiano certo gli argomenti a sfavore. Basta tener presente come si rivelino oggi instabili le nozioni di rigido, di fluido, di solido, di liquido, di viscoso: come appaia pericoloso trasportarle senza le necessarie precauzioni nel dominio delle pressioni telluriche e delle durate geologiche, e quali sorprese abbia riservato lo studio della radioattività delle rocce. Ma non è sulle obiezioni geofisiche, di cui si sono fatti ultimamente eco tra gli altri, Kossmat, Mordziol, Köppen (4), che ci preme indugiare.

È per noi maggiormente significativo il fatto che anche tra i geologi si è venuta facendo strada la convinzione dell'insufficienza delle vecchie vedute beaumontiane a spiegare la figura ed i lineamenti della crosta terrestre. E le più gravi difficoltà mosse contro la teoria della contrazione dal punto di vista geologico

(1) WEGENER A., o. c., p. 9.

(2) GIGNOUX M., *Géologie stratigraphique*, Paris Masson, 1926, VI + 560 pp.

(3) GIGNOUX M., *Les théories de Wegener*, in *Revue générale des Sciences*, 15 marzo 1925, p. 193.

(4) KOSSMAT F., *Erörterungen zu Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebungen*, in *Z. Ges. f. Erdk.* Berlino, 1921, Nr. 3/4, pp. 89-103. V. recens. di E. Tims in *Peterm. Mitteil.*, Apr.-Maggio 1922, p. 96. — MORDZIOŁ C., *Die Gebirgsbildung der Erde (Kritik der Erfahrungsgrundlagen und Forschungspläne)*, Leipzig, 1922, 30 pp. Rec. di F. Mahatschek in *Peterm. Mitteil.* 1924, H. 3-4, p. 70. — KÖPPEN W., *Ursachen und Wirkungen der Kontinentalverschiebungen und Pokowanderungen*, in *Peterm. Mitteil.* Luglio-Agosto 1921, pp. 145-149, Settembre, pp. 191-194.

derivano appunto dalle ricerche approfondite sulla struttura delle catene a pieghe ed in particolar modo delle nostre Alpi.

Il concetto dell'orogenesi per spinte verticali dominante nella prima metà del secolo scorso perdette in seguito prestamente terreno. Già nel 1878 il grande maestro della scuola svizzera, A. Heim, nella sua opera classica sul meccanismo di formazione delle montagne (1) sosteneva l'idea ch'esse risultino da una ingente compressione degli strati superficiali della litosfera. Il Suess, trattando della « Entstehung der Alpen » e tracciando le linee poderose dell'« Antlitz der Erde », riconobbe la grande importanza della dissimmetria dei versanti e ne trasse motivo per affermare il verificarsi di notevoli dislocazioni tangenziali che, trovando ostacolo in regioni precedentemente consolidate (Vorland), determinano il corrugarsi dei terreni interposti. La scoperta delle falde di ricoprimento e dei carreggiamenti indusse, però, a ritenere la portata dei movimenti orizzontali della crosta terrestre assai maggiore di quanto prima non si credesse. Secondo lo stesso Heim l'attuale larghezza media delle Alpi di 150 km. proverrebbe dal costiparsi nella loro massa di terreni che sviluppati su di un piano occuperebbero da 600 a 1200 km. Ora, calcolando col Köppen che la circonferenza terrestre sul medesimo meridiano abbia subito, per la formazione delle catene di montagne, una contrazione di 2700 km., in tempi relativamente non lontani il raggio terrestre dovrebbe essersi raccorciato di ca. 570 km. (2). Il che presuppone mutamenti di temperatura nell'interno della terra affatto inconcepibili, avuto anche riguardo al fattore tempo.

È impossibile, dunque, dice Wegener, attribuire fenomeni d'una entità così spettacolosa, quali ha messo in chiara luce la nuova tettonica alpina, ad un abbassamento graduale della temperatura del globo ed ai suoi effetti sull'edificio roccioso esterno della terra. In realtà egli non fa che adattare ai fini della propria concezione le frequenti critiche sollevate contro la teoria della contrazione da parecchi geologi delle Alpi; di quelli, particolarmente,

(1) HEIM A., *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung*, Basilea, 1878.

(2) KÖPPEN W., *Op. cit.*, p. 145.

che ammettono doversi le linee direttrici della loro struttura alla generale presenza di pieghe rovesciate, accatastate le une sulle altre, spesso trasportate a giacere a distanza su terreni del tutto discordanti, litologicamente e stratigraficamente.

Respinta l'ipotesi della contrazione, non pochi di questi geologi cercarono di ricorrere a principi teorici circa il costituirsi delle montagne che dessero garanzia di maggiore accordo con i risultati delle ricerche sul terreno. Punto di partenza per alcuni furono ancora le idee di E. Suess, messe a giorno con le opinioni recenti sui geosinclinali, riguardati, abbiamo visto, come aree sulle quali s'inizia la surrezione dei rilievi montuosi (1). Altri come Ampferer, Reyer, Schwinner, Lachmann, Dacqué (2) hanno

(1) Così A. HEIM nelle sue magistrali opere sulla geologia della Svizzera; L. KOBER nel recente volume «*Bau und Entstehung der Alpen*» (Berlino, 1923), L. DE LAUNAY nel bellissimo volumetto divulgativo «*La vie des montagnes*» (Parigi, 1926). Ricordiamo che la funzione orogenetica delle aree geosinclinali è stata particolarmente sostenuta da E. HAUG. Cfr. (*Les géosynclinaux et les aires continentales*, in *Bull. de la Soc. géol. de France*, 3^a serie, fasc. 28, 1909. — *Les géosynclinaux de la chaîne alpine pendant les temps secondaires*, in *Comptes rendus de l'Acad. de Sciences*, 1909).

(2) AMPFERER O. *Über das Bewegungsbild von Faltengebirge*, in *Jahrbuch der K. K. geolog. Reichsanstalt*, N. 56. Vienna, 1906. Respinge nettamente la teoria della contrazione e delle spinte laterali, per sostenere che le catene a pieghe debbono considerarsi soltanto come fasce aventi una propria forza di surrezione e di movimento, dovuta o a correnti che si producono nelle zone profonde (Unterströmungstheorie), od una forte diminuzione di massa nel sottosuolo, per cui larghe zolle superficiali residue sporgono dall'area di sprofondamento rovesciandosi ai lati (Verschlückungstheorie). REYER E., *Ursachen der Deformationen und der Gebirgsbildung*. Lipsia 1892. — *Geologische Prinzipienfrage*, Lipsia, 1907. Ha svolto ed affermato il principio che i sedimenti si corrugano in seguito al loro scivolare sui substrati inclinati. (Gleittheorie). In Italia la teoria del Reyer ha avuto dalla sua L. De Marchi (*Trattato di Geografia fisica*, p. 96), rivoltosi in seguito, per spiegare le vere falde, alla teoria isostatica. Cfr. DE MARCHI L. *Teorie geologiche. Come si formano le montagne*. Scintia, vol. XVI, 1909, pp. 245-267. — SCHWINNER R. in *Zeitschrift f. Vulkanol.* V, p. 180 e sgg. cerca di dare salde fondamenta alla teoria dell'inghiottimento (Verschlückung) trasportando nel dominio dei grandi fenomeni geologici (Tectonosfera) i fatti svolgentisi nella troposfera ed applicando a quelli i principi della termodinamica. Così in analogia ai movimenti dell'atmosfera egli distingue nella zona attiva del sottosuolo territori anticiclonici (correnti di convezione in ascesa, aree di moto vorticoso nel senso delle lancette d'orologio), territori ciclonici (cor-

indicate cause differenti, escogitando teorie proprie; altri ancora come S. von Bubnoff e F. Heritsch (1), dopo un'ampia critica delle ipotesi più moderne si sono accontentati di concludere per l'impossibilità di spiegare con la contrazione la struttura a falde di ricoprimento del sistema alpino. Che anzi apparvero sempre più estese in superficie ed in profondità le zone interessate in dislocazioni tangenziali di considerevole portata.

Così M. Bertrand, il geniale innovatore della scuola geologica francese, pur non distaccandosi dai principi orogenetici sanciti nell'opera del Suess, negli ultimi anni di sua vita era giunto alla convinzione che tutto uno strato sferico superficiale potesse andar soggetto ad uno spostamento in senso orizzontale. «La terra sarebbe paragonabile ad un'arancia di cui, per una forte pressione della mano, si arriverebbe a far girare la scorza intera senza mutare la posizione del frutto» (2). Recentemente F. Kossmat sosteneva egli pure l'origine dei rilievi dall'accostarsi mediante movimenti tangenziali di grandi masse (3): movimenti che non possono concepirsi come conseguenza di una contrazione del globo terrestre. Ma nessun argomento migliore poteva attendersi Wegener

renti di convezione in discesa, aree di moto vorticoso nel senso opposto delle lancette) e regioni di calma, a correnti soltanto orizzontali. Agli anticlinali corrispondono i territori dei vulcani e delle fratture: ai cicloni i territori dei rilievi montuosi: alle regioni di calma la maggior parte dei continenti e dei mari. — LACHMANN R. (*Über den Bau der Alpen Gebirge*, Zeitschr. der deutsch. geolog. Gesell. N. 65, 1913) e DACQUÈ E., *Grundlagen u. Methoden der Paleogeographie*, Jena, 1915, s'accordano nell'attribuire l'attivo corrugamento delle parti cristalline centrali dei sistemi di montagne ai cambiamenti di volume che derivano dalla cristallizzazione delle assise profonde, costituite di materiali inomogenei. Anche P. Termier ha aderito a quest'ipotesi. Cfr. la sua memoria «*Sur la genèse des terrains cristallophylites*» in «*Comptes rendus Congr. intern. geol. di Stoccolma*», fasc. II, 1912.

(1) VON BUBNOFF S., *Die Grundlagen der Deckentheorie in den Alpen*, Stockarda, 1921. — HERITSCH F., *Die Grundlagen der alpinen Tektonik*, Berlino, 1923.

(2) Cfr. TERMIER P. *A la gloire de la Terre*, 2ª ed., Parigi. Nouv. Libr. Nationale, 1924, p. 175.

(3) KOSSMAT F., *Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde* in «*Abh. math., phys. Kl. Sächs. Akad. Wissensch. II*», Lipsia 1920. Recens. di E. Tams in *Peterm. Mitteil.* 1924, H. 1-2, pp. 51-52.

in appoggio alla propria teoria, di quello offertogli dagli studi di due ottimi conoscitori del sistema alpino, E. Argand e R. Staub (1).

* * *

Nel 1916 E. Argand pubblicava le conclusioni dei suoi lavori sulla geologia delle Alpi Occidentali (2). All'esame minuto delle zone tettoniche di cui esse, a suo modo di vedere, constano per il susseguirsi delle ondate rocciose che si sono abbattute sull'avampese ripiegandosi ed accavallandosi, accompagnava una serie di considerazioni teoretiche che dovevano avere larga eco di commenti negli ambienti interessati. Nonostante le vivaci critiche di S. von Bubnoff e di F. Heritsch, l'Argand tenne fermi i suoi punti di vista. Lo studio della tettonica dell'Asia gli parve anzi giustificarli con abbondanza di dati ed in una memoria sull'argomento, presentata al congresso geologico internazionale di Bruxelles (3) ritornò sulle già esposte considerazioni, dando loro più ampie e salde basi.

L'Argand ammette egli pure, in linea di principio, la deriva dei continenti, come il fenomeno dal quale dipendono le caratteristiche principali dal rilievo terrestre. Non riconosce anzi spostamenti originari che non siano orizzontali. I movimenti verticali hanno un'importanza affatto secondaria, in quanto costituiscono una categoria indipendente di dislocazioni, dovute a forze diverse da quelle cui sono legati i primi. Altro postulato fondamentale della concezione tettonica dell'Argand è che le aree continentali comprendono uno zoccolo costituito di materiali antichi, sedimentari, che hanno subito a diverse riprese l'azione del corrugamento, ed un mantello di sedimenti nuovi, che a questa azione non sono stati ancora soggetti. La plasticità dei materiali onde

(1) Del tutto informato alle idee che verremo esponendo è anche il lavoro di F. HERRMANN, *La struttura delle Alpi occidentali*, in *Atti della Soc. di Scienze Natur.*, vol. LXIV, fasc. III-IV, febr. 1926, pp. 239-249.

(2) ARGAND E. *Sur l'arc des Alpes occidentales*, in *Eclogae Geol. Helvet.*, N. 14, 1916.

(3) ARGAND E. *La tectonique de l'Asie*, in « *Comptes rendus* » du Congr. geol. intern. de Bruxelles, XIII sessione, Liegi, 1924, pp. 171-372. V. pure sui concetti argandiani il pregevole articolo che C. IACOB ha pubblicato negli *Annales de Géographie*, Marzo 1925, pp. 97-112 (*Les théories tectoniques nouvelles*) ed a cui mi sono in più luoghi attenuto.

i continenti risultano è in ragione inversa della loro età. Ad es., i materiali antecambriani sono assai meno facilmente deformabili di quelli che spettano al ciclo caledoniano; i quali appaiono rispettivamente meno plastici dei materiali erciniani. Molto più cedevoli, i sedimenti nuovi si distribuiscono nei geosinclinali, lungo i bordi dei continenti, e sulle aree continentali stesse, ricoprendole d'una coltre più o meno spessa.

I solchi geosinclinali traggono, secondo l'Argand, la loro origine dallo stirarsi del Sial sotto l'influenza della deriva e tendono a riempirsi di depositi terrigeni. I sedimenti liminari, essi pure di natura terrigena, s'accumulano sulla piattaforma continentale e sul pendio che la unisce alle grandi profondità. La coltre, invece, proviene dalla sedimentazione depositatasi sul fondo dei mari epicontinentali; all'infuori per conseguenza degli oceani propriamente detti, come dei geosinclinali.

Nel corso della loro migrazione, per cause differenti che non è qui il caso di esaminare, i continenti si deformano nel grosso della massa poco plastica che li costituisce. Abbiamo in tal modo il prodursi di pieghe di fondo, il cui andamento può mutare sensibilmente, a seconda della parte dello zoccolo che si considera. Debbono considerarsi come pieghe (brachianticlinali) di fondo, sorte in relazione con i movimenti del ciclo alpino, i grandi « boucliers » formati di terreni precambriani: quello baltico, ad es., e la Laurentia dell'America del Nord. Altrettanto dicasi dei massicci (Horste di Suess) risultanti di materiali erciniani, che percorrono il centro e l'occidente dell'Europa. Le tracce di dislocazioni verticali che in esse si sono segnalate, sono da riguardarsi come conseguenze degli spostamenti orizzontali, e della relativa rigidità propria del blocco dei continenti.

Nelle regioni più fortemente compresse, ed in proporzione meno rigide, le pieghe di fondo assumono un andamento più regolare. Quando la pressione raggiunge una certa intensità, si produce in questo tipo di pieghe la dissimmetria dei versanti; esse si presentano, cioè, con un declivio maggiormente ripido dalla parte da cui proviene il movimento, sino a che, per il progressivo incurvarsi, si spezzano, degenerando, senza passare per lo stadio di pieghe coricate, in falde di ricoprimento.

La coltre sedimentare che riveste lo zoccolo dei continenti tende a modellarsi sulle forme che questo prende corrugandosi.

Ma, assai sovente, soprattutto nei grandi sinclinali di fondo, essa si rompe, seguendo una delle sue commessure, e può inoltre avere dei movimenti propri che producono le pieghe di copertura.

Dai sedimenti profondi hanno origine quelle che l'Argand denomina le catene nuove. I sedimenti che si depositano sul margine dei blocchi continentali generano le catene dette liminari; quanto ai geosinclinali, i depositi che vi si sono accumulati, si corrugano per l'avvicinarsi delle ganasce della morsa che li limita. In questo caso, all'una ed all'altra delle sue ali, si piega sui terreni che la fronteggiano una catena doppia, la quale può complicarsi di molto. Particolarmente quando i suoi bordi rinserrano formazioni appartenenti alle regioni marginali, già conturbate da pieghe di fondo e di copertura.

Non potrebbe concludersi questo sguardo sommario alla concezione orogenetica di Argand senza accennare alla segmentazione delle catene ed al significato delle così dette virgazioni. Quando una materia plastica urta contro un ostacolo resistente, vi ha dinanzi ad esso apporto, accumulamento della materia stessa, con la formazione di fasci di pieghe. Quando l'ostacolo finisce lateralmente, all'innalzarsi di queste succede una depressione. Si ha così la possibilità di distinguere, applicando questi principii alle linee direttive del rilievo, dei tronchi longitudinali di andamento differente, gli uni innalzati, gli altri abbassati. A questi tronchi corrispondono i segmenti dell'Argand. Per virgazioni egli intende invece dei fasci di pieghe disposti accuratamente a festone. Possono riconoscersi due grandi tipi di virgazioni, dette di primo e di secondo genere. La virgazione doppia di primo genere si ha nei paesi dotati di plasticità omogenea, allorchè l'apporto di materiali avviene secondo il piano normale della virgazione, e va man mano diminuendo progressivamente ai lati. Si genera in tal modo una serie di archi di raggio sempre maggiore, tangenti al punto più avanzato della loro fronte, e divergenti alle estremità della virgazione.

La virgazione semplice di secondo genere sorge in ambiente plastico, lungo un ostacolo affrontato obliquamente dal flusso della materia. Le pieghe risultanti sono tangenti al margine dell'ostacolo, mentre si protendono in avanti sullo spazio libero. Quando invece l'apporto si produce in ambiente plastico, limitato obliquamente da due ostacoli laterali, allora si hanno ai

due fianchi due virgazioni semplici, il cui insieme costituisce una virgazione doppia di secondo genere.

Vediamo ora come Argand applichi questi suoi concetti allo studio orogenetico e tettonico del sistema alpino. Egli si rifà al grande geosinclinale secondario e terziario che si stendeva dalle regioni malesi attraverso il Tibet, l'Iran, l'Asia Minore, le zone alpine d'Europa, probabilmente fino all'America centrale, ed a cui mantiene la classica denominazione di Tethys. Accostandosi il blocco indo-africano a quello eurasiatico, il geosinclinale premuto ai lati si è sollevato nelle formazioni sedimentari che vi si erano andate accumulando. Queste hanno dato origine ad una catena nuova, compresa essa stessa nell'asse d'una catena doppia, le cui membra racchiudono elementi più o meno estesi dei terreni appartenenti alle masse continentali vicine.

Sotto la spinta di queste, le formazioni del geosinclinale alpino si rovesciarono sull'avampaese in una serie di falde di ricoprimento, sulla cui direzione influirono i massicci autoctoni, quali il Mercantour, il Pelvoux, il Monte Bianco, il gruppo dell'Aar. L'andamento generale del sistema sta di fatto in relazione con le grandi linee, secondo cui si orientò la pressione generatrice. Là dove questa si esercitò sin da principio in senso meridiano, come avvenne a S del gruppo dell'Aar, si hanno falde normali di ricoprimento, che accusano una intensità grandissima del corrugamento. Dove, invece, la spinta incontrò obliquamente l'ostacolo dei massicci (Alpi italo-francesi dirette da N a S), la resistenza d'attrito, opposta dalla riva autoctona, diminuendo l'intensità dei ricoprimenti, apportò nel loro sviluppo alcune complicazioni, dovute in linea di massima al ritardo delle pieghe lungo il bordo delle masse d'ostacolo: al mutamento del loro corso allorchè furono costrette ad allontanarsi dalla sponda autoctona, alla quale prima si conservavano parallele, ed al presentarsi, in rapporto a quest'ultimo fenomeno, di una virgazione interna.

La disposizione delle pieghe nella regione alpina seguì in sostanza, come fa osservare S. von Bubnoff (1), le stesse leggi

(1) O. c., p. 134.

per le quali, in un corso d'acqua, le increspature prodotte dall'attrito contro il margine della ripa cercano di disporsi parallelamente ad essa, mentre, verso il centro, prendono una direzione perpendicolare alla sponda.

Per quanto riguarda lo sviluppo del corrugamento nel tempo, l'Argand ritiene ch'esso si debba ad un processo avvenuto, con una certa continuità, dal carbonifero a tutto il mesozoico, contraddistinto da uno stadio embrionale, poco movimentato, ed al terziario, in cui raggiunge il maximum d'intensità. Cosicchè i ricoprimenti terziari debbono pure la loro configurazione ai resti del corrugamento carbonifero. Nello stadio primitivo del corrugamento, mantenutosi senza considerevoli modificazioni durante il mesozoico, il geosinclinale alpino, che l'Argand riguarda come divisibile in una grande serie di onde rocciose longitudinali secondo le loro sommità e le loro fosse, può così ripartirsi (1): 1) l'avampaese varisco; 2) il sinclinale vindeliciano e l'anticlinale elvetico, ambedue assai poco rilevati ed interpretati da alcuno ancora come mari epicontinentali di sedimentazione epirogenetica; 3) il sinclinale del Vallese, molto profondo, tipo di fossa di preregione (2); 4) l'anticlinale del Brianzonnese; 5) il sinclinale del Piemonte; 6) l'anticlinale di M. Dolin; 7) il sinclinale del Canavese; 8) l'anticlinale della Lombardia.

Nel terziario, e forse già nel cretaceo superiore, s'inizia la fase di maggiore intensità, con l'avanzarsi delle zone meridionali (nuclei o coperture mesozoiche dei ricoprimenti delle Alpi di SO, ricoprimenti delle prealpi mediane) sull'anticlinale di M. Dolin. Si formano così gli appilamenti di strati che, più tardi, carreggiati verso N, daranno origine alle più alte falde prealpine di ricoprimento delle Alpi Friburgesi. Ma il movimento si fa veramente parossismico nell'oligocene.

I due anticlinali del Brianzonnese e di M. Dolin divengono le fronti dei due ricoprimenti penninici principali che, sospinti dall'urto della massa africana, si mettono in moto verso l'avampaese, avvolgendosi a poco a poco su sè stessi. In questo ciclo possono distinguersi tre fasi:

(1) Nell'enumerazione e nella descrizione delle zone tettoniche mi sono valso degli schemi tracciati da S. von BUBNOFF, o. c., pp. 135-136.

(2) Così traduce « *Vorliefe* » il ROVERETO, *Trattato di Geol. morfologica*, vol. I, p. 333.

1) Formazione della regione di ricoprimento del S. Bernardo. Traendo origine dal ricoprimento embrionale del Brianzonese, essa si spinge sulla fossa del sinclinale vallesano, premendone fuori e cacciandone innanzi il contenuto, che viene a costituire le prealpi più basse del Friburgese.

2) Formazione della regione di ricoprimento della Dent-Blanche dal ricoprimento embrionale di M. Dolin. Essa comprime il sinclinale piemontese: le sue parti più profonde penetrano nelle formazioni della regione precedente, stendendosi a ventaglio. Sul proprio dorso trasporta resti isolati di piccole falde più alte e li scarica in avanti (Prealpi mediane).

3) Formazione della regione di ricoprimento del M. Rosa. Si protende tra le altre due ora ricordate e le penetra conglobandovisi. Così si spiega come sotto le falde del S. Bernardo riposino le pieghe coricate del Sempione. Anteriormente giacciono, sotto le Prealpi, in esse involuppate, le zone elvetiche di ricoprimento dei Diablerets e del Wildhorn.

Agli ultimi movimenti si collegano l'affossamento adriatico, e la fase insubrica, durante la quale, perdurando la spinta tangenziale dal S, deve essersi prodotto una specie di trasporto in profondità: l'ala meridionale dell'appilamento di falde si rovesciò verso l'esterno del sistema, assumendo l'aspetto d'un ventaglio di pieghe (direzione di corrugamento delle Dinaridi), mentre le radici delle falde stesse vennero qua e là appiattite. Le Alpi Orientali non hanno sormontata questa sezione del sistema a guisa di « traineau écraseur »: il territorio della loro massima ampiezza sta ad E di una linea che, all'incirca, dal M. Rosa e dal Sempione mette capo al massiccio dell'Aar.

È noto come nelle Alpi Occidentali, dal punto di vista della struttura, si distinguano oggi varie zone di falde a facies caratteristica, denominate dalla predominanza di questa nell'una o nell'altra delle sezioni tradizionali in cui si divide la regione alpina. L'Argand discerne nelle Alpi Occidentali due grandi zone di falde: l'elvetica e la penninica (o lepontina). Di queste la seconda ha un'estensione assai grande. Corrisponde all'asse della Tethys e comprende i calcescisti del Ticino, del Sempione, delle Alpi italo-francesi, del NE della Corsica e delle falde ofiolitiche dell'Appennino.

Riassunto il disegno ricostruttivo orogenetico e tettonico delle Alpi Occidentali, ci troviamo così ricondotti allo sguardo

sintetico che l'Argand dà della regione alpina, nella sua memoria sulla tettonica dell'Asia. Bisogna di fatto ammettere che la Corsica e la Sardegna rientrino nell'alveolo del Golfo del Leone per applicarsi alla regione montagnosa della costa del Varo, tra Hyères e Fréjus (Les Maures) ed al massiccio catalano, disegnando con la Meseta iberica il margine del continente europeo verso le regioni entroalpine.

Mentre, però, a quello non spetta, a N della Tethys, che i bordo dal quale sorsero e si formarono le falde elvetiche, al margine africano, alla sponda cioè dell'antichissimo mare, toccherebbe tutto il paese dal cui seno uscirono le falde austroalpine, le Dinaridi, la Sicilia, l'Appennino propriamente detto e le catene dell'Atlante, ad eccezione dell'Atlante sahariano, i cui sedimenti rivelano un'origine nettamente epicontinentale.

Durante l'attività parossismica si ha una vera marcia dell'Africa verso N, con conseguente carreggiamento, nel tratto delle Alpi che riguarda l'Europa centrale, delle falde austroalpine sulla regione elvetica. A S però del sistema, nella parte immediatamente retrostante a quella in cui avvengono i grandi movimenti, i terreni africani tendono a sprofondarsi e ad immergersi sotto il loro antico bordo continentale non solo, ma anche sotto la zona penninica. La contropinta che ne deriva, diretta verso S, genera la disposizione caratteristica delle catene doppie, ed ha il suo contraccolpo sulla zona penninica stessa, sulle falde ofiolitiche dell'Appennino, sulle Dinaridi, come s'è già detto avanti, sulla Sicilia, sulla regione dell'Atlante. È evidente come questo moto di ritorno abbia determinato lo spostarsi dell'asse tettonico della catena doppia, condotto a non coincidere più con la zona penninica ed a trovarsi invece orientato secondo la direzione delle formazioni d'origine spiccatamente africana.

Al parossismo che ha determinato il costituirsi del sistema alpino seguono quei movimenti di disgiunzione che impartiranno alle regioni mediterranee la loro attuale fisionomia geografica. L'Africa si stacca dal continente europeo ed inizia la sua deriva verso S. Un solco marino si apre là dove la enorme frattura va allargandosi. A N di questo solco un lembo di terra africana è rimasto per partecipare alla costruzione dell'edificio alpino. L'Appennino, la Corsica, la Sardegna, la Sicilia sono trascinati dallo spostamento della massa africana là dove oggi li troviamo.

Fin qui, a grandi linee, le vedute di E. Argand in fatto d'orogenesi e di tettonica del sistema alpino. La loro concordanza con i principi di Wegener allo stesso riguardo è cosa troppo palese per richiedere un qualsivoglia commento (1). Ciò non significa per altro che Argand accetti in massa il bagaglio d'idee connesso all'enunciazione dell'ipotesi nuovissima. In questa egli trova unicamente rispecchiato il proprio modo di concepire la traslazione dei continenti come causa prima del corrugamento terrestre. Su questa via appunto lo ha seguito R. Staub (2). Vediamo come.

« L'avanzarsi verso N del blocco continentale africano ha determinato il sollevamento della catena alpina » (3). Tale il leit-motiv che la prosa esuberante e colorita dello Staub ripete ad ogni piè sospinto; e che domina addirittura le pagine in cui s'assommano le conclusioni suggerite dalla minuta analisi tettonica del sistema. Questa analisi ha anzitutto confermato l'autore nella convinzione che la struttura a falde di ricoprimento debba riconoscersi estesa a tutta la cerchia delle Alpi, dal mare fino a Vienna, e che la gigantesca barriera di montagne risulti dal compenetrarsi di tre grandi unità geografiche: 1) l'avanpaese o preregione europea (Vorland); 2) il sistema alpino di ricoprimenti propriamente inteso (alpine Deckengebirge); 3) il retropaese o la postregione dinarico-africana (Rückland). Segnaliamo brevemente l'estensione ed i caratteri di queste unità.

L'avanpaese europeo, dalla Corsica e dalla Sardegna, attraverso la Francia, la Svizzera settentrionale, e la Germania del Sud, si spinge sino all'Austria ed alla Cecoslovacchia. Al suo margine esterno sono gli antichi massicci d'ostacolo (Horste), la Corsica, l'Esterel, il Plateau centrale, i Vosgi, la Foresta Nera ed il massiccio boemo; quindi l'area depressa del medio Reno,

(1) Vi hanno già accennato oltre allo Jacob, M. Gignoux nell'articolo citato (p. 141) e M. KOBER, *Die Frage der Kontinentalverschiebung in Peterm. Mitteil.*, 1926, H., 1-2, p. 11.

(2) STAUB R., *Der Bau der Alpen* (Versuch einer Synthese) in *Beiträge der Geolog. Karte der Schweiz*, Nuova Serie, vol. 52, Berna, 1924, 258 pp. V. pure la comunicazione dello stesso STAUB, *Una sintesi delle Alpi*. Boll. Soc. Geol. Ital., vol. XLIV, fasc. 2, 1925, pp. 195-199.

(3) STAUB R., o. c., p. 228.

il ripiano del Giura tabulare, l'Alb svevo. Seguono le prime potenti ondate rocciose nelle pieghe del Giura, dal Limmat all'Isère. Dall'Isère in giù il Giura si connette alle catene esterne delle Alpi. Verso N invece, tra i due elementi, si stende la regione della Molassa svizzero-bavarese, che rappresenta l'ultimo avanzo della Tethys mediterranea, sempre più ridotta dal progredire verso settentrione dell'arco alpino propriamente detto. Nella genesi del rilievo il ripiano della Molassa svizzero-bavarese ha avuto la parte di fossa di preregione. Al di sopra di esso, infatti, sono apparsi i primi elementi del sistema con le Elvetidi ed i massicci autoctoni. Le une e gli altri costituiscono le propaggini meridionali dell'avanpaese, successivamente comprese e sormontate dalle vere falde alpine delle Pennidi e delle Austridi. Ad E del Reno, soltanto la fronte più esterna della muraglia elvetica compare sull'orlo settentrionale delle Alpi, fino ai dintorni di Vienna. Dei massicci autoctoni delle Alpi occidentali può rintracciarsi la continuazione sotto le grandi giogaie delle Alpi orientali.

Sull'avanpaese delle Elvetidi si sono dunque rovesciate, in formazioni gigantesche, le falde alpine delle Pennidi e delle Austridi. Le prime fanno capo da un lato alla Corsica ed all'isola d'Elba, dall'altro al Katschberg in Carinzia; le seconde, dalla pianura torinese e dai Klippen della Savoia si protendono al bassopiano ungherese ed ai Carpazi. Si distinguono in esse quattro sezioni principali: la regione di ricoprimenti del M. Rosa, asse della catena, dall'Elba fino ai Bassi Tauri; quella della Dent-Blanche dalla Corsica e dalla Liguria al Katschberg ora ricordato; le Grigionidi, dalla pianura di Torino alla Mur, affluente della Drava, ed al Semmering; le Tirolidi da Parpan e dall'Yberg a Graz, al Semmering, ed ai Carpazi.

Le radici delle grandi falde alpine possono pure seguirsi dalle fonti del Po fino alla pianura ungherese. Quelle delle Pennidi dal Po all'Adda e poi nuovamente all'Isarco ed alla Mur; quelle delle Grigionidi da Torino al Katschberg; quelle infine delle Tirolidi dalla Sesia al Bacher.

Anche il retropaese delle Alpi, il territorio delle Dinaridi, va da una estremità all'altra della catena. Le Dinaridi lombarde si spingono di fatto dalla Sesia alla Sava. Dall'uniforme andamento generale di queste varie sezioni della Alpi e dall'unità della loro struttura, riconoscibile sia ad occidente che ad oriente, lo Staub

trae motivo per affermare che uno deve essere stato il movimento, una la grande causa generatrice della catena. La direzione assolutamente principale del movimento da S a N si rivela in tutto il gigantesco edificio: al suo confronto i contraccolpi diretti verso S non hanno che scarsissima importanza. Come motore di tale immane spinta appare sempre più evidente la migrazione a N del blocco dinarico, e con esso del continente africano. Tra lo zoccolo rigido dell'antica Europa ed il potente tavolato dell'Africa la pieghe delle Alpi, espresse dal seno della Tethys ed accavallate le une sulle altre, sono state sospinte verso N. L'avanzarsi dell'Africa sull'Europa ha dunque create le Alpi.

Ciò posto lo Staub si domanda come si possano ripartire le zone alpine nei riguardi della facies, e quali relazioni esse zone abbiano col grandioso fenomeno che ha presieduto al costituirsi del sistema. Già si è accennato alle Elvetidi, alle Pennidi, alle Austridi come grandi unità tettoniche. Per lo Staub, dal punto di vista puramente geologico esse rappresentano pure tre grandi territori dotati di aspetto del tutto particolare: l'elvetico, il penninico, e l'austro-dinarico. Tale aspetto è in stretto rapporto con le primitive condizioni di profondità dell'oceano alpino. Le Elvetidi e le Austridi mostrano di fatto con il cambio organico di transgressioni, di inondazioni, di regressioni che le contraddistinguono, la loro appartenenza alla sponda continentale, riccamente frastagliata; la serie sedimentare, intergiacente, delle Pennidi non offre invece più siffatto mutamento di facies: grandiosi complessi di strati si sono depositi per sedimentazione pressochè uniforme.

Il mare penninico corrisponde, perciò, al grande bacino centrale a Tethys, mentre il territorio elvetico ed austro-dinarico si presenta come faciente parte della regione costiera continentale. Il territorio elvetico va ricongiunto al margine della sponda europea, quello austro-dinarico all'Africa. Sta a dimostrarlo anche lo studio della loro struttura profonda. Nelle Elvetidi e nelle Austridi la serie alpina sedimentare s'appoggia con discordanza sulle pieghe dell'antico corrugamento ercinico; nelle Pennidi predomina, con qualche eccezione di piccolo conto, una concordanza assoluta. Queste ultime erano sin da principio formate da una zolla della crosta terrestre relativamente debole, poco ispessita da corrugamenti anteriori, sì che il magma simatico non differenziato potè trovare in esse una facile via d'uscita. Di fatto nella zona penninica soltanto compaiono su vasta scala le intrusioni basiche delle

ofioliti alpine. Tale zona rappresenta, dunque, il carattere più espressivo della catena alpina.

Riassumendo, le falde delle Alpi Orientali sono brani del retro-paese: le falde elvetiche ed i massicci centrali del N appaiono come masse appartenenti all'avampaese: le Pennidi traggono origine dai materiali profondi dell'antico bacino oceanico, schiacciati tra i due blocchi continentali, sospinti e compressi gli uni sopra gli altri.

Condividendo pienamente le vedute di Argand, lo Staub è tratto dalla constatazione che le cerniere o fronti delle falde di ricoprimento coincidono con i grandi geoanticlinali del mesozoico a ritenere che questi siano stati i precursori, gli embrioni, per così dire, delle falde stesse. Dall'esame della loro *facies*, questi geoanticlinali si rivelano già formati nel paleozoico. Così, al permiano si può stabilire l'inizio del corrugamento alpino; dal permiano il movimento andò via via accentuandosi durante il mesozoico, sino a che sboccò nel terziario nel gigantesco meccanismo che rovesciò verso N, accatastandole, le formazioni dell'edificio alpino.

Abbiamo or non è molto accennato alle fasi in cui l'Argand crede poter distinguere lo sviluppo orogenetico e tettonico delle Alpi Occidentali nel periodo parossismico. Lo Staub ripete per le Alpi Orientali il lavoro di Argand. Condotta a termine la ricerca diretta a fissare quali grandi depressioni e culminazioni dovessero presentarsi allorchè ebbe principio il succedersi dei ricoprimenti, egli procede alla determinazione delle fasi orogenetiche così dividendole:

a) *fase juvavica* (cretacico), di preparazione. Riguarda soltanto il bordo settentrionale delle Dinaridi e le spalle delle falde delle Tirolidi. Una parte del territorio dinarico ha strappato i vicini sedimenti sul tergo delle Tirolidi dalle loro fondamenta cristalline e li ha ammucchiati a N, sui sedimenti frontali delle Tirolidi stesse.

b) *fase penninica delle Alpi sud-orientali* (inizi dell'eocene). Sotto la spinta delle Tirolidi, addensate alla fronte esterna dinarica, le Grigionidi s'addossano le une alle altre. Altrettanto avviene per le serie penniniche antistanti.

c) *fase grigione-eopenninica*. Si formano, sotto la pressione delle vicine Tirolidi, il complesso delle falde dei Grigioni e le prime

falde penniniche. Dinnanzi alle Tirolidi, ostacolando la loro marcia in avanti, s'innalza il potente baluardo delle falde grigione-penniniche.

d) *fase tirolese*. La più importante per la costituzione delle Alpi orientali. Dovrebbe corrispondere a quella della Dent-Blanche per le occidentali. Massa compatta di dimensioni gigantesche, le Tirolidi sormontano il territorio grigione e penninico. Sotto il « traineau écraseur » delle Tirolidi, le Grigionidi sono compresse ed allungate, sino a raggiungere il margine esterno delle Alpi. Le falde penniniche vengono esse pure spianate e trascinate verso N. Le masse di flysch delle Pennidi sono sospinte sulle formazioni elvetiche, e queste, a loro volta, corrugate in falde dirette a N.

e) *fase plio-penninica o dell'Oetzertal*. Con i ricoprimenti successivi delle parti centrali e meridionali delle Pennidi, tale è l'appilamento delle falde più elevate che le Dinaridi non riescono ad averne ragione. Il movimento si trasporta allora in profondità e produce l'avvolgersi, l'avvilupparsi delle falde stesse, caratteristico di questa fase, che trova perciò il suo riscontro in quella del M. Rosa nelle Alpi occidentali. Si chiude così il ciclo del corrugamento alpino contraddistinto dalla formazione delle falde di ricoprimento. A tale ciclo si collega però ancora la

f) *fase insubrica*, in cui si ha il traboccare delle radici delle Alpi orientali fin entro le Pennidi dei Tauri, ed il carreggiamento profondo delle zolle dinariche, col conseguente orientarsi della loro tettonica verso S (1).

Dalla concordanza di queste sue fasi con quelle di Argand lo Staub trae argomento per affermare ancora l'unità costitutiva del sistema alpino. « Le Alpi occidentali e le Alpi orientali non sono due edifici differenti: per la struttura, per la forma, per il materiale, per la storia, per il tempo della loro origine, esse sono parte di un tutto infinitamente armonico » (2).

A rafforzare lo Staub in questo concetto, diremo così, unitario, contribuisce pure lo studio dei cicli attraverso i quali l'attività magmatica ed il metamorfismo nelle sue varie espressioni hanno

(1) Per la critica delle vedute dello Staub circa la tettonica delle Alpi occidentali V. E. HAUG, *Contribution à une synthèse stratigraphique des Alpes occidentales*. Bull. de la Soc. géol. de France, 4^a serie, t. XXV, N. 3, 1925, pp. 97-243.

(2) STAUB R., o. c., p. 239.

condotto a termine l'opera immane della natura. Non seguiremo l'autore in questa pure interessantissima ricerca, chè in troppi particolari si dovrebbe indugiare. Gioverà piuttosto, al fine propostoci, riassumere il contenuto dei due capitoli con cui lo Staub chiude il suo lavoro.

Il primo di questi tratta della posizione delle catene giovani dell'Europa nei confronti del sistema alpino. Partendo dalla sintesi geniale di E. Suess, che ha messo in chiara luce la prosecuzione delle Alpi nei Carpazi, nei Balcani, nel Caucaso, fino ai monti dell'Inducush, e rinviando per i problemi più complessi alla memoria di Argand sulla tettonica dell'Asia, lo Staub si sofferma particolarmente sulla direzione del movimento secondo il quale sono sorti i grandi rilievi, che formano la cerchia delle più grandi Alpi, dal Caucaso a Gibilterra.

Fino a ieri, dice lo Staub, le Dinaridi sono state considerate come un gruppo montuoso a sè, orientato verso S in quanto a movimento, completamente distinto dalle Alpi. L'arco periadriatico delle prealpi calcaree interne, della catena propriamente detta e delle Ellenidi è invece esso pure diretto a N: le sue catene e le sue pieghe rivolte a S non sono che onde di ritorno inclinate in senso opposto alla direzione della spinta originaria. Non si ha, dunque, che un solo grande movimento, quello verso N: ed un solo sistema, l'alpino-dinarico. Si tratta, ancora e sempre, del tavolato africano che ha sospinto dinanzi a sè le catene giovani, sino a rovesciarsi sulla vecchia Europa.

Che i rilievi montuosi dell'Europa orientale presentino una concomitanza quasi assoluta di caratteri strutturali con le Alpi è cosa per lo Staub indubitata. Ad occidente, invece, è tutt'altro che facile assodare se siffatta relazione esista o no. Dove si continua la barriera delle Alpi e dei Carpazi? Qual'è la posizione dell'Appennino? Quella dei Pirenei? Come si collegano le Baleari, la Cordigliera Betica e l'Atlante alle catene dell'Europa centrale? Delle regioni occidentali qual parte spetta alle Dinaridi, quale alle Alpi, quale soprattutto all'avampaese europeo? Anche a queste ponderose questioni lo Staub non vuol rimanere estraneo, giacchè gli sembrano insoddisfacenti le soluzioni avanzate in proposito dal Suess, dal Termier, dal Kober.

Ecco, in poche parole, il pensiero dello Staub. L'Appennino rappresenta, con la Corsica orientale e con l'isola d'Elba, una grandiosa piega di ritorno delle Alpi, indipendente dalle Dinaridi, pro-

lungatesi da Genova alla Sicilia. Qui la serie dinarica, cui appartiene la parte meridionale dell'isola, si stacca dalla serie alpina, raggiunge a Tunisi il continente africano, risollemandosi nell'Atlante sino all'oceano; la serie alpina a sua volta, attraverso la punta SO della Sardegna, ricompare nelle Baleari, come prosecuzione del ramo alpino corrugato normalmente. Diretta continuazione di questo, per il suo spiccato movimento verso N, per i suoi grandi carreggiamenti, per l'evidenza della sua tripartizione tettonica, per la presenza di klippen, per le formazioni vulcaniche, appare la Cordigliera Betica « ein Ebenbild der Alpen ».

Dalla Cordigliera Betica per lo stretto di Gibilterra la catena alpina passa nel Riff marocchino, il cui andamento generale, con l'inclinarsi delle pieghe a S, lo fa riaccostare più propriamente all'Appennino. Allo stretto di Gibilterra, come al Golfo di Genova è dunque avvenuto un mutamento nella direzione, secondo la quale le pieghe sono andate ribaltando. Nel Riff vediamo terminare la cerchia delle Alpi, e le profondità dell'Oceano Atlantico gettare una barriera insuperabile alla conoscenza del loro dominio sottoceanico. Le Dinaridi infine, dalla Tunisia proseguono nell'Atlante algerino e marocchino.

Fuori del quadro rimangono ancora i Pirenei. Ed è logico che sia così, perchè l'esame, anche sommario, dei caratteri orotettonici dimostra all'evidenza che la catena franco-iberica fa parte, come il Giura e le catene elvetiche dell'avanpaese europeo. In vero, di fronte all'andamento delle Alpi, i Pirenei prendono una posizione d'assoluta indipendenza. La loro tettonica non rivela nessun elemento tipico delle Pennidi o delle Austridi. Mancano formazioni sicuramente alpine quali possiamo ancora riconoscere in Corsica, nell'Appennino, nella Cordigliera Betica, nei Carpazi meridionali. La struttura inoltre è lungi dall'essere, come quella delle Alpi, dissimmetrica.

Osservando il disegno così abbozzato del sistema alpino in Europa, si rimane anzitutto colpiti dall'innegabile simmetria delle catene dall'Oceano Atlantico al Mar Caspio. Il movimento primario è in linea generale rivolto verso N. Gli ostacoli opposti dal continente europeo lo correggono, lo modificano, lo mutano anche in singoli tratti, ma nell'insieme esso mantiene la direzione iniziale. Questa trovò nel massiccio corso-sardo ad O e nell'horst bulgaro-

valacco due linee avanzate di maggior resistenza, tra le quali, aprendosi a mo' di golfo profondo l'avanpaese, le onde del flusso alpino poterono proseguire indisturbate il loro cammino verso settentrione, estendersi in larghezza, e sollevarsi poi, seguendo il contorno costiero dell'avanpaese stesso. Ad occidente la spinta del tavolato africano, urtando assai presto contro il baluardo della Meseta e del massiccio corso-sardo, causò il corrugamento dell'avanpaese, là dove sorsero i Pirenei. Ad oriente abbiamo nel Caucaso l'equivalente della catena franco-iberica.

Al pari del Caucaso tutte le catene dell'Asia debbono la loro tettonica al gigantesco fenomeno cui vanno attribuiti i grandi lievi europei. È gioco-forza perciò ammettere che l'intero continente di Gondwana, caro ai paleogeografi, sia lentamente migrato verso N, e che in seguito a tale spostamento si sia ridotto nei frammenti che oggi identifichiamo con le masse isolate dell'Africa, del Madagascar, dell'India anteriore, dell'Australia.

Gli effetti del cozzo subito hanno lasciato tracce imponenti nel corpo stesso dell'Africa e dell'Eurasia. Stanno a dimostrarlo, da una parte, la separazione dell'Arabia e della Siria dal blocco continentale, il mar Rosso, la depressione palestinese, la serie dei vulcani abissini e le alte catene dell'Africa centrale; dall'altra, il corrugamento dell'avanpaese nei Pirenei, il grande anticlinale che unisce gli Horst esterni tra il Plateau centrale e la Selva Boema, il ribaltamento degli horst tedeschi sulla pianura prussiana, il piegamento recente dei bacini di Parigi e di Londra, le pieghe sassoni nella Germania settentrionale, la piccola catena della Sierra Arrabida a S di Lisbona, ed accanto a questi contraccolpi principali, tutto un complesso di manifestazioni secondarie con dislocazioni (fossa del Reno), ed attività vulcanica (Alvernia, Eiffel, vulcani della Svevia e della Boemia, basalti della Sardegna, della Castiglia e del Portogallo).

Analoghe conseguenze ha avuto in Asia l'avanzarsi della terra di Gondwana; anzi la struttura di mezzo il continente, afferma lo Staub, è anche in Asia dipendente dall'avvenuto spostamento verso N del blocco gondwaniano. Ma vi ha di più. L'urto dell'Africa non soltanto ha scosso dalle sue fondamenta l'Europa, ma l'ha sospinta addirittura verso N di un tratto assai considerevole. Immaginando di appianare le pieghe e le falde alpine tra la Foresta Nera e l'Africa esse occuperebbero invece dei 1800 km. attuali, un'estensione di ca. 3000-3500 km. Nella regione alpina si

trovano, per così dire, stipati, terreni la cui larghezza in piano sarebbe di ca. 1500 km. Di tanto dunque l'Africa deve essere avanzata sull'Europa.

Ma la traslazione della zolla africana ha assunto in realtà proporzioni alquanto maggiori. Dagli studi sul carbonifero sappiamo che la punta meridionale dell'Africa doveva un tempo trovarsi nelle vicinanze del polo S, mentre nella regione dell'equatore era l'Europa centrale. Dal carbonifero in poi il clima dell'Europa a N delle Alpi s'avvicina man mano al clima attuale.

Chi può ancora dubitare, sostiene lo Staub, di una traslazione del blocco continentale europeo verso settentrione? Il corrugamento alpino trasporta insensibilmente l'Inghilterra e la Prussia da un clima a tipo mediterraneo ad un altro di tipo subpolare. Contemporaneamente la punta S dell'Africa dal polo antartico si va spostando di ca. 50° di lat. verso l'equatore, ed oggi il lehm glaciale del permo-carbonifero si trova sotto i tropici. Lo Staub calcola che la deriva dell'Africa non sia stata inferiore ai 50°, quella dell'Europa ai 35-40°. Il che comporterebbe una traslazione dell'Africa di ca. 5000 km. a partire dal permiano.

Così, dice l'autore, giungiamo per una nuova via ad una splendida conferma delle geniali idee di Wegener. Nuovi problemi sorgono, se si prende in esame la possibilità d'una traslazione del continente asiatico. Del tutto ipotetiche ancora sono le condizioni meccaniche per cui siffatti spostamenti debbono realizzarsi. Questo soltanto è certo: che i climi delle epoche geologiche e le traslazioni continentali stanno in intima relazione col sollevarsi dei grandi sistemi montuosi. (1)

1) Mentre la presente nota era in corso di pubblicazione sono comparsi parecchi studii relativi all'argomento qui trattato. Tra i più notevoli sono da citarsi: COLLET L. W., *The Alps and Wegener's theory*, in «Geographical Journal», aprile 1926, pp. 301-306. — WEGENER A., *Die geophysikalischen Grundlagen der Theorie der Kontinentalverschiebung*, in «Scientia», vol. XLI, N. CLXXVIII-2, febr. 1927, pp. 103-116. BUBNOFF V. S., *Die Architektur und die Baugesetze der Erdrinde*, in «Scientia», vol. XLI, N. CLXXIX-3, marzo 1927, pp. 181-192. — SCHAFFER P. X., *Die Grossformen der Erdrinde und ihre Bewegungen*, in «Scientia», vol. XLI, N. CLXXXI-5, maggio 1927, pp. 332-342. L'articolo del Collet soprattutto (V. recens. in «L'Universo», agosto 1926, p. 693) sta a dimostrare quale vivo interesse abbiano suscitato nel campo geografico le nuove vedute orotettoniche.