

II. — COMUNICAZIONI E RELAZIONI

Lo studio dei movimenti del suolo nell'ultimo cinquantennio specialmente in Italia.

Memoria del socio, prof. CARLO DE STEFANI

OROGENESI.

Uno degli argomenti geologici più controversi riguarda il come rocce sedimentarie o eruttive ci appaiano conformate sulla superficie terrestre in rialzamenti ed in cavità.

Scompare la primitiva idea di Hutton, di Von Buch, Poulett-Scrope, Studer, e dei loro seguaci, che i monti fossero originati per via di spinte o di sollevamenti in direzione verticale dal basso all'alto, cioè a dire con amplificazione, distensione e rottura degli strati rocciosi superficiali.

Completando gli studi sugli spostamenti degli strati, avviati in Inghilterra da Conybeare e Phillips nel 1822; da Savi (1832), Pilla (1839-47), Pareto (1827-61), Catullo, Sismonda, Pasini, Spada-Lavini, Ponzi, senza contare gli stranieri, principalmente il Murchison, in Italia, e da tanti altrove, si era già cominciato a vedere nel cinquantennio precedente, ed in quello attuale fu poi meglio confermato con innumerevoli serie d'osservazioni, che gli strati sono invece compressi, serrati e non distesi ma costretti a minore spazio per effetto di forze non operanti esclusivamente in senso radiale; bensì aventi una principale componente in senso tangenziale. L'azione di forze quasi esclusivamente radiali è tuttora mantenuta dai più come tradizione e come continuazione delle teoriche passate, per spiegare rotture, faglie, sprofondamenti, specialmente avvenuti nelle profondità dei mari e sottratti perciò agli occhi diretti dell'osservatore.

Cartesio propose, forse per primo, l'idea che il corrugamento della superficie fosse prodotto dalla contrazione della massa terrestre con relativa diminuzione di volume per effetto del suo lento e continuo raffreddamento. Siffatta diminuzione di volume può evidentemente avvenire in vari modi. Un corpo omogeneo come una sfera di metallo, un masso di roccia, un oggetto lavorato di struttura uniforme senza risalti e senza variazioni di forma, che riscaldati lentamente si raffreddino, ripiglieranno il volume di prima senza rotture; un frutto, una mela che perda l'acqua interna, nel seccarsi diminuisce di volume e manifesta la superficie corrugata e pieghettata; una palla di argilla umida che si dissecchi si ritira in senso centripeto screpolandosi. Elie de Beaumont (1829-52-59) a termine di paragone con la terra scelse quest'ultimo esempio e sostenne che quella nel disseccarsi e nel diminuire di volume per effetto di raffreddamento si divide in segmenti e si fende lungo linee o *écrasements transversaux* rispondenti a circoli massimi della sfera terrestre, secondo i quali si allineano le depressioni e le montagne formate da pieghe addossate per compressione alle fessure stesse e ordinate in sistemi i quali si intersecano fra loro. Queste pieghe, secondo lui, sorsero in periodi intermittenti, successivi, rispondenti alle formazioni geologiche stabilite dal Cuvier.

È la teorica del *réseau pentagonal*, cara tuttora in molte parti ai geologi francesi (Lory, 1860, 73; Ebray, Magnan, 1874) meno accettata altrove.

In Italia Paolo Savi, seguace in parte delle teorie di von Buch e de Beaumont, dal 1837 al 1864⁽¹⁾ aveva mostrato gli speciali caratteri che distinguevano gran parte dei monti litorali toscani dall'Appennino: li specificò col nome di *Catena metallifera*, ed altri ne distinse col nome di *Catena serpentinoso*. Egli dava così uno dei primi esempi di specificazione geologica di una catena montuosa complessa.

Il Pareto (1827-61) discerneva le pieghe a traverso l'Appennino con spaccati che per lungo tempo rimasero unici.

Uno dei primi problemi stratigrafici studiati fu quello di Petit-Cœur in Savoia appartenente allora al Regno di Sardegna. Vi

(1) *Sulla costituzione geologica delle ellissoidi della Catena metallifera*, Pisa, 1864.

si trovano strati con fossili liassici alternanti con strati carboniferi. Concludevano gli uni ad una postuma comparsa di flore paleozoiche in mezzo al Lias; gli altri ad una precoce comparsa di fossili liassici nel Paleozoico. A. Favre mostrò che si trattava di sintoncimenti di strati diversi di età loro propria ben determinata alternanti per effetto di ripetute pieghe. Parimente nel promontorio occidentale della Spezia esiste un rovesciamento, come del resto in parte in quello orientale, pel quale strati infraliassici stanno sovrapposti al secondario più recente: Pareto e Pilla (1845) riconoscevano il rovesciamento, che Savi e Meneghini negavano (1851), fino a che il Cocchi (1862) ed il Capellini (1862-64) con esatti studi paleontologici lo mettevano fuori di dubbio.

Coerentemente alle idee di Elia de Beaumont si faceva l'indagine, quasi unicamente teorica, della direzione donde sarebbero derivate le spinte producenti le pieghe. Lo Scarabelli fa derivare l'Appennino da una spinta verso il Tirreno.

Thurmann in un lavoro postumo (1856), dopo avere distinto le diverse catene del Giura, ne attribuisce l'origine ad una pressione laterale proveniente dalla parte svizzera; come ad una tale pressione attribuisce A. Favre (1867) l'origine del Monte Bianco.

I fratelli Rogers (1868) in America, agli sprofondamenti poligonali ed alle pressioni laterali contrappongono la curiosa idea che le pieghe dei monti sieno originate da pulsazioni a forma di onde del magma igneo interno, ipotesi del resto che sotto forma poco diversa trovasi rinnovata pochi anni dopo dal Petrinò e da O. Fischer (1889). Peraltro i Rogers danno la prima descrizione completa degli Appalachi, indicando e seguendo le pieghe parallele, l'asimmetria delle medesime, la mancanza di un asse eruttivo centrale e le altre relative circostanze. Il Dana (1872-1896) esamina più a fondo gli effetti della contrazione della terra per raffreddamento e ritiene che i monti ed i confini delle terre si stendano lungo linee di minore resistenza della superficie terrestre derivanti dalle variazioni di densità e di temperatura. Il movimento centripeto del nucleo terrestre che si raffredda e rimpiccolisce è convertito in una pressione tangenziale, donde, come in una mela che si secca, si originano i corrugamenti. I monti si formano lentamente e secondo lui durano tuttora a formarsi, cosa oggi ammessa dai più. Non sono escluse le rotture e le fessure della crosta, ma l'importanza loro viene più che in ogni

altro precedente sistema ridotta. Le idee del Dana trovarono larghissimo favore in America, ma non sì presto in Europa, dove dominavano e dominano in parte ancora i residui delle teoriche di von Buch e de Beaumont.

Intanto il Mallet (1874) opportunamente definiva l'innalzamento dei monti — una risoluzione verticale di due forze tangenziali.

Nel 1875 apparisce un primo lavoro complessivo del Suess (1) che poi pubblicò la sua grande opera (2) solo testè finita, la più importante che sia uscita nel campo geologico dopo quella del Lyell. Essa è un completo riassunto dello stato odierno della geologia. Oltre ad un insieme di antiche teoriche riassunte e di nuove esposte vi sono una revisione ed una coordinazione, per la prima volta stabilite, di tutti i sistemi montuosi del mondo, la successione cronologica loro, l'incrociarsi dei sistemi più recenti con quelli più antichi. Questa parte, la più estesa e la meno teorica dell'opera, è quella che resterà con lievi modificazioni e perfezionamenti.

Una differenza si può stabilire fra l'opera del Lyell e questa del Suess; che cioè la prima fu fondata sopra lunghissime e ripetute osservazioni dirette dell'autore stesso; perciò sur una base delle più positive e durature; la seconda si basa necessariamente sopra osservazioni degli altri ed in parte sopra l'esame di carte semplicemente topografiche più che geologiche, perciò sicuramente inadatte allo scopo; quindi essa resterà sempre di primaria importanza per la geografia; ma quanto alla geologia essa dovrà perfezionarsi man mano che gli studi avanzeranno. Per quel che riguarda l'origine delle montagne il Suess non accetta l'ordinamento geometrico della rete pentagonale stabilita dal de Beaumont. Egli però mantiene, e dà grande importanza assai più che ne desse il Dana, al concetto fondamentale delle fratture e degli sprofondamenti dai quali sorgono i vulcani e contro i quali per pressioni tangenziali conseguenti al raffreddamento del globo si originano i sistemi montuosi in pieghe parallele asimmetriche, cioè abbassate e spesso sprofondate nel lato concavo esposto al mare o alle bassure, più stese e più regolari in quello convesso preferibilmente esposto verso i continenti. L'autore mantiene perciò

(1) *Die Entstehung der Alpen*, 1875.

(2) *Das Antlitz der Erde*, 1884-1909.

ed amplifica le tesi del precedente lavoro di von Hof sulle trasformazioni della superficie terrestre (1822 al 1841) riguardanti gli sprofondamenti e lo sbriciolamento di terre occupanti un tempo l'Adriatico, l'Egeo, ed altri mari, fa largo posto alle fratture secondo le tradizioni delle scuole austriache, germaniche e francesi, e conserva il concetto delle rocce *plutoniche* di profondità stabilito dal von Buch e dagli altri precursori, escludendo però il loro intervento nel sollevare attivamente i monti.

Nel complesso le antiche teorie *catastrofiche* hanno ancora largo campo nel lavoro del Suess, specialmente nei primi volumi; mentre nell'ultimo volume (1909) si cerca contemperare il sistema delle fratture e degli sprofondamenti con nuove idee, parimenti non tutte bene stabilite, che nel frattempo si sono venute formando a proposito delle Alpi. Da ciò deriva una certa incoordinazione fra le prime e l'ultima parte della grandiosa opera.

M. Bertrand, nel frattempo (1892) aggruppando insieme le diverse catene montuose, alla vecchia teorica francese del *rèseau pentagonal* fondata sulle fratture sostituisce la teoria del *rèseau orthogonal*, ammettendo che le pieghe sieno incrociate secondo i paralleli e secondo i meridiani, ma non ordinate intorno ai poli di rotazione bensì intorno ai poli magnetici, idea però che trovò pochi seguaci di fronte alle conclusioni meno ipotetiche del Suess.

Paolo Savi, nel distinguere la sua *Catena metallifera*, non essendo ancora conosciuti i terreni eocenici li avea attribuiti tutti al *Secondario*. Partendo poi sempre dal concetto dei diluvî di Cuvier e degli improvvisi subbissamenti, ritenne che per uno di tali movimenti avvenuto durante il Quaternario a sud del Monte Pisano, le acque tumultuariamente scendendo verso nord avessero trascinato i massi e le ghiaie distese a levante di questo monte. Inoltre non avendo notato a ponente, fra questo monte e il mare, i depositi pliocenici tanto estesi più a sud, suppose che uno sprofondamento prodotto da rotture li avesse fatti scomparire. Piacque quest'idea al Suess, il quale, estendendo il concetto del Savi, unì agli antichi monti toscani quelli del resto d'Italia littorali lungo il Tirreno fino alla Calabria ed al Messinese e suppose che facessero parte di una antica terraferma insieme con l'Arcipelago toscano, con la Corsica e con la Sardegna, terraferma che si sarebbe in epoca geologica recente sprofondata per dar luogo alla formazione del mare Tirreno. La *Catena metallifera* sarebbe l'ultimo residuo in

terraferma della regione sprofondata: con le rotture derivanti dallo sprofondamento sarebbero in rapporto i terremoti Calabro-Peloritani ed i vulcani delle Lipari. È lo stesso concetto architettato già dal von Hof per l'origine dell'Adriatico e dell'Egeo, ed è il concetto epico di Esiodo e di altri poeti greci sulla recente disgiunzione della Sicilia dalla Calabria da una parte, dall'Africa dall'altra, concetto accettato poi da una caterva di poeti e di geologi e paleontologi ed ammesso, come gli altri, nelle sue linee sostanziali, pur dal Suess. L'idea dello sprofondamento e dell'origine recente del Tirreno venne facilmente accettata dal zoologo e paleontologo Forsyth-Major (1882-83), più che altro allo scopo di spiegare le affinità che passano tra la Fauna Sardo-Corsa e le Faune continentali, quantunque, a vero dire, si sarebbe piuttosto potuto indagare subito il perchè esistano tra le due Faune, pur geograficamente così vicine, differenze così considerevoli, le quali provano che la comunicazione fra le isole e la terraferma odierna, se in qualche momento geologico vi fosse stata, doveva rimontare a tempi assai antichi. Difese quella idea specialmente il Cocchi (1867), e il Lotti (1886-1892), e l'ammisero il Cortese (1895) senza però ricordare il Suess, il Portis (1893-96), il Canavari, il Fischer (1902), il Baratta, il Merciai (1910) ed altri: alcuni francesi limitarono la riunione con la Corsica al solo litorale Nizzardo.

Prima ancora che uscissero le opere del Suess gli studi seguiti avevano cominciato a completare le cognizioni ed a rettificare mano mano le idee del Savi, mantenendo quello che di esatto vi era nelle osservazioni sue proprie.

Entrando così nella tettonica e nella orogenesi dell'Appennino, parallelamente a quella del Suess si è andata sviluppando in Italia una teorica propria, più di quelle del Dana e del Suess lontana dalle teoriche *catastrofiche*, e maggiormente conforme ai fondamenti *uniformitari* del Lyell.

Si cominciò (1875) a poco a poco a dimostrare che i massi e le ghiaie ad est del Monte Pisano sono pliocenici, che non scesero da sud trascinati da alluvioni per improvvisi subissamenti del Monte Pisano ma derivano da nord, dalla costa litorale pliocenica cui sono aderenti. Terreni eocenici si trovarono dovunque nella *Catena metallifera* e vi prendono anche parte alle pieghe: il Miocene in strati poco spostati copre la Sardegna, la Corsica, ed i litorali adiacenti del Tirreno: il Pliocene, se manca

attorno alle due grandi isole, trovasi però nel mezzo al Tirreno in Pianosa e da tutte le valli maggiori del littorale Franco-italiano si affaccia al mare: il Postpliocene cinge tutto intorno isole e continente e fu indicato pure ad ovest del Monte Pisano, dove Arno uscendo al mare solcò i terreni marini in guisa che fece supporre al Savi lo sprofondamento del Monte. Mari dunque e non terra occuparono in tutti questi tempi il Tirreno.

Nello stesso tempo si venne schiarendo la struttura dell'Appennino, le cui pieghe nella parte settentrionale sono disposte, nel modo che già il Suess aveva presupposto per altri sistemi, come le quinte d'un teatro, dirette quasi secondo il meridiano, con leggera divaricazione verso la valle del Pò, regolarmente terminanti al mare.

Esse nella parte centrale sono regolari e parallele; in quella meridionale sono ordinariamente brevi, ellissoidali, isolate: bensì l'estremo più meridionale, la Calabria, è costituito da rocce antichissime appartenenti al sistema Alpino o, come dice il Suess alle *Alpidi*, sorte negli ultimi periodi del Paleozoico.

Specialmente nella parte settentrionale il Miocene, ed in quella meridionale anche il Pliocene si alzano fino allo spartiacque fra Adriatico e Tirreno.

Per conseguenza l'ultima emersione della catena Appenninica come di tutta la *penisola* è recentissima, e lo è tanto più quanto si scende a sud; le sue pieghe scendono regolarmente al mare da ambedue le parti e desse sono simmetriche verso ambedue i mari, se non nella disposizione, certo nella successione cronologica degli strati; nè esistono quegli sprofondamenti littorali verso il Tirreno che il Suess aveva dedotto da un esame della carta topografica, prima che fossero pubblicate quelle geologiche. I vulcani pliocenici e quaternari, compreso il Vulture, che unico trovasi nel versante adriatico, non compaiono in regioni che accennino a cambiamento di zone stratigrafiche o tettoniche, od in continuazione di fratture, delle quali pe' vulcani di terraferma non si vedono tracce a traverso terreni recenti o antichi. Finalmente l'estremo più meridionale dell'Appennino ed i Monti Peloritani in Sicilia, in rispondenza ai vulcani delle isole Lipari non presentano indizi di sprofondamento, bensì di un rapidissimo, potente e ben chiaro, recente sollevamento. La Sicilia poi è emersa dal mare quasi tutta in tempi Quaternari, come Malta, Lampedusa e Lam-

pione a mezza strada fra essa e l'Africa, e la sua riunione all'Africa ed all'Italia, rotta poi da sprofondamenti, è un mito.

Nello stesso tempo che l'importanza dell'erosione marittima si veniva riconoscendo fuori d'Italia, si mostrava fra noi (1870) che la corrosione incessante delle coste rocciose da parte del mare è cagione continua d'arretramento delle medesime e della eventuale scomparsa di isole e di capisaldi serventi di saltuaria comunicazione fra regioni lontane: ma si tratta di fenomeni marini superficiali non già di sprofondamenti tettonici. Queste idee non hanno ancora sostituito quelle tradizionali contrarie sostenute tuttora fra noi da ragguardevoli autorità oltre che dal Suess; pure sono già in massima parte accettate dal Di Stefano (1909) e da altri.

Presso a poco le stesse cose si potrebbero ripetere per l'Adriatico. Il Neumayr (1882), sulle orme di von Hof e consenziente il Suess, aveva supposto che una terraferma, l'*Adria*, riunisse i due opposti versanti odierni di quel mare, e che di recente si sprofondasse e desse così origine al mare stesso.

Il Tellini (1900), considerando l'estensione dei terreni pliocenici nel versante italiano e nelle isole di Tremiti e di Pelagosa, aveva già ristretto i limiti di quella supposta terraferma e spostato alquanto l'età del suo ipotetico sprofondamento. Fondandosi sulla distribuzione dei ghiacciai nella penisola Balcanica e nelle Alpi Cvijs e Penck avevano dedotto che nel Quaternario l'Adriatico doveva essere esistito nei limiti odierni. Altre obiezioni implicite risultavano pure da qualche lavoro relativo ad argomenti parziali fatto senza intendimento di servire ad una o ad altra teorica. Pure l'ipotesi dell'*Adria*, desunta specialmente dalla dissimmetria che passa fra le due coste, orientale ed occidentale, si potè dire universalmente accettata dai geologi austriaci, e con poco minor fervore da quelli italiani (Niccoli e Traverso (1896), Artini (1896), Virgilio (1900), Salmoiraghi (1907), Taramelli). Nondimeno accennando alla già ricordata recente origine geologica dell'Appennino, alla conformazione delle sue pieghe scendenti verso l'Adriatico, alla presenza di terreni pliocenici di mare profondo tutto lungo il versante di esso, al loro notevole sollevamento, come al sollevamento, da alcuni messo in dubbio, di terreni quaternari recenti nella parte settentrionale dell'altro versante austro-ungarico; ai terreni miocenici, pliocenici e quaternari che sono in mezzo al mare; agli strati postpliocenici marini coprenti tutti i terreni più antichi

delle Puglie; alla stessa distribuzione delle faune e delle flore, è forza concludere che l'*Adria* pure sia un mito, e che niuna parte dell'Italia *peninsulare* sia mai stata riunita ad altra della Balcania. Bensì se la Penisola Balcanica ha cominciato a sollevarsi da più antico tempo, nei più recenti periodi si è sollevata maggiormente la penisola italiana, insieme con la Morea, oltre l'Ionio.

Questa negazione della pretesa *Adria* è già accettata in Italia da Béguinot (1910) per l'origine delle flore, dal Colamonico (1911) e da altri.

Alle stesse conclusioni occorrerà venire per il supposto sprofondamento di un continente detto l'Egeide, il cui posto sarebbe ora occupato dall'Egeo. Geologi russi, germanici, austro-ungarici, francesi, sulla guida, prima dello Spratt, poi del Neumayr e del Suess, lo accettarono (Philippson, Cvijic, Andrussow, R. Hoernes, ecc.). Il ritrovamento del miocene marino a Kasos per parte del Bukowski e del Major ne restrinse i limiti.

Pure l'esistenza di strati marini miocenici a Kalymnos ed a Karpatos, del pliocene a Kos dove fu inesattamente interpretato dal Neumayr, del postpliocene a Naxos ed in quasi tutte le isole e sul Bosforo, dovrà condurre a modificare profondamente le idee che si hanno in proposito.

Circa all'Atlantide che si pretendeva avesse riunito in altri tempi l'Europa e l'America, rimanendo come traccia della medesima le affinità di fauna e di flora tra i due opposti versanti, il Neumayr (1875) riprese in esame la questione e mostrò che i rapporti biologici si erano stabiliti a traverso l'Asia, essendochè le affinità della fauna malacologica e della flora tra le due regioni, dal terziario inferiore in poi, fino ad oggi, vadano notevolmente aumentando man mano che si proceda, non già verso ponente, ma verso levante. Lo Stehlin (1910) partendosi dallo studio comparativo dei mammiferi fra l'America e l'Europa dall'eocene in poi è arrivato ai medesimi risultati.

Il Penck a sua volta (1910), contrariamente al parere del Suess che suppone un troncamento degli strati littorali, ha osservato che almeno gran parte della periferia dell'Africa lungo l'Oceano Indiano ed il Pacifico ha gli strati disposti in modo che regolarmente scendono verso il mare. Nella stessa guisa Marinelli e Dainelli opinano che lungo il Mar Rosso e lungo la bassa valle del Nilo le stratificazioni non siano rotte e sprofondate, ma di-

sposte in maniera da racchiudere quelle depressioni in più o meno ampi sinclinali.

L'Issel però (1899) per il Mar Rosso ha manifestato un concetto consentaneo a quello del Suess.

Le predette osservazioni, coordinate pure con le teoriche dell'origine relativamente superficiale dei vulcani, delle cause specialmente vulcaniche, ma profonde, dei terremoti, della poca ammissibilità di estese e ripetute formazioni plutoniche di profondità, se fossero accettate, dovrebbero portare necessariamente ad un concepimento della orogenesi alquanto diverso da quello del Suess.

Prendendo a punto di partenza il lento raffreddamento e le variazioni di volume della terra non è necessario ammettere che questa superficialmente si screpoli dando luogo a fessure ed a sprofondamenti di alcune parti rispetto alle altre. Nell'interno, si tratti di gas incompressibili o di materiali solidi, ma dotati di fluidità potenziale, a causa delle altissime temperature e pressioni, le differenze di omogeneità, se pur esistono, debbono essere perequate.

Il disperdimento delle calorie che vi si verifica con estrema lentezza può avere per effetto di restringere le masse isotrope centrali con uniformità, senza rotture, come se si trattasse di una sfera metallica omogenea (Grubenmann). Un graduale passaggio connette e salda intimamente quelle zone centrali con le esteriori: ma quelle superficiali sono già completamente solidificate, e se pure per l'avanzamento del grado geotermico la temperatura va lentamente aumentando all'interno, però a rigore non si può parlare di un progressivo raffreddamento di quelle parti esterne, le quali già hanno raggiunto l'equilibrio termico fra l'entrata e la uscita. Data la capacità termica e la conducibilità di esse, il transito di eventuali calorie in eccesso emergenti dal centro, sia che si supponga questo incandescente fin dall'origine, sia che al calore si attribuisca una causa fisica o chimica indipendente, è ridotto a limiti estremamente bassi, ancora inferiori alla più bassa quantità di calore che per effetto della insolazione estiva possa giungere nell'interno della terra. Secondo i fisici la superficie terrestre riceve dall'interno meno che 2.10^{-4} cal. per $1'$ e per cmq : è una millesima parte del calore ricevuto in media dal sole, e quella perdita avviene a scapito particolarmente della re-

gione centrale nella quale il divario delle temperature è massimo. Poco importa al nostro scopo indagare se ed in quali proporzioni la contrazione dei materiali interni produca nuova energia termica o di altra specie.

È agevole ad ogni modo ritenere che la perdita di calore degli strati esterni, ma non ancora superficiali, del pianeta, se pur si verifica, sia talmente piccola da sottrarsi ad ogni calcolo positivo.

Non è quindi affatto necessario supporre che l'esterno della terra si screpoli per tensioni susseguenti al raffreddamento; anzi se una diminuzione di volume per disseccamento si manifestasse superficialmente, i fenomeni d'idratazione che incessantemente si verificano impedirebbero ogni rottura, perchè secondo gli studi del Van Hise essi, a spese dell'atmosfera, producono aumenti di volume calcolabili assai superiori alle diminuzioni che deriverebbero dal raffreddamento se superficialmente avvenisse. Perciò in seguito all'azione delle forze radiali conseguenti al raffreddamento e alla diminuzione di volume delle materie interiori, gli strati superficiali sono costretti a seguir queste ed a restringersi in minore spazio.

Ciò non può avvenire se non con una risoluzione verticale delle forze tangenziali operanti per ogni verso, cioè con ripiegamenti e contorcimenti esteriori, tanto più intensi, più svariati e più profondi quanto più sono antichi. L'eterogeneità delle rocce, le pieghe di età più antica, la morfologia superficiale preesistente, hanno influenza sull'andamento delle pieghe successive, e queste tanto meglio quanto più son giovani conservano la regolarità e il parallelismo fra sè stesse ed i rapporti con le pressioni che ne hanno determinato la direzione e che in generale non sono limitate a piccoli spazi; donde derivano i rapporti intravveduti dal Suess fra catene geograficamente assai lontane.

Questa serie di fenomeni implica più o meno ragguardevoli scivolamenti e spostamenti reciproci delle rocce secondo la loro diversa plasticità, fenomeno generalmente riconosciuto dal Gumbel, dal Heim e da tutti, ed implica indefinite rotture sopra tutto degli strati meno plastici, ma non già rotture radiali profondissime, anzi necessariamente le esclude.

Questo concetto porta come conseguenza l'altro della conformazione a sinclinale dei grandi bacini marittimi o « geosinclinali »

che dir si voglia, come appunto l'Adriatico ed il Tirreno e in generale il Mediterraneo, l'Atlantico, il Pacifico e la permanenza dei bacini stessi, in mezzo ai quali si vanno sollevando le terre, da tempi antichi.

Questa circostanza è ammessa dal Geikie (1882-1903) e da molti; ma è contraddetta, come si è visto, dai più, bensì per argomenti *a priori* i quali, trattandosi di cosa sottratta alla diretta osservazione, non possono invocarsi a pro' degli uni o a pro' degli altri. Non si escludono le formazioni di rialzi subacquei, come quello trasversale del Nord Atlantico ed altri, per effetto di eruzioni vulcaniche, o per effetto del fenomeno orogenetico, e si ammette che la intensissima corrosione prodotta dal mare sulle coste, notata oramai fino a ragguardevoli profondità, arrivi incessantemente a distruggere isole e terre facendo pure scomparire estese parti della superficie emersa.

Se coi dati della geologia osserviamo la periferia del Mediterraneo e dell'Atlantico, più ancora quella del Pacifico, trarremmo autorità a supporre logicamente che lo spazio del mare almeno dal Giura in poi sia andato diminuendo anzichè aumentando. I vulcani necessariamente escono da fessure, spesso ordinate in sistemi e spesso parallele alle pieghe; ma nemmeno dove gli sven-tramenti permettano osservare le vie di uscita si ha la visione di fratture uniche od a fasci apparenti sulla superficie. Si direbbe che le materie fuse escano come le sorgenti d'acqua sotterraneamente, lungo piani di contatto fra rocce diverse o fra sistemi di pieghe diverse più o meno permeabili, cioè più o meno suscettibili di fusione o di accesso alle materie fuse.

Fu dal Mellard Reade (1886), dal De Marchi (1909) e da altri obiettato che se si risolvessero le pieghe esistenti, completandone le parti asportate dalla denudazione e pianeggiandole da un estremo all'altro, si avrebbero eccessivi aumenti di volume ed amplificazione della superficie terrestre, che l'Heim, per esempio, supposeva di 120 km. a traverso le sole Alpi, e il Rudzki di kmq. 9,1 milioni per la totale superficie terrestre: ma son da ricordare gli scivolamenti e gli spostamenti, per effetto dei quali strati eterogenei molto alti, più o meno plastici, possono distendersi a superficie assai più ampie di quella primitiva e dar luogo a pieghe interiori le quali occupino poco maggiore spazio di quello che aveva prima la massa non disturbata. Si è perciò che i calcoli

fatti nelle predette guise sul raccorciamento del diametro terrestre sono tutti più o meno fallaci. Si è pure supposto da taluni, a mo' di obiezione, che le pieghe montuose siano permanenti e costanti in determinate regioni, ciò che contraddirebbe secondo essi il corrugamento per contrazione o per altro fenomeno esteriore; ma, a buon conto, la geologia non conferma quella supposizione.

Tale è la teorica che si è andata a poco a poco svolgendo in Italia nell'ultimo cinquantennio parallelamente alla teoria del Suess ed in opposizione a questa ed a quelle di Von Buch e di Beaumont, pur accettando varie fondamentali conclusioni dei suddetti insigni geologi.

Il vario modo esplicito od implicito d'intendere la formazione delle Catene montuose portò e porta diversi modi di comprendere e di esporre la stratigrafia.

Chi segue le idee del Von Buch e del Beaumont, ed anche talune di quelle più o meno modificate del Suess, figura gli strati interrotti da faglie e da dislocazioni in tanto maggior numero quanto maggior peso egli dà alle teoriche predette. Per molti autori fuori d'Italia, ma non più quasi fra noi, non esistono ancora pieghe, contorcimenti, scivolamenti di strati. Presso altri, che non sono i più in Italia, ma che sono già in gran numero (Dainelli, Dal Piaz, Franchi, Fucini, Lotti, Marinelli, Novarese, Pantanelli, Stefanini, Stella, Zaccagna ecc.), presso quasi tutti i geologi svizzeri guidati da Alberto Heim (1878) ed alcuni francesi sotto la scorta di M. Bertrand, le faglie e le dislocazioni sono indicate con parsimonia quando l'osservazione le fa direttamente constatare.

Sogliono indicare molte faglie per solito quando esse servono a velare un'osservazione affrettata o tradizionale, od un comprendimento mancato.

In Italia eransi da tempo studiati e schiariti i rovesciamenti famosi di Petit Coeur e del Promontorio occidentale della Spezia. Gli esempi di rovesciamenti si erano successivamente moltiplicati anche in Italia; ma specialmente nelle Alpi svizzere per opera di una pleiade di maestri insigni come Studer, Gerlach, Escher von der Linth, ecc. Nel 1878 Alberto Heim, riprendendo una tesi dell'Escher, illustrava le pieghe del Tödi-Windgällen implicanti una serie di inversioni di strati per tratto lunghissimo a settentrione del Gottardo, ed aggiungeva varie considerazioni importanti per lo studio dell'origine delle montagne. Era il primo

esempio, minutamente illustrato, di un amplissimo e lungo rovesciamento.

Marcel Bertrand, combattendo la eccessiva tendenza dei suoi compaesani alle *faglie*, cominciava ad illustrare coi medesimi concetti del Heim, prevenendo in molta parte teoriche anche più recenti, vari punti delle regioni nordiche della Francia e del litorale di Provenza, mettendone in luce i rovesciamenti, che per la diretta continuazione del litorale italiano, cioè pei promontori della Spezia e per il Savonese erano stati da gran tempo o quasi contemporaneamente stabiliti da Pilla, Pareto, Capellini e da altri.

Ad opera di vari geologi si era venuta pure precisando la struttura a ventaglio di molte parti delle Alpi occidentali, effetto probabile della stessa risoluzione verticale delle forze tangenziali o forse della espansione avvenuta negli strati schistoso-arenacei cristallini per causa dei fenomeni superficiali di idrossidazione.

Bittner, Marinelli, Tornquist, Dal Piaz, Stefanini, Molon hanno osservato tale struttura pure nelle Alpi orientali.

Fra noi fu fatta l'osservazione, applicata in vari tratti delle Alpi Apuane, del Monte Pisano, dell'Appennino Calabrese, dei Monti Peloritani, che nelle catene massicce alquanto antiche, il contatto fra rocce di plasticità diversa nelle pendici esteriori è accompagnato da espandimenti e da inversioni più o meno generali, fatto che dà molta presa alle teoriche recentissime dette del carreggiamento. Ma la vera circostanza che dette l'impulso a queste fu il traforo del Sempione. Una Commissione di geologi competentissimi (Alb. Heim, Lory, Renevier, Taramelli) aveva interpretato la montagna, secondo i concetti correnti, come un anticlinale regolare, indicando una determinata serie di rocce che avrebbe dovuto essere incontrata nell'imminente traforo. I fatti non corrisposero; onde si disse che la geologia era fallita. Sotto lo *gneiss* nel quale entra il traforo dal lato italiano non fu trovato il presupposto micascisto; traversato tutto lo *gneiss* si trovarono strati superficialmente in continuazione di quelli che si vedono sovrastare ed essere esteriori a questo, pendenti non già verso la Svizzera, come si era previsto, bensì verso l'Italia. A vero dire, a lavoro già alquanto avanzato, lo Schardt e lo Schmidt consapevoli della complicazione degli strati alpini e fondandosi pure sur un profilo del Gerlach per la Val Devero, avevano previsto meglio la circostanza verificata, partendo però dal concetto

che gli *gneiss* di quella e delle confinanti regioni Alpine, benchè litologicamente diversissimi tra loro, formassero la roccia più antica, e che questa roccia antica per via di pieghe lunghe anche parecchie decine di chilometri e ripetute parecchie volte fosse penetrata in mezzo agli schisti cristallini sovrastanti, ritenuti, quasi senza eccezione, perfino d'età secondaria, sdraiandosi, diventando orizzontale e producendo l'apparenza di ripetute, regolarissime, interstratificazioni. È questa la teorica dei carreggiamenti (*Charriage, Ueberschiebung*).

Fu più tardi osservato per il Sempione (1910) che a spiegarne la struttura, sostanzialmente assai semplice, non necessitava ricorrere a simili ipotesi: che non si erano trovati fossili secondari negli schisti cristallini locali; che perciò nulla autorizzava a disgiungerli dagli altri schisti antichissimi pur del resto d'Italia e delle isole adiacenti; che non si erano incontrati i presupposti schisti sotto gli *gneiss* perchè il traforo era stato tenuto più alto del piano di contatto; non dovesse sorprendere l'inversione apparente degli schisti superiori scesi ad inclinare sotto lo *gneiss* verso il lato svizzero perchè si tratta della struttura a ventaglio comune nel lato esterno dei massicci montuosi; verificarsi lo stesso fatto all'aperto, nel pendio opposto del massiccio *gneissico* verso il lato italiano del fiume Toce e del Lago Maggiore; essere irresolubile la piega del Sempione spiegata secondo la nuovissima ipotesi; essere il profilo della Valle Devero del Gerlach, preso ad esempio, fondato sopra parvenze inesatte.

Ciò non ostante la teorica è stata poi applicata dagli amatori di novità da per tutto, ad estese serie di rocce anche recenti, trasportate per centinaia di chilometri lungi dal loro punto di partenza, ed è stata accettata anche dal Suess nell'ultimo volume della sua grande opera. Essa è adottata comunemente dai geologi che vanno per la maggiore e da Alberto Heim stesso in Svizzera, in Francia, e così pure, sebbene senza entusiasmo, da parte degl'Italiani che lavorano nelle Alpi occidentali (Franchi, Stella, Novarese) e in parte dal medesimo Taramelli. Non ha però incontrato favore presso la maggior parte degl'Italiani, e presso i geologi austro-ungarici a malgrado della grande autorità del Suess.

Prudenti, come sempre, stanno gl'Inglesi; e a sè, forse sdegnosi di novità non loro proprie, gli Americani.

Come pei terremoti e pei vulcani, l'Italia è campo principale dei geologi stranieri per questi studi.

Nelle prime opere, per mancanza di carte geologiche moderne, il Suess era obbligato a fondarsi sulle carte topografiche, supponendo nei golfi e nelle insenature del litorale inabissamenti che altri ritenne insussistenti. Così oggi molti geologi stranieri sostenitori dei carreggiamenti si valsero delle carte geologiche comparse nel frattempo, interpretandole a modo loro; sistema troppo pericoloso per chi voglia assurgere a teoriche generali senza indagare da sè la struttura del suolo o per lo meno senza conoscere quel tanto che è stato scritto. Così è avvenuto che Schmidt fa derivare l'Appennino da oriente dalla penisola Balcanica; Steinmann (1907), Termier (1909-10) invece dalla Corsica, da occidente. Lugeon e Argand (1906) fanno derivare la Sicilia dal Tirreno, e dalla Sicilia la Calabria. Limanowski (1909) ed Arbenz (1908) con minore esagerazione suppongono grandi carreggiamenti nella Sicilia orientale; Boussac (1910) suppone carreggiamenti nell'estrema regione eocenica della provincia di Porto Maurizio, dove le rocce sono disposte ad anticlinali regolari, e così via, per tacere dei grandiosi carreggiamenti che Schardt, Lugeon, Termier, Schmidt ed altri suppongono per le Alpi occidentali. Fecero ragione delle ipotesi di Schmidt, il Martelli (1) ed i geologi austriaci; di quelle di Termier per l'Elba il Novarese e il Lotti (1910); di quelle di Lugeon e Argand il Di Stefano (2), e per l'Appennino in generale il Taramelli (3).

Non credo che valga la pena perdersi a considerare ipotesi fatte senza conoscenza dei luoghi e con visite superficialissime là dove generazioni di geologi si affaticarono a stabilire la stratigrafia: se i fatti illustrati saranno ovunque del genere di quelli presi in considerazione dai geologi citati converrà perdere la fiducia nella teorica dei carreggiamenti per ogni parte della terra. Essa è una teorica temporanea, il cui eccesso è destinato a sparire, come sparve dopo breve periodo quella dei graniti alpini eocenici.

Fra noi, oltre i geologi che rilevarono le Alpi occidentali, i

(1) *Di alcune recenti idee sulla struttura dell'Appennino*, 1908.

(2) *I pretesi grandi fenomeni di carreggiamento in Sicilia*.

(3) *A proposito di una nuova ipotesi sulla struttura dell'Appennino*, 1908.

quali non si sottrassero alle idee dei geologi degli Stati confinanti, fu per vari luoghi fautore della teorica il Lotti: egli suppose carreggiamenti per il Monte Pisano (1888-1909), dove la serie, pari a quella di alcuni tratti delle Alpi Apuane, è ritenuta da altri regolarissima (1908), e pei dintorni di Spoleto (1902), località ancora non sindacata. Il Rovereto li sostiene per la Corsica, pei dintorni di Savona (1909) a cagione dei suoi spaccati non normali all'inclinazione bensì paralleli agli strati, per la Pania (1903) nelle Alpi Apuane, per Capri (1907). Fecero ragione del vero per la Pania lo Zaccagna (1904), per Capri il De Lorenzo (1907).

L'ipotesi dei carreggiamenti, tutt'altro che acquisita alla scienza, serve ad alcuni di rinforzo ad una teorica che si è venuta recentemente formando per ispiegare la origine delle montagne in contrasto con quella del raffreddamento. È questa la teorica della isostasi proposta dal Dutton nel 1874.

Mediante le osservazioni del pendolo già si erano constatate singolari differenze nella distribuzione della gravità sulla superficie terrestre; per modo che Filippo Fischer (1868), Bruns (1878), R. S. Woodward (1888) ed altri avevano pensato doversi ammettere eccessivi divari nel livello dei mari, perfino dei laghi, presso le coste e al largo. Innumerevoli osservazioni si sono fatte in tutte le parti del mondo con quei molteplici mezzi che la scienza moderna consente. Si è veduto che la reale forma della Terra non corrisponde perfettamente a quella di uno sferoide di rotazione nè ad altra figura geometrica, onde il Listing (1872) proponeva per la medesima il nome di *Geoide*.

Dalle osservazioni fatte dal 1865 al 1873 e con più esattezza nel 1909 negl' *Himálaja*, da quelle compiute da Sterneck e calcolate da Helmert nelle Alpi tirolesi, pubblicate nel 1892, e da altre ancora, si è dedotto, come già aveva accennato Pratt fino dal 1852, che la densità della materia terrestre sia più comunemente alquanto deficiente all'interno dei rialzi montuosi, massimamente negl' *Himálaja* e nella Transcaspiana, meno nel Nord America ed in Europa, e sia alquanto esuberante lungo i littorali marittimi, ancorchè costituiti da coste rocciose, nelle pianure padana, ungherese e della Germania meridionale, sul versante orientale dell'Adriatico, là dove alta serie di strati recenti copre le formazioni di rocce acide più antiche, probabilmente non costrette a minori spazi in pieghe superficiali e non soggette ai

fenomeni d'idrossidazione ed alle trasformazioni molecolari delle superficiali zone.

In Calabria ed in Sicilia furono fatte misure da Venturi e Riccò, in Piemonte dall'Amighetti, coi medesimi risultati.

La deficienza non segue però sempre la massa montuosa, anzi secondo il Costanzi che pubblicò le carte delle isoanomale della gravità nel Giappone e nell'Europa centrale, desumendole dai lavori fatti fino a tutto il 1903, si sposta verso le circostanti regioni più basse. Le isole oceaniche presentano un eccesso. Le misure fatte da Nansen sul mare Artico, corrette da Schiøttz presentano in media una piccola anomalia positiva; quelle pubblicate da Hecker (1907) sull'Atlantico e sul Pacifico mostrano in prevalenza un difetto di massa; ma alcune un eccesso probabilmente in rapporto con le rocce che costituiscono il fondo. In generale, partendosi dalle misure, sebbene incomplete, fatte sino ad oggi, la superficie del geoide o elissoide terrestre, secondo Helmert devia di non oltre ± 200 m. da quella di uno sferoide di rivoluzione.

La maggior densità delle isole oceaniche, della penisola Indiana, dell'Etna può essere spiegabile con la natura basaltica della massima parte di quelle regioni; essendochè la roccia che le costituisce possa raggiungere densità fin di 3,2. Per le Alpi e per l'Appennino, non però per altri luoghi, le anomalie negative paiono essere in qualche rapporto con la distribuzione degli schisti cristallini nelle prime, delle rocce verdi serpentinosi nel secondo, tutte profondamente idrossidate, ovvero da antichi tempi emerse e soggette ad intense trasformazioni molecolari.

Del resto semplificando il metodo di calcolo proposto dal Bouguer nel senso indicato dal Faye fin dal 1880, sparirebbero in massima parte le differenze fra le misure delle gravità teoretiche e quelle dedotte dal pendolo. E. Suess, nella sua classica opera (1909) opina che le eccessive anomalie non si concilino con le circostanze geologiche, e che, ridotte ai loro giusti limiti, esse derivino da variazioni nella natura delle rocce costituenti gli strati superficiali. Ad ogni modo, per le vicende geologiche, una reale differenza di densità, senza un'assoluta corrispettiva compensazione, è probabile che possa esistere fra i differenti settori della massa terrestre radianti dal centro.

Il Dutton (1874), considerando dunque i difetti di massa sotto

i continenti e gli eccessi sotto i mari, afferma che la superficie del pianeta deve tendere continuamente a mantenersi in equilibrio, cioè in isostasi; perciò, man mano che la denudazione porta via materiali dalle terre emerse e li accumula in mare, questi aumentando la massa del fondo e gravando su questo, data la plasticità della terra, debbono produrre una spinta verso i luoghi donde la massa viene a mancare, cioè verso i litorali dove già sono in giuoco le forze sollevatrici. Così, secondo il Dutton, si formano le ripetute pieghe delle catene litorali che egli osserva nel Nord America; così si alzano i monti mentre i mari si affondano.

Il Bailey Willis (1907) tentò applicare questa teorica alla formazione dell'Asia; ma il Suess mostra che i fatti geologici non vi corrispondono.

Il De Marchi (1) fra noi ha cercato dare alla teoria basi matematiche fondandosi sulla ipotesi della completa elasticità della terra, che non tutti accettano.

Una ipotesi simile quasi precorritrice di quella dei carreggiamenti e di altre che ne derivarono fu proposta dal Bombicci (2) (1882-94), il quale, partendosi dallo studio dell'Appennino bolognese, ritenne che sur un suolo per altre cause rialzato oppure verso una regione soggetta a deprimersi le pieghe potessero formarsi per scivolamenti dall'alto, derivanti dalla gravità e producenti in basso pressione tangenziale e pieghe.

A parte le incertezze che tuttora regnano sull'equilibrio isotatico, l'ipotesi del Dutton, pur da tanti accolta, implica un'elasticità della terra maggiore forse che gli studi fisici non consentano. Quando la si esamini alla stregua dei fatti geologici si vede che non solo lungo i mari si formarono e durano a formarsi catene montuose.

Nè lungo la massima parte dei mari quella formazione di catene parallele litorali si verifica; così non lungo il Mare Artico, non lungo quasi tutto l'Atlantico meridionale, non a ridosso della massima parte dell'Oceano Indiano.

(1) *Teoria elastica delle dislocazioni tectoniche e sue applicazioni geologiche*, Roma, 1907.

(2) *Il sollevamento dell'Appennino bolognese*, Bologna, 1882.

Viceversa un mare piccolissimo come l'Adriatico, cui fino ad età recenti non correvano fiumi nè alluvioni, ed il cui fondo logicamente si ritiene soggetto a sollevamento, è cinto da pieghe recentissime le quali hanno inalzato depositi eocenici di massime profondità.

La primitiva origine e la permanenza dei sistemi montuosi tendono a mostrare che, almeno nella massima parte di essi, la forza sollevatrice è continua e vince d'assai le forze denudatrici, per modo da conservare ed amplificare a dispetto delle medesime la regione sollevata, e ciò non si accorda con l'ipotesi isostatica.

Come essa non spiega la conservazione dei rialzi montuosi, così, osserva il Woodward (1889), la teorica non ne spiega le prime origini; nè spiega come lo stato d'equilibrio mai sia stato raggiunto in passato, e come le circostanze odierne non accennino ad una sopravveniente diminuzione delle forze sollevatrici. La superficie della terra ha piuttosto i caratteri di una volta architettonica ben salda, ed il Gilbert stesso (1895), che pure è fautore sotto alcuni rispetti dell'isostasi, dalle misure di gravità fatte agli Stati Uniti nel 1894 deduce che « la terra è capace di sopportare assai maggiori pesi che i suoi colleghi americani non credano », e che l'alternativa di degradazioni e di deposizioni non è sufficiente a spiegare l'innalzamento continuo delle montagne rispetto alle depressioni adiacenti. Del resto i materiali derivanti dalla denudazione delle terre si depositano attorno ai continenti, ma al largo non si hanno che depositi derivanti dai vulcani del posto o sedimenti pelagici abbandonati da animali, i quali, con rotazione continua, traggono la materia calcarea o silicea dalla distruzione di animali precedenti e probabilmente in assai minor parte dai sali che le acque disciolsero ai continenti con distruzione chimica proporzionatamente assai inferiore a quella meccanica.

Ora se i materiali depositati non lungi dalle coste agissero con spinte verso i continenti già sollevati, parrebbe dovessero agire non meno verso il fondo dei mari gravati via via da pesi minori che non lungo le coste. Finalmente il lavoro meccanico necessario non solo a trasportare le rocce dei monti fino a migliaia di metri sopra il fondo dei mari, a vincere gli attriti, la gravitazione, ma pure a costruire le pieghe, risponde ad una somma

di energie così grandemente superiore a quella prodotta dalla pressione di materie avventizie aventi la stessa densità delle terre donde provengono, da mostrare che la teorica della isostasi non ha fondamento geologico o meccanico, che bisogna perciò ricercare qualche altra causa permanente la quale disturbi l'equilibrio e questa causa pare non possa trovarsi fuori della secolare contrazione od anche fuori di trasformazioni chimiche e fisiche le quali avvengano nelle zone esteriori della terra.

Varie altre teoriche secondarie furono pure proposte in questo cinquantennio per ispiegare l'origine delle montagne, come quella di Mellard Reade che le attribuisce ad espansione per l'inalzamento del grado geotermico negli strati che via via si depositano, di Osmond Fischer che le fa derivare dai moti convettivi del magma interno, di Von Petrinò che le raffigura come una serie di onde, parallele all'Equatore, solidificate nel tempo che la materia terrestre, ancor fluida o plastica, si accumulava all'Equatore stesso per la rotazione terrestre, del Joly che ammette nelle medesime l'azione della termalità svolta dal radio contenuto nei sedimenti e nei materiali eruttivi, del Puggard e del See che implica spinte derivanti dalla penetrazione di grandi masse d'acqua marina nell'interno e dalla loro successiva trasformazione in vapore acqueo, ecc.

SPOSTAMENTI DI LIVELLO FRA IL MARE E LA TERRA.

Non solo per effetto di pieghe, ma per varie altre ragioni si può spostare il reciproco livello del mare e della terra.

Ritiene il Suess che tali spostamenti da lui chiamati positivi o negativi, secondochè la terra avanza o si ritira rispetto al mare, derivino da semplici oscillazioni di livello nei mari, non già da movimenti propri del suolo, all'infuori di quelli che derivano dalla secolare contrazione.

Niuno più mette in dubbio che variazioni avvengano e siano avvenute in certe proporzioni nella temperatura, nella salsedine e nelle altre circostanze fisiche delle acque marine, e molto più nella quantità, e nel livello delle medesime per variazioni della velocità della rotazione (Croll, W. Thompson) o per spostamenti del suo asse, per variazioni dei periodi glaciali (Pratt

1866, Croll 1874, De Lapparent 1888, Von Drygalski 1889, Penck, W. Thompson), delle temperature, delle precipitazioni acquee, per riempimenti, amplificazioni o retrazioni di terre.

Bensi i geologi non hanno accettato l'opinione che le terre non siano soggette a movimenti loro propri, oltre a quelli ammessi pure dal Suess per uno o per altro luogo che derivino da terremoti o da vulcanicità.

Dei lenti moti del suolo che propose chiamare *bradismsi* compilò un utile volume Arturo Issel (1).

Osservazioni fatte lungo le coste orientali e meridionali del Giappone (Pumpelly 1866, Bickmore 1868, Milne), dal Labrador a Terranuova (Daly 1902) e sopra tutto i classici studi antichi e moderni dei geologi scandinavi e finlandesi nel Baltico, riassunti da Holmström (1888) Petersen (1878-90), Sandler, De Geer (1889-1898, ecc.) hanno mostrato che ivi e fino alla Siberia, allo Spitzberg, alla Nuova Zembla sono dei sollevamenti notevoli proprio attribuibili alla litosfera e non all'idrosfera come, per il Baltico, aveva ingegnosamente suggerito il Suess.

Del così detto tempio di Giove Serapide a Pozzuoli si occupò pure il Suess (1885) che lo ritiene emerso contemporaneamente alla eruzione del Monte Nuovo del 1538. Il Brauns (1898) invece crede che tutte le storie di variazioni di livello del mare avvenute colà non abbiano fondamento, perchè il così detto tempio sarebbe invece una piscina originariamente costruita sott'acqua, opinione assai verosimile.

Dei movimenti risentiti da tutta la costa dei Campi Flegrei fa minuziosa descrizione il Günther che vi afferma il più delle volte l'esistenza di abbassamenti, fondandosi molto sulle corrosioni della spiaggia e sulle rovine subacquee. Non bisogna dimenticare che la pozzolana del paese era eccellentemente usata nelle costruzioni subacquee; che Pozzuoli, come dice Strabone, traeva il nome dai pozzetti scavati, come oggi, nella spiaggia sotto il livello del mare per la raccolta delle acque termali, sì che il tempio di Giove sarebbe appunto, come ritengono molti, uno stabilimento di terme, fin dall'origine costruito sotto il livello del mare, paragonabile alle non dissimili terme continentali romane di *Aquae Sulis* o Bath in Inghilterra; che i ricchi Romani so-

(1) *Le oscillazioni lente del suolo o bradismsi*, Genova, 1883.

levano spesso fare dei recinti murati sotto il livello del mare per l'allevamento e per la conservazione dei pesci come risulta da un notevole recente lavoro di Del Rosso (1905) che tratta pure alcune delle nostre questioni; e che i Napoletani fecero sempre e anche oggi fanno simili costruzioni subacquee.

Nè va dimenticato che già Cassiodoro descriveva quegli stessi luoghi dei Campi Flegrei come pieni di costruzioni subacquee fatte cento o poco più anni prima.

Però il De Lorenzo come T. Günther (1903) reputano che in taluni punti si siano proprio verificati degli abbassamenti.

Il Mercalli (1905), stando alle più recenti osservazioni, credette possibile che il solito tempio di Giove vada oggi abbassandosi ed invocò l'apposizione di un capo saldo acciò le livellazioni di precisione possano determinare bene i fatti.

Del resto in tutte le coste attorno al Mediterraneo dove siano state fatte osservazioni si è visto che i terreni quaternari, sotto forma di panchina nelle coste calcaree, di sabbia altrove, sono, dove più, dove meno, sollevati: lungo le coste orientali dell'Adriatico molti interpretano la presenza di conglomerati e di panchine sopra il livello del mare come accumulazioni fatte da burrasche e da venti; ma l'altezza cui giungono, la relativa uniformità dei livelli e spesso la regolarità della stratificazione si oppongono a questa opinione.

Si dovrebbe credere perciò che le terre tutto intorno al Mediterraneo si siano sollevate o che il livello del mare si sia abbassato forse pel ragguardevole cambiamento del clima dall'epoca glaciale in poi o più probabilmente per cause che ci sfuggono. Dall'osservare le tracce di prevalente sollevamento che sono indicate in tutto il mondo lungo le coste rocciose si sarebbe quasi tentati di credere esatte le conclusioni del geologo russo Trautschold (1869-1883) sulla secolare diminuzione di livello dei mari: ma non bisogna correre troppo in queste supposizioni.

Il sollevamento non è però uniforme dappertutto. Dal Seguenza, indi da altri è stato messo in luce il sollevamento, uno dei più grandiosi notati, che si è manifestato dal pliocene in poi nelle Calabrie dove prima supposevasi uno sprofondamento. Tutto l'Appennino meridionale, le Puglie, la Sicilia, gl'isolotti di Lampedusa e Lampione, e Malta, si sono sollevati durante il postpliocene e dopo, e non è il caso perciò, si ripeta, di pensare a rotture

dello stretto di Messina, a connessioni della Sicilia con l'Africa o con la Calabria, delle Puglie con la Balcania, ecc. Da quanto so il sollevamento è poco meno potente nell'estremità meridionale della Balcania stessa.

In Italia il sollevamento delle coste rocciose seguita con sempre minore intensità, ma senza venir meno, verso Settentrione e passa oltre alla penisola.

Più intenso lungo il Tirreno, lungo le Alpi occidentali e lungo tutto il versante adriatico dell'Appennino pare vada diminuendo lungo le Alpi orientali verso le regioni austro-ungariche.

Sull'avanzamento del delta del Po scrissero Giovanni Marinelli (1898), poi il Baratta (1907) mostrando che in certi anni, alternativamente, la spiaggia per alcuni tratti si ritira. Così il Toniolo ha scritto (1910) delle alternative di arretramento e avanzamento della spiaggia di Bocca d'Arno arrivata forse al suo stato di regime o vicina ad esserlo. Ed il Ponzi (1860) si occupò del delta del Tevere.

Devesi ricordare che l'insieme dei fenomeni i quali comprendono avanzamento o arretramento, e sollevamento o abbassamento di spiagge, meglio che altrove si coordina e s'intende in Italia sotto l'ammaestramento antico e continuo della natura, evitando così gravi incertezze ed errori i quali preoccupano altri geologi. I vari fenomeni, anche apparentemente contraddittorii, come l'avanzamento e l'abbassamento di una spiaggia, possono essere contemporanei. Le spiagge sottili all'intorno di ampie, non troppo profonde e riparate insenature marine o alle foci dei fiumi si avanzano a scapito del mare fino a che non abbiano raggiunto il loro stabilimento che può essere alterato da opere artificiali; da modificazioni anche impercettibili di promontorii e di coste adiacenti; dal deviare di fiumi o di torrenti che rifornivano la spiaggia, due circostanze che sembrano essersi verificate per le spiagge di Chiavari (Raddi 1908) e di Laigueglia e per altre (Rovereto 1903); da aumenti di profondità del mare che rendono più facile l'azione distruggitrice di un fortunale di fronte all'azione ricostruttrice d'un lungo periodo di quiete, come sembra verificarsi a Boccadarno (Toniolo 1910). Nella stessa guisa alterasi, a solo toccarlo, il regime naturale di un corso d'acqua.

Il meccanismo dell'accumulazione e dello spostamento dei materiali frammentizi lungo le spiagge sabbiose fu messo in chiaro

dal Cialdi (1866-76) che attribuiva quei fenomeni al suo *flutto corrente*, dal Cornalia (1891) che li attribuiva al *moto ondoso*, e da altri i quali chiamarono quella forza di trasporto con nomi diversi. Il Krümmel (1887) sottopone quel movimento ad analisi matematica e paragona il problema ad alcuni di quelli della balistica esterna. De Caligny e Bertin (1879) e Hagen (1863) fanno esperimenti sullo stabilimento delle medesime spiagge.

Nello stesso tempo che le spiagge sabbiose si avanzano per una quantità di fenomeni secondari, specialmente intorno alle foci dei fiumi, si deprimono, e deprimonsi gli edifici posti in sovraccarico senza le debite precauzioni.

Ciò vedesi a Venezia ed in tutta la bassa pianura padana e nel territorio già paludoso di Pisa, onde si originò, fin dai tempi della costruzione fatta da valenti architetti i quali non erano ingegneri, la pendenza del campanile che ha dato luogo a tante controversie (Cuppari e Commissione pisana, Goodyear).

Ciò non toglie che tutto il sottosuolo profondo di queste spiagge possa essere soggetto a sollevamento, come appunto avviene nel bacino padano. Il Taramelli, dando importanza al deprimersi della pianura alluvionale e non agli strati pliocenici tutto intorno altamente sollevati, ritiene che essa tutta si deprima. Talora in Italia, e più fuori, il ritrovare sotto il livello dei mari resti d'industria umana, fossili di animali continentali, depositi vegetali, tronchi d'albero verticali per nascita in posto o per trasporto, è considerato come prova di abbassamenti, quasiché le alluvioni non potessero trascinare quegli oggetti sotto il livello dei mari, o le spiagge alluviali non si deprimessero generalmente sotto il livello medesimo, o non esistessero dovunque stagni e paludi litorali d'acque dolci aventi il fondo a molti metri sotto il livello del prossimo mare.

Simili nozioni furono applicate da noi per mostrare l'eventuale contemporaneità di livello di formazioni marine e d'acqua dolce di età passate anche nei terreni pliocenici (Pantanelli ed altri contro Pareto, Mortillet, ecc.) là dove altri vedeva oscillazioni incessanti dei livelli medesimi. Così pure, fuori d'Italia, dimenticando gli ammaestramenti che danno le spiagge nostre, si considerano quasi sempre prova di abbassamenti i residui di costruzioni subacquee d'epoca romana o anche medioevale.

Le coste rocciose, si è visto, da noi generalmente si sollevano

ma nello stesso tempo si ritirano corrose dal mare; così sparvero e durano a scomparire case, ville, terre, littorali ed intere isole.

Ai tanti fatti già noti a chi si era occupato di oceanografia riguardanti le forze distruggitrici del mare, altri nuovi se ne aggiunsero, e non accennerò se non alcune fra le recenti osservazioni di energia delle onde le quali sono molto inferiori certo a quelle che si possono verificare in ambienti ed in tempi non suscettibili di normale osservazione.

Il *mare di fondo* fu risentito anche in fondali di 500 m. tra le Färoer e la Scozia (Tizard 1883); perciò il fondo viene sommosso e spostato, e sabbie e conchiglie compaiono sulla tolda dei bastimenti alzate anche da 25 m. di profondità. Nè ciò stupirà chi, tenendo dietro ai rilievi fatti dal nostro R. Istituto Idrografico, osserva i mutamenti di grandi fondi notati in brevi anni nel mare calabro siculo, e le ghiaie diffuse fino a circa 400 m. nel fondo dello stretto di Messina.

L'americano Gaillard ricorda i frangenti alti più che 60 metri (11 febbraio 1902) al faro di Tillamook sulle coste dell'Oregon. Stevenson (1892) calcola lo sforzo verticale di siffatti frangenti nel canale di Bristol, a 7 m. d'altezza sul livello normale, in 11500 kg. per mq. di superficie con una spinta orizzontale di 137 kg. per mq.

Narra egli sulla fede degl'ingegneri locali come nel porto di Wick in Scozia la testa del frangiflutti costituita da tre grandi massi coperti da un monolito saldamente unito, tutti in cemento, del peso di 1350 tonnellate, su un fondo di 10 m., da una mareggiata del dicembre 1872 sia stata trascinata tale e quale circa 15 m. verso terra.

Non fa bisogno perciò di ricorrere, senza alcun'altra prova, a trasporto di ghiacciai, come fecero alcuni geologi per spiegare la presenza di grandi massi nel miocene dei Colli Torinesi o nel pliocene d'altrove distribuiti al piede dei littorali marini. Lo Stoppani, Issel, Cialdi, Cornalia, Mazzuoli, Rovereto, Meneghini, Omboni ed alcuni altri italiani sulle orme di Lyell, fin dal principio del cinquantennio, e fuori Peschel (1879), W. Ramsay, Richthofen (1882), Th. Fischer (1885-87), Krümmel (1884), Philippson (1893), Penck (1864) hanno riconosciuto la straordinaria importanza di simili abrasioni nella morfologia delle terre littorali. Però l'eventuale azione del moto delle acque su fondi marini, anche

superiori a 200 m. come si credeva prima, ammessa da tempo da alcuni italiani (Cialdi e altri), non è entrata ancora nel dominio universale della scienza.

La distruzione operata dal mare nei secoli è intensissima. Pure questa azione che è uno dei fattori geologici più importanti nel plasmare la superficie terrestre e nel produrre gli orli e i bassifondi continentali, ma che ha dei limiti superficiali, viene confusa con sprofondamenti i quali interessino interi settori del pianeta e derivino da vulcanicità, da terremoti o simili. È questo uno dei principali divari nel modo di vedere fra la scuola attuale, ch'io dirò dello sprofondamento, patrocinata anche dal Suess, e le altre.

A riprova di eventuali sprofondamenti addussero sovente le valli sommerse, cioè i solchi sottomarini che trovansi nel prolungamento di valli terrestri, e che ritengonsi come queste d'origine subatmosferica e residui di tempi nei quali tutta la regione era emersa, idea non partecipata dal Suess (1888).

Un tale solco nelle alluvioni alla foce del Rodano nel lago di Ginevra mostra il Forel (1885) che può essere solo di formazione e di mantenimento attuale per effetto di correnti subacquee. Il solco nelle alluvioni alla foce del Congo è formato secondo Buchanan (1887) dalle correnti marine che arrestano le alluvioni a destra ed a sinistra della foce. Se ne trovano pure alle foci alluviali del Reno e dell'Adour probabilmente formati dalle medesime precedenti ragioni: così alle foci dell'Hudson (Spencer) e di fiumi della California (Lindenköhl (1885) e G. Davidson che proposero appunto la teorica), così alle foci del Douro, del Tago e di fiumi della Gran Bretagna.

Issel (1) e Rovereto (1903) li notano all'uscita in mare di quasi tutte le valli della Liguria e vi trovano una prova di abbassamenti, accettata dal Taramelli. Giova notare che il Rovereto fa rimontare quelle valli perfino all'eocene; ma egli è partitante dell'idea, probabilmente non accettabile da tutti, che i fenomeni geologici si susseguono con durata di tempo grandemente inferiori a quelle d'ordinario ritenute, onde per lui dall'eocene ad oggi sarebbe breve il passo: alcune di quelle valli possono bensì rimontare all'oligocene. Simili solchi trovansi lungo le coste occi-

(1) *Sur l'existence de vallées submergées dans le golfe de Gênes*, Paris, 1887.

dentali di Calabria che pur rapidamente si sollevano, alzando assai terreni marini postpliocenici.

Pur lungo il litorale livornese ed in lunghi tratti della Liguria occidentale, dove la spiaggia oggi si alza e dove le panchine quaternarie sovrastano al mare, si vedono i primi accenni di tali solchi in mezzo al quaternario ed al sottostante eocene, rispondenti alle vallette emerse. Or considerando che l'azione erosiva del moto ondoso e delle correnti subacquee si può estendere secondo i moderni studi fino a grandi profondità, nasce spontanea l'idea che i solchi siano appunto formati da queste forze là dove il vento uscente da terra o penetrante dal mare nelle valli, più intensamente e più profondamente sommuove le acque. Trattasi dunque almeno nei più dei casi di un fenomeno sottomarino di origini simili alle attuali, ma più o meno antiche e non di un fenomeno subatmosferico antico.

Per meglio determinare gli spostamenti di livello fra terra e mare l'Issel (1889) propose si stabilissero in più punti delle coste dei capisaldi, come da antico tempo si è fatto in Scandinavia; anzi egli ne ha posto uno in Liguria.

In vari Stati si sono fatte delle livellazioni di precisione per determinare i successivi cambiamenti. Così ne fece il nostro Istituto Geografico. Esse sono utilissime in qualunque luogo ove si voglia tener conto delle variazioni locali; ma il terremoto calabro-messinese del 1908 mostrò che qualora si vogliano osservare le variazioni di livello nei mari esse sono insufficienti, a meno che i capisaldi si stabiliscano opportunamente sopra solide rocce.

Oltre di che esse sono costose a ripetersi per gli occorrenti sindacati, dovendosi chiudere interamente i triangoli, e per gli errori di cui sono suscettibili, come pure mostrarono le triangolazioni successive ai terremoti dell'Assam (1897) e di California (1908), non presentano troppo maggiori garanzie di un buon caposaldo solidamente stabilito in riva al mare.