

IL CLIMA ED IL TEMPO

NEI LORO RAPPORTI GEOLOGICI

o teoria dei cambiamenti secolari del clima della terra

Secondo JAMES CROLL

Se v'ha un'epoca in cui lo studio dei fenomeni che si riferiscono alle cognizioni della fisica del globo abbia richiamato in modo speciale l'attenzione di un gran numero di studiosi, egli è certamente la nostra. A qualunque parte volgiamo lo sguardo, dappertutto vediamo crescere il numero degli osservatori intenti ad indagare le origini, le cause e gli effetti di qualche fenomeno, la cui spiegazione interessa grandemente: nè pochi sono coloro, che con una perseveranza degna di ogni elogio, tentano ogni via per conoscere la natura, la formazione e la costituzione geologica del suolo di questa nostra terra, a fine di scoprire le origini degli sconvolgimenti e dei cataclismi che in epoche lontane qua e là sono successi. In una cosa or convengono tutti i fisici, ed è, che lo stato in cui il nostro globo attualmente trovasi, non deve attribuirsi ad una serie di avvenimenti rapidi e violenti, quantunque non si neghi in un modo assoluto l'esistenza di qualche grande sconvolgimento risultato da cause eccezionali, ma è invece ammesso che le modificazioni avvenute sono la conseguenza di fatti sommamente lenti e costanti. Egli è appunto allo scopo di far conoscere la lunga serie di avvenimenti attraverso i quali la terra è passata, che l'egregio James Croll ha scritto il recente lavoro intitolato: *Climate and Time in their Geological Relations* sul quale intendiamo trattenerci, ma per sommi capi soltanto, che altrimenti ci scosteremmo dai limiti prefissi da una pura analisi. Prima di ogni cosa ci pare opportuno avvertire, che l'eminente naturalista scozzese, si prefigge principalmente nel suo lavoro di provare che i

cambiamenti secolari del clima sono il risultato necessario dell'azione costante di agenti fisici tuttora esistenti, e che questi cambiamenti, in quanto si riferiscono allo stato antico della temperatura del globo, costituiscono uno dei tanti temi che i geologi sono incaricati di studiare. Ma quali sono questi agenti; in qual modo si esercita la loro azione?

I.

Le eruzioni vulcaniche, i terremoti, i sollevamenti e gli abbassamenti del suolo hanno bensì potentemente contribuito a cambiare la superficie del globo, ma le vallate non sono tutte state prodotte da dislocamenti violenti, nè le colline sono sempre sorte in seguito a sollevamenti rapidi, che anzi sono state corrose lentamente attraverso le rocce solide da agenti i quali tuttora esercitano questa identica loro azione, e sono l'aria, le piogge, i geli, le sorgenti, i rivi, i fiumi, i ghiacciai, le montagne di ghiaccio ed il mare. Questi agenti, come dice il prof. Geikie, hanno avuto una azione costante e le tracce del loro lavoro si sono scolpite tanto profondamente, che tuttora rimangono evidenti nelle memorie geologiche.

Sono questi agenti che stabiliscono il clima dei luoghi e dei tempi, e le varie particolarità e modificazioni a cui esso è facilmente soggetto, derivano dalla prevalenza di uno o più di questi agenti stessi sugli altri rimanenti. Quando è il caldo che prevale, succede un clima tropicale; se invece sua prevalgono il freddo ed il gelo, il clima diventa rigoroso od in tutto simile a quello delle regioni artiche; se l'umidità viene ad essere eccessiva, il clima risulta vaporoso e piovoso; e questi cambiamenti danno luogo ad importanti modificazioni nella flora e nella fauna di una data regione, inquantochè queste dipendono assai più dalla natura del clima, che dalle condizioni del suolo o dalla sua conformazione.

Egli è alla differenza del clima, che è dovuta la diversità grandissima che passa tra la vita delle regioni dei tropici e quella dei paesi artici, e lo stesso dicasi per le regioni temperate; egli è il clima soltanto, che permette ad un dato paese di produrre gli aranci e l'uva e gli olivi ed una ricca varietà di fiori; e la geologia ci insegna che in alcune regioni, ora temperate, già crebbero

robusti quegli alberi, che ora elevano rigogliosi le loro cime verso il cielo nelle foreste delle regioni equatoriali.

Non è soltanto ai tempi nostri, che gli agenti i quali costituiscono il clima hanno un'azione così importante e di tanta influenza, imperocchè questa si è fatta sentire in tutte le epoche passate, cominciando dai tempi stessi della solidificazione della crosta della terra, e nei cainozoici, e non v'ha ragione per non ammettere che nelle epoche mesozoica e paleozoica essi siano stati i fattori principali degli avvenimenti e dei cambiamenti che si sono succeduti. Le rocce stratificate del globo contengono delle grandi memorie della loro azione, e lo studio degli avvenimenti geologici è intimamente legato con quelli del calore, della luce e dell'elettricità.

È cosa notissima, che i geologi sono d'avviso che anticamente i climi del nostro globo non sono stati uniformemente simili a quelli dei giorni nostri, e per molto tempo si è supposto che nel periodo cambriano, nel siluriano ed in altri, la temperatura fosse più alta e che d'allora in poi sia andata gradatamente diminuendo. È un avviso generalmente sparso, che questa alta temperatura dei tempi paleozoici sia dovuta all'influenza del calore interno della terra stessa; ma essa ha dei contraddittori, e William Thomson ritiene che in generale il clima del globo non abbia mai subito in un modo sensibile gli effetti di un tale calore interno, e che l'influenza che questo calore esercita sulla temperatura sarebbe soltanto di circa $1/75$ di grado. La teoria del calore interno non si può ancora dire generalmente abbandonata, e non si hanno prove così evidenti da asserire, che nei tempi paleozoici il clima fosse più caldo che adesso, ed ancor meno per dire che siasi andato uniformemente raffreddando.

La grande scoperta dell'epoca glaciale e quella fatta posteriormente, che una temperatura dolce e mite si è estesa durante il miocene ed in altri periodi fino al nord della Groenlandia, ha portato una rivoluzione completa nelle idee sul clima geologico ed insegnato, che non solo il nostro globo è stato sottoposto a cambiamenti di clima, ma inoltre che questi cambiamenti hanno avuto un carattere oltremodo straordinario. Secondo i dati geologici che sono stati scoperti, la nostra Europa avrebbe un tempo sofferto il freddo del clima artico e la maggior parte delle regioni temperate sarebbe stata sepolta sotto il ghiaccio, mentre poi in altri periodi la Groenlandia e le terre polari e probabilmente tutta quella regione inospitale che termina al polo nord, non solo sarebbero

state libere dal ghiaccio, ma anzi ivi si sarebbe sviluppata una vegetazione ricca e lussureggiante.

Il problema che si riferisce a questi cambiamenti straordinari di clima, è stato in generale considerato come il più difficile di tutti quelli che i geologi hanno avuto fin qui da studiare; e mentre alcuni hanno tentato di spiegarli ammettendo uno spostamento dell'asse di rotazione della terra, dovuto al sollevamento di immense masse montane su qualche punto della superficie terrestre, altri, come il prof. Airy e sir William Thomson, hanno dimostrato che la protuberanza equatoriale terrestre è tale, che nessun cambiamento geologico della superficie può alterare la posizione dell'asse di rotazione in modo che il clima possa essere sensibilmente modificato. Ve ne sono stati altri che hanno mostrato di dividere le idee di Poisson, il quale ha supposto che la terra possa in quei periodi essere passata a traverso spazi più caldi o più freddi, ma quest'ipotesi non può essere accolta, inquantochè lo spazio non può per sè stesso essere nè caldo nè freddo. Quando si accettasse una supposizione simile, bisognerebbe ammettere che la terra nei periodi più caldi sia passata presso qualche altra gran sorgente di calore e di luce oltre il sole, che attualmente ci riscalda e ci illumina. Ma questa grande massa avrebbe per la forza di gravità disturbato considerabilmente il meccanismo del nostro sistema solare. Inoltre, come spiegare il gran freddo dell'epoca glaciale? Forse per la vicinanza di un corpo freddo?

A fine di spiegare questi cambiamenti di climi è stata supposta una variazione nell'obliquità dell'eclittica, ma lo studio della meccanica celeste insegna, che queste variazioni debbono essere state sempre così piccole da non mutare le condizioni del clima del globo, ed ammettendo anche che l'obliquità potesse cambiare all'infinito, si può dimostrare che un aumento, od una diminuzione, per quanto grande possa essere stato, non può spiegare nè l'epoca glaciale, nè l'alta temperatura delle regioni polari.

È pure stata messa avanti la teoria, che il sole sia un astro di una temperatura variabile e che l'epoca glaciale dei geologi corrisponda ai periodi di diminuzione nel calore solare, ma James Croll combatte anche questa teoria e dice, che quand'anche il sole venisse ad estinguersi ed il nostro globo dovesse trovarsi esposto alla temperatura dello spazio stellare ($-239^{\circ}\text{ F} - 152^{\circ}\text{ C}$), succedrebbe bensì l'agghiacciamento di tutto l'oceano su tutta quanta la sua altezza dalla superficie fino al fondo, ma non perciò la terra si coprirebbe d'uno strato di ghiaccio.

Carlo Lyell ha emesso una sua teoria speciale per spiegare un siffatto cambiamento straordinario nei climi, facendo l'ipotesi che un tempo la terra e l'acqua fossero distribuite sul globo in un modo diverso. Secondo l'egregio geologo inglese, quando le regioni polari fossero circondate da terre e le equatoriali occupate dal mare, la media della temperatura diminuirebbe e ritornerebbe l'epoca glaciale, mentre invece quando tutte le terre venissero ad ammassarsi verso l'equatore e le acque attorno ai poli, la temperatura del globo si innalzerebbe ad un grado altissimo. L'autore dell'opera di cui discorriamo, non ammette che questa teoria spieghi i cambiamenti straordinari di clima che sono successi nell'epoca glaciale, avvegnachè il calore che è sollevato dalla corrente ascendente dell'equatore non serve a riscaldare la terra, ma si perde nel freddo spazio stellare. Questa corrente ascendente, egli dice, invece di servire a riscaldare il globo è uno dei mezzi più efficaci per cui la terra si libera dell'eccesso di calore ricevuto dal sole, ed in tal modo è su di essa mantenuta una temperatura più sopportabile di quella che realmente vi sarebbe. Nelle regioni equatoriali la terra perde tanto calore quanto ne assorbe, di modo che meglio che altrove qui debbono essere poste le sostanze più atte ad impedire lo sperdimento nello spazio del calore capace di sollevare la temperatura generale della terra. Di tutte le sostanze che esistono, sembra che l'acqua sia quella che meglio di tutte possiede questa qualità ad un grado massimo, ed è inoltre un fluido atto a trasportare in tutte le regioni del globo, mercé le correnti, il calore che riceve dal sole. Questo risultato, dice l'egregio fisico, dimostra che l'influenza generale delle correnti oceaniche sulla distribuzione del calore sulla superficie del globo, dev'essere assai grande, e già sappiamo che il calore trasportato dal Gulf Stream soltanto, è circa uguale a tutto il calore ricevuto dalle regioni artiche dal sole. Bisogna poi ancora aggiungere, che le osservazioni che ogni anno si vanno facendo, confermano di volta in volta che il contorno della superficie della terra, era a quell'epoca identico a quello che esiste ai nostri giorni. Quand'anche poi una differenza nella distribuzione delle terre e del mare spiegasse gli effetti accennati, pur tuttavia non si avrebbe una spiegazione dell'epoca glaciale, imperocchè i fenomeni dei periodi caldi interglaciali verrebbero sempre a rovesciare la teoria.

Fra le tante cause state messe avanti ve ne sarebbero pure delle cosmiche, fra le quali quella della precessione degli equinozi

a cui rivolsero la loro attenzione John Herschel ed altri egregi astronomi, ma i risultati a cui essi pervennero furono contrari alla supposizione che il cambiamento dell'eccentricità possa modificare il clima del nostro globo.

Ci è noto che il Lyell, ne' suoi « Principi di Geologia », riporta a questo fenomeno la causa di qualche leggiera variazione nel clima, ma quest'opinione è stata contrastata da Arago e da Humboldt, ed Arago emise anzi l'avviso che così piccola è la differenza nel clima dovuta all'eccentricità della nostra orbita, che quand'anche diventasse eccentrica quanto l'orbita di Pallade, pur tuttavia le condizioni termometriche della nostra superficie terrestre non varierebbero in un modo apprezzabile. Siffatta idea appoggiata da persone così autorevoli fu universalmente considerata come indiscutibile, ed è ammesso che i grandi cambiamenti di clima indicati dai fenomeni geologici, non possono essere il risultato di un cambiamento nei rapporti esistenti fra la terra ed il sole.

V'ha però un effetto, che non fu ritenuto compensato, ossia che la somma totale del calore ricevuto dalla terra è inversamente proporzionale all'asse minore della sua orbita, tantochè maggiore è l'eccentricità, maggiore è la somma totale del calore ricevuto dalla terra. Mercè questa spiegazione, si conchiuse che un aumento nell'eccentricità poteva in una certa guisa contribuire a produrre un clima più caldo, ma questo solo fatto non poteva per sè stesso essere causa di un'epoca glaciale. Considerando però, che se una maggiore eccentricità non poteva avere una tendenza ad abbassare la temperatura ed a coprire il nostro paese di ghiacci, pur tuttavia poteva esser causa che fossero messi in azione degli agenti fisici i quali avrebbero potuto indirettamente produrre un simile risultato, la mente fu portata ad indagare quali effetti fisici potevano risultare da un aumento nell'eccentricità, e fu constatato che sono messi in azione un'infinità di agenti fisici, che hanno per conseguenza di abbassare considerabilmente la temperatura dell'emisfero i cui inverni succedono all'afelio, ed innalzare di molto quella dell'emisfero opposto i cui inverni avvengono nel perielio.

Nel lavoro di cui è parola, il dotto fisico inglese ha avuto appunto in mira di ricordare tutti gli agenti che a poco a poco coll'andar del tempo hanno concorso a modificare i climi, e ciò egli ha fatto con una erudizione, che si riscontra assai di rado anche in uomini di un ingegno raro e di speciale cultura.

È cosa nota quanto le correnti oceaniche contribuiscono a modificare la temperatura terrestre, e come il Gulf Stream, il cui corso è stato tanto e diligentemente osservato e studiato, ha una grande influenza sul clima dell'Inghilterra e di tutte le regioni più settentrionali dell'Europa. Secondo i dati che il Croll espone, questo fiume oceanico trasporterebbe fuori del golfo del Messico 2,787,840,000,000, di piedi cubici d'acqua all'ora, o 66,908,160,000,000 al giorno. Per conseguenza la quantità totale del calore trasportato in tal modo sarebbe di 77,479,650,000,000,000 di libbre pedali, ritenendo che ogni piede cubico d'acqua trasporta dai tropici per distribuirle altrove 1,158,000 di libbre pedali di calore.

Questo calcolo sul volume dell'acqua della corrente del golfo è minore appunto di una metà di quello dato dal Maury e di quello di Herschel. Il Maury avverte che il Gulf Stream è simile ad un fiume largo trentadue miglia ed alto 1200 piedi, che avanzi con una velocità di 5 nodi all'ora: secondo questi dati la quantità d'acqua trasportata da una tale corrente ammonta a 6,165,700,000,000 piedi cubici all'ora. Sir John Herschel la ritiene maggiore, avvegnachè la dice uguale ad un fiume largo trenta miglia, profondo 2200 piedi ed avente una velocità di 4 miglia all'ora; questi dati corrispondono ad un volume d'acqua trasportato di 7,359,900,000,000,000 piedi cubici all'ora. Il dottor Colding dà una cifra di 5,760,000,000, piedi cubici all'ora, e quella emessa da M. Laughton è doppia di quella di Croll.

Continuando l'autore a calcolare la quantità di calore che il Gulf Stream riceve nelle regioni equatoriali dal sole, e dai tropici trasporta nella zona glaciale, egli conchiude che questo calore è circa maggiore della metà di quello che tutta la regione artica assorbe direttamente dai raggi solari, essendo questo nel rapporto di 2 a 5, non tenendo alcun conto dell'obliquità di questi raggi per la quale l'assorbimento è in realtà assai minore.

A fine di far vedere meglio quanto maggiore è il calore trasportato dalle correnti acquee e dalle correnti aeree, l'egregio scrittore osserva, che la densità dell'aria sta a quella dell'acqua nel rapporto di 1^a 770 ed il calore specifico come 1^a 4, 2; ne deriva quindi che la stessa quantità di calore che innalzerebbe 1 piede cubico d'acqua ad 1°, innalzerebbe 770 piedi cubici d'aria a 4°, 2, oppure 3234 piedi cubici d'aria ad 1°. Per conseguenza la quantità di calore trasportata dal Gulf Stream è uguale a quella che sarebbe trasportata da una corrente d'aria equivalente a 3234

volte il volume di siffatta corrente. Se poi si riflette che la larghezza della corrente è di cinquanta miglia, la profondità di 1000 piedi e la sua velocità di due miglia all'ora, ne deriva che quando spettesse all'aria di trasportare una quantità di calore simile, la corrente a ciò destinata dovrebbe avere un'altezza di un miglio ed un quarto, una temperatura di 65° F (18°, 33 C), e dovrebbe spirare da ogni punto dell'equatore diretta all'emisfero nord con una velocità di due miglia all'ora. Quando questa velocità fosse uguale a quella di un buon vento fresco, e sir John Herschel lo calcola di 21 miglia all'ora, basterebbe che la corrente avesse una profondità di 600 piedi.

Ma l'interesse che l'opera del sig. Groll desta in noi fa sì che ci tratteniamo troppo su questi particolari a danno del complesso del libro, e quindi innanzi toccheremo soltanto più di volo le cose da lui trattate.

Pur tuttavia ci pare ancora opportuno esporre le idee espresse dall'egregio autore, sull'ipotesi fatta intorno a quanto succederebbe quando all'equatore non vi fossero che delle terre. In questo caso, contrariamente a quanto ha esposto il Lyell, sarebbe tolta ogni possibilità di un trasporto del calore solare nelle regioni polari mediante le correnti oceaniche, e questa funzione dovrebbe essere compiuta dalle correnti superiori degli alisei; ma è riconosciuto che queste correnti non sono atte ad un tale lavoro, ed il calore trasportato dalle correnti superficiali non può avere un effetto sensibile sul clima.

Ammettendo questa congettura, la superficie del suolo all'equatore si riscalderebbe altissimamente ed il calore si irradierebbe verso lo spazio con una rapidità molto maggiore di quanto succede coll'acqua; l'aria che si troverebbe a contatto di queste terre, sarebbe soggetta a riscaldarsi assai più facilmente e le correnti aeree sarebbero attivissime. Quando questo calore venisse a distribuirsi regolarmente sulla superficie della terra, l'effetto che ne deriverebbe sarebbe identico a quello delle correnti acquee, ma così non è, perchè questa immensa quantità di calore tolta dalla terra si sperebbero nell'immenso e freddo spazio stellare, e cesserebbe pertanto di funzionare quella legge d'economia, per cui il calore raccolto all'equatore è regolarmente distribuito nelle regioni nelle quali la temperatura è più bassa. L'acqua è una sostanza che possiede ad un grado eminente la qualità di non privarsi rapidamente ed inutilmente del suo calore, e concorre ad elevare

in generale la temperatura della terra, essendo suscettibile di venire in un modo facile qua e là trasportata. La funzione quindi delle correnti oceaniche, è di assorbire lentamente il calore per cui la loro temperatura si eleva sotto ai tropici per distribuirlo poi nelle regioni temperate e nelle polari, cosa che le correnti aeree non fanno. A queste spetta un altro assunto: dopo che le correnti acquee l'hanno a poco a poco trasportata in quei luoghi ove loro riesce di penetrare, l'aria compie la cominciata operazione assorbendo i vapori che si sollevano al dissopra di queste correnti, che riparte quindi con un certo ordine procacciando un clima dolce alle zone temperate e correggendo in un modo ragguardevole il freddo, pur sempre rigorosissimo, delle contrade comprese entro i circoli polari.

II.

Le correnti oceaniche sono dunque i grandi distributori del calore sul globo, e le condizioni climatologiche delle varie sue regioni dipendono dalla diversa distribuzione del calore che ad esse è dovuta. Quando pertanto sorgesse qualche causa che tendesse a mutare considerabilmente lo stato delle correnti, a cambiarne il corso ed a variare il modo con cui la distribuzione di questo calore è fatta, è naturale che nello stesso rapporto saranno modificate le condizioni della temperatura delle varie regioni sulle quali esse hanno qualche influenza. Ma la direzione delle correnti e la forma della distribuzione del calore, dipendono dalla direzione e dalla forma della distribuzione dei venti e quindi qualunque causa che abbia un'azione sui venti, affetterà sensibilmente le correnti; siccome poi ancora l'esistenza dei venti dipende principalmente dalla diversità della temperatura tra le regioni equatoriali e le polari, qualunque causa che si presenti a modificare questa temperatura, altererà altresì il corso dei venti, e ciò reagirà sulle correnti e le condizioni climatologiche del globo.

Non bisogna però credere che un semplice aumento od una semplice diminuzione nella differenza di temperatura tra le regioni polari e le equatoriali, debba far sentire in un grado potente i suoi effetti sulla distribuzione dei venti e quindi su quella delle correnti, ma bisogna bensì osservare che questa differenza di temperatura deve succedere tra un emisfero e l'altro,

ossia bisogna che si elevi quella delle regioni comprese tra l'equatore ed il polo di un emisfero e diminuisca nell'altro; questo fenomeno produrrà un cambiamento nella distribuzione delle correnti aeree, il quale cambiamento avrà per necessaria conseguenza una variazione corrispondente nella distribuzione delle correnti oceaniche. Ora, bisogna esaminare se vi sono cause, per le quali la temperatura di ciascuno dei due emisferi possa essere soggetta a variare in senso inverso.

Fra le cause che possono mutare la posizione della sfera terrestre verso il sole, e quindi avere una grandissima influenza sul clima della terra, bisogna tener conto della precessione degli equinozi e del cambiamento dell'eccentricità dell'orbita della terra. Quando si esami ni attentamente l'influenza combinata di queste due cause, si troverà che le parti meridionali e le settentrionali del globo sono soggette ad un cambiamento secolare di clima immensamente piccolo, e questo consiste in un leggiero cambiamento periodico di cieli alternamente caldi e freddi.

Secondo i calcoli di Leverrier il limite massimo dell'eccentricità terrestre è 0, 07775; stando a dati più recenti ottenuti da M.^r Stockwell degli Stati Uniti d'America, il quale ha tenuto conto delle influenze disturbatrici di Nettuno la cui esistenza non era conosciuta quando Leverrier fece i suoi calcoli, l'eccentricità dell'orbita della terra sarebbe compresa nei limiti di 0 e 0, 0693888. Attualmente quest'eccentricità è in diminuzione, e così continuerà per uno spazio di 23980 anni partendo dall'anno 1800 A. C.; in quel tempo l'eccentricità minima sarà 0, 00314.

Il cambiamento nell'eccentricità dell'orbita della terra, può modificare il clima in due modi diversi, o per causa di un aumento o di una diminuzione nella quantità annua media del calore ricevuto dal sole, o per un aumento od una diminuzione nella differenza esistente tra la temperatura estiva e la iemale.

Am messo che la distanza media del sole sia di 91,400,000 miglia, quando l'eccentricità della terra è massima, la distanza della terra dal sole, se è all'afelio della sua orbita, si trova essere non meno di 98,506,350 miglia, mentre invece quando è al perielio la cifra scende ad 84,293,650 miglia. Ne deriva quindi che la terra è, nel primo caso, 14,212,700 miglia più lontana dal sole che nel secondo. Ora essendo il calore del sole inversamente proporzionale al quadrato delle distanze, quello che si spanderà sulla terra, quando questo si troverà nelle accennate due posizioni, sarà

nel rapporto di 19 a 26. Dato che l'eccentricità sia in questo momento 0, 0168, la distanza della terra dal sole è, d'inverno o quando è più vicina al sole, di 89,864,480 miglia. Supposto ora che per la precessione degli equinozi, l'inverno si presenti nel nostro emisfero quando la terra è all'afelio della sua orbita, e quest'orbita ha la sua eccentricità massima, allora la terra sarà nella stessa stagione invernale 8,641,870 miglia più lontana dal sole ed il calore diretto del sole, sarà di un quinto minore che adesso, mentre d'estate risulterà di un quinto maggiore. Questa enorme differenza avrà naturalmente un effetto grandissimo sul clima. Se invece l'inverno, date le stesse circostanze, avverrà quando la terra è al perielio della sua orbita, la terra sarà di 14,212,700 miglia più presso al sole d'inverno che d'estate, ed allora la differenza tra l'inverno e l'estate sarà su di questa nostra latitudine quasi nulla. Siccome però l'inverno di un emisfero corrisponde coll'estate dell'altro, ne deriva che mentre un emisfero è sottoposto agli estremi di caldo e di freddo, l'altro invece avrà un estate perpetua.

Bisognerebbe ancora che dicessi come gli inverni possono inoltre essere assai più lunghi, ma nostro malgrado non possiamo seguire l'autore in tutti i suoi ragionamenti. Diremo soltanto, che ai nostri giorni il mezzo anno estivo è di otto giorni più lungo dell'invernale, mentre quando la terra avrà l'eccentricità massima di 0, 07775 ed il solstizio d'inverno avrà luogo nell'afelio, l'inverno sarà più lungo dell'estate di circa trentasei giorni. Il calore del sole non potrà sciogliere tutta la neve dell'inverno, la quale di anno in anno continuerà ad accumularsi considerabilmente.

Nell'emisfero opposto invece, uno stato di cose interamente diverso produrrà effetti diversi: nell'inverno l'umidità dell'aria si precipiterà in acqua, per via della vicinanza del sole, invece di precipitarsi in neve come ora, e quindi per questo fenomeno, accompagnato dalla breve durata dell'inverno, la massa delle nevi tenderà costantemente a diminuire. La differenza che esisterà tra la temperatura delle regioni equatoriali, e le temperate e le polari sarà pertanto maggiore sull'emisfero nord che nel sud, e le correnti atmosferiche di quello saranno più forti che in questo; i venti alisei NE. essendo più forti dei SE. oltrepasseranno l'equatore e la linea di demarcazione sarà spostata ad una certa distanza al sud di questo; le acque equatoriali si troveranno spinte più verso l'emisfero sud che verso il nord, e l'acqua calda in tal modo trasportata verso l'emisfero sud contribuirà a crescere la differenza

di temperatura fra i due emisferi. Inoltre, questo cambiamento tenderà ancora ad aumentare la forza degli alisei NE. ed a diminuire i SE. e per conseguenza sarà trasportata nell'emisfero sud una quantità d'acqua equatoriale sempre più ragguardevole, per la quale azione crescerà la differenza di temperatura tra l'emisfero boreale e l'australe ed una causa reagirà sull'altra.

V'ha inoltre ancora un altro fenomeno importante, che tende moltissimo ad abbassare la temperatura di un emisfero, e questo è lo spostamento della gran corrente equatoriale, la quale sarebbe deviata nell'oceano meridionale. L'effetto di questo sviamento della corrente equatoriale o del Gulf Stream sul clima dell'atlantico nord e dell'Europa nord-ovest, può essere facilmente compreso, quando si riflette alla immensa quantità di calore che trasporta seco, e lo stesso fatto succederebbe nell'Oceano pacifico. Non è cosa molto facile l'enumerare tutte le conseguenze che deriverebbero per un siffatto importante cambiamento di clima, e fra i tanti succederebbe pure che l'alternarsi dei periodi di caldo e di freddo, sarebbe in perfetta relazione colla distribuzione delle piante e degli animali.

Dalla teoria sovra enunciata si dedurrebbe, secondo l'egregio naturalista inglese, che quel lungo periodo conosciuto sotto il nome di epoca glaciale, non è formato da un lungo spazio di tempo e non interrotto di ghiaccio e di neve, ma deve essere consistito di una lunga successione di periodi di caldo e di freddo, ed i periodi di caldo di un emisfero dovevano corrispondere con quelli di freddo dell'altro. Ne segue ancora, secondo l'accennata teoria, che a misura che i periodi di freddo si facevano di più in più rigidi, quelli di caldo venivano ad essere di più in più caldi ed uniformi. A misura che il ghiaccio nei periodi di freddo cominciava ad accumularsi nelle regioni temperate ove prima non esisteva, esso andava a poco a poco scomparendo nell'emisfero opposto, ove s'era accumulato in quel tempo appunto la cui fine cominciava ad essere prossima.

III.

Se le grandi variazioni secolari del clima di cui abbiamo fin qui parlato, provengono indirettamente da cambiamenti nella eccentricità dell'orbita della terra, il calcolo ci dà il mezzo di de-

terminare le epoche nelle quali questi cambiamenti succedono, e se il periodo glaciale è dovuto alle cause accennate, non manca il mezzo di constatare con sufficiente esattezza non soltanto la data in cui questo ha avuto principio, ma ancora la lunghezza della sua durata. L'astronomo Leverrier, il quale ha intrapreso lo scioglimento di questo problema, è non solo riescito a determinare il limite superiore dell'eccentricità dell'orbita della terra, ma ha ottenuto ancora la formola per cui questa eccentricità può essere calcolata per qualunque epoca passata o futura.

Con una lunga serie di dati trovati mediante la formola di Leverrier, è stata costrutta una tavola che dimostra l'eccentricità dell'orbita della terra e la longitudine del perielio rimontando a 3 milioni d'anni passati, nonché per un milione d'anni avvenire in spazi di tempo di 50 mila anni. Se si esamina questa tavola, si vedono spiccare tre periodi principali nei quali l'eccentricità è veramente altissima.

Alcuni egregi astronomi, e dello stesso parere sono pure parecchi fisici eminenti, pensano che il clima del globo non ha mai potuto essere seriamente modificato da cambiamenti dovuti alla eccentricità della sua orbita. Quest'idea è senza dubbio giusta se una tale questione è considerata soltanto sotto un punto di vista astronomico, ma nel nostro caso invece bisogna tener conto delle risultanze fisiche ed il problema diventa naturalmente assai più complesso, inquantochè debbonsi esaminare le conseguenze della maggiore lunghezza dell'inverno e della minore dell'estate, della distanza della terra dal sole e via dicendo, tutte quelle altre che possono far subire dei cambiamenti al clima.

Stando ai dati esposti da John Herschel, la temperatura dello spazio od il zero assoluto sarebbe eguale a -239° F. (-151° , 76° C.); il fisico Pouillet avrebbe ottenuto un risultato all'incirca identico. La temperatura della Gran Bretagna nel cuor dell'inverno, dice l'autore, è di 39° F. (3° , 89° C.); ora se si sommano queste cifre di 239° e 39° , la temperatura di 278° (155° , 65° C.), rappresenta quella che il calore solare procura alla terra in questo tempo sulla sua superficie; quando dunque, per un fenomeno impreveduto, il sole venisse a scomparire, la temperatura delle Isole Britanniche alla superficie del suolo scenderebbe nel cuor dell'inverno di 278° e quelle regioni si troverebbero sottoposte alla temperatura dello spazio. Si ammetta che 850,000 anni fa, gli inverni avessero luogo nell'afelio ed il calore del sole invece di avere l'intensità che pre-

sentia ai giorni nostri e si suppone eguale a 1000, questa fosse soltanto di 837, ne consegue che se l'intensità di 1000 serve a mantenere la temperatura di 278° al disopra di quella dello spazio, quella di 837 potrà comunicare alla terra una temperatura superiore a quella dello spazio soltanto di 232° , 7 F. (130° , 30 C.). Ora, dato che realmente le Isole Britanniche sentissero una siffatta temperatura, questa si trovava essere di 45° , 3 (25° , 37 C.) sotto a quella che i termometri segnano ai giorni nostri sulla superficie del Regno Unito. È naturale che una tale temperatura sarebbe risultata soltanto quando il grado d'intensità del calore solare fosse la sola origine di quella distribuita su quella regione, ed altre cause non contribuissero a moderarlo. Questi dati non debbono ben inteso considerarsi come matematici, e servono soltanto ad insegnare che un leggiero aumento od una leggiera diminuzione nella quantità del calore dalla terra ricevuto dal sole, può modificare la temperatura della superficie ad un grado potentissimo. Il calore che ci viene direttamente dalla luna, ad esempio, non è tale da essere segnato dagli strumenti più delicati che possediamo; pur tuttavia da 238,000 osservazioni state fatte a Praga dall'anno 1840 al 1866, risulterebbe che la temperatura subisce sensibilmente gli effetti dovuti al solo cambiamento nel perigeo della luna e nell'inclinazione della sua orbita.

Nelle sue tavole, James Croll non dà la temperatura dell'estate nei periodi corrispondenti, e si contenta di terminare il suo ragionamento col dire che in quei tempi, per via di una serie di cause fisiche, quelle stagioni invece di essere più calde di quanto sono ai giorni nostri, dovevano essere in realtà assai più fredde, malgrado il grande aumento nell'intensità del calore solare dovuto alla minore distanza del sole dalla terra.

Dopo aver esposto una quantità ricchissima di dati importanti, l'egregio fisico si domanda se l'epoca glaciale risultante dai cambiamenti di temperatura dovuti alla grande eccentricità, deve riferirsi piuttosto a quell'epoca compresa tra 980,000 a circa 720,000 anni fa, e corrisponde probabilmente all'epoca miocenica, oppure a quel periodo incominciato or sono 240,000 anni, e che avrebbe durato 80,000. Siccome nella prima di quelle epoche l'eccentricità ebbe una durata più considerabile che nella seconda, e raggiunse inoltre il suo massimo, egli sembrava disposto a riferire di preferenza il periodo glaciale a quella, pensando che quest'ultima corrispondesse al periodo dei ghiacciai locali verso la fine dell'e-

poca glaciale, ma dopo una più matura riflessione, finiva per conchiudere che il periodo glaciale debba riferirsi all'epoca a noi più vicina. A questa conclusione sarebbe stato indotto dalla considerazione che questo periodo è abbastanza lungo per spiegare la denudazione che ebbe luogo nel tempo del periodo glaciale, ed abbastanza remoto per poter rendersi conto di tutta quella avvenuta dopo l'epoca glaciale. Mancando di prove dirette intorno al carattere dei periodi glaciali miocene ed eocene, l'illustre fisico non s'attenta a pensare che questi periodi fossero meno rigidi di quello che ebbe luogo all'epoca quaternaria, ma giudicando dalle prove indirette, vi sarebbero dei dati fortissimi per conchiudere che l'epoca glaciale miocenica debba essere stata anche più rigida e prolungata della nostra recente.

Consultando la tavola 1^a del suo libro, si vede che prima del periodo assegnato, che si presume esser quello che comprende l'epoca glaciale, ve ne sono due in cui l'eccentricità arrivò quasi al suo limite massimo. Il primo di questi periodi sarebbe avvenuto or sono 2,500,000 anni, ed allora questa fu di 0, 0721; il secondo sarebbe a noi più vicino ed avvenuto 850,000 anni fa, e l'eccentricità sarebbe stata maggiore, o 0, 0747. Al primo, l'esimio fisico sembra disposto ad assegnare il periodo glaciale eocenico, al secondo il miocenico: dalle anzidette tavole si scorge, che l'eocene comprende l'intervallo di tempo che si conta dall'anno 2,620,000 circa, a quello di circa 2,460,000, mentre il miocene avrebbe durato tutto quel tempo compreso nello spazio tra 980,000 a 720,000 anni fa.

Ora è facile vedere quanto diversa dev'essere stata la condizione del clima terrestre verso l'anno 850,000, di fronte ai tempi nostri. Ammesso che la distanza media del sole è di 91,400,000 miglia, quella che risulta ora nel cuore dell'inverno è soltanto di 89,864,480; ma nel periodo in questione quando il solstizio d'inverno stava al perielio, la sua distanza non era inferiore a 98,224,289 miglia. E non è ancora tutto; i nostri inverni sono ora più brevi dei nostri estati di giorni 7, 8, mentre invece in quel tempo erano più lunghi di giorni 34, 7. Ai tempi nostri la differenza tra la distanza perielia ed afelia del sole è soltanto di 3,069,580 miglia, mentre in quell'epoca non era minore di 13,648,579 miglia.

IV.

Sarebbe sicuramente assai interessante, se qui accennassimo, anche brevemente, le idee espresse dal signor Croll intorno al fenomeno della sommersione e dell'emersione della terra dai mari durante l'epoca glaciale, dovuto ad uno spostamento del centro di gravità terrestre per la formazione di un monte di ghiaccio verso il polo, che poi andava gradatamente diminuendo di spessore verso l'equatore; ma la lunghezza dell'analisi che abbiamo intrapresa non ci permette di estenderci più oltre, e dobbiamo affrettarci verso la fine dell'interessante lavoro pubblicato dall'insigne meteorologo di Edimburgo.

A ciò ci spinge la circostanza, che ci pare più conveniente di fissare la nostra attenzione ad un'altra causa la quale deve altresì aver considerabilmente contribuito a modificare il clima nelle epoche passate, vogliamo dire il cambiamento constatato nell'obliquità dell'eclittica. Contrariamente alle idee espresse da non pochi geologi e da molti fisici, i quali opinano che questo fenomeno non debba avere una grande influenza sulla temperatura della superficie della nostra sfera, l'egregio naturalista scozzese è d'avviso, che i cambiamenti nell'obliquità dell'eclittica, modificano bensì soltanto leggermente il clima delle latitudini tropicali, ma concorrono altamente a variare quello delle regioni polari e specialmente ai poli stessi.

Stando ad una memoria stampata da M. Meech nel volume IX delle *Smithsonian contributions to Knowledge*, la somma di 365,24 giorni termali rappresenta la quantità totale annua del calore che la terra riceve ai giorni nostri dal sole, mentre 151,59 giorni termali rappresentano quella che la terra riceve ai poli. Da questo dato risulta, che quando l'obliquità dell'eclittica viene ad essere la massima indicata da Laplace, la quantità del calore ricevuto all'equatore scenderà a 363,51 giorni termali, mentre ai poli crescerà a 160,04. Le regioni sotto l'equatore avranno quindi 1,73 giorni di meno e le polari 8,45 di più che adesso. Ma non è punto esatto il dire per ciò, che l'aumento di un tal numero di giorni debba procurare un aumento importante nella temperatura delle regioni che stanno sotto ai poli, imperocchè non bisogna perdere di vista gli effetti dovuti alle correnti marine ed atmo-

sferiche, e dimenticare che le condizioni della temperatura nelle regioni polari sono in gran parte dipendenti da codeste correnti e quindi diminuendo il numero dei giorni termali in quelle zone ove esse hanno la loro origine, la loro temperatura è soggetta a diminuire.

Il dotto autore conchiude col dire, che quando l'obliquità dell'eclittica si è trovata essere la massima ed i poli ricevevano 1118 più di calore di adesso, la temperatura loro poteva essere di 14° o 15° F. (7°, 84 od 8°, 40 C.) superiore a quella odierna, dato però naturalmente che questo aumento andasse tutto quanto consumato ad elevare la temperatura. Se le regioni polari erano libere di ghiaccio e di neve, la maggior parte del calore serviva ad elevare la temperatura, ma invece se esse trovavansi coperte da altri monti di ghiacci e di nevi, il maggior calore si consumava tutto nello scioglimento di questo ghiaccio e di questa neve, non potendo ogni superficie coperta di ghiaccio, sulla quale cadono i raggi solari, avere una temperatura superiore a quella di 32° F. (0° C.). Nel periodo che ora si considera, la quantità totale del ghiaccio fuso ai poli sarebbe stata di 1118 maggiore che ai nostri tempi.

In generale, l'effetto che il cambiamento nell'obliquità dell'eclittica avrà sul clima delle regioni polari, quando si trova combinato con quello risultante dall'eccentricità dell'orbita della terra apparirà come segue: Quando l'eccentricità è stata massima, l'emisfero il cui inverno avvenne all'afelio, per le ragioni fisiche che abbiamo toccate si sarà trovato in uno stato di agghiacciamento, mentre l'altro, che avrà avuto il suo inverno al perielio, avrà goduto di un clima uguale e mite. Quando l'obliquità dell'eclittica sarà stata massima ed i poli avranno ricevuto 1118 più di calore che adesso, l'effetto sarà stato di modificare in un modo ragguardevole il rigore del gelo nella zona polare dell'emisfero che si sarà trovato nella condizione di agghiacciamento; e sul lato opposto, sull'emisfero che godeva di un clima più uguale, avrà prodotto uno scioglimento del ghiaccio più rapido. Una tale combinazione dell'eccentricità e dell'obliquità avrà avuto per conseguenza che il ghiaccio polare sarà interamente scomparso su di quest'emisfero, ed al polo avranno anche potuto crescere alberi. Quando invece l'obliquità sarà stata minima ed i poli avranno ricevuto meno calore che adesso, l'agghiacciamento del primo emisfero sarà cresciuto, mentre sarà diminuito il calore del secondo.

In questo studio, che si riferisce all'influenza dell'obliquità del-

l'ecclittica sul clima, l'autore non concorda colle idee di Sir Charles Lyell, il quale ne' suoi « Principi di Geologia » dice, che se l'obliquità dell'ecclittica potesse mai diminuire di quattro gradi sotto l'inclinazione attuale, una tale deviazione avrebbe geologicamente un interesse grandissimo, inquantochè sarebbe causa che i raggi solari si disperderebbero su di una zona più vasta entro i circoli artico ed antartico. Dato quindi che si potesse calcolare l'epoca in cui un tale avvenimento sarebbe pel passato successo, producendo questo maggiore sperdimento dei raggi solari una diminuzione nella lunghezza della notte polare, in questa diminuzione si avrebbe in parte una spiegazione della vegetazione che nei periodi miocene e carbonifero sarebbe salita verso i poli, ed or s'incontra soltanto a latitudini più basse.

Secondo l'egregio meteorologo inglese, gli effetti sarebbero stati perfettamente opposti a quanto scrive il compianto geologo, avvegnachè più diminuiva l'obliquità meno potevano i raggi solari spandersi sulle regioni artiche ed antartiche, e per contro più sarebbe cresciuta l'obliquità, maggiore sarebbe stato il calore che si sarebbe sparso sulle latitudini polari. Più il sole s'allontana dall'equatore, maggiore è la quantità del calore che si diffonde sopra le regioni polari e se l'obliquità potesse toccare il suo limite assoluto di 90° , è evidente che i poli riceverebbero una quantità di calore maggiore di quanto or ne riceve l'equatore.

V.

Già ci siamo allungati, nel fare un'analisi di quest'opera di James Croll, assai più di quanto ne avevamo l'intenzione allorché abbiamo intrapreso questo grave assunto, e dobbiamo quindi mettere un termine al nostro scritto. In questo, noi abbiamo creduto opportuno di far soltanto parola di quella parte che si riferisce più particolarmente ai cambiamenti di clima, che per varie cause fisiche ora conosciute e perfettamente constatate dai matematici si sono successivamente presentati su questa terra, ed abbiamo assolutamente tralasciato di far conoscere una ricca serie di dati e di ragionamenti da lui esposti, che vengono in grandissimo aiuto allo studio della geologia, chè altrimenti ci saremmo troppo allungati. Senza che ci si possa dire che abbiamo esagerato il valore del libro, noi crediamo di poter asserire che

quest' opera diligentissima, segna un' èra di un grande progresso nello studio delle investigazioni fisiche, e dimostra la vastità delle cognizioni e la laboriosità del dotto scrittore. Questo libro non può a meno che essere di una grandissima importanza per lo studio dei cambiamenti che sono avvenuti sulla terra, e già dimostra a qual punto l'intelligenza umana s'è approfondita nella conoscenza degli avvenimenti che risguardano le modificazioni a cui il globo che abitiamo è andato soggetto. Il poter dire che l'uomo mercè accurate indagini e profondi studi non solo già trovasi in condizione di conoscere il passato, ma che la sua mente può in una certa guisa penetrare attraverso gli immensi spazi del futuro, è una delle più grandi vittorie dello spirito d'investigazione del secolo nel quale viviamo.

Roma, 1 gennaio 1876.

L. GATTA.