

HARLAN TRUE STETSON

TERRA E RADIO NEL COSMO

Traduzione del
DOTT. ING. CARLO ROSSI

★

II EDIZIONE

Scoperta
di nuove relazioni
fra Universo e Vita.

A. MONDADORI · EDITORE

In questa Collezione:

Paul de Kruif - I cacciatori di microbi.

(VII edizione)

Traduzione con note del prof. dott. FILIPPO USUELLI della R. Università di Milano.

Volume di 416 pagine con 36 illustrazioni, rilegato in tela e oro nette **L. 28**

Paul de Kruif - Uomini contro la morte.

(IV edizione)

Traduzione e note del prof. GENNARO TEODORO della R. Università di Pisa.

Volume di 440 pagine con 20 illustrazioni, rilegato in tela e oro nette **L. 28**

William Bragg - L'architettura delle cose.

(II edizione)

Traduzione con note del dott. ing. CARLO ROSSI del R. Politecnico di Milano.

Volume di 264 pagine con 76 illustrazioni, rilegato in tela e oro **L. 16**

H. S. Jennings - Eredità biologica e natura umana.

(II edizione)

Volume di 330 pagine con 49 illustrazioni, rilegato in tela e oro **L. 20**

C. E. Bechhofer Roberts - La verità sullo spiritismo.

Volume di 292 pagine con 27 illustrazioni, rilegato in tela e oro **L. 16**

J. von Uexküll - G. Kriszat - I mondi invisibili.

Traduzione della dott. PAOLA MANFREDI, con un « Saggio » del prof. FILIPPO USUELLI.

Volume di 244 pagine con 59 illustrazioni, rilegato in tela e oro **L. 15**

(segue nel 2° risvolto)

CULTURA D'OGGI

HARLAN
T. STETSON

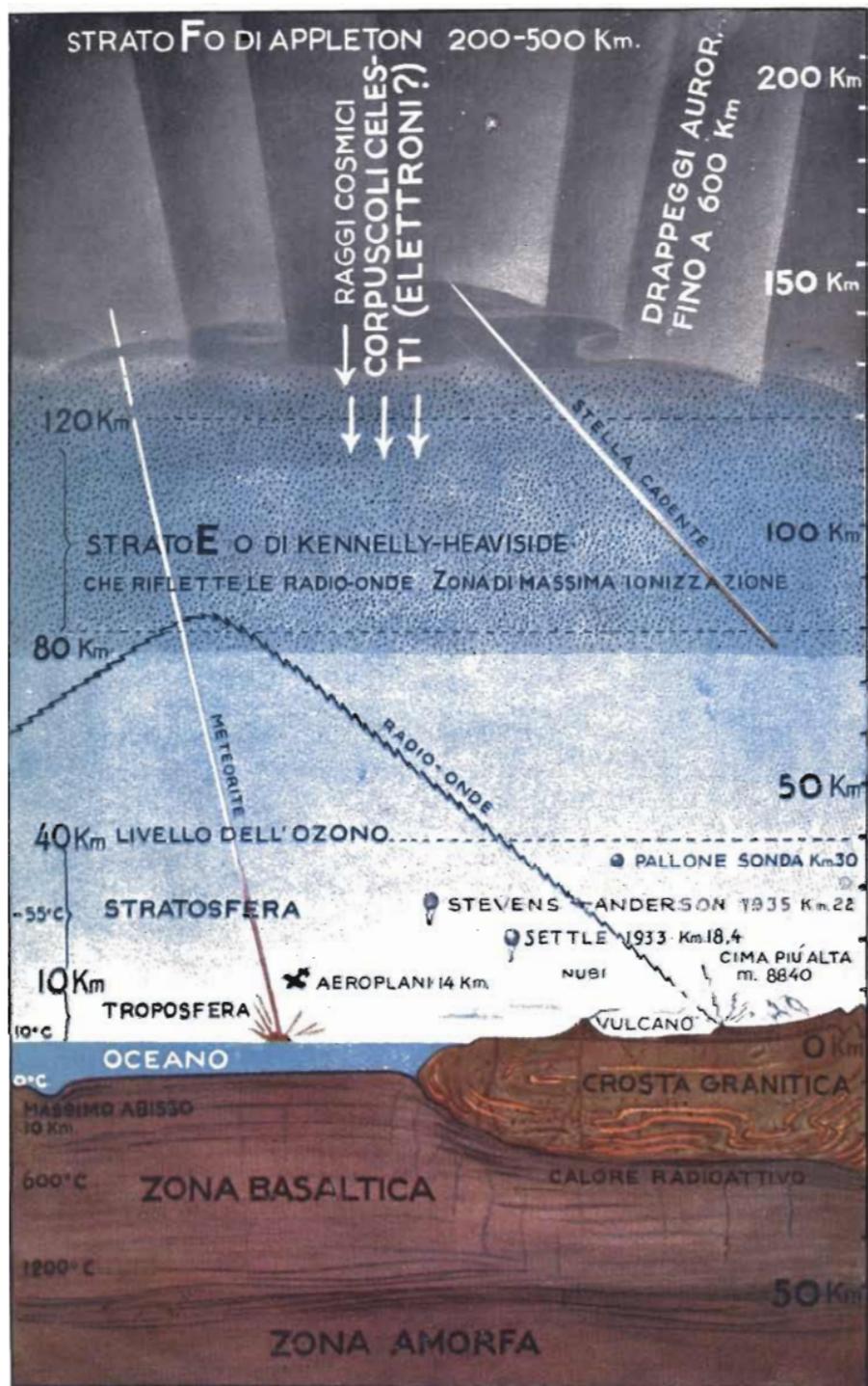
TERRA
E RADIO
NEL
COSMO

TERRA E RADIO NEL COSMO

«CULTURA D'OGGI»

In questa Collezione:

- PAUL DE KRUIF - I CACCIATORI DI
MICROBI (*settima edizione*)
- WILLIAM BRAGG - L'ARCHITETTURA
DELLE COSE (*seconda edizione*)
- H. S. JENNINGS - EREDITA BIOLOGICA
E NATURA UMANA (*seconda ediz.*)
- C. E. BECHHOFFER ROBERTS - LA VERITA
SULLO SPIRITISMO
- L. E. CLENDENING - M. MUSELLA - LA
FUCINA DELLA NOSTRA VITA
(*esaurito*)
- J. VON UEXKÜLL - G. KRISZAT - I MONDI
INVISIBILI
- HARLAN TRUE STETSON - TERRA E RADIO
NEL COSMO (*seconda edizione*)
- BERNARD JAFFE - LA CONQUISTA DELLA
MATERIA (*seconda edizione*)
- ENZO BONAVENTURA - LA PSICOANALISI
(*esaurito*)
- PAUL DE KRUIF - UOMINI CONTRO LA
MORTE (*quarta edizione*)
- G. DE ROSSI - LA VITA
- C. E. M. JOAD - GUIDA ALLA FILOSOFIA
(*terza edizione*)
- JEAN THIBAUD - VITA E TRAS MUTAZIONI
DEGLI ATOMI
- JAMES HARPOLE - CAMICE BIANCO
(*seconda edizione*)
- JOSEPH JASTROW - STORIA DELL'ER-
RORE UMANO



Sezione trasversale della crosta terrestre e dell'atmosfera.

HARLAN TRUE STETSON

TERRA E RADIO
NEL COSMO

★

TRADUZIONE DEL
DOTT. ING. CARLO ROSSI



A. MONDADORI · EDITORE

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

UNICA TRADUZIONE AUTORIZZATA

★

Titolo dell'opera originale:

EARTH, RADIO AND THE STARS

2ª edizione - Maggio 1941

STAMPATO IN ITALIA - PRINTED IN ITALY

02371 - OFF. GRAFICHE A. MONDADORI - VERONA - V - 1941 - A. XIX

INDICE DEL TESTO

	PREFAZIONE DEL TRADUTTORE	13
	INTRODUZIONE	19
I	- I PIANETI GEMELLI	25
II	- LA MIGRAZIONE DEI POLI	30
III	- LA LUNA FA VARIARE LA LATITUDINE?	43
IV	- MAREE OCEANICHE	54
V	- MAREE TERRESTRI	68
VI	- VARIAZIONE DELLE LONGITUDINI	77
VII	- L'INTERNO DELLA TERRA	83
VIII	- INFLUENZE DEL SOLE SULLE VICENDE UMANE	99
IX	- LE MACCHIE SOLARI E IL MAGNETISMO TERRESTRE	112
X	- LE MACCHIE SOLARI E LE RADIORICEZIONI	125
XI	- IL SOLE E LO STRATO DI KENNELLY-HEAVISIDE	142
XII	- RADIOTRASMISSIONI TRANSATLANTICHE	155
XIII	- LA RADIO E LA LUNA	169
XIV	- LA RADIO E LE ECLISSI SOLARI	180
XV	- LA RADIO E LE METEORE	190
XVI	- LA RADIO E LE STELLE	196
XVII	- ILLUMINAZIONI NOTTURNE DEL CIELO	209
XVIII	- NUBI COSMICHE	224
XIX	- RAGGI COSMICI	243
XX	- COSMECOLOGIA	261

INDICE DELLE ILLUSTRAZIONI

1.	Il sistema Terra-Luna	26
2.	Il movimento di precessione	27
3.	Le diverse posizioni della Terra rispetto al Sole durante l'anno	27
4.	Misura astronomica della latitudine	31
5.	Apparecchio per mostrare il moto di precessione dell'asse terrestre	32
6.	Il telescopio zenitale	36
7.	Schema del telescopio fotografico zenitale	40
8.	Deformazione della forma della Terra	44
9.	Variazione della latitudine a Gaithersburg, 1913-1914	46
10.	Variazione della latitudine in funzione dell'angolo orario della Luna a Gaithersburg	50
11.	Variazione della latitudine a Washington, 1924-1927	51
12.	Rigonfiamento ed abbassamento delle acque oceaniche dovuti alla attrazione della Luna	55
13.	Lo spostamento dell'onda di marea sulla Terra in rotazione	56
14.	Carta delle linee cotidali	59
15.	Maree dovute all'attrazione combinata del Sole e della Luna	61
16.	Ineguaglianza diurna delle maree	63
17.	Curve delle due alte maree diurne per la latitudine di 40° Nord	64
18.	Forze generatrici delle maree	65
19.	Differenze apparenti nell'indicazione di orologi in relazione alla posizione della Luna	79
20.	Vista schematica dell'interno della Terra secondo le attuali conoscenze geologiche	89
21.	Carta di Wegener che illustra la sua ipotesi della deriva dei continenti	90
22.	Disegno schematico che illustra la teoria di Joly della periodica fusione del sima	92
23.	Determinazioni della radiazione solare	104
24.	I livelli dei laghi africani e la correlazione con le macchie solari	109
25.	Anelli d'albero che rivelano un ciclo solare attraverso i secoli	111

26. Carta delle linee isogoniche della Terra	113
27. Curva del numero delle macchie solari e dell'attività magnetica della Terra	115
28. Variazione media stagionale del campo magnetico terrestre nelle ore diurne	117
29. Variazione diurna della declinazione magnetica per effetto della Luna	119
30. Variazione nella radiotrasmissione attraverso l'Atlantico di un segnale in relazione a tempeste magnetiche	122
31. Intensità della ricezione radiotransatlantica e dell'attività magnetica	123
32. Riflessione delle radioonde da parte di uno strato ionizzato alto	132
33. Riflessione delle radioonde da parte di uno strato ionizzato basso	132
34. Relazione tra radioricezione e numero di macchie solari	135
35. Confronto tra le intensità delle radioricezioni e l'attività solare	135
36. Intensità media annuale di ricezione dei radiosegnali diurni transatlantici e rispettivo numero di macchie solari	137
37. I disturbi atmosferici notturni in funzione delle macchie solari	138
38. I disturbi atmosferici sulle onde lunghe	139
39. Intensità di campo di radiotrasmissioni ad onda lunga	140
40. Macchie solari (numeri relativi) nella zona centrale del Sole e curva dell'intensità delle radioricezioni a Perkins	143
41. Numero di ioni ed elettroni nell'atmosfera terrestre alle varie altezze	152
42. Media mensile della variazione giornaliera dell'intensità del campo di stazioni americane	156
43. Media mensile della variazione giornaliera di intensità di segnali	159
44. Il percorso delle radiotrasmissioni transatlantiche tra New York e l'Inghilterra	160
45. Percorso di trasmissione transatlantica nelle ore diurne e notturne	161
46. Portate diurne delle radioonde alle varie frequenze	161
47. Portate notturne delle radioonde alle varie frequenze	162
48. Onda di marea lunare nell'atmosfera terrestre	170
49. L'intensità delle radioricezioni e correlazione con l'angolo orario della Luna	171

50. Diagramma dell'intensità di ricezione delle radioonde a Perkins	174
51. Correlazione tra l'intensità di ricezione e l'angolo orario e la declinazione della Luna	175
52. Schema della traiettoria di sciami di particelle emesse dal Sole in rotazione	182
53. Carta che mostra la relazione tra un'ipotetica ombra corpuscolare e la traccia di un'eclisse totale	185
54. Variazioni in altezza dello strato di Kennelly-Heaviside durante un'eclisse	188
55. Diagramma del progressivo spostamento della massima intensità di radioonde d'origine extraterrestre	198
56. Cambiamento stagionale nella direzione di arrivo di radioonde extraterrestri	199
57. Schema del cambiamento apparente nella direzione delle radioonde siderali	201
58. Anello toroidale intorno alla Terra per spiegare i radio-echi spaziali	205
59. Altezze delle aurore boreali nella Norvegia meridionale	211
60. Sezione dello spazio nella regione dell'anello toroidale	212
61. Ingrandimento di una porzione del campo spaziale in vicinanza del polo magnetico terrestre	214
62. La luce zodiacale osservata nell'Oceano Indiano durante un'eclisse	216
63. Nebulosa spirale nella costellazione della Vergine	232
64. Nebulosa spirale nell'Orsa Maggiore	232
65. Corona solare in vicinanza di un massimo di macchie solari	233
66. Corona solare in vicinanza di un minimo di macchie solari	233
67. Ionizzazione dovuta ai raggi cosmici in funzione dell'altitudine e della pressione atmosferica	249
68. Ionizzazione dovuta ai raggi cosmici a diverse profondità sotto il limite superiore dell'atmosfera	251
69. Intensità dei raggi cosmici osservata a diverse altitudini in varie parti della Terra	256
70. L'intensità dei raggi cosmici dipende dalla latitudine rispetto all'equatore magnetico	257

Tavola a colori:

Sezione trasversale della crosta terrestre e dell'atmosfera	7
---	---

PREFAZIONE DEL TRADUTTORE

Lo scienziato americano H. T. Stetson si è prefisso, scrivendo questo libro, di offrire al gran pubblico ed anche agli studiosi in genere, il quadro attuale delle relazioni intercorrenti tra l'umanità e l'Universo. Ovviamente egli ha dovuto toccare argomenti tolti alle scienze piú varie, ma sempre attinenti al soggetto: cosí il lettore troverà molte nozioni d'astronomia, fisica stellare e terrestre, biologia, radio, atomistica, ecc., che opportunamente scelte e riunite ci introdurrebbero, secondo l'A., in una nuova scienza, la « Cosmecologia », intesa come studio generale dei rapporti tra la Terra e l'ambiente cosmico in cui ci troviamo.

Dire che la Cosmecologia costituisca una scienza nuova di zecca è forse meno appropriato del considerarla piuttosto una specie di sintesi di parti piú o meno estese d'altri numerosi rami di scienze già esistenti. Se per esempio essa si occupa di geofisica, è per quei fenomeni di meteorologia, oceanografia, magnetismo terrestre, vulcanologia, sismologia, idrologia, geodesia, geologia, che già altrimenti noti, hanno tuttavia qualche punto di contatto con quelli cosmici; cosí della radio non considera che la propagazione delle onde elettromagnetiche nei suoi rapporti con le vicende fisiche della Terra, del sistema solare e della Galassia; della biologia i fenomeni che piú sembrano dipendere dalle condizioni ambientali extraterrestri; dell'atomistica quanto si ricollega alla fisica degli astri di maggior importanza per l'umanità, ecc. Donde la difficoltà del compito assuntosi dallo Stetson di presentare nozioni di scienze

PREFAZIONE DEL TRADUTTORE

disparatissime in un tutto armonico ed assimilabile al lettore non specializzato. Per questa ragione egli dovette trattare i varii argomenti con mano leggera e mantenerli in un giusto equilibrio tra di loro, senza cioè diffondersi là ove ci sarebbe stato ancor altro da esporre. Ed è anche perdonabile se in questa poliedrica trattazione il filo di guida diventa talora piuttosto sottile, se qua e là s'attenua la distinzione, che ci si augurerebbe più netta, tra la speculazione scientifica e la realtà dei fatti, se alle volte rimane qualche dubbio sull'interpretazione di taluni fenomeni e sulla rigosità di discriminazione delle varie cause che possono produrli. Ma sono nei sui quali il gran pubblico può passare sopra senza inconvenienti, di fronte al vantaggio di poter gettare uno sguardo generale sull'avvincente, vastissimo, misterioso argomento.

Si suole dire che non si potrebbe vivere di solo pane: e forse la considerazione dei nostri rapporti con l'infinito è più che un sollievo, è quasi una necessità per non abbrutire oltre misura nella dura lotta per l'esistenza. Sull'esempio del poeta che si vestiva correttamente di nero prima d'aprire la Divina Commedia, lo spirito cerchi di dimenticare per qualche ora i suoi legami materiali e s'accosti con religiosità alla bellezza di fenomeni grandiosi e meravigliosi, che una non minore meraviglia, il genio umano, è riuscito a scoprire, investigare e spiegare.

C. Rossi

TERRA E RADIO NEL COSMO

INTRODUZIONE

OBBLIGATI a vivere sulla Terra, ci possiamo considerare a bordo di una nave in alto mare. Contrariamente all'opinione dei primi astronomi, la Terra è ben lontana dall'essere fissa nello spazio. Alla nostra latitudine siamo trascinati verso oriente, per il moto di rotazione della Terra, ad una velocità di oltre un migliaio di chilometri all'ora: inoltre la Terra procede lungo la sua orbita a una velocità di circa 30 km al secondo, compiendo in un anno una rivoluzione intorno al Sole. Questa stella, che possiamo considerare come la nave ammiraglia della flotta dei pianeti che costituiscono il sistema solare, a sua volta procede nello spazio in direzione della stella Vega ad una velocità di circa 20 km al secondo, ossia di circa 72 mila km all'ora. Infine, il sistema stellare, cui il Sole appartiene, sembra si muova nelle profondità celesti ad una velocità ancora maggiore. Intanto i passeggeri della nave Terra, fortunatamente senza accorgersene, subiscono ondeggiamenti per il particolare movimento di oscillazione dell'asse terrestre, e parimenti la coperta della nave, sulla quale noi ci troviamo, e cioè la crosta terrestre, è ben lungi dall'essere stabile, poiché di tanto in tanto è soggetta a scosse in seguito ad assestamenti interni. Durante il nostro viaggio celeste attraverso lo spazio, come passeggeri su questa piccolissima imbarcazione celeste, siamo poi soggetti a tutte le forze cosmiche conosciute ed ignote, che agiscono nell'oceano mistico dell'etere.

Se esaminiamo l'ambiente che ne circonda, giungeremo a scoprire quali siano alcune delle forze pertur-

batrici che agiscono sulla Terra. Osservando le stelle potremo fare deduzioni non solo riguardo ai movimenti della Terra ed agli spostamenti del suo asse, ma parimenti circa i moti della crosta terrestre, sulla quale ci troviamo. Esamineremo le forze perturbatrici che i corpi celesti vicini esercitano sulla Terra provocando le maree dei suoi oceani, della sua crosta e della sua atmosfera.

Troveremo che la Terra si comporta come un magnete e che il suo magnetismo subisce in maniera misteriosa l'influenza delle condizioni del Sole. Giungeremo a riconoscere: che le manifestazioni vitali svolgentisi alla superficie della Terra, dipendono dalla radiazione solare; che questa varia come risulta da misure eseguite con strumenti adatti, e che delle variazioni della radiazione solare è rimasta traccia nei giacimenti fossili prima che l'uomo potesse inventare i dispositivi che servono oggi a misurare il calore emanato dal Sole.

Di piú, verremo a conoscere che l'uomo è un organismo superiore, la cui vita è strettamente dipendente dalla quantità e dalla qualità di luce solare.

Scopriremo che lo stillicidio di energia solare sull'atmosfera terrestre, ne ha elettrizzato in alto grado gli strati superiori, rendendo così possibile un vasto sistema di radiocomunicazioni. Vedremo anche che lo stato elettrico dell'atmosfera terrestre è soggetto a continui cambiamenti in seguito al verificarsi di grandiose tempeste elettromagnetiche, che si scatenano sullo stesso Sole. L'avvento della radio ci ha dato un nuovo strumento per scoprire e misurare l'effetto delle perturbazioni cosmiche in zone dell'atmosfera terrestre non raggiungibili con ascensioni in pallone o per mezzo di aeroplani.

Lo stato elettrico degli strati superiori dell'atmosfera dà luogo altresí alla formazione di luci e illuminazioni strane. Vedremo che vi sono elementi positivi per giungere alla conclusione che anche la Luna esercita un'influenza sullo stato elettrico dell'atmosfera terrestre, al pari d'un'attrazione che si manifesta nelle maree oceaniche e nelle deformazioni elastiche della crosta terrestre.

Vedremo inoltre che, mentre partecipiamo, a bordo della Terra, al piú grandioso viaggio che si possa immaginare attraverso l'Universo, siamo colpiti da ogni parte da proiettili di origine celeste, in forma di meteore e meteoriti, e che questi corpi lasciano la loro traccia elettrica quando attraversano l'atmosfera terrestre.

Oltre a questa pioggia di materia tangibile, scopriremo che siamo continuamente bombardati da altri proiettili di dimensioni infinitesime, chiamati raggi cosmici, di natura cosí altamente penetrante, che corazze del peso di tonnellate e tonnellate non possono proteggerci da essi. Strani sibili, provenienti forse dal centro del sistema galattico, ed udibili in adatti apparecchi radio, ci segnalano inoltre verosimilmente emissioni elettriche ad alta frequenza da parte delle stelle.

L'êra dell'astronomia dinamica sembra ormai superata e si può dire ormai iniziata quella dell'astronomia elettronica. Le note equazioni di meccanica celeste cederanno forse presto il passo all'algoritmo, piú complesso, dell'elettricitá celeste. L'elettrone misterioso, l'elemento costitutivo fondamentale di tutta la materia, che danza nelle valvole della vostra radio per offrirvi l'audizione del vostro jazz preferito, danza pure nelle stelle piú lontane della nostra Galassia ed in altri sistemi galattici. Siamo forse per entrare in un singolare mondo nuovo

di pensiero e di scienza, oggi per noi così singolare nel ventesimo secolo, come poteva riuscire sorprendente la dottrina di Copernico di un universo eliocentrico per l'astronomo medioevale di ieri.

I problemi dei varî campi della scienza sono ormai così interconnessi che nessuno scienziato, che si sia specializzato in un dato ramo, si sente preparato in maniera adeguata per affrontare nel loro complesso questi problemi. Abbiamo tutti bisogno di conoscere la Terra e la sua costituzione come ci insegna la geologia; dobbiamo procurarci tutte le notizie che ci può dare la meteorologia; ci occorre quanto ci possono far conoscere: la fisica circa la struttura dell'atomo, la radio-tecnica con la rivelazione delle onde elettriche, la biologia con gli studî sul comportamento dei corpi organici, l'astronomia con i telescopi giganti, che raggiungono gli ultimi recessi dello spazio e la matematica coi suoi metodi di analisi e di logica, che ci insegnano a trarre valide conclusioni dai dati osservati in questi varî campi tutti legati tra loro.

Nei capitoli che seguono passeremo perciò in rapida rassegna quanto ci è noto circa la Terra, i suoi movimenti e la sua costituzione, la natura del Sole, la sua radiazione e i suoi effetti sulle vicende umane, la natura di quelle perturbazioni misteriose chiamate macchie solari, la correlazione che esiste tra i fenomeni solari e le cose terrestri, come il magnetismo terrestre e le radiotrasmissioni. Vedremo quali ulteriori dati ci possono offrire l'astronomia e la fisica in base all'osservazione delle meteore, delle aurore boreali, di vaste estensioni di nuvole cosmiche e dei misteriosi raggi cosmici. La correlazione di tutti questi campi di indagine, che

riguardano la Terra nel quadro cosmico, ci offrirà un mezzo favorevole per introdurci in una nuova scienza sintetica - la cosmecologia - la quale è d'interesse non solo per lo scienziato, ma anche per il lettore che desidera rendersi conto di come è costituito l'universo che lo circonda.

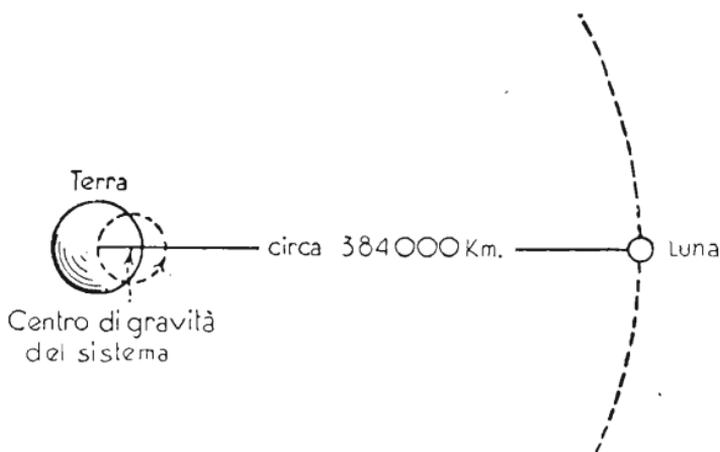
CAPITOLO I

I PIANETI GEMELLI

NON si suole considerare la Terra come pianeta gemello della Luna, gemello non identico naturalmente, poiché la Terra è molto piú grande e pesante della sua compagna. Sembra tuttavia possibile che la Terra e la Luna si siano formate quasi contemporaneamente. Di solito si considera la Luna come un satellite della Terra, ma dopo tutto, nel suo comportamento verso la Terra, non è piú satellite di quello che non sia una creatura che s'avvinghia alla sorella maggiore.

È perciò nostro intendimento, trattando della Terra, di parlare del sistema Terra-Luna, poiché non si può studiare uno di questi corpi celesti senza prendere in considerazione anche l'altro. Non esiste un altro pianeta nel sistema solare che abbia un satellite di dimensioni paragonabili a quello che ha la Terra. Che la Luna eserciti notevole influenza sul comportamento della sorella maggiore, la Terra, è fuori discussione. L'influsso gravitazionale della Luna sulla Terra è stato riconosciuto quale fatto astronomico sino dall'epoca di Newton. Sebbene la massa della Terra sia circa ottantun volte piú grande di quella della sua piccola gemella e benché si trovi a una distanza di 384 000 km dalla Luna, nel moto di rivoluzione annuale di questa coppia intorno al Sole la Terra è spinta fuori dalla sua orbita ellittica per quasi 5000 km nel periodo di un mese, mentre gira con la Luna intorno al comune centro di

gravità del sistema (fig. 1). Inoltre a cagione del continuo spostarsi della Luna al disopra e al disotto del piano dell'equatore terrestre, l'asse della Terra resta soggetto a un moto oscillatorio. Questo fatto è di disturbo agli astronomi che dalla Terra tentano di determinare con esattezza la posizione delle stelle.

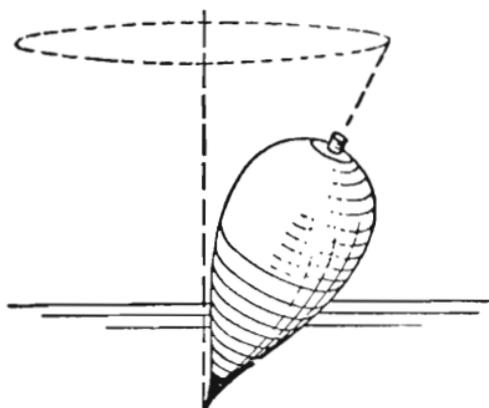


1. Il sistema Terra-Luna.

Vi è poi un altro speciale movimento dell'asse di rotazione terrestre, dovuto sempre all'influsso gravitazionale del Sole e della Luna sulla Terra. Questo fenomeno è conosciuto col nome di precessione ed è paragonabile al moto d'ondeggiamento di una trottola in rotazione; il suo asse descrive infatti un cono più o meno aperto (fig. 2). Questo particolare moto della trottola è una caratteristica del comportamento giroscopico.

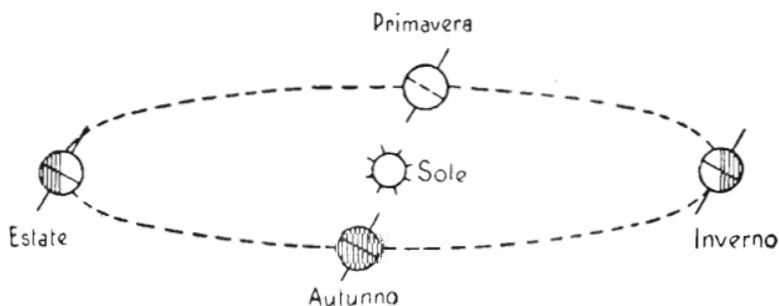
L'asse di rotazione terrestre è inclinato di circa 66° rispetto al piano dell'eclittica (orbita della Terra intorno al Sole), come si vede dalla figura 3. Questo asse polare

tende per altro a rimanere parallelo a se stesso durante tutta la rivoluzione del nostro pianeta attorno al Sole. E ciò è un vantaggio per noi, perché se no la vita sulla



2. Il movimento di precessione.

Terra sarebbe un po' monotona. È infatti questa costante inclinazione dell'asse terrestre, rispetto all'eclittica,



3. Le diverse posizioni della Terra rispetto al Sole durante l'anno.

che è la causa delle stagioni e dei cambiamenti di clima, caratteristici delle zone temperate. Quando il polo Nord della Terra è in direzione opposta al Sole, al solstizio

d'inverno, si hanno nell'emisfero boreale giornate brevi, notti lunghe, e basse temperature. Sei mesi dopo, quando il polo Nord è invece diretto verso il Sole, si ha nel nostro emisfero, al di là del circolo polare artico, il fenomeno del sole di mezzanotte. Chi vive nelle zone temperate dell'emisfero boreale gode allora giornate lunghe, notti corte ed i vantaggi dell'estate.

Naturalmente la costanza direzionale dell'asse terrestre fa sí che la Stella Polare risulti quasi fissa nel firmamento. È tuttavia noto che il polo celeste Nord degli Egizî non era la nostra Stella Polare, e che fra diecimila anni questa non si troverà piú sul prolungamento dell'asse terrestre. Tutto ciò deriva dalla precessione. Col passare dei secoli il polo Nord della Terra si va lentamente spostando lungo un piccolo cerchio come indicato nella figura 5. Il movimento per altro è cosí lento che l'asse polare terrestre percorre l'intero cono di precessione solo in 26 mila anni.

La causa di tutto in questo turbamento precessionale è dovuta ad una lieve anormalità nella forma sferica della Terra, precisamente al suo rigonfiamento equatoriale, sul quale la Luna ed il Sole esercitano la loro influenza gravitazionale. Se fosse abbandonata a se stessa e senza moto di rotazione, la Terra avrebbe forma perfettamente sferica con eguali diametri polari ed equatoriali. La forza centrifuga derivante dalla rotazione della Terra attorno al proprio asse attenua l'azione della gravità nelle regioni equatoriali con la conseguente formazione del rigonfiamento equatoriale e dell'appiattimento ai poli. Siccome il piano dell'equatore terrestre forma un angolo di circa $23^{\circ},5$ e quello dell'orbita lunare uno di circa 5° con il piano dell'eclittica, cosí l'azione del Sole e quella della Luna tendono insieme a ripo-

tare l'asse della Terra in direzione perpendicolare al piano dell'eclittica. Ma le leggi del moto giroscopico si oppongono a questa azione col risultato che, se la Terra non abbandonerà il suo moto di rotazione, l'equilibrio potrà essere mantenuto e l'asse terrestre continuerà nel suo moto precessionale prima accennato.

Non vogliamo abbandonare l'argomento dei movimenti del sistema Terra-Luna senza ricordare anche l'ulteriore spostamento negli spazî siderei imposto al nostro pianeta ed al suo satellite dal movimento stesso del Sole. Il Sole è una stella caratteristica. Esso ha un moto suo proprio nella Galassia, avanzando alla velocità di 72 000 km all'ora verso la costellazione della Lira. Non con l'idea però di raggiungerla, perché se esso dovesse arrivare là dove trovasi la Lira, questa non si troverebbe piú dove si suppone che sia, ammesso che noi abbiamo il diritto di fare supposizioni sulla posizione delle stelle. Qui basti ricordare che, come abitanti della Terra, noi abbiamo la fortuna di percorrere circa 650 000 000 km all'anno senza pagare il biglietto di viaggio per un cosí lungo percorso.

CAPITOLO II

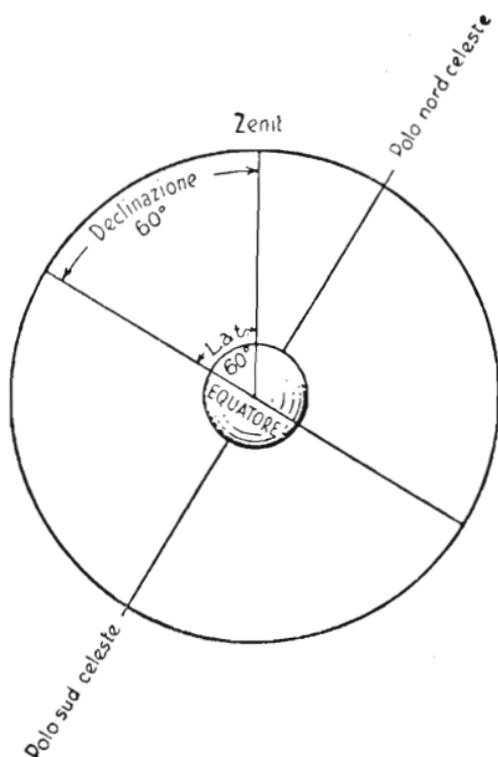
LA MIGRAZIONE DEI POLI

DUE scienziati della passata generazione, il cui nome peraltro non fu mai ricordato tra quelli di componenti spedizioni d'esplorazione nell'Artide, scopersero la posizione del polo Nord con un'esattezza da suscitare l'invidia d'ogni futuro esploratore artico. Uno di questi scienziati era Chandler, un americano di Cambridge nel Massachusetts, l'altro, Küstner, un tedesco di Berlino. Per le loro ricerche questi due scienziati si servirono di telescopi relativamente piccoli puntati verso le medesime stelle. Scopo delle loro ricerche era quello di determinare con la massima precisione la posizione delle stelle in modo da eliminare, per quanto possibile, ogni incertezza nella individuazione del punto della Terra in cui si trovavano. Chiunque faccia un'escursione sa che la sua esatta posizione può essere determinata dalla conoscenza della sua latitudine e longitudine, ricavate da osservazioni delle stelle o dalla misura della distanza e della direzione da alcuni capisaldi situati nelle vicinanze, la posizione dei quali sia stata a sua volta determinata nel modo prima indicato.

Ora, è a tutti noto che la latitudine sulla superficie terrestre è data dalla distanza dall'equatore terrestre verso Nord o Sud alla quale l'osservatore si trova, ed è espressa in gradi, minuti, secondi e frazioni di questi ultimi.

Dalla figura 4 si vede che in ogni punto della superficie terrestre la verticale del filo a piombo, prolungata

verso lo Zenit, forma col piano dell'equatore un angolo chiamato declinazione (boreale od australe), che costituisce appunto la misura della latitudine in quel punto. In linguaggio astronomico si dice che la latitudine del-



4. Misura astronomica della latitudine.

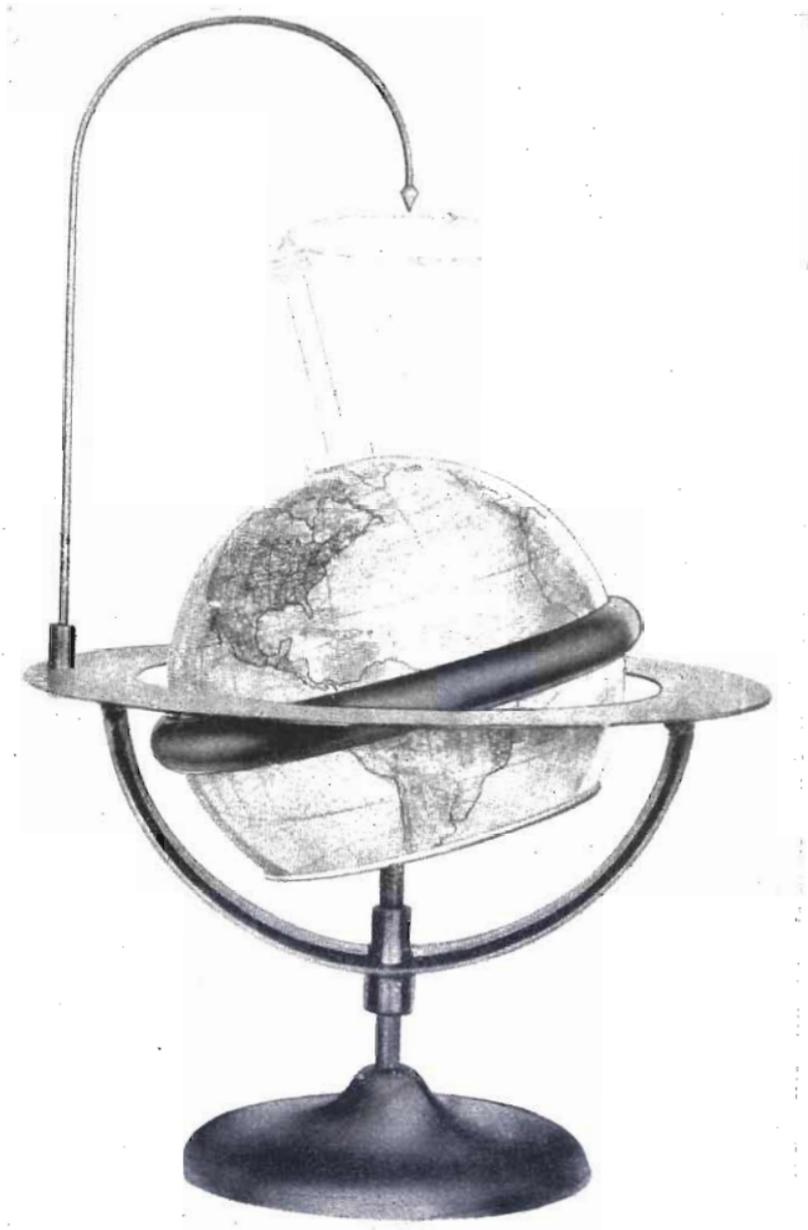
l'osservatore è sempre eguale alla declinazione dello Zenit.

Chandler e Küstner trovarono che la posizione dei loro rispettivi Zenit risultava variare di settimana in settimana e di mese in mese, in modo inspiegabile. In altre parole Cambridge risultava talvolta più a Nord dell'equatore di quello che non risultasse dalla media delle

determinazioni della sua latitudine e tal altra risultava invece piú a Sud. Voleva ciò significare che Cambridge si spostava sulla superficie del globo? Küstner nello stesso tempo faceva constatazioni analoghe per Berlino. Appariva tuttavia preferibile attribuire l'inconveniente all'equatore terrestre, piuttosto che coinvolgere in questo comportamento gli osservatorî di Cambridge e Berlino. Nell'intento di osservare una certa cautela nell'annunciare una cosí sorprendente scoperta e non volendo azzardare ipotesi troppo impegnative sulle relative cause, i due scienziati annunciarono prudentemente la scoperta come una « variazione della latitudine ». Questa definizione, riguardante un particolarissimo fenomeno nel comportamento dell'asse del nostro pianeta, è rimasta ancor oggi nella letteratura astronomica.

Si può però subito comprendere che, essendo l'equatore definito come un grande cerchio immaginario che attornia il nostro globo alla costante distanza di 90° dai poli, ogni spostamento dell'equatore deve necessariamente presupporre un corrispondente spostamento dei poli terrestri. Infatti i tedeschi chiamano questo fenomeno « movimento dei poli ». La variazione di latitudine avvenuta durante l'ultimo mezzo secolo ascende a meno di sei decimi di secondo d'arco. Questa migrazione dei poli è ciclica e presenta un periodo ben definito di 428 giorni, con una presunta variazione stagionale. Ciò significa che l'asse terrestre si sposta limitando però la migrazione delle sue estremità entro una area che si calcola essere meno della metà di un ettaro.

La migrazione dei poli potrebbe essere infatti limitata da un recinto quadrato avente un lato di 20 m circa. Per un esploratore che abbia allo studio una spedizione al polo Nord, è evidente quanto sia importante



5. Apparecchio per mostrare il moto di precessione dell'asse terrestre.



avere dagli astronomi le informazioni piú recenti sull'esatta ubicazione di questo punto sfuggente, che si chiama polo. Altrimenti, quand'egli crede di avere raggiunta la mèta, non l'avrà affatto, poiché il polo non sarà dov'egli credeva si trovasse, quando aveva iniziato il suo viaggio di esplorazione. Giustamente si possono perciò annoverare Chandler e Küstner tra gli scopritori del polo Nord, quantunque essi non siano certamente elencati fra gli esploratori dell'Artide.

Considerando i movimenti dell'asse terrestre, bisogna fare un'attenta distinzione tra il cambiamento di direzione dell'asse nello spazio, quale si manifesta nel fenomeno della precessione, e lo spostamento dell'asse polare rispetto alla superficie della Terra, al quale sono dovute le variazioni di latitudine. Supponiamo ad esempio che una palla da golf abbia un punto rosso posto simmetricamente rispetto alle striature, in modo da segnare il suo polo geometrico. La palla venga lanciata in modo che, mentre percorre la sua traiettoria verso una buca, giri su se stessa; supponiamo ancora che l'asse di rotazione sia inclinato di circa 60° rispetto ad un piano orizzontale; esso rimane sensibilmente parallelo a se stesso dal punto in cui la palla è stata lanciata fino a quello d'arrivo. Siccome l'asse rimane parallelo a se stesso, il suo prolungamento nello spazio resterà per tutta la traiettoria praticamente diretto sempre verso lo stesso punto celeste. Però, a cagione di leggerezza irregolarità della superficie della palla, il punto rosso migrerà un poco rispetto all'estremità dell'asse di rotazione. Inversamente: ad un ipotetico abitante della palla, il polo dell'asse di rotazione apparirebbe soggetto ad una migrazione attorno al punto rosso segnato sulla superficie. Ogni punto della palla da golf, la cui posi-

zione sia determinata rispetto al punto rosso, sembrerà quindi spostarsi rispetto all'asse di rotazione e, poiché la latitudine di questo punto è per definizione riferita all'asse di rotazione, è ovvio che risulterà come conseguenza una variazione di latitudine, quantunque non vi sia spostamento nella direzione dell'asse di rotazione rispetto alle stelle. Questo è precisamente quanto si verifica nel caso della Terra. È come se, in una rappresentazione esagerata, l'estremo Nord della Groenlandia fosse il punto rosso della palla. Esso viene allora a trovarsi a volte più vicino e a volte più lontano dal polo Nord di rotazione terrestre. Poiché la Groenlandia fa parte della superficie terrestre, anche altri punti di questa appariranno soggetti ad analoghi spostamenti.

Vogliamo ora ricercare, per quanto è possibile, la spiegazione del particolare comportamento del polo terrestre geometrico rispetto al vero polo di rotazione.

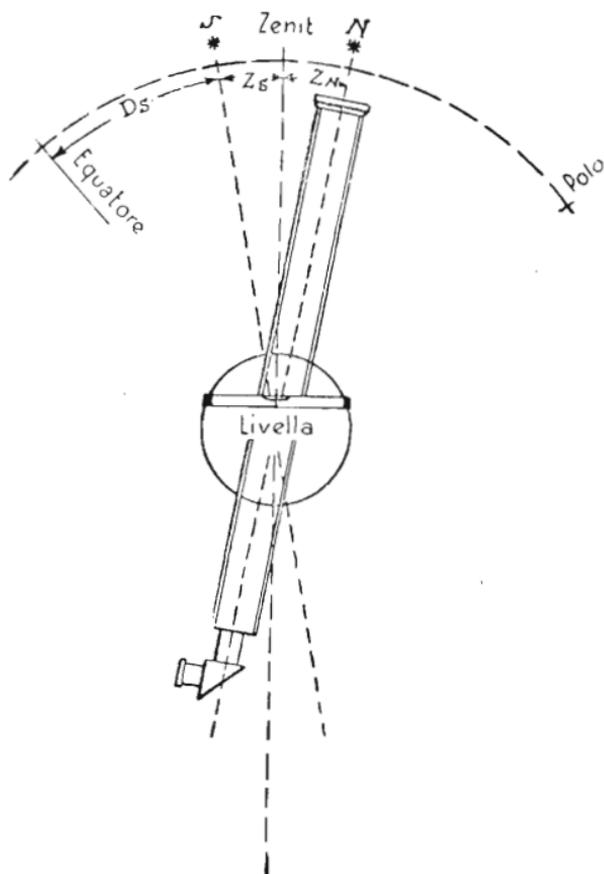
Già nel 1765 Euler, in una discussione matematica sulla rotazione di un corpo solido intorno al suo centro di gravità, dimostrò che, se per una ragione qualsiasi l'asse geometrico non coincide esattamente coll'asse di rotazione, il polo geometrico descrive nello spazio una piccola orbita intorno al polo di rotazione. Se nell'esempio precedente supponiamo, per analogia con la Terra, che la palla da golf sia lievemente schiacciata in direzione dell'asse che passa per il punto rosso e leggermente gonfiata lungo la circonferenza a 90° da questo punto, l'asse, il cui polo è individuato dal punto rosso, rappresenterebbe l'asse geometrico della palla. Ora, è piccola la probabilità che, quando la palla viene lanciata, il suo asse geometrico coincida col suo asse di rotazione dopo il lancio. Come risulta dall'esposizione teorica di Euler, il punto rosso inizierà perciò il suo

vagabondaggio attorno al polo di rotazione. Euler ritenne perciò che, nel caso della Terra, la cui forma è un ellissoide di rivoluzione, si sarebbe dovuto riscontrare un movimento dell'asse geometrico rispetto all'asse di rotazione terrestre. Supponendo che la Terra sia un corpo perfettamente rigido, Euler concludeva che il periodo del movimento dell'asse geometrico intorno all'asse di rotazione doveva essere di dieci mesi. Nel 1842 Bessel, basandosi sui risultati d'osservazioni stellari, cercò di controllare l'esattezza di questo periodo di dieci mesi, ma senza successo. Altri studiosi, tra questi Peters, Nyrén, Downing e Newcomb, fecero ricerche analoghe giungendo alla conclusione che non esisteva un periodo di 10 mesi che potesse causare uno spostamento nella posizione di una stella pari ad un decimo di secondo d'arco.

Chandler per primo annunciò che le variazioni di latitudine da lui scoperte avevano un periodo di circa 428 giorni, invece dei 306 giorni predetti da Euler. Newcomb dapprima fu molto scettico circa la fondatezza delle conclusioni di Chandler, poiché il periodo di Chandler era superiore del 40% ai risultati delle deduzioni teoriche di Euler. Però, dopo ulteriori riflessioni, Newcomb venne alla conclusione che, se si tien conto dell'elasticità che la Terra può possedere e della mobilità delle masse d'acqua degli oceani, il periodo di 428 giorni di Chandler può essere giustificato anche da considerazioni teoriche.

Oltre al periodo di 428 giorni, si ammette generalmente che vi sia un altro periodo di minor ampiezza, di circa 365 giorni e a carattere spiccatamente stagionale. Per spiegarlo, gli astronomi hanno suggerita l'ipotesi che esso sia dovuto all'asimmetria del carico alla

superficie della Terra, a cagione del deposito di neve e di ghiaccio durante l'inverno e al loro scioglimento d'estate. È però importante tener presente che altri fat-



6. Il telescopio zenitale.

tori, non dipendenti da cause meteorologiche, possono contribuire alla formazione di questo periodo annuale. L'importanza del problema delle variazioni di latitudine, che solleva anche la questione se si verifichi o no,

entro lunghi intervalli di tempo, uno spostamento progressivo di masse terrestri, portò nel 1900 alla costituzione di una Commissione Internazionale di Controllo delle Latitudini. Furono scelti sei osservatorî situati praticamente tutti sullo stesso parallelo, ed opportunamente distribuiti sulla superficie terrestre; gli osservatorî erano: Mizusawa in Giappone; Carloforte su di una piccola isola della Sardegna; Gaithersburg nel Maryland, Cincinnati nell'Ohio e Ukiah in California negli Stati Uniti d'America; Charjui in Russia. Salvo brevi interruzioni, gli osservatorî operarono alle dipendenze della Commissione Internazionale delle Latitudini, finché il lavoro fu assunto dall'Associazione Astronomica Internazionale e dalla Sezione di Geodesia dell'Associazione Geodetica e Geofisica Internazionale, entrambe sorte nel periodo post-bellico. L'importanza della cooperazione internazionale per la risoluzione di tale problema è evidente. Col reciproco confronto, per esempio, dei risultati di due osservatorî separati da 180° in longitudine, è possibile scoprire se a uno spostamento di un osservatorio verso Nord nell'emisfero occidentale corrisponde un eguale spostamento in direzione opposta di un osservatorio situato nell'emisfero orientale. Il vantaggio di avere tutti gli osservatorî sullo stesso parallelo, il quale, in questo caso, è quello di $39^\circ,08'$ Nord, è di poter osservare da tutte queste stazioni lo stesso gruppo di stelle, così che ogni errore nella determinazione della loro posizione viene ad essere in pratica eguale per tutti gli osservatorî. Tali errori, perciò, non entrano materialmente nella variazione di latitudine. Inoltre il metodo di osservazione e di calcolo usato nei diversi osservatorî è eguale per tutti ed è quello dovuto a Talcott del Corpo degli Ingegneri Militari degli Stati Uniti d'America.

Come è stato prima ricordato, il problema della determinazione della latitudine di un dato punto della superficie terrestre è essenzialmente quello di determinare l'angolo fra la verticale o la direzione del filo a piombo, ed il piano dell'equatore terrestre; ora, giacché il punto celeste direttamente al disopra della verticale è lo Zenit, il problema è essenzialmente quello di determinare la declinazione dello Zenit per un dato punto della superficie terrestre.

Col metodo Talcott si usa un telescopio disposto in modo che il suo cannocchiale sia sempre rivolto, con la massima approssimazione possibile, allo Zenit di quel dato punto. Un simile strumento è conosciuto sotto il nome di *telescopio zenitale* ed una rappresentazione schematica ne è data in figura 6. Parte essenziale dello strumento è una livella molto sensibile, fissata al tubo del telescopio. La livella ha puramente lo scopo di sostituire il filo a piombo.

Il tubo della livella è piegato a forma di un arco di circolo. La bolla della livella, che si porta sempre nel punto piú alto, determina perciò la direzione esatta della verticale, in qualunque punto il telescopio sia installato. Per eseguire un'osservazione, si collima col telescopio ad una stella che si trova per esempio sul meridiano dell'osservatore e leggermente a sud dello Zenit. La posizione della stella, per quanto riguarda la sua declinazione, deve essere esattamente conosciuta. Il telescopio viene regolato in modo che la stella risulti esattamente nel centro del campo visivo del telescopio, marcato dal filo orizzontale di un reticolo situato nel fuoco dell'obbiettivo. La livella viene allora resa orizzontale e si legge la posizione della bolla su di una scala graduata. Lo strumento viene quindi girato di 180° , in

modo che il telescopio risulti diretto a un punto situato a Nord dello Zenit e lontano da questo quanto lo era prima il punto situato a Sud. Allora si vedrà nel cannocchiale un'altra stella la cui posizione è pure egualmente ben nota. Questa stella generalmente non coinciderà col filo orizzontale del reticolo sopra ricordato, ma tale scostamento può essere prontamente determinato per mezzo di un dispositivo micrometrico, di cui l'oculare del telescopio è provvisto. Nel fare la seconda collimazione, l'osservatore deve porre ogni cura nel controllare che la bolla della livella non si sia spostata dal suo indice di fede. Se L rappresenta la latitudine, D_s la declinazione della prima stella osservata un po' a Sud dello Zenit e Z_s la distanza di questa stella dal vero Zenit, si può scrivere la seguente equazione assai semplice:

$$L = D_s + Z_s$$

Per la seconda osservazione fatta sulla stella situata un po' più a Nord dello Zenit, si può scrivere un'analoga equazione:

$$L = D_n - Z_n$$

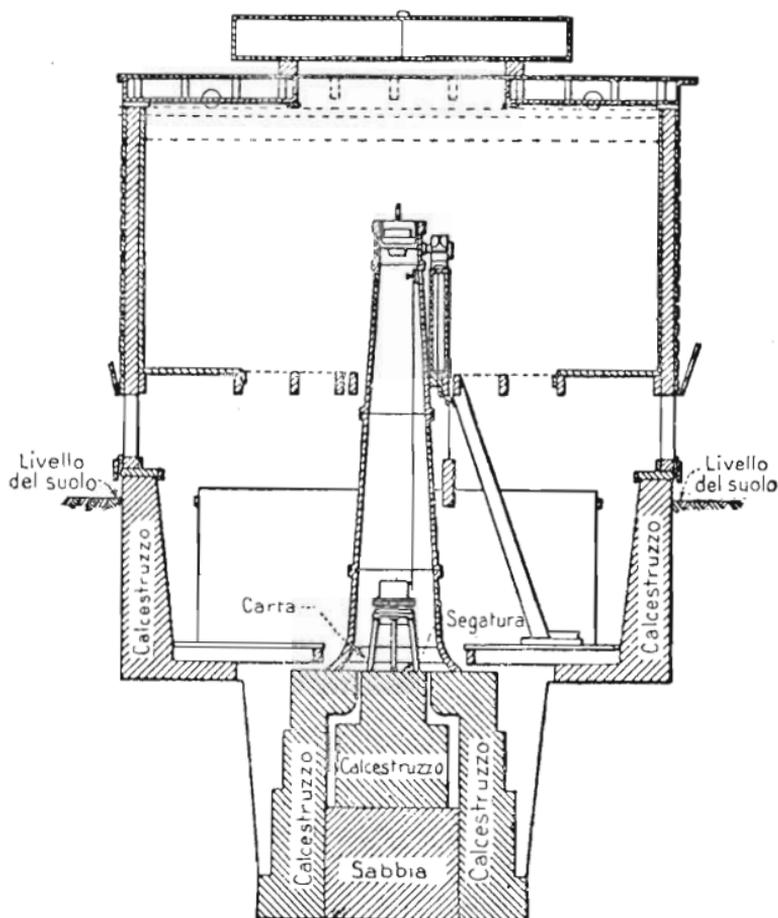
Dal sistema delle due equazioni, sommando membro a membro, si ricava:

$$L = \frac{1}{2} (D_s + D_n + Z_s - Z_n)$$

Essendo conosciute le declinazioni delle due stelle dalle loro posizioni di catalogo, ed essendo le differenze nelle distanze dallo Zenit misurate dall'osservatore, la latitudine astronomica viene subito determinata per mezzo di un semplicissimo calcolo aritmetico.

Uno dei maggiori inconvenienti nella maggior parte delle osservazioni astronomiche è dato dall'errore che può essere introdotto nella determinazione della posi-

zione di una stella, dovuto alla deviazione del raggio di luce che penetra obliquamente nell'atmosfera terrestre. Questa deviazione è chiamata tecnicamente col no-



7. Schema del telescopio fotografico zenitale.

me di rifrazione. Siccome però, osservando le stelle vicine allo Zenit, i raggi luminosi penetrano nell'atmosfera perpendicolarmente, non si verifica nel nostro caso alcuna

rifrazione sensibile. Questo è il grande vantaggio del metodo di Talcott, rispetto agli altri metodi di determinazione della latitudine per mezzo di osservazioni astronomiche.

Oltre al telescopio zenitale di tipo normale sopra descritto, è stato usato per un certo numero di anni nell'osservatorio di Gaithersburg un tipo del tutto unico di strumento, il cosiddetto telescopio fotografico zenitale. In questo apparecchio (fig. 7) il telescopio è montato verticalmente sopra una vasca piena di mercurio, il cui specchio si dispone naturalmente orizzontale, formando un piano perfettamente perpendicolare alla direzione del filo a piombo. I raggi di luce provenienti da una stella prossima allo Zenit, raccolti dall'obbiettivo del telescopio diretto verso l'alto, giungono in basso sulla superficie speculare del mercurio. Qui i raggi vengono di nuovo riflessi verso l'alto e concentrati nel fuoco situato alla superficie di una sottile lastra fotografica posta vicino al centro del tubo sotto l'obbiettivo. Quando la stella arriva al meridiano, essa lascia un'impressione della sua immagine sulla lastra fotografica. Se la stella si trova un po' a Sud dello Zenit, la sua traccia fotografica apparirà, allora, leggermente spostata rispetto al centro della lastra. L'obbiettivo del telescopio e la lastra vengono poi girati automaticamente di 180° per fotografare una stella situata un po' a Nord dello Zenit. La lastra viene quindi sviluppata e per mezzo d'un micrometro si può esattamente stabilire la distanza fra le tracce lasciate dalle due stelle. In questo modo si può ricavare la differenza delle distanze delle due stelle dallo Zenit, necessaria per la soluzione dell'equazione della latitudine. Il dott. F. E. Ross, allora all'osservatorio di

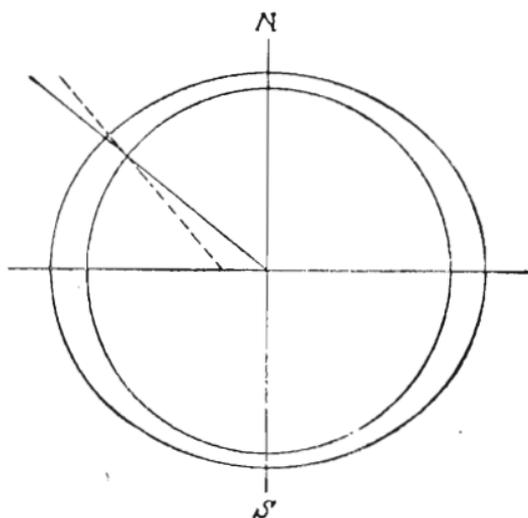
Gaithersburg, riteneva che i risultati delle osservazioni eseguite con questo strumento nel 1913-1914 fossero sensibilmente superiori per esattezza a quelli ottenuti coi telescopi zenitali di tipo normale. Negli ultimi anni questo telescopio fotografico zenitale è stato in funzione nell'Osservatorio di Washington della Marina americana.

CAPITOLO III

LA LUNA FA VARIARE LA LATITUDINE?

ABBIAMO visto che la variazione della latitudine, di cui si è detto nel capitolo precedente, è una conseguenza del fatto che la Terra non è un corpo assolutamente rigido. Vi sono altri fatti che convalidano questa affermazione e che vedremo piú avanti. Nel capitolo I è stato accennato all'importanza di considerare ambedue i membri del sistema Terra-Luna al fine di conoscere meglio le caratteristiche e il comportamento della Terra stessa. Abbiamo visto che l'attrazione di gravità dell'uno per l'altro pianeta imprime alla coppia dei due corpi celesti un moto di rivoluzione mensile intorno al baricentro comune del sistema, situato sulla retta che unisce il centro della Terra col centro della Luna, e ad una distanza di circa 5000 km dal centro della Terra. Ora la legge di gravitazione stabilisce che ogni corpo attira qualsiasi altro corpo con una forza che è direttamente proporzionale al prodotto delle masse dei due corpi e inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra i loro centri. La parte della Terra rivolta verso la Luna è perciò attirata relativamente con maggior forza verso quest'ultima di quanto non lo siano le altre parti piú lontane. Analogamente le masse terrestri situate in direzione opposta alla Luna sono attratte con minor forza di quelle situate al centro della Terra. Tutto questo si esplica in un movimento centrifugo delle masse terrestri in una zona intorno alla congiungente i due corpi celesti. Se queste masse sono mobili,

come si verifica ad esempio per le acque degli oceani, ne viene che esse tendono ad allontanarsi dal centro della sfera terrestre in un senso e nell'altro, lungo il diametro diretto verso la Luna. Questo è il concetto fondamentale su cui si basa la spiegazione delle maree. Il fenomeno generale delle maree verrà peraltro trattato piú avanti.



8. Deformazione della Terra.

Da quanto precede appare evidente che se la Terra possiede una certa elasticità e non è il corpo assolutamente rigido ritenuto da Euler, la crosta terrestre deve cedere leggermente all'attrazione della Luna mentre questa percorre la sua orbita intorno alla Terra. La Terra dovrebbe perciò deformarsi, come è esageratamente rappresentato nella figura 8. In tali condizioni la perpendicolare alla superficie terrestre, ossia la direzione della gravità in un dato punto di media latitudine, dovrebbe scostarsi dalla sua posizione normale di modo che lo

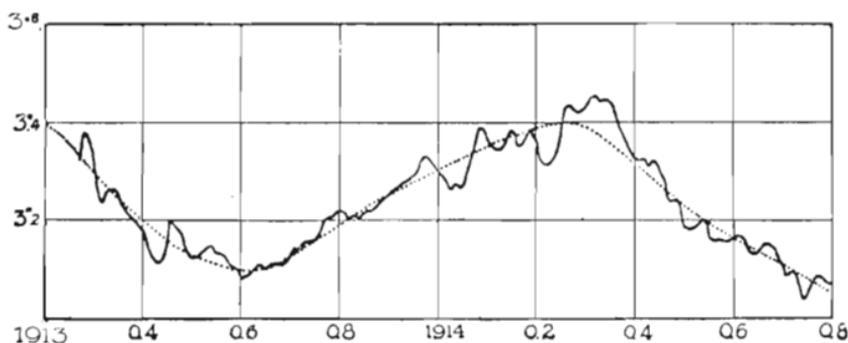
Zenit resti leggermente spostato in direzione opposta all'equatore; da ciò deriva un incremento nel valore della latitudine determinata col metodo dello Zenit; e siccome la Luna gira intorno alla Terra trascinandosi dietro questo rigonfiamento, dovremmo attenderci un'oscillazione periodica della verticale da e verso il polo nel corso d'un giorno lunare.

Piccole fluttuazioni nel valore della latitudine, troppo grandi per essere attribuite ad errori accidentali d'osservazione, ma di cui non si capiva la vera causa, erano state da tempo riscontrate da osservatori dedicatisi al controllo delle latitudini. Riflettendo su questi fenomeni, l'A. nel 1928 iniziò l'esame di una lunga serie di determinazioni di latitudine per stabilire, se queste fluttuazioni secondarie nel valore della latitudine potevano essere attribuite all'azione della Luna. Le indagini finora eseguite sembrano confermare quest'ultima ipotesi.

Le prime serie di osservazioni analizzate furono quelle eseguite da Ross col telescopio zenitale fotografico a Gaithersburg durante gli anni 1913-1914 e costituenti un complesso di circa tremila osservazioni.

Nel cercare così piccole variazioni, quali possono essere causate dalla Luna, era per prima cosa necessario correggere i diversi valori della latitudine a cagione dei noti effetti della migrazione dei poli durante il corso delle osservazioni. La figura 9 rappresenta l'andamento della latitudine a Gaithersburg, determinato durante gli anni sopraindicati. Nella scala verticale sono stati omessi i gradi e i minuti; la curva rappresenta i risultati delle medie di ogni cinque notti d'osservazione. Sulla scala orizzontale, espressa in anni ed in decimi di anno, si possono leggere le date corrispondenti ai diversi valori della latitudine. Da un esame di questa curva si rileva

che essa ha un andamento ciclico con uno scarto massimo di circa $0''{,}40$ e con un intervallo di poco più di un anno (428 giorni) tra i massimi. La sinusoide punteggiata rappresenta la migrazione principale dei poli durante il periodo 1913-1914, di cui si è parlato nel capitolo II. Alla curva principale sono sovrapposte come delle increspature, simili a quelle dei marosi dell'oceano; sono piccole variazioni irregolari della latitudine, dovute



9. Variazione della latitudine a Gaithersburg, 1913-1914.

a cause rimaste per molto tempo non bene determinate. Molti sono i fattori ai quali si possono attribuire queste piccole irregolarità. Terremoti, scorrimenti di terreno, eruzioni vulcaniche ed altri avvenimenti naturali o dovuti all'opera dell'uomo, che producano traslazioni di notevoli masse sulla superficie della Terra, possono causare spostamenti dell'asse di rotazione terrestre. Scavi di miniere, in seguito ai quali tonnellate di minerale vengono portate alla superficie, l'erezione d'edifici monumentali e di grattacieli di dimensioni gigantesche, nei quali si ha distribuzione di materiali in direzione radiale opposta al centro della Terra, lavori grandiosi come la costruzione del Canale di Panama, importanti opere

di bonifica, ecc., sono avvenimenti che possono alterare continuamente l'equilibrio della Terra, spostando il suo centro di massa di una quantità infinitesima; cosicché si potrebbe dire che la Terra si orienta secondo un asse di rotazione diverso ad ogni colpo di draga o di escavatore. Però ogni opera, anche se gigantesca, eseguita dall'uomo, che porti come conseguenza un'alterazione nella distribuzione delle masse della crosta terrestre, è del tutto insignificante in confronto alla massa totale della Terra, pari a circa 6×10^{21} tonnellate; cosicché nessun astronomo vorrà certo preoccuparsi degli effetti che le opere della civilizzazione possono esercitare sull'asse terrestre nel sistema cosmico. Di conseguenza non ce ne occuperemo neppure noi, non ritenendo ch'esse abbiano un effetto apprezzabile sulle increspature della nostra curva.

Ma vi sono altre cause d'errore che preoccupano maggiormente l'astronomo, quali, per esempio, quelle d'origine meteorologica. Abbiamo accennato che nel fare osservazioni per la determinazione della latitudine col metodo del telescopio zenitale, la deviazione, in seguito alla rifrazione atmosferica, del raggio di luce proveniente dalla stella osservata, è praticamente nulla, e ciò a causa del fatto che tale raggio, provenendo da una stella situata vicino allo Zenit, entra perpendicolarmente nell'atmosfera terrestre. Quest'affermazione va però fatta con qualche riserva. In seguito ai cambiamenti di tempo si ha, nella zona temperata boreale, una successione di aree d'alta e bassa pressione barometrica, come si possono rilevare su qualunque carta meteorologica. Nelle aree di alta pressione l'aria è relativamente più densa che non in quelle ove la pressione è bassa, e se le osservazioni delle stelle vengono fatte al limite

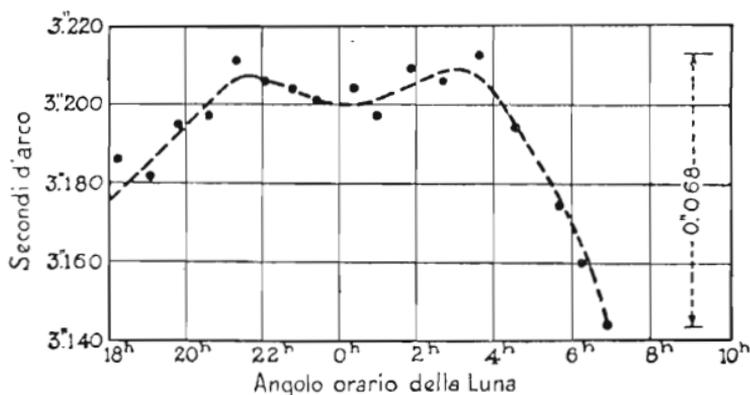
fra un'area di alta e una di bassa pressione, un raggio di luce proveniente da una stella, anche vicina allo Zenit, può colpire questa specie di fronte atmosferica con una certa inclinazione ed è perciò possibile che subisca una deviazione. Schlesinger, in uno studio su questa cosiddetta rifrazione laterale, ritiene che, in circostanze particolarmente sfavorevoli, possa avvenire nella determinazione della posizione di una stella un errore di una frazione non trascurabile di secondo d'arco. Siccome però la successione di alte e basse pressioni barometriche non si verifica con grande regolarità in corrispondenza di una stazione qualsiasi, possiamo annoverare tranquillamente i disturbi di origine meteorologica tra le cause di errori accidentali nella determinazione dello Zenit da parte dei diversi osservatori.

Nello studio delle increspature della curva della variazione di latitudine ed allo scopo di stabilire se la Luna esercita realmente un influsso sulla verticale, si è creduto conveniente fare ricorso ad un giuoco con un mazzo di circa tremila carte. Carte differenti rappresentavano i risultati di una serie di osservazioni di un gruppo di stelle, che erano allo Zenit quando la Luna si trovava in posizioni differenti nel cielo. Su ogni carta era indicato il valore della latitudine determinato e corretto per il noto spostamento del polo alla data in cui era stata fatta l'osservazione, in base alla curva punteggiata della figura 9. La posizione della Luna rispetto allo Zenit, opportunamente determinata al momento dell'osservazione fu pure annotata su ogni carta. La posizione della Luna venne indicata in funzione del suo angolo orario rispetto al meridiano. Per esempio, quando la Luna è sul meridiano, cioè si trova sul grande cerchio che passa per lo Zenit e per i punti Nord e Sud del-

l'orizzonte, il suo angolo orario è zero. Dopo un'ora, in conseguenza della rotazione della Terra, tale angolo assume un valore di 15° Ovest. In circa due ore è di 30° , ecc. Quando l'angolo orario è 90° , ossia dopo sei ore, la Luna si trova ad occidente vicino all'orizzonte. Con un angolo orario di dodici ore, la Luna si trova ancora sul meridiano, ma al disotto dell'osservatore, nell'altro emisfero. Dopo 18 ore, essa ricompare sull'orizzonte ad oriente, e dopo un angolo orario di 24 ore, ritorna di nuovo sul meridiano al punto di partenza. Dopo che sulle carte furono fatte tutte le annotazioni necessarie, venne eseguita la distribuzione. Si suppose che alla partita prendessero parte dodici giuocatori. Ogni giuocatore rappresentava un intervallo di due ore nell'angolo orario della Luna. Il giuocatore alla destra dell'autore ricevette tutte le carte coi diversi valori della latitudine rilevati nelle osservazioni fatte quando la Luna si trovava tra le ore zero e le due in angolo orario. Il giuocatore successivo ricevette analogamente tutte le carte coi dati rilevati nelle osservazioni fatte quando la Luna si trovava tra le due e le quattro e così di seguito, finché il dodicesimo giuocatore ricevette le carte coi dati delle osservazioni fatte mentre la Luna si trovava fra le 22 e le 24. Allo scopo d'un'equa distribuzione delle carte, chi preparò il mazzo fece in modo che ognuno ne ricevesse un egual numero, circa venti. Ogni giuocatore venne quindi richiesto di fare la media di tutti i valori della latitudine risultanti dalle venti carte che teneva in mano e di calcolare la corrispondente media per l'angolo orario lunare rappresentato. I risultati dei calcoli dei dodici giuocatori furono quindi messi in tabella. La curva della figura 10 è una porzione del diagramma risultante dal rappresentare i diversi valori della

latitudine in funzione dell'angolo orario della Luna. Va rilevato che in realtà il gioco venne eseguito con un minor numero di persone, poiché l'autore lo fece solo col suo assistente, e l'aiuto di una macchina calcolatrice; ma ciò non ha alcuna importanza.

Si dirà che questo fu un giuoco di carte piuttosto strano, poiché invece di mescolare bene il mazzo, le

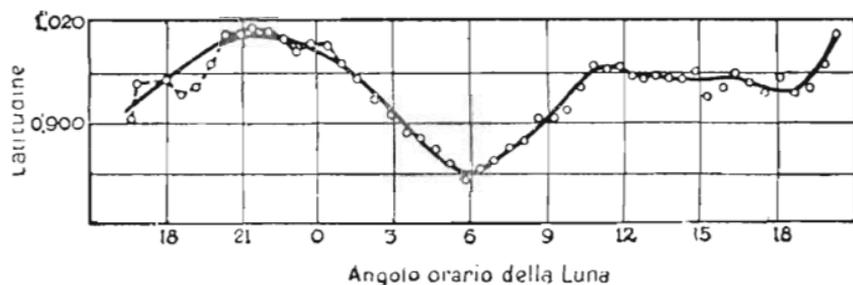


10. Variazione della latitudine in funzione dell'angolo orario della Luna a Gaithersburg.

carte vennero distribuite secondo un certo criterio, in relazione alla preferenza dimostrata da ogni giocatore per un certo angolo orario lunare. Tuttavia, per quanto riguarda i valori della latitudine, esse risultavano dopo tutto ben mescolate, poiché per ogni serie di venti carte i dati raccolti provenivano da osservazioni eseguite durante tre anni, in condizioni svariaticissime circa le stagioni e in ore molto diverse della notte.

Ora vediamo i risultati della partita. Se ne ebbero di positivi? Si può ricavare dalla tabella o dal corrispondente diagramma qualche elemento che possa suggerire qualche relazione tra la Luna e le variazioni della lati-

tudine? Ricordiamo ancora che ci siamo occupati solo delle variazioni di piccola entità. La grande variazione della latitudine, quale risulta dalla curva punteggiata della figura 9, può essere considerata quella fondamentale durante il ciclo. Questa variazione venne eliminata prima di distribuire le carte. Dal diagramma si rileva che dalle 18 in avanti i valori della latitudine sono in continuo aumento. Verso l'ora zero, i valori rimangono



11. Variazione della latitudine a Washington, 1924-1927.

per un certo tempo prossimi al massimo raggiunto e poi cominciano a diminuire finché la Luna raggiunge l'angolo orario delle sei. Ora, se non vi fosse relazione fra la Luna e la latitudine, i punti rappresentanti i dati delle diverse osservazioni dovrebbero risultare disposti alla rinfusa e non scostarsi da una retta sensibilmente orizzontale, di più di quanto ammesso dall'errore probabile relativo a ciascun punto segnato nel diagramma. Il fatto che lo scarto della curva fra il minimo ed il massimo è pari a circa venti volte l'errore probabile, calcolato per ogni singolo punto, rende il risultato molto significativo. Non sarebbe stato tuttavia lecito dedurre conclusioni definitive dai risultati di una sola ricerca, essendo questa stata limitata alle osservazioni di un solo

osservatorio. Fortunatamente però, dopo il trasporto del telescopio zenitale fotografico all'osservatorio di Washington della Marina americana, furono subito fatte molte altre serie d'osservazioni. Analizzando i dati raccolti da questo osservatorio in tre anni di ricerche, si vede che i risultati sono del tutto simili. Il diagramma riprodotto nella figura 11 rappresenta i risultati delle osservazioni fatte a Washington durante gli anni 1924-1927. Qui si rileva un incremento nei valori della latitudine dalle 17 alle 22, una notevole diminuzione dalle 22 alle 6, e di nuovo un incremento dalle 6 alle 12. Nemmeno qui la curva ha un andamento irregolare, quale ci si aspetterebbe se non vi fosse alcuna relazione fra le variazioni della latitudine e la posizione della Luna.

Per spiegare i risultati ottenuti furono avanzate le seguenti ipotesi, da controllarsi rigorosamente in base a tutti i dati scientifici disponibili:

1. - Le correlazioni riscontrate sono puramente fortuite, dovute ad errori accidentali, e perciò non vi può essere alcuna spiegazione fisica della variazione della latitudine.

2. - Le osservazioni indicano una variazione di direzione della gravità, dovuta all'azione diretta della Luna e rappresentata dalla componente orizzontale della forza di attrazione della Luna nel punto dove è situato l'osservatorio.

3. - La variazione è dovuta ad errori nella determinazione della posizione delle stelle o ad errori nelle osservazioni, sistematicamente introdotti dalla rifrazione causata da discontinuità nella pressione barometrica.

4. - Le correlazioni tra le variazioni della latitudine e la posizione della Luna sono dovute ad un'effettiva

variazione della verticale, causata dalle maree degli oceani per il maggior carico gravante sulle coste continentali.

5. - Le variazioni di latitudine sono da porre in relazione con la posizione della Luna e sono dovute ad uno spostamento della verticale causato da un effettivo spostamento dell'osservatorio in cui si eseguisce l'osservazione della latitudine a cagione di un moto di marea nella crosta terrestre o nel magma sottostante.

In seguito ad un'accurata serie d'indagini le prime quattro ipotesi sono da scartarsi. Rimane ora la quinta come la sola accettabile fra tutte quelle che abbiamo avanzate per cercare di spiegare il fenomeno osservato: le variazioni della latitudine, in correlazione col cambiamento di posizione della Luna, sarebbero cioè dovute ad uno spostamento dell'osservatorio sulla superficie della Terra, sotto l'azione di forze che producano dei moti di marea. Riferendoci alla figura 5, è chiaro come il minimo movimento di un punto sulla superficie terrestre produca istantaneamente un cambiamento nella direzione della verticale rispetto alle stelle. Per avere uno spostamento nella posizione dello Zenit di $0''{,}1$, dobbiamo ritenere che in questa ipotesi l'osservatorio si sia spostato di una quantità corrispondente sulla superficie terrestre. Siccome il raggio terrestre è noto, è facile vedere che lo spostamento è equivalente ad un movimento di traslazione verso Nord o Sud di circa tre metri. L'ipotesi che maree terrestri, dovute al moto della Luna, possano essere la causa delle variazioni di latitudine riscontrate, verrà esaminata nel capitolo V.

CAPITOLO IV

MAREE OCEANICHE

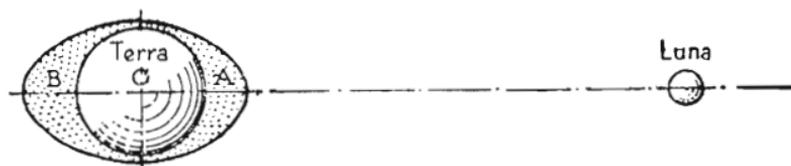
PRIMA d'esaminare ulteriormente la possibilità di lievi movimenti della terraferma, analoghi a quelli delle maree e causati dall'attrazione lunare, richiameremo alcune nozioni elementari riguardanti l'avvicinarsi delle maree oceaniche.

Molti avranno potuto osservare alle nostre medie latitudini che le acque degli oceani o dei mediterranei con essi comunicanti si alzano e si abbassano due volte nelle ventiquattro ore. Le altezze delle maree diurne e notturne, se molte volte sono eguali, risultano però spesso molto diverse. Dall'esame un po' attento del fenomeno si può constatare che la più forte delle alte maree si verifica invariabilmente in corrispondenza del novilunio e del plenilunio, e che la differenza tra alta e bassa marea è molto meno sensibile in quei giorni del mese, nei quali la Luna è vicina alle fasi di primo o ultimo quarto. Poco dopo l'esposizione da parte di Newton della legge di gravitazione universale, quale spiegazione dei movimenti planetari, Newton stesso vide come essa potesse anche dare ragione del fenomeno delle maree. Da tempo si sapeva che queste dovevano essere in relazione con la posizione della Luna.

Nella figura 12 è rappresentato il sistema Terra-Luna: le masse fluide degli oceani sono indicate come un involucro esterno, a forma di ellissoide, coll'asse maggiore diretto verso la Luna. Non è difficile rendersi conto che il rigonfiamento in A è dovuto al fatto che l'acqua in

A è piú vicina alla Luna di quello che non lo sia la massa terrestre stessa. Siccome l'attrazione di gravità è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, è ovvio che l'attrazione della Luna è maggiore in A che non sulla Terra, la cui massa si può considerare concentrata nel suo centro C. Risulta perciò evidente la tendenza delle masse oceaniche ad allontanarsi dalla litosfera in quella parte della Terra che è rivolta verso la Luna.

Esaminiamo ora la situazione nel punto B, ove le

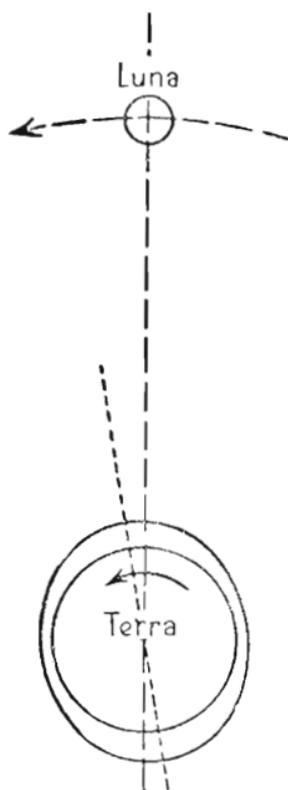


12. Rigonfiamento ed abbassamento delle acque oceaniche dovuti alla attrazione della Luna.

masse oceaniche sono piú lontane dalla Luna. Ancora una volta, giacché l'azione della gravità è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, l'attrazione della Luna sulla Terra, che si considera concentrata in C, è all'incirca di tanto piú grande dell'attrazione della Luna sulla massa acqua in B di quanto era la differenza di attrazione della Luna tra A e C. Anche in B si verifica quindi una tendenza delle masse acquee a staccarsi dalla litosfera; da qui l'altro rigonfiamento dovuto alla marea nella parte della Terra piú lontana dalla Luna. Il rigonfiamento in A è talvolta chiamato la marea diretta, e quello in B la marea indiretta.

Se ora teniamo conto del moto di rotazione della Terra, come è indicato dalla freccia (figura 13), risulta evi-

dente come ogni 24 ore circa debbano verificarsi in ogni dato porto marittimo due alte e due basse maree. A causa dell'attrito tra le acque degli oceani e la crosta terrestre si riscontra tuttavia una tendenza dei rigonfia-



13. Lo spostamento dell'onda di marea sulla Terra in rotazione.

menti dovuti alle maree a venir trascinati in avanti nel senso di rotazione della Terra, come è indicato nella figura 13. Questo significa che, per un dato punto, l'alta marea non si verifica nel momento del passaggio della Luna al meridiano del luogo, ma un po' più tardi.

Nello stesso tempo la Luna procede lungo la sua orbita nello stesso verso della rotazione terrestre compiendo ad ogni mese una rivoluzione attorno alla Terra. Ciò corrisponde ad un avanzamento angolare giornaliero di 13° circa. Il movimento di rivoluzione della Luna tende perciò a spostare di nuovo l'onda di marea nel senso della rotazione terrestre, col risultato che l'effettivo intervallo tra due alte maree successive corrispondenti è in media di circa venticinque ore.

La rappresentazione schematizzata della marea, come appare dalle figure 12 e 13, è però troppo semplice per rappresentare il fenomeno quale si verifica realmente. In confronto al diametro della Terra le profondità degli oceani sono invero insignificanti. Infatti la profondità media degli oceani può venire paragonata allo spessore di un foglio di carta, quando la Terra venga rappresentata come una sfera di circa mezzo metro di diametro. Il flusso e il riflusso della marea, in uno spessore così sottile di acqua, incontra tale resistenza, che in realtà la rappresentazione teorica delle maree prima indicata non trova esatta corrispondenza con quanto avviene in pratica. Il ritardo in un luogo tra la culminazione della Luna e il colmo di marea è noto ai naviganti col nome di « stabilimento od ora del porto » ed è chiamato dagli astronomi età della marea. Sulla costa atlantica degli S. U., ad esempio, tale intervallo è di circa dodici ore, così che New York è raggiunta dalla marea diretta quando, in seguito a considerazioni elementari, dovrebbe invece avere la marea indiretta.

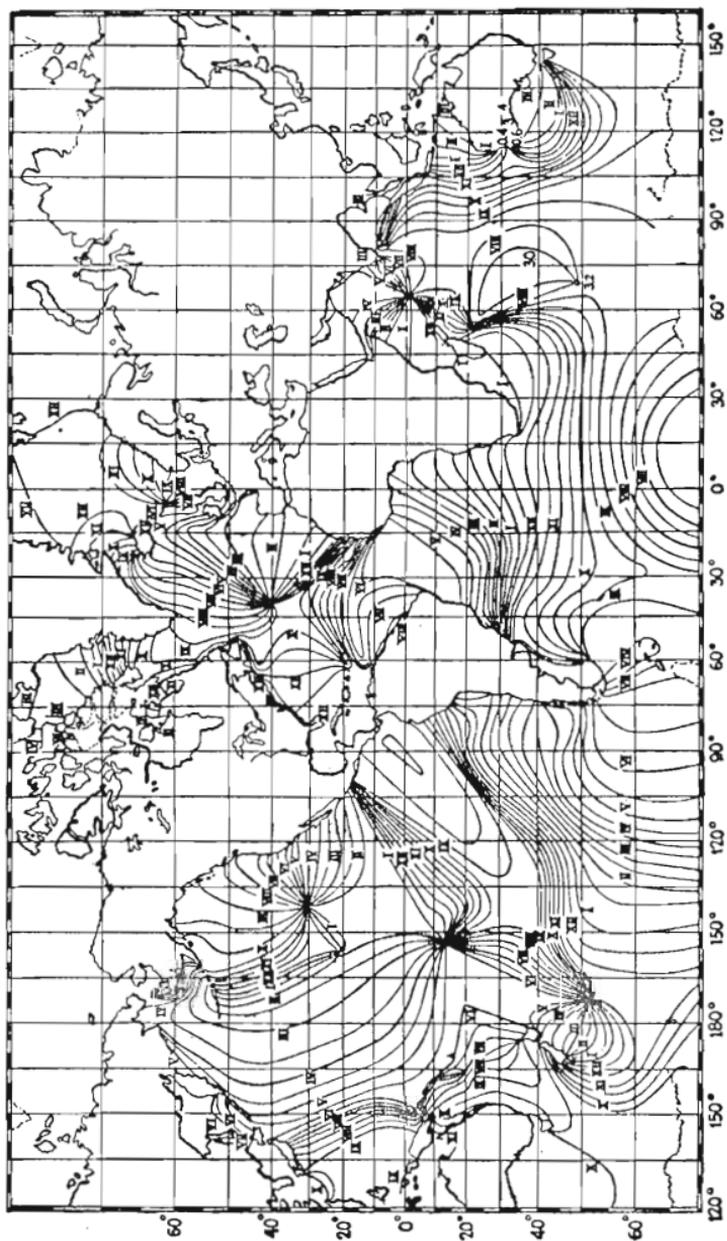
Gli strumenti misuratori del livello della marea, distribuiti in punti convenientemente scelti sulle coste dei continenti, consentono di segnare su una carta geografica le località in cui le maree raggiungono contempora-

neamente la stessa altezza. Le linee che uniscono tali punti sono chiamate linee cotidali. Nella figura 14 è riprodotta una simile carta geografica per tutta la superficie terrestre. La teoria matematica delle maree è assai complicata, ed è assolutamente impossibile, basandosi solamente su elementi teorici, dedurre dalla posizione della Luna in un dato momento lo stato della marea in un punto determinato della superficie terrestre. Vengono perciò preparate delle « tavole di marea », basandosi su un gran numero di registrazioni dell'altezza di marea eseguite dagli osservatori delle varie parti del globo. Coi dati così raccolti l'analisi matematica ha reso possibile per tutti i principali porti il computo delle altezze delle maree a parecchi anni di anticipo con una precisione sorprendente.

Fin qui abbiamo considerato soltanto la Luna come causa della produzione delle maree, ma si deve tener conto anche dell'attrazione del Sole. Quando la Luna si trova in congiunzione od opposizione col Sole, ossia quando si ha Luna nuova o Luna piena, la forza di attrazione del Sole si aggiunge a quella della Luna nel produrre la marea, col risultato che si hanno due volte al mese delle maree eccezionalmente alte note col nome di maree delle sizigie. Quando la Luna si trova invece in quadratura col Sole, come è illustrato nella figura 15, l'attrazione solare tende ad opporsi a quella della Luna, col risultato che si hanno alte maree molto meno pronunciate, dette maree delle quadrature.

Il diagramma della figura 15, quindi, dà spiegazione delle molte irregolarità che si verificano mensilmente nelle maree oceaniche. Possiamo aggiungere a questo riguardo che quando la Luna, nella sua orbita leggermente ellittica intorno alla Terra, giunge al punto piú

TERRA E RADIO NEL COSMO



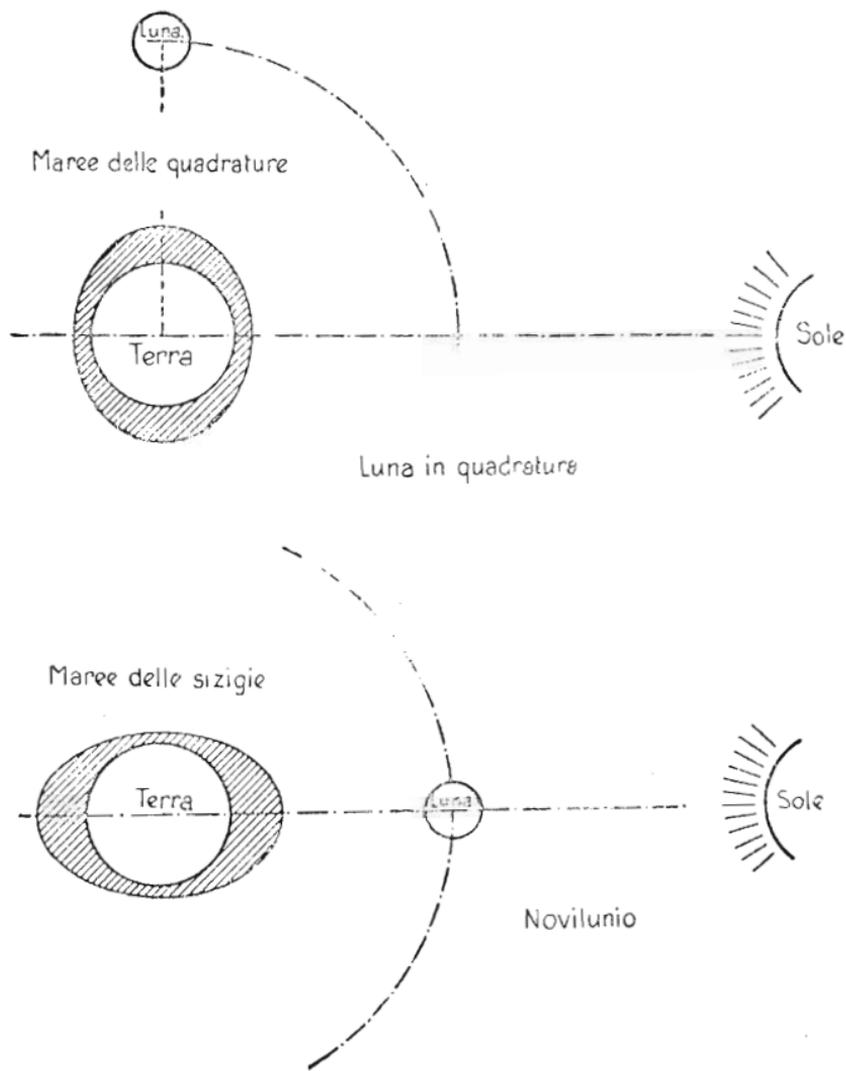
14. Carta delle linee cotidali (secondo Harris). I numeri romani indicano l'età della marea o le ore trascorse tra il passaggio della Luna al meridiano e il periodo dell'alta marea lungo la linea indicata.

(Dal rapporto dell'U. S. Coast and Geodetic Survey 1904.)

vicino a quest'ultima, essa esercita un'attrazione un po' maggiore e favorisce perciò in tal punto la formazione di maree piú alte. Quando la Luna invece è nel punto piú lontano dalla Terra, si verifica una corrispondente diminuzione nella forza di attrazione. In minor grado poi influisce la distanza variabile della Terra dal Sole nel modificare la forza di attrazione del Sole agli effetti della marea. Questa forza è massima quando la Terra è piú vicina al Sole, intorno al 1° gennaio, e minima quando la Terra è piú lontana dal Sole, intorno al 1° luglio. Le piú forti alte maree dell'anno si avranno perciò in tempo di novilunio o di plenilunio e quando la Luna è piú vicina alla Terra, verso il 1° gennaio. L'altezza effettiva della marea nei varî punti della costa di un continente dipende dalla conformazione topografica della costa stessa. In isole situate nel mezzo dell'oceano la differenza di livello fra alta e bassa marea non è spesso superiore a 0,6 m. Nell'interno dei golfi, all'estremità di baie ed estuari l'acqua del mare viene spinta dalla sopraggiungente onda di marea entro spazi ristretti ove possono allora prodursi anche dislivelli di 15 m tra l'alta e la bassa marea.

Abbiamo accennato che si possono frequentemente riscontrare differenze notevoli tra il livello di due alte maree nel giro di 24 ore. Se ne può dare una spiegazione elementare facendo riferimento alla figura 16. Quando la Luna è all'equatore, un porto di latitudine media, rappresentato da P, passerà nel corso di un giorno lunare per entrambe le posizioni di marea, diretta e indiretta, venendo a trovarsi in posizioni simmetriche rispetto ad una retta che unisce i due rigonfiamenti della marea. Allora le due alte maree, intervallate di circa dodici ore, saranno della stessa altezza. Se invece

TERRA E RADIO NEL COSMO

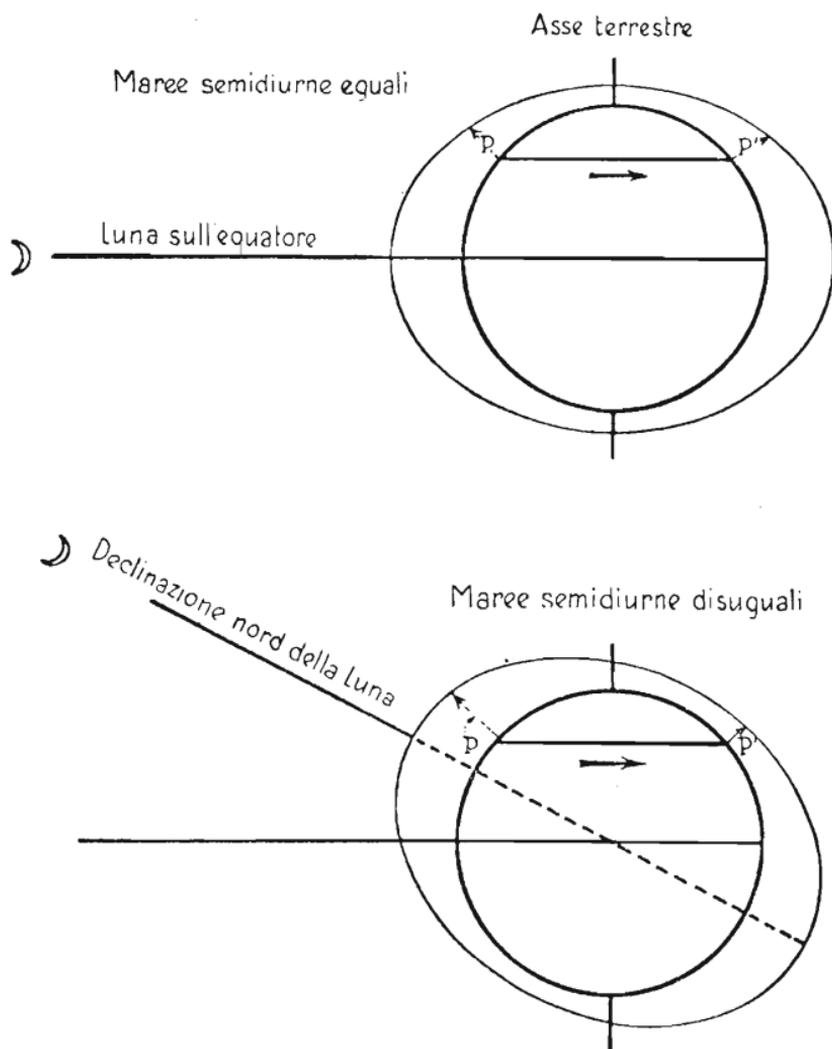


15. Maree dovute all'attrazione combinata del Sole e della Luna.

la Luna è a nord dell'equatore terrestre e il punto P è nell'emisfero boreale, si vede che il porto subirà una marea piú pronunciata nella posizione P che non, dopo aver ruotato di 180° , nella posizione P', dove si verifica la marea indiretta, il cui rigonfiamento massimo si trova in questo caso nell'emisfero australe. Quando la Luna è nell'emisfero australe avviene l'opposto di quanto esposto precedentemente. La minore delle due alte maree si verifica in P e la maggiore in P'.

I diagrammi riprodotti nella figura 17 mostrano le due alte maree diurne per i seguenti tre casi: primo, quando la Luna è nell'emisfero australe; secondo, quando essa è all'equatore e, terzo, quando essa è nell'emisfero boreale. Si noti che si ha un completo rovesciamento di fase nei due casi estremi poiché, all'alta marea con la Luna nell'emisfero australe, corrisponde la bassa marea con la Luna nell'emisfero boreale e viceversa. Abbiamo visto che il comportamento delle maree sulla superficie della Terra è ben piú complicato di quanto si può dedurre da considerazioni teoriche riguardanti un ipotetico oceano che copra l'intera Terra con profondità uniforme; può tuttavia essere utile considerare questo semplice caso teorico allo scopo di facilitare la comprensione del fenomeno. Le maree in un oceano ipotetico, quale è stato prima descritto, sono spesso chiamate maree d'equilibrio: vogliamo fare alcune considerazioni su queste maree d'equilibrio coprenti l'intera Terra.

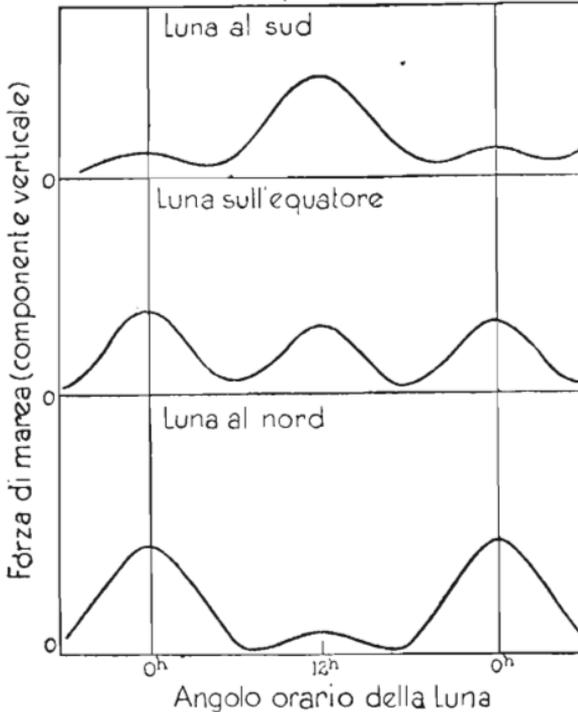
Supponiamo per un momento che la Terra non abbia movimento di rotazione. Si troveranno allora due punti diametralmente opposti sulla congiungente Terra-Luna, in cui avremo le acque piú alte, ed una zona a metà distanza tra questi poli di marea, dove avremo le acque



16. Ineguaglianza diurna delle maree dovuta alla variazione della declinazione della Luna.

più basse. Le forze generatrici di marea, secondo Darwin, sono rappresentate nella figura 18. Nei punti V ed I, le forze di marea sono dirette verticalmente verso l'alto, cioè con andamento centrifugo; perciò si avranno

Curva delle maree d'equilibrio latitudine 40° nord

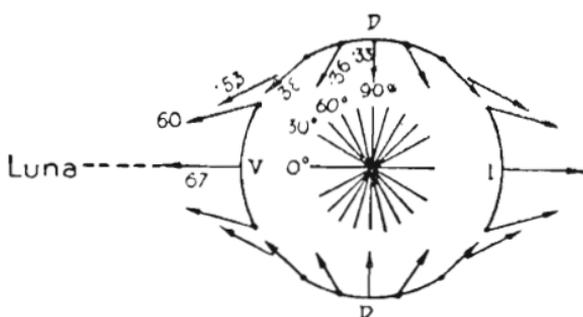


17. Curve delle due alte maree diurne per la latitudine di 40° Nord.

alte maree. Nel punto D le forze di marea sono dirette verso il basso e tendono a comprimere la massa d'acqua contro la superficie della Terra. Se supponiamo che la Luna, come rappresentata nella figura, si trovi proprio all'equatore terrestre, allora in punti situati alla latitu-

dine di 45° , ossia a metà strada fra V e D, le forze di marea agiscono lungo la superficie terrestre e tendono a spostare l'acqua orizzontalmente, senza alcuna componente in senso verticale. La figura dà solo una sezione della Terra passante per il suo centro; le condizioni in essa rappresentate sono simmetriche intorno alla congiungente Terra-Luna.

Quando la Luna, percorrendo la sua orbita intorno alla Terra, passa a Nord dell'equatore terrestre, tende



18. Forze generatrici delle maree (Darwin).

a portare il punto V verso l'alto, verso il polo Nord della Terra; e allora si realizzerà la situazione rappresentata nella parte inferiore della figura 16. Si confronti poi questa figura con la 18.

Vediamo ora ciò che può osservare chi si trovi sulla Terra alla latitudine di 45° . Siccome la Terra ruota intorno al suo asse polare, chi si trova nell'emisfero boreale passerà da una zona di bassa marea ad una zona di alta marea, incontrando la marea più alta in un punto sul meridiano vicino a V. L'osservatore però non risconterà il massimo valore dell'alta marea, poiché egli è troppo a Nord di V per passare per il massimo rigon-

fiammento della marea. Continuando la Terra nel suo moto di rotazione, l'osservatore uscirà completamente dalla zona dell'alta marea, passando quindi in una zona di bassa marea, quando egli si avvicina alla parte opposta della Terra. Col progredire della rotazione egli risconterà nella parte piú lontana dalla Luna un leggero aumento nella marea. Siccome però in questa parte della Terra il punto I è molto a Sud rispetto all'osservatore, questi non risconterà acque eccessivamente alte. Le due alte maree, che P ha incontrato nelle ventiquattro ore, sono quindi alquanto diverse. Una volta al mese poi, la declinazione della Luna è cosí grande da raddoppiare quasi questi effetti di marea; inoltre nella nostra rappresentazione semplificata delle maree d'equilibrio è possibile che nelle regioni prossime ai poli si verificino nelle 24 ore solo un'alta e una bassa marea, quando la Luna si trova molto a Nord o molto a Sud dell'equatore. In questo caso la piccola alta marea rappresentata dalla curva piú bassa della figura 17 scomparirà completamente.

Quando la Luna è all'equatore, le due alte maree sono molto sensibili e simmetriche. Per i periodi di tempo, in cui la Luna si trova tra l'equatore e le sue declinazioni estreme Nord e Sud, la curva di marea sarà piú complessa. È evidente che gli intervalli tra due alte o due basse maree possono essere molto differenti a seconda della latitudine, alla quale si trova l'osservatore, e della distanza della Luna a Nord o a Sud dall'equatore, a seconda cioè della sua cosiddetta declinazione.

È pure evidente che quando la Luna passa dalle declinazioni Nord alle declinazioni Sud, si ha un cambiamento nella forma della curva di marea con uno

spostamento di fase di circa dodici ore. Queste considerazioni elementari, mentre sono molto piú semplici di quanto effettivamente avviene, sono di qualche importanza per interpretare le curve descritte nel precedente capitolo ed attribuibili a cause di marea.

CAPITOLO V

MAREE TERRESTRI

NEL capitolo precedente, studiando le maree oceaniche, abbiamo fatto la supposizione che la massa terrestre sia un corpo non suscettibile di deformazioni. Da un accurato confronto fra le altezze effettive delle maree oceaniche e quelle dedotte dai calcoli teorici risultò che le maree oceaniche sono meno forti di quanto teoricamente dovrebbero essere, qualora la crosta terrestre fosse assolutamente indeformabile, non obbedisse cioè alle forze di attrazione del Sole e della Luna. Dalle ricerche teoriche di Lord Kelvin, pubblicate nelle *Philosophical Transactions* del 1863, si rileva che, pur possedendo la Terra una notevole rigidità, essa deve però cedere in misura apprezzabile alle stesse forze di attrazione del Sole e della Luna che determinano le maree oceaniche.

Il primo tentativo effettivamente eseguito per misurare la rigidità della Terra fu eseguito da G. H. Darwin e da Orazio Darwin nel 1880 e fu realizzato per mezzo di un pendolo disposto in modo da oscillare orizzontalmente, simile come principio al moderno sismografo. Questi sperimentatori tentarono di misurare il lieve cambiamento di direzione della gravità dovuto all'attrazione del Sole e della Luna. Dal confronto dei risultati, che essi contavano di ottenere dalle loro osservazioni, coi valori teorici che si sarebbero dovuti avere se la Terra fosse assolutamente rigida, si sarebbe dovuto poter determinare la resistenza che la Terra oppone ad una sua deformazione, mentre le forze generatrici di marea mi-

granò lungo la superficie terrestre durante la rotazione della Terra. L'apparecchio però non aveva precisione sufficiente per misurare i lievi effetti previsti ed i ricercatori abbandonarono l'esperimento, senza esser giunti a conclusioni definitive.

La questione di stabilire in quale misura le masse solide terrestri risentano l'effetto delle forze generatrici di marea è così importante per la conoscenza della conformazione interna della Terra, che altri ricercatori sono stati successivamente indotti ad occuparsi del problema. L'esperimento forse piú notevole, fra quelli ultimamente fatti per misurare la rigidità della Terra, è quello di Michelson e Gale, eseguito negli anni 1913-1915 presso l'osservatorio di Yerkes dell'Università di Chicago. Questi due scienziati affondarono nel terreno dei tubi orizzontali lunghi 150 m, uno nella direzione Nord-Sud e l'altro nella direzione Est-Ovest. I tubi erano riempiti per metà circa di acqua; alle estremità furono praticate delle spie, in modo da poter accuratamente osservare con adatti strumenti i cambiamenti nel livello dell'acqua. Teoricamente si sarebbe dovuto verificare un effetto di marea quando la Luna passava al di sopra dei tubi, con una altezza massima dell'onda di marea nei tubi di solo 0,05 mm. La maggiore difficoltà consistette nel realizzare un apparecchio registratore, capace di misurare una differenza di livello così piccola col richiesto grado di precisione. Il problema fu risolto utilizzando il principio dell'interferenza di raggi di luce riflessi dalla superficie dell'acqua. Le frange d'interferenza furono riprese automaticamente con una pellicola cinematografica e lo spostamento di una frangia sulla pellicola corrispondeva a un cambiamento nell'altezza dell'acqua

di una quantità eguale alla lunghezza d'onda della luce, approssimativamente a 0,0005 mm.

Ora, se la Terra fosse perfettamente rigida, i tubi dovrebbero rimanere assolutamente fissi e il livello dell'acqua dovrebbe salire e scendere in essi in concordanza al valore teoricamente stabilito in base all'attrazione del Sole e della Luna. Se però le osservazioni avessero rivelato che l'effettivo alzarsi ed abbassarsi dell'acqua nel tubo non era della stessa entità dal valore teorico, si sarebbe dovuto concludere che i tubi stessi non erano perfettamente immobili e che perciò la massa terrestre, in cui essi erano affondati, cedeva leggermente alle stesse forze che causavano una variazione del livello dell'acqua nel tubo stesso. Un ampio e diligente calcolo basato sulle migliaia di osservazioni raccolte, rivelò sensibili onde di marea nei tubi quando il Sole e la Luna passavano giornalmente sul meridiano, ma l'altezza delle onde di marea rilevate dall'apparecchio erano pari solamente al settanta per cento circa di quello che avrebbero dovuto essere, se la crosta terrestre fosse stata perfettamente rigida. La conclusione di questo esperimento fu perciò che la Terra è in realtà un corpo alquanto elastico, suscettibile di deformazioni nella stessa misura come se fosse di acciaio. Questa conclusione però, che l'elasticità della Terra sia dello stesso ordine di quella dell'acciaio, è basata sulla supposizione che la Terra si comporti come un corpo solido omogeneo. Certamente tutte le idee che si avevano prima, che al disotto della crosta terrestre l'interno sia per la maggior parte allo stato liquido, sono completamente in disaccordo con questi risultati.

Da quanto precede risulta che il Sole e la Luna, mentre causano maree negli oceani, producono contemporaneamente movimenti periodici di marea nella stessa

crosta terrestre nonostante la sua grande rigidità. Una cosa, però, deve essere messa ben in chiaro nell'interpretare i risultati degli esperimenti di Michelson-Gale. Siccome i tubi erano sepolti nella crosta terrestre e l'acqua nei tubi era libera di raggiungere il suo livello naturale, cioè di disporsi colla sua superficie perpendicolarmente alla direzione della gravità, i risultati ottenuti indicavano semplicemente un cambiamento di inclinazione della crosta terrestre rispetto alla direzione della gravità, ma in nessun modo rivelavano se l'effettiva direzione della verticale, rispetto al centro della Terra ed alle stelle allo Zenit, avesse o no cambiato.

Siamo ora in condizione di fare nuove riflessioni sul modo di interpretare le curve, che mostrano il rapporto tra lievi variazioni di latitudine e posizione della Luna. Prima di tutto non può sfuggire il carattere di marea delle curve rappresentate. L'inversione di fase, cioè la sostituzione del massimo con un corrispondente minimo quando la Luna passa dal lato Sud a quello Nord dell'equatore, è chiaramente rappresentativa di un movimento avente carattere di marea. È stato osservato che il massimo spostamento della verticale, durante il giorno lunare, varia da $0'',05$ a $0'',10$. Assumendo il valore della rigidità della Terra quale risulta dagli esperimenti di Michelson-Gale, o da altre fonti, quale ad esempio il tempo di trasmissione di moti sismici, che danno all'incirca lo stesso risultato, si può calcolare il cambiamento nella direzione di gravità attribuibile ad un moto di marea in una sfera di acciaio. Questo spostamento non risulta superiore a circa $0'',01$, per cui siamo indotti a cercare un'ulteriore spiegazione del movimento apparente della verticale. Come fu prospettato nella discussione su questo argomento nel capitolo III, si vede che,

in seguito a una piccola traslazione superficiale della crosta terrestre, dell'ordine di circa tre metri, si registra uno spostamento dello Zenit o un cambiamento nella direzione della verticale di $0'',10$.

Esiste una qualsiasi ragione per credere che si verifichi o possa verificarsi uno spostamento orizzontale di questa entità? Nel cercare di rispondere a questa domanda vogliamo considerare dapprima le forze generatrici di marea, di cui si è fatto cenno nel precedente capitolo, facendo particolare riferimento alla figura 18. Si vede che alle latitudini medie le forze sono dirette tangenzialmente alla superficie terrestre, così che l'intera forza di marea agisce in direzione tale da far scorrere la crosta terrestre verso l'equatore, qualora gli strati sottostanti permettano tale spostamento. L'effetto sarebbe realmente massimo quando la Luna fosse a 45° dallo Zenit del punto di osservazione. Se questo si trovasse nell'emisfero boreale, ad esempio nei pressi del 40° parallelo, lungo il quale sono distribuiti i vari osservatori delle latitudini, e la Luna fosse a Sud dell'equatore, allora l'osservatorio subirebbe la massima attrazione verso Sud al passaggio dell'astro per il meridiano dell'osservatorio. In base alle osservazioni delle stazioni di Gaitersburg, Cincinnati e Ukiah, il valore della latitudine risulta infatti minimo quando la Luna si trova nella posizione corrispondente ad un angolo orario zero. Siccome la forza orizzontale di marea diminuisce con l'allontanarsi della Luna dal meridiano, l'elasticità della crosta terrestre dovrebbe riportare l'osservatorio nella sua posizione normale, purché le forze d'attrazione non siano state così grandi da causare un movimento oltrepassante il limite di elasticità della roccia granitica costituente la crosta terrestre. Mentre a prima vista uno spo-

stamento di tre metri può sembrare assurdo in una deformazione della crosta terrestre, vale però la pena di riflettere che tre metri sui 40 000 km della circonferenza terrestre sono, dopo tutto, un ben piccolo spostamento dal punto di vista planetario e possiamo anche aggiungere che esso è compatibile con la supposta elasticità della crosta terrestre. La questione verrà ripresa di nuovo nel prossimo capitolo in relazione a possibili variazioni anche delle longitudini.

Una tale ipotesi, quantunque improbabile a causa di considerazioni geofisiche, non sarebbe comunque in contrasto con i risultati degli esperimenti di Michelson-Gale, poiché uno scorrimento orizzontale può spostare automaticamente lo Zenit dell'osservatore senza in alcun modo interferire coll'inclinazione della crosta terrestre rispetto alla direzione della gravità, rappresentata dal livello dell'acqua nell'esperimento del tubo. Ancora si deve rilevare che nel fare osservazioni di latitudine, la direzione della gravità o della verticale è riferita alle stelle nello spazio e non dipende in alcun modo dall'inclinazione della crosta terrestre su cui posa il telescopio zenitale, giacché è la stessa bolla d'aria della livella dello strumento che segna la direzione della verticale verso la sfera celeste.

Prima di prendere in considerazione una qualsiasi caratteristica della struttura della Terra, che potrebbe favorire o impedire un qualsiasi movimento della crosta terrestre come or ora prospettato, daremo nel prossimo capitolo una prova che conferma uno spostamento nella direzione della verticale verso Est risp. Ovest in relazione con la posizione della Luna. Se lo spostamento Nord-Sud, che si riscontra nella variazione di latitu-

dine, è reale, ci si deve aspettare anche uno spostamento, nella direzione Est-Ovest.

Notevoli studî teorici sulle maree solide sono stati fatti non solamente da Darwin, Michelson e Gale, ma specialmente anche da Herglotz, Schweydar, Love, Jeffreys ed altri. È difficile in qualsiasi figurazione teorica stabilire come deve essere considerata la struttura dell'interno della Terra; in molti studi matematici la Terra viene assimilata ad una sfera di acciaio, sebbene Schweydar, Love e Haskins abbiano ammesso una densità variabile nella struttura della Terra dovuta alla compressibilità del materiale che la costituisce. È interessante notare che, mentre le maree oceaniche sono ben lontane dal tipo di equilibrio, le maree terrestri considerate nel loro complesso sono in prima approssimazione piú vicine al tipo suddetto. Una sfera elastica incompressibile, di grandezza e densità media pari a quelle della Terra, ed una rigidità all'incirca eguale a quella dell'acciaio, avrebbe un periodo naturale di 55 minuti. Da registrazioni sismografiche sappiamo che un impulso, quale può essere quello di un moto sismico, impiega poco piú di venti minuti a percorrere il diametro terrestre.

Da queste considerazioni generali si potrebbe perciò dedurre che si abbia alla superficie terrestre un ripristino delle condizioni abbastanza rapido da giustificare spostamenti della verticale di entità pari a quella osservata entro il periodo d'un giorno lunare. Come sarà esaminato piú avanti, gli osservatorî sismologici accumulano sempre piú prove in favore dell'ipotesi che l'interno della Terra sia ben lontano dall'essere omogeneo. A parte l'esistenza di strati di materiali piú o meno solidi e plastici, vi sono ragioni plausibili per ritenere che il nu-

cleo centrale della Terra si comporti come un liquido sotto altissima pressione. In nessuna delle prime indagini sulle maree terrestri erano state prese in considerazione queste idee: solo Jeffreys non le aveva trascurate, facendo diverse ipotesi. È tuttavia opportuno rilevare che non esiste ancora una teoria completa, che tenga conto di tutte le supposizioni moderne riguardanti la costituzione della Terra.

Nel considerare dati relativi alle maree terrestri, è naturalmente indispensabile tener conto dei possibili effetti del carico sulle coste, dovuto alle maree oceaniche. Un simile effetto viene facilmente confuso cogli effetti principali nelle maree terrestri medesime, giacché esse dovrebbero avere naturalmente un periodo lunare. In realtà i risultati ottenuti da una ripetizione dell'esperimento di Michelson-Gale, eseguito in questi ultimi anni a Pasadena, hanno dimostrato che gli effetti secondari, dovuti al carico della costa del Pacifico da parte delle acque delle maree, sono molto più importanti dei cercati effetti principali. Nel considerare però qualsiasi spostamento della verticale, risultante da osservazioni astronomiche, bisogna ancora tener presente che un'inclinazione del livello della terraferma, tale da spostare la perpendicolare alla superficie terrestre rispetto alla direzione della gravità, non provocherebbe un cambiamento nella direzione della verticale stessa riferita alle stelle, a meno che il carico delle acque dell'oceano non producesse uno scorrimento periodico del terreno stesso in senso orizzontale. In ogni caso, le osservazioni fatte all'interno dei continenti, come a Cincinnati (Ohio) e a William Bay (Wisconsin), dove fu eseguito l'esperimento Michelson-Gale originale, dovrebbero essere, con

tutta probabilità, scovre da disturbi oceanici. Darwin ha mostrato che a un chilometro di distanza dalla costa l'inclinazione del terreno, dovuta al carico delle maree oceaniche, produce una deviazione della verticale di $0'',15$. Nel centro del continente il valore dello spostamento ammonta ad un po' piú di $0'',01$.

CAPITOLO VI

VARIAZIONE DELLE LONGITUDINI

UNA volta assodato che si verificano deformazioni nella crosta terrestre, dovute a cause analoghe a quelle che producono le maree, in modo da determinare una deviazione della verticale in direzione Nord-Sud con variazioni apparenti della latitudine in relazione con la posizione della Luna, ci dobbiamo naturalmente aspettare che una deviazione analoga avvenga pure in direzione Est-Ovest con il sorgere e tramontare della Luna. Il prof. M. F. Jordan, già addetto all'osservatorio di Perkins, intraprese appunto uno studio sulle variazioni riscontrate nelle indicazioni date da orologi di precisione, superiori a quelle corrispondenti agli errori ammissibili. È noto che gli astronomi misurano il tempo sulla rotazione della Terra, e precisamente registrando giornalmente il suo movimento rispetto alle stelle, quando passano al meridiano dei loro osservatori. La Terra è l'orologio basilare per l'umanità ed è invero un cronometro molto esatto. Una rotazione completa della Terra intorno al suo asse, riferita alle stelle, costituisce quello che gli astronomi chiamano giorno siderale, unità fondamentale del tempo nei calcoli astronomici. In questi ultimi anni si è giunti d'altra parte a realizzare orologi di alta precisione, tali da servire, a loro volta, come eccellenti cronometri secondari, il cui errore non supera pochi millesimi di secondo al giorno. Questi orologi vengono controllati ogni notte con un telescopio montato in modo da potersi spostare solo nel meridiano.

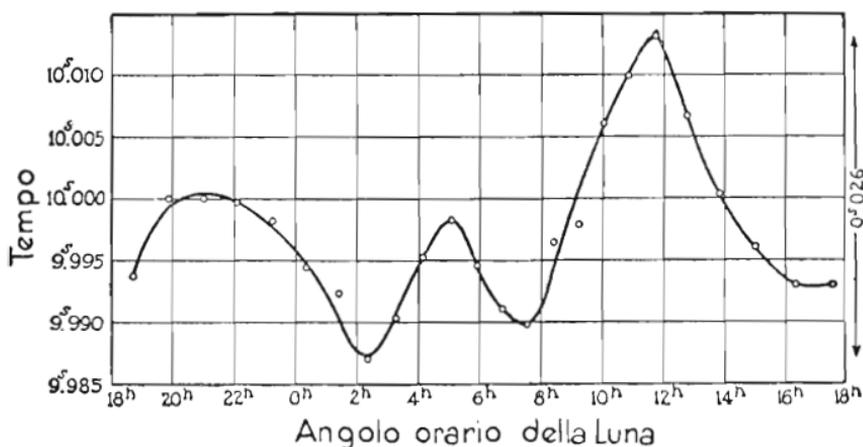
Tale telescopio è provvisto di un reticolo il cui filo centrale rappresenta una porzione del meridiano sulla sfera celeste, cioè del gran cerchio che passa per lo Zenit e per i punti Nord e Sud veri dell'orizzonte. Con questo telescopio si osserva il passaggio di una stella conosciuta al meridiano e si corregge lo stato dell'orologio da controllare. Al passaggio di questa stessa stella al meridiano nel giorno seguente, è trascorso un giorno siderale e cioè la Terra ha compiuto una rotazione completa; così il cannocchiale dei passaggi in meridiano serve per un controllo giornaliero dell'orologio.

In pratica il tempo siderale, determinato in base all'osservazione delle stelle da parte degli astronomi, viene convertito nel tempo solare medio, sul quale si regola l'ora universale nei differenti fusi orari del globo. I segnali orari dell'Osservatorio Navale di Washington vengono radiodiffusi telegraficamente parecchie volte al giorno per controllo degli orologi delle ferrovie, delle imprese di trasporto e del pubblico in generale. Nessun osservatorio, che abbia la responsabilità di dare l'ora, fa assegnamento su di un solo orologio di precisione. Solitamente ne vengono impiegati parecchi in modo da confrontarne le indicazioni e ricavarne l'ora esatta anche durante periodi di tempo nuvoloso, quando non si possono eseguire osservazioni dirette sulle stelle.

Da queste considerazioni si può dedurre che, se esiste un movimento periodico qualsiasi dello Zenit in direzione Est-Ovest, che fosse causa d'uno spostamento della verticale, esso si dovrebbe manifestare con una variazione periodica nel comportamento di tutti gli orologi, confrontati direttamente col passaggio delle stelle al meridiano.

Il prof. Jordan esaminò una lunga serie di deter-

minazioni orarie, fatte all'Osservatorio Nazionale di Washington ed anche all'Osservatorio Governativo di Ottawa, per stabilire se esistevano variazioni di questo genere che potessero ritenersi in relazione con la posizione della Luna. I risultati delle sue ricerche rivelarono che vi era una evidente relazione tra gli errori apparenti degli orologi, risultanti dal controllo col passaggio delle



19. Differenze apparenti nell'indicazione di orologi in relazione alla posizione della Luna (Jordan).

stelle al meridiano, e la posizione della Luna nel momento in cui venivano fatte le osservazioni. La figura 19 rappresenta appunto una curva che dà gli scostamenti apparenti degli orologi rispetto alle osservazioni delle stelle per diversi angoli orari della Luna.

Da un esame di questa curva si vede che, quando la Luna è a oriente del meridiano, lo Zenit tende a spostarsi verso la Luna. E similmente quando la Luna è ad occidente, il meridiano sembra spostarsi lievemente verso Ovest, inquantoché le stelle passano al meridiano

con un certo ritardo, come si può controllare con cronometri di precisione. Naturalmente nei calcoli si sono dovute prendere opportune precauzioni per tener conto anche delle possibili variazioni nella marcia degli orologi. Questo poté essere realizzato determinando per ogni orologio le sue proprietà caratteristiche, in base alle diurne osservazioni sulle stelle.

Si potrebbe anche porre la questione se l'attrazione gravitazionale della Luna sul pendolo dell'orologio sia sufficiente a determinare una variazione di marcia dell'orologio stesso. Fortunatamente tuttavia si può rilevare mediante calcolo che questo effetto è minimo, molto più piccolo delle variazioni osservate, che sono state interpretate come spostamenti del meridiano.

Più recentemente Loomis e Brown hanno pubblicato dei dati ottenuti dagli orologi di alta precisione di Loomis installati nello stesso Laboratorio Loomis, Tuxedo Park, New York, dai quali si può effettivamente rilevare la differenza nelle marcie degli orologi dovuta alla variazione della forza di gravità da quando la Luna è al meridiano a quando si trova agli antipodi. Nel secondo caso, la Luna aggiunge la sua forza di attrazione a quella della Terra nel far oscillare il pendolo degli orologi in questione. La variazione è di soli 0,004 secondi, il quale valore corrisponde esattamente a quello risultante dal calcolo, ma è molto più piccolo dell'altro effetto considerato.

C'è però ancora un'altra via per determinare gli spostamenti del meridiano nella direzione Est-Ovest, e ciò può essere fatto confrontando accuratamente le determinazioni del tempo da un osservatorio in una data regione del globo con le osservazioni analoghe fatte da un altro osservatorio in un'altra regione situata ad una

certa distanza dalla prima. Il confronto tra le determinazioni del tempo fatte da due qualsiasi di tali osservatorî è effettivamente una misura della differenza di longitudine tra i due osservatorî considerati. Tutte le variazioni periodiche dei relativi meridiani risulteranno, perciò, come una apparente variazione di longitudine fra i due punti.

Poco dopo le prime pubblicazioni sulle relazioni che intercorrono fra la variazione delle latitudini e la posizione della Luna, il signor Loomis richiamò l'attenzione dell'autore su differenze inspiegabili, che egli aveva riscontrato tra i segnali orari trasmessi da Arlington in America e controllati astronomicamente a Washington e quelli emessi da Rugby in Inghilterra e controllati a Greenwich.

Per la accuratezza delle osservazioni fatte tanto in Europa quanto in America si sarebbero dovuti avere errori di pochi millesimi di secondo, dopo eseguite tutte le dovute correzioni. Loomis notò invece che si avevano un aumento e una diminuzione periodici nella differenza fra questi segnali orari, differenza che ammontava a piú di 0,05 secondi. Fu deciso perciò di adottare per lo studio di queste differenze di tempo il medesimo metodo di analisi applicato per lo studio delle piccole variazioni di latitudine, per vedere se anche in questo caso si poteva stabilire una relazione tra queste variazioni e la posizione della Luna.

Dai risultati degli studi fatti si può avanzare l'ipotesi che la distanza fra l'Europa e l'America sia soggetta a variazione periodica in dipendenza della posizione della Luna, e precisamente lo spostamento tra Londra e Washington dovrebbe essere di 19 metri. Se a prima vista questo spostamento può sembrare notevole, in realtà

esso è dell'ordine di solo un duecentomillesimo della distanza fra le due città, quantità che è nei limiti dell'elasticità della roccia granitica, che costituisce la crosta terrestre tra i due estremi considerati.

Naturalmente, ben poco è noto circa la conformazione dell'interno della Terra, particolarmente per ciò che riguarda gli strati al di sotto dei continenti. Nel prossimo capitolo verrà però esaminato se in base alle attuali nostre cognizioni di geologia può essere confermata l'ipotesi circa la mobilità delle masse terrestri.

CAPITOLO VII

L'INTERNO DELLA TERRA

UNA delle migliori fonti di informazione per studiare la struttura interna della Terra, è rappresentata dai moti sismici. Ogni terremoto violento svela dei punti deboli nella costituzione della crosta terrestre e consente di conoscere qualche cosa degli strati sottostanti. La geologia, quale scienza della Terra, è di solito considerata molto lontana dall'astronomia, mentre invece la si può considerare nient'altro che una specializzazione di quest'ultima, poiché al postutto essa si occupa della formazione, configurazione e comportamento di quel pianeta che è per l'umanità molto più importante di tutti gli altri pianeti. E, considerati dal lato astronomico, i problemi della Terra assumono notevole interesse: chi studia la Terra da un punto di vista cosmico è altrettanto astronomo quanto lo è chi si sia specializzato nell'investigare i canali di Marte. Nello studio della Terra si ha poi un vantaggio che non si verifica per alcun altro pianeta: quello di vivere alla sua superficie, di poterne sondare un poco la crosta e d'osservarne il comportamento quando si verificano cedimenti e spostamenti nella crosta stessa durante quei cataclismi che si chiamano terremoti.

Può essere utile, per formarsi un'idea corretta sulla struttura interna della Terra, considerare dapprima la sua storia astronomica. Sull'origine del nostro pianeta sono state fatte tra l'altro due diverse contrastanti ipotesi, che ora esamineremo.

In una di queste, in certo accordo con l'ipotesi classica della nebulosa, si suppone che la Terra si sia staccata dal Sole, o dalla sua nebulosa presolare, quale enorme blocco avente pressapoco l'attuale grandezza e conformazione. Tale corpo, in origine incandescente e plastico, si è raffreddato verosimilmente dall'esterno verso l'interno. Così si sarebbe formata la crosta terrestre la quale, dovendo continuamente adattarsi ad un nucleo in via di contrazione, si sarebbe corrugata alla superficie originando frequenti terremoti, molto più potenti nei primi periodi della storia geologica del nostro pianeta che non attualmente. Alcuni studiosi della Terra, specialmente Poincaré, Darwin e Jeans, hanno emesso l'ipotesi che il nostro globo, formandosi dalla massa nebulosa originaria e rotando allo stato fluido, abbia assunto da principio una configurazione periforme risultante da una mancanza di simmetria nella distribuzione della sua massa. Tale configurazione, soggetta ad accelerare il proprio moto di rotazione mentre la Terra si andava contraendo, è stata matematicamente dimostrata essere instabile, con forze che tendevano a spezzarla in due frammenti. In base a questa ipotesi, il frammento più piccolo, dopo essersi staccato dalla Terra, avrebbe costituito la Luna.

G. H. Darwin, elaborando questa teoria, fece ampî calcoli sulle forze generatrici di marea del sistema Terra-Luna, e mostrò che le enormi maree, che si sarebbero formate nelle masse ancora fluide dei due corpi celesti, non solo dovevano agire come freno nei riguardi dei loro movimenti di rotazione, bensì anche eventualmente provocare una loro netta separazione. A conferma di ciò sta il fatto che la Luna si trova ora ad una distanza dalla Terra pari a circa sessanta volte il raggio terrestre,

mentre ha una velocità di rotazione così piccola, che per compiere una rotazione completa intorno al proprio asse, essa impiega lo stesso tempo necessario per compiere una rivoluzione intorno alla Terra. Ciò significa che, mentre rispetto al Sole la Luna impiega circa trenta giorni a compiere una rotazione attorno al proprio asse, essa espone verso la Terra sempre lo stesso emisfero, di guisa che gli astronomi sono completamente all'oscuro di quello che vi sia sull'altro. Alcuni studiosi hanno supposto che il distacco della Luna abbia lasciato sulla superficie terrestre un'enorme cicatrice e che il bacino del Pacifico rappresenti appunto quanto è rimasto della concavità formatasi in seguito al grandioso cataclisma. Con questa ipotesi, che presuppone essere stata in principio la Terra una massa liquida incandescente, si può arrivare ad una spiegazione convincente dell'elevata temperatura che si crede esista all'interno della Terra.

Un'altra ipotesi è quella della teoria planetesimale di Chamberlin-Moulton. In questa si suppone che la Terra e gli altri pianeti siano stati originati da un distacco di materia dal Sole, causato dalla reciproca attrazione del Sole e di un'altra stella che in tempi remoti gli sia passata vicinissimo senza tuttavia entrare con esso in vera e propria collisione. La potente azione di marea sul Sole provocò la diffusione nello spazio di una gran quantità di corpuscoli (planetesimali) i quali riunendosi costituirono piccoli nuclei di materia. Per un processo di accrescimento, dovuto a mutua attrazione, andarono poi gradualmente ed indipendentemente formandosi la Terra, la Luna e gli altri pianeti. In seguito a tale ipotesi, la Luna non avrebbe mai fatto parte della Terra. I planetesimali devono essersi raffreddati rapidamente e la Terra così creata sarebbe apparsa fin da principio

come un corpo solido. In questo caso le alte temperature dell'interno oggi constatate si dovrebbero far risalire al calore generato dalla enorme pressione causata dal peso dei crescenti strati esterni.

Del resto, qualunque sia stato il succedersi degli eventi che diedero luogo alla formazione del nostro pianeta, oggi abbiamo elementi positivi per ritenere che il nucleo della Terra sia allo stato liquido, e che poco al disotto della sua crosta la materia sia ancora, almeno qua e là, allo stato semifluido, con tendenza a proiettarsi all'esterno, quando nei punti di minor resistenza sia possibile uno sfogo sotto forma d'eruzione vulcanica. È un'ipotesi questa largamente confermata dalle registrazioni dei disturbi sismici.

Un terremoto può essere considerato come una vibrazione di assestamento di una porzione della crosta terrestre per raggiungere uno stato di equilibrio. I terremoti si verificano di massima lungo linee di minor resistenza della crosta terrestre, e si manifestano quando per una qualsiasi causa strati sotterranei offrono un sostegno insufficiente al peso delle masse sovrastanti. Ciò può essere causato da una contrazione generale dell'interno della Terra o da aumento di peso sulla crosta sovrastante. Quando ha luogo una frattura della crosta terrestre, il terreno subisce degli spostamenti finché non incontra di nuovo un appoggio adeguato. Durante il terremoto si verificano sussulti od onde sismiche che provengono dalla regione in cui ha avuto luogo l'assestamento. Queste onde si diffondono in tutte le direzioni attraverso la crosta terrestre e sono registrate dagli appositi speciali strumenti chiamati sismografi.

Dal punto d'origine, chiamato anche ipocentro, si propagano differenti tipi di onde. Una specie di onde

consiste in una compressione e rarefazione alternata del mezzo: le onde di questo tipo sono chiamate in fisica onde longitudinali. A questa categoria di onde è ad esempio dovuta la trasmissione del suono e la loro presenza può essere rivelata nelle canne d'organo, negli strumenti a fiato, come il corno, nonché negli altoparlanti, per mezzo di un qualsiasi dispositivo sensibile che consenta di misurare la compressione e la rarefazione nella colonna d'aria soggetta a vibrazione. In sismologia tali onde elastiche sono designate come primarie, od onde P, poiché sono quelle che vengono registrate per le prime da un sismografo quando si verifica un terremoto. Altre onde, del cosiddetto tipo trasversale, seguono alle onde primarie e sono perciò chiamate onde secondarie o onde S. Nelle onde trasversali, le particelle del mezzo si alzano e si abbassano rispetto alla direzione di propagazione, ma non vengono compresse o rarefatte come avviene nelle onde longitudinali. Tanto le onde P quanto le S partono dall'ipocentro e, trasmettendosi attraverso la Terra, giungono ai sismografi con velocità dipendenti dalle proprietà elastiche e dalla densità del mezzo di trasmissione. Le onde trasversali si propagano prontamente nella parte solida della Terra, ma presentano anche l'importanza caratteristica di non potersi apparentemente propagare attraverso un nucleo liquido.

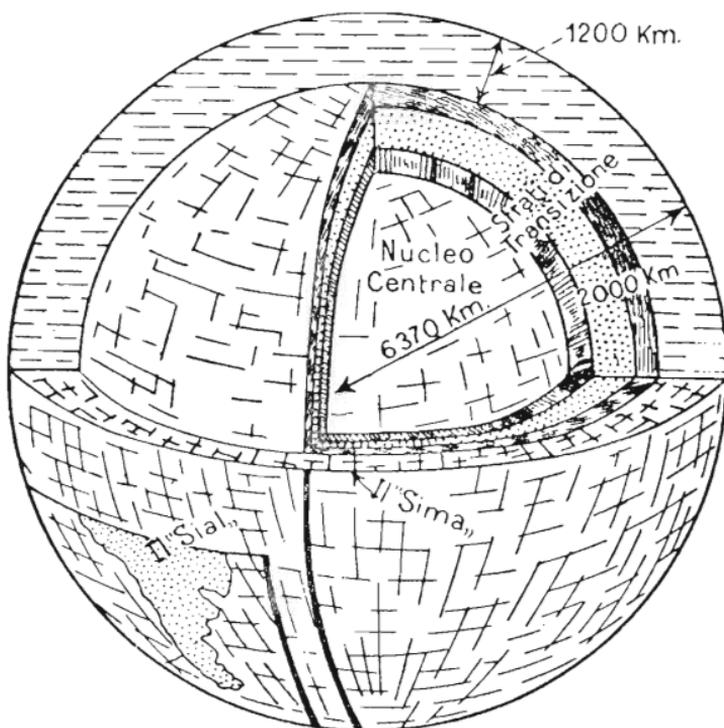
Le scosse preliminari (onde P), che vengono registrate per le prime dal sismografo, seguono un tragitto più o meno diretto dall'ipocentro del terremoto fino al punto ove è installato il sismografo; la loro velocità è di circa 5 a 6 km/sec con un periodo da 5 a 7 secondi. La velocità delle onde secondarie o S, le cui oscillazioni avvengono in direzione perpendicolare a

quella di propagazione, è di circa 4,5 km/sec, con un periodo circa doppio di quello delle onde P. I percorsi di queste due categorie di onde sono all'incirca gli stessi. Nell'interpretare le registrazioni di un sismografo si deve anche tenere conto del fatto che l'una o l'altra di queste onde può subire una riflessione alla superficie della Terra, ove l'onda può venire spezzata in due o anche in tre parti. In aggiunta alle onde P e S vi è una terza categoria di onde di ampiezza minima ma grandissima lunghezza che si propagano alla superficie della Terra con una velocità di 3 a 4 km/sec. Il periodo di vibrazione di queste onde superficiali può arrivare ad un minuto primo.

Siccome le onde P ed S, passando per zone della Terra di densità diversa, sono soggette a riflessione e rifrazione — analogamente a quanto avviene per i raggi luminosi quando incontrano una superficie di vetro o d'acqua — abbiamo la possibilità di ottenere col loro mezzo informazioni sulla struttura interna della Terra. Dallo studio dei sismogrammi sembra ormai assodata l'esistenza di tre diversi strati, in prossimità della superficie terrestre. Dai fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde sismiche si può stabilire che esistono discontinuità nella struttura della crosta terrestre a 12, a 37 e a 60 chilometri di profondità. Un'altra forte discontinuità si rivela alla profondità di 2900 chilometri. La maggior parte dei sismologi è d'accordo nel ritenere che a tale profondità le onde sismiche incontrano il nucleo centrale della Terra, molto probabilmente costituito da ferro-nickel allo stato fluido. Che il nucleo si trovi allo stato fluido viene dedotto dal fatto che le onde S sembrano sperdersi quando incontrano il nucleo stesso.

TERRA E RADIO NEL COSMO

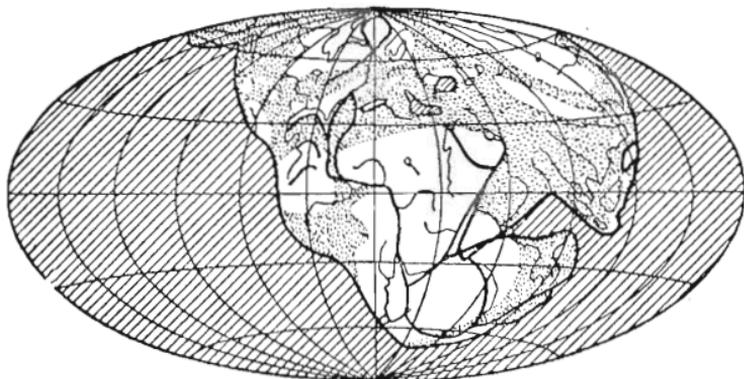
A riassumere lo stato attuale delle nostre conoscenze circa la struttura dell'interno della Terra, per quanto risulta dallo studio dei fenomeni sismici, può servire la figura 20, nella quale in forma schematica sono rappre-



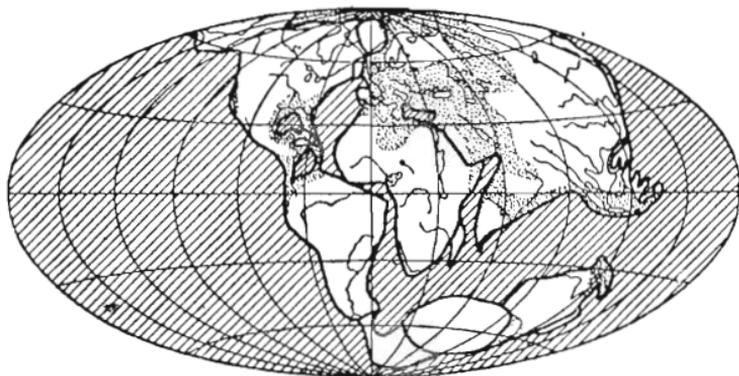
20. Vista schematica dell'interno della Terra secondo le attuali conoscenze geologiche
(Secondo Hodgson - *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*).

sentate le diverse sfere concentriche che costituiscono la Terra. Ecco dapprima il nucleo centrale con un raggio di 3470 chilometri; indi una zona di transizione composta prevalentemente di silicati con ferro, per uno spes-

Carbonifero superiore



Eocene



Quaternario antico



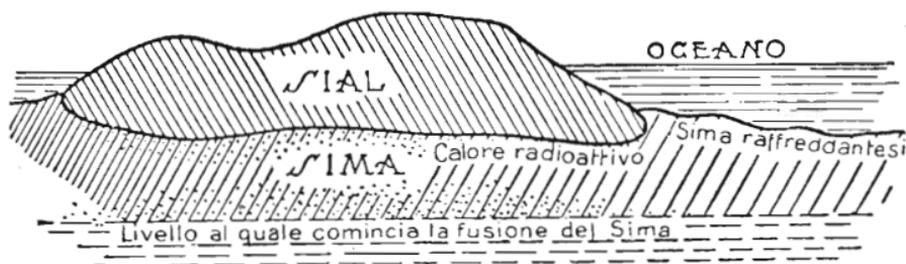
21. Carta di Wegener che illustra la sua ipotesi della deriva dei continenti in tre tempi successivi della storia geologica. (Dall'opera di Wegener: *Origine dei continenti e degli oceani.*)

sore di 1700 chilometri. Segue una calotta magnesio-silicica, il cosiddetto «sima», dello spessore di circa 1140 chilometri. Al disopra troviamo uno strato dello spessore di 23 chilometri di rocce basaltiche, supporto diretto della crosta superficiale composta principalmente di rocce granitiche per uno spessore di 12 chilometri circa.

Taluni movimenti della crosta terrestre, che provocano catastrofi sismiche, avvengono quando lo strato basaltico cede sotto il peso dello strato delle rocce granitiche. Si hanno elementi per ritenere che la zona basaltica si trovi allo stato pastoso o di magma: essa sembra perciò un sostegno piuttosto debole della crosta sovrastante. Tanto i geologi quanto i fisici sono d'accordo nell'attribuire una grande plasticità allo strato basaltico. Daly ha osservato che, poiché il basalto cristallizzato ha una densità del 6% circa maggiore di quella del basalto amorfo a parità di temperatura, la crosta suboceanica dello strato basaltico è in costante pericolo di precipitare in quest'ultimo; Daly ritiene essere la pastosità di questo substrato di basalto amorfo la causa fondamentale di tutti i movimenti che si verificano nella crosta terrestre come pure l'origine dell'attività vulcanica e della formazione dei sistemi orografici.

Nei periodi geologici recenti si riscontra ovunque la prova di continui e lenti movimenti della crosta terrestre. I più ardimentosi studiosi della Terra, come Taylor e Wegener, hanno rappresentato in apposite carte gli enormi spostamenti dei continenti che si sarebbero verificati nella storia geologica (figura 21). Wegener ha supposto che nel periodo carbonifero i continenti dei due emisferi, orientale ed occidentale, fossero riuniti in un solo grande continente; a poco a poco si sarebbe aperta

la fossa Atlantica, ed i due continenti così formati si sarebbero progressivamente allontanati l'uno dall'altro. Wegener dedusse le sue conclusioni dalla corrispondenza tra il contorno della costa euro-africana e quello della costa americana, da certe caratteristiche comuni della fauna e della flora dei due continenti e dai corrugamenti della crosta terrestre costituenti le catene montuose, che indicherebbero le direzioni nelle quali sarebbero avvenute le traslazioni delle masse continentali.



22. Disegno schematico che illustra la teoria di Joly della periodica fusione del sima, come causa delle derivate continentali.

Molti geologi hanno considerato l'ipotesi di Taylor e Wegener mancante di una seria base scientifica, mentre taluni risultati dei moderni studî sismici sembrano invece confermare queste supposizioni che fino a qualche tempo fa si potevano considerare come il frutto di una troppo fervida immaginazione. Vi sono poi altre prove, oltre a quelle fornite dai terremoti, che ora si vanno accumulando a sostegno dell'ipotesi della mobilità nella crosta terrestre. Senza dubbio certe regioni del globo sono molto piú soggette di altre a movimenti del terreno. I risultati di una lunga serie di osservazioni compiute nell'arcipelago del Giappone, zona caratteristica per la sua instabilità, hanno rivelato nelle vicinanze di Ito va-

riazioni di livello da 125 a 200 mm a partire dal 1930. Siccome negli anni precedenti non si erano verificati in tale regione movimenti sismici, è ovvio che spostamenti di questa entità non potevano esserne la stretta conseguenza. D'altro canto l'ampia serie di determinazioni di latitudine fatte all'osservatorio di Ukiah, California, di cui si è detto in un capitolo precedente, sembra confermare che tale osservatorio abbia subito in questi ultimi anni una leggera traslazione.

Ulteriori elementi in appoggio alla teoria della deriva dei continenti si riscontrano nella relazione suggerita da Joly tra i fenomeni radioattivi e il problema che ci occupa. Considerando i continenti come costituiti da un ammasso di rocce piú acide « sial » (1) sostenute da uno strato di « sima » (2) (contenente materiale piú basico) (fig. 22), Joly afferma che il calore radioattivo, imprigionato negli strati sottostanti ai continenti, dovrebbe coll'andare del tempo ridurre il sima allo stato fluido, giacché il punto di fusione delle rocce basiche che lo costituiscono è inferiore a quello delle rocce granitiche acide del sial. La fusione, secondo questo scienziato, comincerebbe alla superficie inferiore del sima e gradualmente s'estenderebbe verso l'alto con la generazione di calore da parte delle sostanze radioattive imprigionate. Il riscaldamento del sima sarebbe accompagnato da un aumento di volume e da una diminuzione della sua densità. Col diminuire di questa densità, le rocce granitiche del sial dovrebbero affondare di piú nella massa pastosa del sima per ritrovare il loro equilibrio di galleggiamento. Intanto le maree, provocate nel magma

(1) da silicio ed alluminio;

(2) da silicio e magnesio.

del sima che si sposta verso Ovest, verrebbero a interessare le radici dei continenti facendo loro subire a poco a poco una deriva verso Ovest mentre ad Est il sima caldo venendo a contatto col fondo dell'oceano si raffredderebbe solidificandosi di nuovo. In questo periodo di raffreddamento il sima subirebbe una contrazione e aumenterebbe di densità col risultato che i continenti fatti di sial si alzerebbero rispetto al livello del sima. Un successivo periodo di riscaldamento produrrebbe un'altra deriva verso Ovest dei continenti, quando il sima di nuovo passasse allo stato fuso. Questo ciclo si ripeterebbe in relazione all'alternativo fondere e raffreddarsi del sima. Ogni periodo di raffreddamento sarebbe accompagnato da una contrazione complessiva della crosta terrestre avente per conseguenza la formazione di piegature e movimenti della superficie terrestre, così caratteristici delle diverse epoche geologiche. Spostamenti oceanici accompagnerebbero naturalmente i cambiamenti di livello dei continenti rispetto al sima sottostante.

In appoggio a questa teoria Joly osserva che, quando il sima è allo stato fluido, si può pensare che trasmetta un'onda di marea di molto maggior ampiezza ed impeto di quelle oceaniche, poiché il mezzo che è messo in movimento ha una densità tripla di quella dell'acqua di mare. Siccome la viscosità del mezzo dipende dalla temperatura e dalla pressione, è da ritenere che si dovrebbe avere una notevole gamma di fluidità del magma delle rocce basiche secondo i diversi stadi del processo di riscaldamento. Quando si verifica una marea nel sima, l'assorbimento d'energia di marea nella reazione dei continenti che vi galleggiano sopra dovrebbe provocare una forza diretta verso Ovest tendente a spostare

i continenti stessi. Secondo Joly vi sarebbero buone ragioni per credere che il grande continente dell'Europa e dell'Asia, od Eurasia, sotto l'azione di questa forza, sia stato portato sullo strato che ora forma il fondo dell'Atlantico. Analogamente il fondo del Pacifico sarebbe stato spostato a formare lo strato che ora sostiene il continente euro-asiatico.

Si ritiene anche che dipenda da forze generatrici di marea il fatto che le maggiori spaccature nella crosta terrestre hanno un andamento Nord-Sud, essendosi queste fessure formate quando il substrato era allo stato fluido e la crosta sotto tensione. Forze di marea, che hanno agito in direzione Est-Ovest, possono aver dato origine alla grande depressione africana che, come ha mostrato il Gregory, è piú sviluppata nelle regioni equatoriali.

Però la prova piú evidente, che può confermare lo spostamento dei continenti, è forse quella che si può dedurre dai risultati di una spedizione in Groenlandia fatta nel 1932 dal dott. Jelstrup. Questi si era proposto di determinare piú esattamente che fosse possibile la posizione dell'isola Sabine allo scopo di confrontarla con quella indicata da Sabine nel 1825 e quella risultante dalle determinazioni di Börgen e Copeland nel 1869 e 1870. Jelstrup trovò l'isola Sabine a 615 metri piú ad occidente di quanto risultava dalle misurazioni del 1869 e 1870. Data l'incertezza della posizione del 1825, questa non poté essere utilizzata per il confronto. Sebbene Börgen e Copeland si basassero su osservazioni della Luna fatte in epoche differenti e i loro dati non raggiungessero la precisione che oggi si può ottenere, non sembra però ch'essi potessero fare un errore molto superiore a 80 metri. Dalle osservazioni del dott. Jelstrup

si dedurrebbe che probabilmente questo errore non superava un quarto di questo valore. Ammettendo che si sia verificata la piú sfavorevole combinazione di errori, risulterebbe che il territorio della Groenlandia si è spostato verso Ovest di 250 metri e forse anche di piú in sessantadue anni. In base a ciò la Groenlandia avrebbe potuto quindi spostarsi di 4000 chilometri verso Ovest, negli ultimi centomila anni.

Mentre le variazioni in latitudine e longitudine, a corto periodo, precedentemente discusse e verificantisi nel corso del giorno lunare, possono non avere un'importanza immediata nella questione della deriva dei continenti, tuttavia ogni considerazione, a riprova della mobilità o l'instabilità dei substrati della crosta terrestre, può tornare a favore dell'ipotesi fatta. Sembra invero azzardato affermare che nello strato di rocce basaltiche possa verificarsi un movimento generale di marea di ampiezza sufficiente a produrre quegli spostamenti nella crosta terrestre, che possano dare spiegazione delle variazioni di latitudine e longitudine in relazione alla posizione della Luna. Tuttavia, se lo strato di rocce granitiche ha una base alquanto irregolare, cosicché la pressione sullo strato sottostante di rocce basaltiche diminuisca in certi punti per la formazione di vólte, non è inconcepibile che le forze di marea, agenti nel magma sottostante, possano originare in tali punti dei movimenti sufficienti ad accentuare quelli della crosta terrestre, in modo che essi vengano ad assumere ampiezza maggiore di quella che si può dedurre dai valori teorici delle maree terrestri. Per giungere a conclusioni definitive sarà certo necessario fare ancora estese determinazioni di latitudine e longitudine ad intervalli relativamente brevi. È poi chiaro che le osservazioni astronomiche delle stelle

possono diventare di sempre maggiore importanza nell'affrontare problemi di geofisica del genere di quelli che si sono presentati nel corso di questo capitolo.

In tutti i problemi geologici e geofisici l'astronomo non può dimenticare che la Terra deve essere considerata come un pianeta. Se si volessero fare delle previsioni, si potrebbe dire che con tutta probabilità l'influsso del Sole e della Luna sul comportamento della Terra dovrà in avvenire essere tenuto in molto maggiore considerazione di quello che non sia stato fatto in passato. La questione delle maree terrestri è un problema molto complicato, e solo facendo delle ipotesi di ordine generale è stato possibile applicare l'analisi matematica allo studio di tali problemi. Ma è urgente la necessità di dare impulso ad ulteriori metodi di osservazione. Le nostre conoscenze sulla struttura interna della Terra sono ancora troppo limitate perché sia possibile trarre delle conclusioni definitive o fare delle ipotesi generali circa le caratteristiche e il comportamento della materia in condizione di pressione e temperatura, quali si verificano nell'interno della Terra. L'importante opera di Bridgman sullo studio del comportamento dei materiali sotto fortissime pressioni ha già rivelato dati sorprendenti circa le proprietà meccaniche ed elettriche dei materiali stessi, quando vengano sottoposti a pressioni paragonabili a quelle che si verificano nell'interno della Terra. Se le maree terrestri sono un elemento importante nelle sollecitazioni periodiche che la Terra subisce durante il giorno lunare, si può ritenere che, sebbene le forze di marea dovute all'attrazione della Luna non sieno per se stesse sufficienti a produrre sensibili moti sismici, tuttavia, qualora in certi punti della Terra si verificchino condizioni di instabilità tali da favorire la produzione

di fenomeni sismici, tali fenomeni potrebbero manifestarsi piú facilmente in quei periodi di tempo in cui le sollecitazioni dovute alle azioni di marea sono massime.

Ampi studí fatti dal Cotton convalidano la supposizione che esista una relazione tra i moti sismici e certe posizioni particolari della Luna. Ulteriori indagini in questo campo potranno meglio chiarire la cosa. Una difficoltà nello studio di questo problema è costituita dal fatto che noi non possiamo sapere dove la superficie terrestre cederebbe dapprima sotto l'azione delle forze di attrazione di marea. Sarebbe, per esempio, troppo azzardato ritenere che debba verificarsi un moto sismico in un dato epicentro proprio al passaggio della Luna al meridiano: tuttavia ogni corrispondenza che possa riscontrarsi esistere tra angolo orario, declinazione della Luna e il prodursi d'onde sismiche in un dato luogo potrebbe confermare l'ipotesi che esista una relazione fra le maree terrestri e i terremoti. Ogni metodo che possa condurre alla risoluzione del problema è quindi il benvenuto, sia ch'esso provenga dai sismologi, dai geofisici o dagli astronomi. Le ricerche ora in corso, in collaborazione col Comitato Geofisico della Università di Harvard, potranno certo portare nuova luce in argomento.

CAPITOLO VIII

INFLUENZE DEL SOLE SULLE VICENDE UMANE

DI tutti i corpi celesti il Sole è quello di maggior importanza per gli abitanti della Terra. Da nessun altro corpo celeste noi siamo così completamente dipendenti per le necessità della vita: la radiazione proveniente da questa stella, la piú vicina a noi, fornisce la luce e l'energia occorrenti a tutte le attività umane. È il Sole che in ultima analisi promuove l'agricoltura e l'industria. Da recenti investigazioni risulta per altro che la radiazione solare influisce sull'umanità anche in altre guise meno appariscenti, che interessano l'economia mondiale.

Dal punto di vista astronomico il Sole è una stella di tipo ordinario. Mentre esso è piú d'un milione di volte piú grande della Terra, a sua volta è milioni di volte piú piccolo di molti tra gli astri piú brillanti che possiamo osservare in una notte serena. Se la Terra si trovasse ad una distanza dal Sole eguale a quella cui si trova il Sole dalla piú vicina stella nello spazio, esso apparirebbe nel cielo come un astro di modesto splendore.

I moderni mezzi di trasporto aereo ci consentono, meglio che in passato, di farci un'idea della effettiva vicinanza del Sole: poiché ora sarebbe possibile a un individuo, che vivesse fino a ottant'anni, di superare la distanza fra la Terra e il Sole (circa 150 milioni di chilometri) qualora facesse tale cammino servendosi di un

aeroplano ordinario a bordo del quale potesse trascorrere tutta la sua esistenza.

Il Sole tuttavia non è un corpo che possa venire esaminato da vicino, poiché nessuna corazza che potessimo escogitare riuscirebbe a proteggerci dall'intenso calore regnante vicino alla sua superficie. Tuttavia, in confronto alla temperatura che regna nell'interno del Sole, quella della sua superficie, di circa 6000° centigradi, ci sembrerebbe relativamente fredda, poiché H. Eddington ritiene che l'interno del Sole non sia a meno di 30 milioni di gradi centigradi. È questo nucleo così caldo che forma in definitiva la sorgente di tutta la radiazione solare. La Terra è così piccola, in confronto al Sole, che alla presente sua distanza da esso, può disporre solo di una minima parte della radiazione solare, precisamente di un duemiliardesimo. Cionondimeno questo continuo stillicidio di calore, che investe la superficie della Terra, se potesse venire convertito per mezzo di qualche macchina termica in energia meccanica, rappresenterebbe l'equivalente di circa duecentotrenta milioni di milioni di HP. Però, salvo poche eccezioni di carattere sperimentale, l'uomo ha fatto ben scarsi tentativi di convertire direttamente l'energia solare disponibile alla superficie della Terra in energia meccanica. Ed invero non vi sarebbe scopo di farlo, quando la natura, durante le ère geologiche, è andata accumulando tale energia sotto forma di grandi giacimenti di carbone fossile e di olio minerale situati poco sotto la superficie terrestre e di impiego assai più facile.

La mente indagatrice dello scienziato ha però ideato vari metodi e strumenti per misurare quantitativamente giorno per giorno la radiazione del Sole e per analizzarne lo spettro in lunghezze d'onda e frequenze. Per

piú di una generazione la Smithsonian Institution di Washington si è occupata della misura quantitativa della radiazione solare ricevuta dalla Terra e ha fatto l'importante scoperta che questa radiazione è ben lungi dall'essere costante, ma varia di giorno in giorno e di mese in mese, con certe irregolarità, delle quali si cerca ancora la spiegazione. Sembra tuttavia essere assodato in seguito ad un'analisi di una lunga serie di tali osservazioni da parte del dott. Abbott, che la variazione totale dell'energia solare ricevuta dalla Terra si aggiri intorno al 4% ed abbia un periodo di un po' di piú di un decennio.

Un esame accurato del disco del Sole, fatto per mezzo di telescopî, rivela che nel Sole si verificano certi cambiamenti che presentano una analoga periodicità, e precisamente una periodicità di poco piú di undici anni. La modifica che meglio si avverte nella attività del Sole durante tale periodo, e che può essere osservata dall'astronomo, è quella della comparsa e della scomparsa di certe macchie scure con un massimo di frequenza ogni undici anni circa. Queste cosiddette macchie solari vennero scoperte da Galileo nel 1611, subito dopo aver inventato il cannocchiale; sembra tuttavia che in tempi anteriori qualche macchia di grandezza eccezionale sia stata vista occasionalmente anche ad occhio nudo. Da circa un secolo e mezzo poi, possediamo dati molto precisi sul numero delle macchie che si possono riscontrare sulla superficie del Sole di anno in anno. È dall'esame di questi dati statistici, raccolti per mezzo del telescopio, che risultò l'importanza del periodo di undici anni nel comportamento del Sole. L'ultimo massimo d'attività delle macchie solari risale agli anni 1928-1929; il numero delle macchie diminuì negli

anni successivi fino ad un minimo; in conseguenza del ciclo undecennale possiamo prevedere che nei prossimi anni le macchie solari andranno aumentando in numero e dimensione. L'inizio del precedente periodo di macchie solari, che si è chiuso col minimo d'attività del 1933-1934, ebbe luogo nel 1923, al quale tempo le macchie solari erano pure molto scarse.

Il vero carattere delle macchie solari, cioè di cicloni grandiosi che si scatenano nell'atmosfera del Sole accompagnati da potenti disturbi elettrici e magnetici, fu stabilito per la prima volta da Hale all'osservatorio del Monte Wilson nel 1908. Mediante un adattamento del suo spettroeliografo, Hale fu in grado di analizzare l'atmosfera solare fotografandone a differenti livelli i disturbi in vicinanza delle macchie, allo stesso modo come il biologo studia la natura dei tessuti prendendone sottilissime fette col suo microtomo. Da uno studio di queste perturbazioni solari si è riscontrato che nell'intorno delle macchie l'atmosfera del Sole va soggetta a giganteschi turbini e vortici spirali, simili a quelli che si verificano nell'atmosfera terrestre in caso di cicloni ed uragani. Un'accurata analisi dei raggi di luce provenienti dall'interno di tali vortici solari provò che questi erano i centri di potenti campi elettromagnetici.

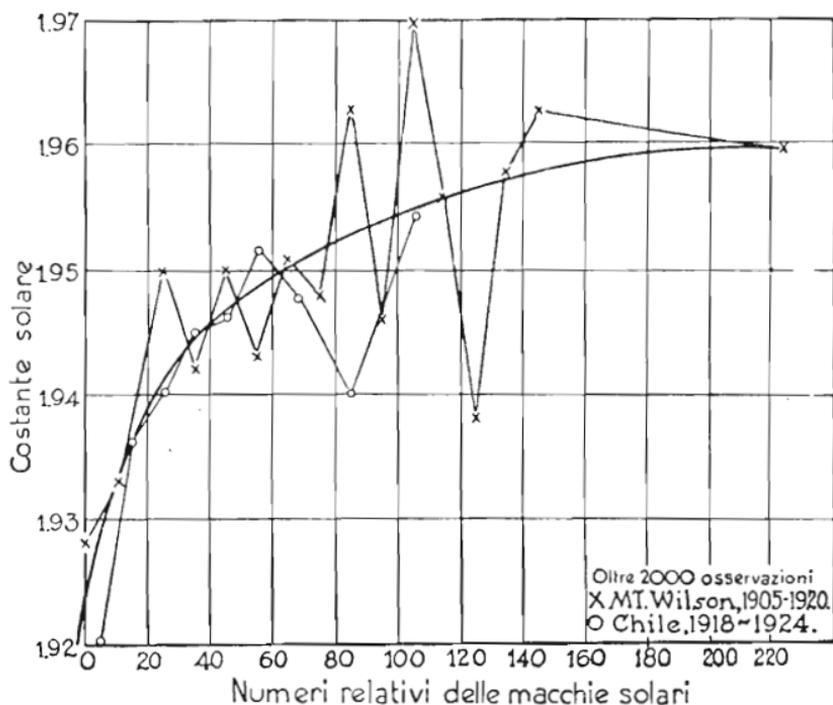
Circa la vera origine di questi vortici non è stata ancora data una spiegazione del tutto soddisfacente. C'è però una caratteristica particolare nel comportamento del Sole, che senza dubbio merita qualche considerazione a questo riguardo. La sfera solare ruota attorno al suo asse da oriente verso occidente in un periodo, che è di circa venticinque giorni nelle vicinanze del suo equatore; ma a latitudini più elevate il Sole ruota con minore velocità, impiegando circa ventisette giorni per

un giro completo alla latitudine di 35° e un mese a 60° . Questo ritardo nella rotazione dell'atmosfera del Sole alle latitudini piú elevate dovrebbe tendere a produrre un'azione frenante sull'atmosfera che circola nelle zone di minor latitudine e questa sarebbe una ragione per la quale si formerebbero dei vortici, cosí come avviene lungo le rive dei fiumi nei tratti in cui questi presentano delle rapide.

Perché però l'attività delle macchie solari sia regolata da un periodo di undici anni resta sempre un mistero. Sono stati fatti numerosi tentativi da parte di molti ricercatori per vedere se la causa dei disturbi periodici del Sole potesse risiedere in influenze gravitazionali od elettriche dei pianeti che gli circolano intorno. È stata trovata qualche coincidenza tra il periodo di certi fenomeni planetari ed il ciclo solare, però mancano ancora delle prove positive per poter concludere in modo sicuro che le perturbazioni solari sieno imputabili ai pianeti. Tra gli astrofisici è assai piú diffusa l'opinione che l'origine dei turbamenti solari debba risiedere nel Sole stesso piuttosto che nel corteggio dei suoi pianeti.

L'importanza delle macchie solari invariabilmente solleva la questione se esista una relazione fra le macchie stesse e varî fenomeni terrestri. Si è indotti a supporre che tali cambiamenti ciclici nel Sole siano accompagnati da variazioni nella radiazione emessa dalla superficie solare sia in quantità che in qualità. Abbiamo elementi sufficienti per concludere che realmente le cose stanno cosí. I risultati d'una serie di misure sistematiche della radiazione solare, eseguite alla Smithsonian Institution già ricordata, c'insegnano che il Sole irradia maggior calore quando l'attività delle macchie è massima che non quando è minima.

La curva riprodotta nella figura 23, presa da una recente pubblicazione della Smithsonian Institution, mostra come la cosiddetta costante solare aumenti col cre-



23. Determinazioni della radiazione solare che mostrano un incremento nel calore emesso dal Sole con l'accrescersi del numero delle macchie solari.

(Osservazioni della *Smithsonian Institution*.)

scere del numero delle macchie solari. La costante solare si misura per mezzo di uno speciale strumento, chiamato pireliometro, costituito da una piccola camera contenente una certa quantità di acqua o di un altro liquido, che viene esposto ai raggi solari per un breve periodo di tempo, ad esempio per un minuto. L'au-

mento di temperatura del liquido, in seguito a tale esposizione, viene registrato e da esso si può dedurre il numero di piccole calorie ricevute dal liquido. Come è noto, la piccola caloria o caloria-grammo è la quantità di calore necessaria per elevare di un grado centigrado la temperatura di un grammo di acqua. La « costante solare » è il numero di queste unità termiche ricevute al di fuori dell'atmosfera terrestre dalla superficie di un centimetro quadrato situata perpendicolarmente ai raggi del Sole, nell'intervallo di un minuto primo. Il valore della costante solare è di solito assunta eguale a 1,94 calorie-grammo. Ciò significa che se l'energia totale di un fascio di raggi solari della sezione di un centimetro quadrato viene totalmente assorbita e usata senza perdite per riscaldare un grammo d'acqua, la temperatura di questa aumenterebbe di 1,94°C. in un minuto primo. Nell'eseguire queste misure si usa fare una correzione per tener conto dell'energia assorbita dall'atmosfera terrestre. Dalla curva della fig. 23 si rileva che la costante solare varia da un minimo di 1,92, quando le macchie solari sono al minimo, a un valore medio di 1,96 quando le macchie solari sono vicino al massimo.

Da un aumento nel valore della costante solare non consegue necessariamente che la temperatura in un dato punto della superficie terrestre diventi maggiore. Anzi vi sono elementi per ritenere che la Terra è un po' più fredda quando l'attività delle macchie solari è massima che non quando è minima. Qualche anno fa, per esempio, l'autore esaminò le temperature registrate all'Osservatorio Meteorologico di Blue Hill presso Boston; l'esame confermò la precedente asserzione. Questo paradosso si può spiegare con varie ipotesi: possia-

mo pensare che un incremento della radiazione solare provochi un aumento dell'evaporazione dagli oceani con maggiori annuvolamenti e precipitazioni atmosferiche, con un conseguente abbassamento di temperatura alla superficie della Terra. Ciò dà un'idea di quanto sia complesso il problema di cercare una relazione fra le macchie solari e le condizioni meteorologiche. È tuttavia alquanto arrischiato basarsi unicamente sui dati meteorologici di una data località per cercare di stabilire una relazione fra le macchie solari e le condizioni del tempo.

D'altra parte una recente disamina dei dati meteorologici di tutto il globo hanno convinto l'A. che non era parimenti prudente d'eseguire al suddetto scopo una media delle temperature o delle precipitazioni atmosferiche registrate da un gran numero di osservatori distribuiti su tutta la Terra. La ragione è piú o meno evidente: siccome le manifestazioni meteorologiche sono accompagnate da ampie variazioni nella pressione barometrica, le migrazioni di questi centri d'alta e bassa pressione devono essere accompagnate da molto diverse caratteristiche del tempo nei diversi luoghi ad un dato momento. Perciò la semplice media dei dati meteorologici, poco importa quanto largamente distribuiti, può mascherare eventuali dirette influenze delle perturbazioni solari sulle variazioni atmosferiche terrestri.

In generale si può dire che le condizioni del tempo sulla Terra sono sempre causate dal Sole. Al Sole sono dovuti non solo il processo di evaporazione e di precipitazione, ma anche la formazione delle correnti atmosferiche che si manifestano nei venti. I cicloni e gli anticicloni, che rispettivamente producono uragani o il

bel tempo, sono senza dubbio per la maggior parte perturbazioni secondarie originate dalle perturbazioni atmosferiche principali. Quando avremo stabilito in che luogo sulla Terra si comincia a manifestare nelle variazioni delle condizioni meteorologiche l'effetto delle variazioni delle radiazioni solari, avremo fatto un gran passo innanzi, perché incominceremo allora a saper scegliere dati convenienti per eseguire confronti diretti col ciclo solare. Numerosi investigatori hanno trovato varie concordanze fra variazioni nella pressione barometrica e variazioni delle macchie solari. Ciò dovrebbe indurre ad intraprendere ulteriori indagini in questo campo.

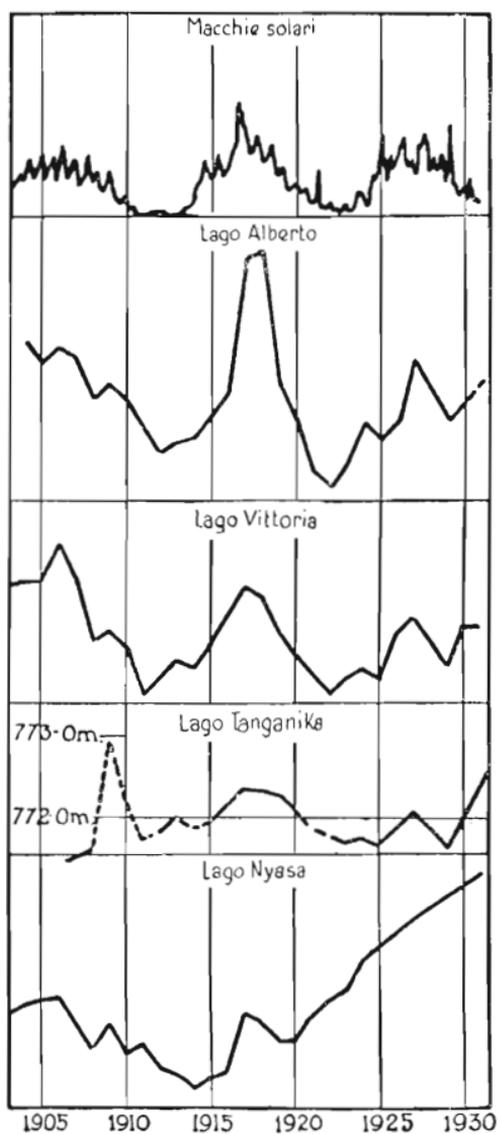
Sono stati fatti anche diversi tentativi per trovare una relazione fra le precipitazioni atmosferiche e il ciclo solare. Da uno studio recente di C. Gillman sulle variazioni di livello dei grandi laghi africani risulta una notevole corrispondenza tra queste variazioni e il ciclo delle macchie solari dal 1902 al 1932. Le curve della figura 24 sono ricavate dai dati pubblicati da Gillman per i laghi Alberto, Victoria e Tanganica. I dati riguardanti il lago Niassa sono stati notevolmente modificati in seguito alla chiusura del suo scarico nel fiume Shire nel 1924, per cui in tale epoca le osservazioni furono interrotte. Ma prima del 1924 anche per il livello del lago Niassa si trovò lo stesso andamento come per gli altri laghi africani.

Il dott. Abott è fermamente convinto che le fluttuazioni della radiazione solare sono un elemento importantissimo che si deve prendere in considerazione per poter predire il tempo con notevole anticipo. Le conseguenze economiche che si avrebbero, quando si fosse in grado di fare delle previsioni meteorologiche su una ba-

se veramente astronomica, sono troppo evidenti perché sia necessario richiamarne tutta l'importanza.

È interessante notare che durante l'ultimo ciclo solare, l'ufficio meteorologico di Washington ha attribuito così grande importanza alle determinazioni solari da richiedere la cooperazione dei più importanti osservatorî degli Stati Uniti d'America per fornire all'osservatorio della Marina americana dati giornalieri sulla attività del Sole. Gli osservatorî interessati furono: l'Harvard a Cambridge, il Yerkes nel Wisconsin, il Perkins nell'Ohio e quello di Monte Wilson in California; tutti cooperano coll'osservatorio della Marina americana nel raccogliere dati sul Sole, cosicché oggi non passa giorno senza un'esauriente determinazione dell'attività che si svolge alla superficie del Sole per ciò che riguarda la presenza, la posizione e lo sviluppo delle sue macchie.

Se le variazioni sul Sole influenzano considerevolmente le condizioni meteorologiche e le precipitazioni atmosferiche, dobbiamo in ultima analisi concludere che l'astronomia indirettamente riguarda anche la vegetazione, i raccolti e l'agricoltura; essa è forse anche un oscuro fattore che influisce sui nostri cicli economici. Lawrence V. Burton, direttore della rivista americana « Food Industries », ha recentemente fatto confronto fra certi indici economici e i valori della costante solare, ricavati dalle determinazioni della Smithsonian Institution; da questo confronto si può azzardare l'ipotesi che gli affari possano aver tendenza a migliorare quando il valore della costante solare diminuisce. Vale forse la pena di ricordare incidentalmente che quattro delle cinque ultime crisi economiche avvennero in un periodo di massimo delle macchie solari. Le complicazioni introdotte



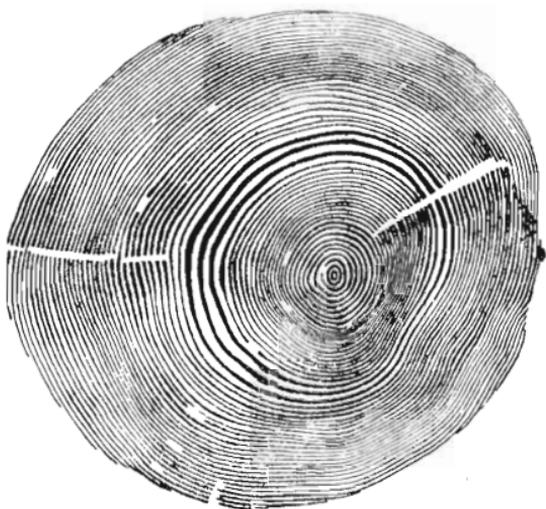
24. I livelli dei laghi africani mostrano una correlazione con le macchie solari (dalla «*Geographical Review*»).

dalle legislazioni, dal prolungamento del credito, dall'adozione di mezzi adatti per conservare le derrate e vari accorgimenti adottati per regolare la produzione e la distribuzione dei prodotti del suolo possono certo mascherare una certa naturale corrispondenza fra i cicli solari e le crisi economiche, o almeno possono avere come conseguenza uno sfasamento di tale corrispondenza, qualora non sembri troppo azzardato di ammetterla.

Forse la piú interessante prova scientifica dell'influenza del ciclo solare sulla vita terrestre è quella riscontrata nella crescita di alberi secolari dal dottor Douglass, direttore dell'Osservatorio Steward dell'Università dell'Arizona. Questi esaminò centinaia d'alberi nelle foreste sud-occidentali degli Stati Uniti, con l'intento di cercare la traccia dell'undecennale ciclo solare nello spaziamento degli anelli annuali nei tronchi. Un esame della sezione d'un tronco, come mostrata in fig. 25, rivela che la crescita annuale rappresentata dall'aggiunta di un anello, varia sensibilmente di anno in anno. Douglass riuscí ad individuare l'esistenza di massimi e minimi di crescita corrispondenti a periodi assai prossimi a quelli undecennali delle macchie solari in oltre 500 alberi comprendenti periodi vitali fino a 3000 anni e piú.

C'è da sperare che ulteriori ricerche in questo campo riescano a meglio chiarire il rapporto intercorrente tra le radiazioni d'ogni lunghezza d'onda e la vita delle cellule. Forse non si pecca d'eccessiva immaginazione ritenendo di poter scoprire una relazione tra l'attività delle ghiandole endocrine e la quantità o qualità delle radiazioni che le raggiungono. La scienza moderna ha già mostrato come temperamento e umore dipendano dalla secrezione di queste ghiandole. Si troverà magari

che ai periodi di depressione ed ottimismo dell'umanità non sono estranei cambiamenti ambientali dovuti a cause cosmiche. Ma queste fantasie ci conducono troppo lontano nel campo delle speculazioni, per cui torneremo a quelle ricerche scientifiche che ci assicurano di trovarci e di rimanere su un piú solido terreno.



25. Anelli d'albero che rivelano un ciclo solare attraverso i secoli (secondo Douglass).

CAPITOLO IX

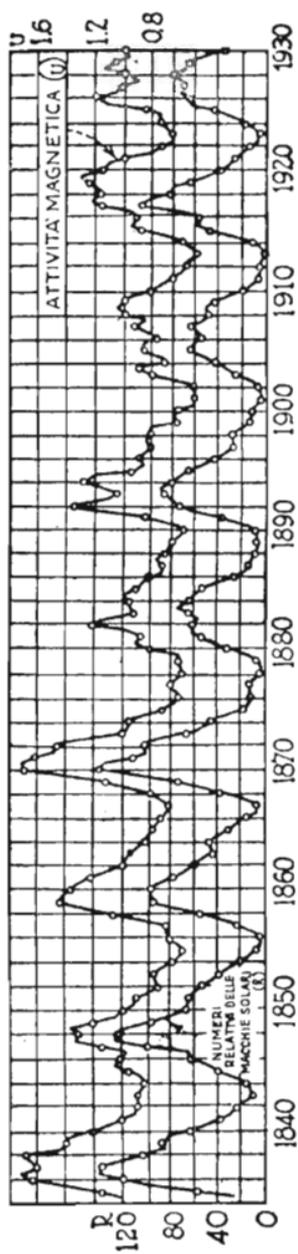
LE MACCHIE SOLARI E IL MAGNETISMO TERRESTRE

FRA i diversi effetti esercitati sulla Terra dal ciclo delle macchie solari, quello riguardante le variazioni del campo magnetico terrestre è ormai senza discussione ammesso da tutti gli scienziati. È generalmente noto che l'ago della bussola è rivolto verso Nord, perché la Terra si comporta come una sfera magnetizzata e l'ago calamitato si orienta perciò nella direzione delle linee di forza del campo magnetico terrestre che intercorrono tra i suoi due poli magnetici. Si sa pure che, ad eccezione di alcune località, l'ago della bussola non è generalmente diretto verso il Nord vero, ma forma con la direzione di questo un certo angolo: e cioè il polo Nord magnetico non coincide con quello geografico della Terra. Il polo magnetico Nord si trova nei pressi della baia di Hudson (America) ad una latitudine di circa 70° e ad una longitudine di circa 97° ad occidente di Greenwich. Nelle vicinanze delle coste dell'Atlantico settentrionale si deve perciò fare una correzione da 15° a 20° (ammontare della cosiddetta declinazione occidentale della bussola in queste regioni), per trovare la direzione del Nord geografico. Lungo le coste del Pacifico invece, l'ago della bussola è deviato da 15° a 20° verso Est, e perciò la correzione deve essere fatta nell'altro senso.

La declinazione (da non confondersi col significato astronomico della stessa parola) è stata determinata con

grande precisione per un gran numero di punti distribuiti uniformemente nei due emisferi tanto sulla terraferma che sul mare. Le linee che congiungono i punti aventi la medesima declinazione magnetica sono dette linee isogoniche. Nella figura 26 è riprodotta una carta, nella quale sono tracciate queste linee isogoniche. Una linea che passi per i punti della Terra, in cui la declinazione è zero, si chiama linea agonica. Una di queste linee, partendo dal polo magnetico, vicino alla baia di Hudson, passa per la parte centrale dell'Ohio, e poi proseguendo verso Sud, si svolge a Est del golfo del Messico. Nei punti situati su questa linea l'ago magnetico segna il Nord vero. Perciò per località poste su una linea agonica la direzione del polo magnetico coincide colla direzione del polo geografico.

Se l'ago della bussola è ben equilibrato, si riscontra che durante il giorno esso oscilla un pochino intorno alla sua posizione media, e che spesso si perturba notevolmente quando le macchie solari sono più numerose. Per più di un secolo sono state raccolte osservazioni accurate delle piccole variazioni del campo magnetico terrestre e si è trovato che tali variazioni sono connesse in maniera molto sorprendente coll'attività del Sole, rappresentata dal numero delle macchie solari. Il grafico della fig. 27 mostra come le variazioni magnetiche terrestri seguano da vicino i cambiamenti nel numero delle macchie solari, cosicché oggi non si può più dubitare che il Sole non influisca sul magnetismo terrestre. Una conferma importante non se ne ebbe che nel 1908 quando Hale, all'osservatorio del Monte Wilson, dimostrò in modo esauriente, in base alla scoperta del cosiddetto effetto Zeeman nello spettro delle macchie solari, che queste stesse erano sede di forti disturbi elettroma-



27. Curva del numero delle macchie solari e dell'attività magnetica della Terra.

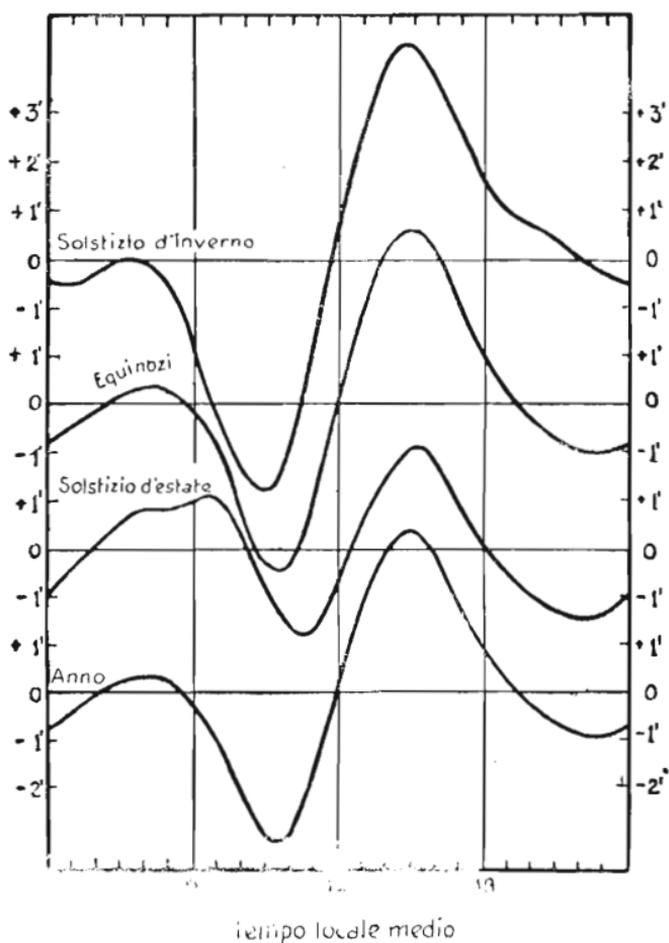
gnetici. Di conseguenza esistevano plausibili ragioni per credere che le macchie solari stesse fossero pure causa del comportamento particolare del campo magnetico terrestre durante la comparsa delle macchie sul Sole.

È stato anche osservato che la luminosità e la frequenza delle aurore boreali sono molto più sensibili nei periodi di massima attività delle macchie solari che non nei periodi di minima; e questo prova che i campi elettromagnetici delle macchie solari sono in qualche modo in relazione coi fenomeni elettrici negli strati superiori dell'atmosfera terrestre, in seguito ai quali si originano le aurore boreali.

Sebbene sia oggi possibile misurare l'intensità dei campi magnetici delle macchie solari, che furono trovati essere spesso fino a mille volte più intensi del campo magnetico terrestre, tuttavia essi sono sempre troppo deboli per influire apprezzabilmente sulla Terra, situata alla distanza di circa 150 milioni di km. Sembra molto più probabile che sciame di corpuscoli, come ioni, elettroni, o forse anche neutroni e positroni recentemente scoperti, emessi dalle zone solari in cui si verificano le macchie, raggiungendo l'atmosfera terrestre, determinino modifiche nello stato degli strati superiori di quest'ultima. Un cambiamento nelle condizioni elettriche di tali strati richiamerà a sua volta un effetto magnetico, modificando l'intensità e la direzione del campo magnetico terrestre.

Spesso, durante periodi di grande attività del Sole, gli indici dei sensibili strumenti situati negli osservatori magnetici subiscono brusche oscillazioni, rivelando che disturbi di carattere elettromagnetico seguono immediatamente queste violente esplosioni solari. Quando una regione del Sole, contrassegnata da notevoli mac-

TERRA E RADIO NEL COSMO



28. Variazione media stagionale del campo magnetico terrestre nelle ore diurne, rilevata all'osservatorio di Watheroo nel 1930.

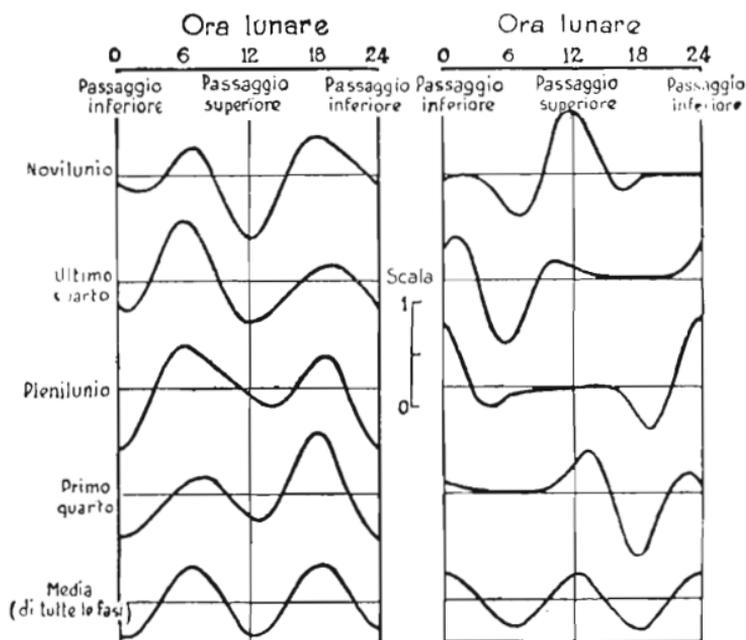
(Da parte dell'ufficio del magnetismo terrestre della *Carnegie Institution*.)

chie, viene a trovarsi, in seguito al moto di rotazione del Sole stesso, vicino alla congiungente i centri del Sole e della Terra, queste cosiddette « tempeste magnetiche » s'avvertono in modo particolarmente intenso. Dagli studi di Bauer e Faris si è potuto stabilire che passa un certo tempo tra un dato parossismo solare e il verificarsi dei disturbi magnetici sulla Terra.

Bisogna però avvertire che non sempre, quando si vede passare una macchia solare, si ha un corrispondente disturbo magnetico sulla Terra; inoltre si verificano talvolta sulla Terra tempeste magnetiche, senza che neppure col telescopio si possa stabilire la formazione di macchie sul Sole. La scoperta fatta all'osservatorio di Monte Wilson dell'esistenza di centri di perturbazioni magnetiche nell'atmosfera solare, anche se non sono visibili macchie, ha originato l'uso della locuzione « macchie cieche » per definire tale fenomeno. Può darsi che in molti casi, in cui sono state registrate burrasche magnetiche senza la corrispondente comparsa di macchie solari, la causa sia appunto da attribuire a queste macchie cieche. È stata anche avanzata l'ipotesi che l'intensità dei disturbi magnetici sia in relazione più con la variazione delle macchie solari che non con l'effettiva loro dimensione. Raccogliendo altri dati in proposito sarà possibile in avvenire di giungere a conclusioni più concrete circa queste ipotesi.

Oltre alle variazioni magnetiche a periodo relativamente lungo, in correlazione col ciclo undecennale delle macchie solari, si verificano anche variazioni di periodo molto più breve, quali sono quelle indicate dagli spostamenti diurni dell'ago della bussola anche in giornate di calma magnetica. A Washington, per esempio, dall'alba fino alle otto o alle nove del mattino, l'estre-

mità Nord dell'ago della bussola subisce un lento spostamento verso Est, poi fin verso le tredici o le quattordici lo spostamento si accelera in direzione opposta (verso Ovest) finché a sera l'ago ritorna nella sua posizione primitiva. Se si immaginasse di costruire una bus-



29. Variazione diurna della declinazione magnetica per effetto della Luna.

(Da parte dell'Ufficio del magnetismo terrestre della *Carnegie Institution*.)

sola gigante con un ago di tre chilometri di lunghezza, l'estremo Nord di tale ago subirebbe durante le ore diurne uno spostamento da tre a cinque metri. Durante la notte invece gli spostamenti sono molto meno pronunciati e avvengono molto più lentamente. Oltre a questa variazione giornaliera si riscontra poi una varia-

zione stagionale, che dipende dal movimento di rivoluzione della Terra intorno al Sole (fig. 28).

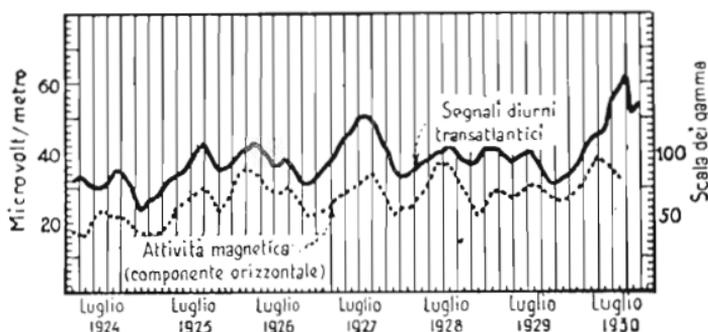
È stata trovata anche una piccola variazione del campo magnetico terrestre dipendente dalla posizione della Luna, che presenta particolare interesse. Dalle curve della figura 29, che danno le variazioni della declinazione magnetica in relazione all'angolo orario della Luna, si rileva la caratteristica di marea di questo fenomeno. Però l'ampiezza delle variazioni dovute alla Luna è molto più limitata, circa un decimo, di quella dovuta al Sole. Più avanti, dopo che sarà stato trattato a fondo l'argomento dei disturbi cosmici nello stato elettrico dell'atmosfera terrestre, sarà possibile rendersi meglio conto di come la Luna possa influire sul campo magnetico terrestre.

Una delle variazioni più misteriose nel magnetismo terrestre è la cosiddetta variazione secolare. Questa si risolve in un lento, progressivo incremento o decremento nella declinazione magnetica col volgere degli anni. Per questo fenomeno non si è però finora trovato alcuna spiegazione esauriente. Di quale entità sia il cambiamento nella declinazione magnetica, che può avvenire in questo modo, è indicato dalle osservazioni di Londra, che datano dal 1580. A tale epoca la declinazione magnetica risultava di 11° Est. Dopo di allora si è constatato un continuo, lento spostarsi dell'ago calamitato verso Ovest fino al 1812, quando l'estremità Nord dell'ago della bussola venne a trovarsi a 24° ad Ovest del Nord vero. A partire dal 1812 l'ago magnetico ha ripreso a spostarsi verso Est ed attualmente esso ha a Londra una declinazione di circa 13° Ovest. Si è perciò portati a supporre che questa variazione abbia un periodo di circa cinque secoli. Una conclusione definitiva in questo

senso è però naturalmente prematura, perché bisognerà raccogliere ancora dati per diversi secoli al fine di controllare tale ipotesi.

Per spiegare il magnetismo terrestre appare necessario tener presente due cause dalle quali può dipendere: una va ricercata nella struttura del nucleo interno della Terra, costituito da una massa di ferro-nickel che presumibilmente possiede un magnetismo più o meno permanente, analogo a quello di una sbarra calamitata. L'altra, e probabilmente quella più soggetta agli influssi esterni, va ricercata negli strati superiori dell'atmosfera terrestre. Questi strati, venendo ionizzati dalla radiazione proveniente dal Sole, diventano conduttori dell'elettricità. Siccome le particelle ionizzate dell'atmosfera ruotano insieme alla Terra gli ioni in movimento vengono a costituire una corrente elettrica in un circuito ideale abbracciante il nostro pianeta. Dalle leggi elementari dell'elettricità sappiamo che una corrente, che percorra un circuito chiuso, piano, induce nell'interno di questo un campo magnetico. L'intensità di tale campo può venire notevolmente aumentata introducendo in esso una sbarra di ferro perpendicolarmente al piano del circuito. Così le correnti elettriche, dovute alla rotazione degli ioni nell'atmosfera terrestre, tendono, per induzione, ad alterare il magnetismo nel nucleo di ferro della Terra; ogni variazione perciò nella densità degli elettroni degli strati superiori dell'atmosfera deve essere accompagnata da variazioni nell'intensità del campo magnetico terrestre. Le macchie solari, i raggi cosmici e ogni altra causa di ionizzazione dell'atmosfera terrestre sono perciò tutti fattori che possono contribuire ad influenzare i delicati aghi calamitati che servono a riscontrare le fluttuazioni del campo magnetico.

In seguito allo sviluppo delle radiocomunicazioni si hanno ora nuovi mezzi per raccogliere dati sullo stato elettrico degli strati superiori dell'atmosfera. Questi problemi verranno particolarmente esaminati nei capitoli successivi; possiamo però fin d'ora prevedere che, se le radiotrasmissioni dipendono dallo stato elettrico dell'alta atmosfera e se le variazioni del magnetismo terrestre dipendono dalle perturbazioni solari influenti sull'alta

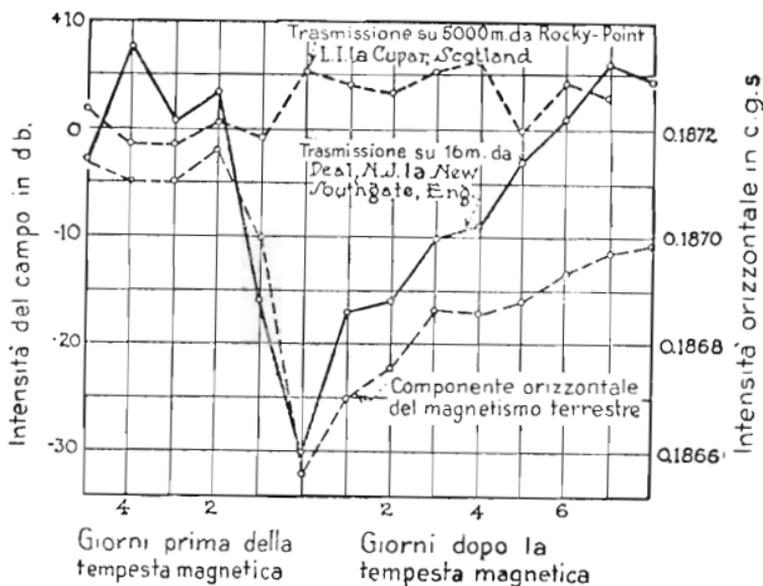


30. Variazione nella radiotrasmissione attraverso l'Atlantico di un segnale con onda di 16 metri e con onda di 5000 metri, in relazione a tempeste magnetiche (secondo Anderson).

atmosfera, si dovrà trovare una relazione tra le radiotrasmissioni e le variazioni del magnetismo terrestre.

Che questo avvenga è confermato dall'esame della figura 30 che mette in evidenza la relazione che passa tra l'attività magnetica (perturbazioni del magnetismo terrestre) e l'intensità delle radioricezioni attraverso l'Atlantico; tale diagramma è costruito in base ai dati raccolti negli anni 1924-1930 da Austin del Bureau of Standards americano. Talora, quando si verificano improvvise variazioni nell'intensità del campo magnetico terrestre, come avviene durante le cosiddette tempeste

magnetiche, si hanno pure spesso anomalie nelle radio-ricezioni. Austin e Wymore, da un'analisi delle intensità dei segnali provenienti da stazioni europee e ricevuti al Bureau of Standards, hanno trovato che, nel caso di trasmissioni a onda lunga, si ha un netto aumento nell'intensità del segnale ricevuto subito dopo una tem-



31. Intensità della ricezione radiotransatlantica e dell'attività magnetica (secondo Austin).

pesta magnetica. La massima intensità del segnale risulta verificarsi però due giorni dopo la tempesta; l'intensità va poi gradualmente diminuendo nei successivi due o tre giorni fino a raggiungere poi di nuovo il valore normale. Invece l'effetto di una tempesta magnetica su una ricezione a onda corta attraverso l'Atlantico sembra essere diametralmente opposto.

Anderson, dei Laboratorî della Bell Telephon Com-

pany, ha trovato che i segnali trasmessi con onde corte risultano sensibilmente affievoliti durante il verificarsi della tempesta e riprendono l'intensità normale quando la tempesta è passata. La figura 31 riproduce tre curve che illustrano i casi ora esposti. La curva tratteggiata in grassetto dà l'intensità della radioricezione in Scozia, per segnali trasmessi con onde lunghe 5000 metri da Rocky Point, Long Island, da cinque giorni prima a sette giorni dopo lo scatenarsi di una tempesta magnetica di considerevole violenza, verificatasi l'8 luglio 1928. La curva a tratto pieno dà le corrispondenti variazioni nell'intensità di un segnale trasmesso con onda corta di 16 metri da Deal, New Jersey e ricevuto a New Southgate, Inghilterra. La curva a tratteggio sottile rappresenta le variazioni di intensità del campo magnetico misurate in direzione orizzontale durante lo stesso intervallo.

La stretta relazione tra stato magnetico della Terra e *macchie solari e la dipendenza delle ricezioni radio* da tali perturbazioni del Sole indicano come siano fra di loro intimamente interconnessi questi fenomeni. Perciò dedicheremo i prossimi capitoli allo studio dei risultati ottenuti nelle ricerche sullo stato elettrico dell'atmosfera terrestre e sulle cause esterne che lo influenzano.

CAPITOLO X

LE MACCHIE SOLARI E LE RADIORICEZIONI

MENTRE da oltre un secolo è nota la relazione che esiste tra le variazioni del campo magnetico terrestre e le macchie solari, è stato solo durante l'ultimo ciclo di macchie solari, cominciato nel 1923, che si è potuto disporre di un altro mezzo per studiare l'effetto esercitato sulla Terra dall'attività del Sole: si tratta precisamente delle radiotrasmissioni. In circa dodici anni si sono raccolti dati sufficienti per stabilire in modo abbastanza sicuro che l'intensità delle ricezioni, in un dato punto della Terra, di un radiosegnale proveniente da una data stazione è influenzata in modo molto sensibile dalle macchie solari.

Siccome la radiodiffusione è essenzialmente un fenomeno elettromagnetico, che interessa gli strati superiori dell'atmosfera terrestre, la causa della correlazione tra la radio e le macchie solari si dovrebbe cercare in quegli strati dell'atmosfera, che più influenzano la propagazione delle radioonde e che, a cagione della loro grande altitudine, più fortemente risentono le variazioni dell'energia radiante proveniente dal Sole. Sarà però opportuno, prima di procedere in questo studio, di richiamare alcune nozioni riguardanti la composizione dell'atmosfera terrestre.

La maggior parte dell'aria, che costituisce l'atmosfera, è addensata in conseguenza del suo peso negli strati inferiori, che formano la cosiddetta troposfera, estenden-

tesi per un'altezza di 10-12 km al disopra della superficie terrestre. Per mezzo del lancio di palloni sonda si è potuto stabilire che la temperatura nella troposfera va diminuendo molto uniformemente coll'aumentare dell'altitudine, per raggiungere a 12.000 metri la temperatura costante di 55° sotto zero. All'altitudine di 50 km la pressione atmosferica è ridotta a un millecinquantesimo di atmosfera e, procedendo ancora in altitudine, questa pressione va ancora diminuendo per ridursi a un valore praticamente infinitesimo verso i trecento chilometri (vedasi l'illustrazione in frontispizio).

I piú importanti fenomeni, che rivelano l'esistenza di elementi costitutivi dell'atmosfera, anche a cosí elevate altitudini, sono quelli connessi cogli archi aurorali cosí notevoli durante le manifestazioni delle luci polari. È appunto nella zona della stratosfera compresa tra 100 e 200 km d'altezza, che si verificano i fenomeni di cui deve occuparsi chi studia la propagazione delle radioonde. Questi alti strati dell'atmosfera sono elettricamente conduttori, per il fatto che le molecole di gas, in essi contenute, non restano a lungo neutre, ma risultano ionizzate per la perdita di elettroni, la quale presumibilmente si deve all'energia che le molecole assorbono dalla radiazione solare. Le molecole dell'atmosfera sono in continua agitazione, come le api di uno sciame. Quanto meno denso è lo sciame delle molecole, tanto maggiore è la distanza che può percorrere una data molecola senza entrare in collisione con un'altra. L'escursione media, che una di queste particelle può compiere liberamente, per una data pressione e temperatura, viene indicata coll'espressione di cammino libero medio. Alla superficie della Terra questo percorso è molto piccolo, dell'ordine di un centomillesimo di cm. In quella re-

gione stratosferica ove la pressione è ridotta a un milionesimo di millimetro di mercurio il percorso libero medio è di centinaia di metri o anche di qualche chilometro. La possibilità perciò che una molecola si ionizzi, perda cioè un elettrone, è evidentemente in tali condizioni molto maggiore che non alla superficie della Terra, dove, a cagione dell'enorme numero di molecole contenute nell'unità di volume, la loro libertà d'azione è assai più limitata.

Gli scienziati hanno escogitato vari ingegnosi dispositivi per misurare la ionizzazione dell'atmosfera fino all'altitudine di 15 km. A maggiori altitudini la ionizzazione può essere determinata solo in base a considerazioni analitiche, tenendo conto del grado di assorbimento della radiazione solare, delle probabilità di ricombinazione degli ioni a formare molecole neutre e del numero di elettroni liberi presenti. La conduttività elettrica degli strati superiori dell'atmosfera dipende principalmente dall'entità della ionizzazione. Ricerche sulla propagazione delle radioonde di diversa lunghezza hanno recentemente reso possibile soddisfacenti determinazioni circa le caratteristiche degli alti strati dell'atmosfera compresi tra 80 e 160 km.

Fortunatamente l'astronomia ha permesso di completare le nostre conoscenze in questo campo con lo studio delle tracce luminose delle stelle cadenti; dall'esame allo spettroscopio della luce lasciata nel cielo da tali meteore si possono ricavare nozioni sulla ionizzazione prodotta dall'urto di questi proiettili celesti, che penetrano nell'atmosfera con grandissima velocità. Allo studio della questione ha portato indirettamente notevole contributo anche l'osservazione delle aurore boreali. Il fatto già ricordato che queste sono più numerose e brillanti

in periodi di massimo di macchie solari fa subito pensare che la ionizzazione degli alti strati atmosferici sia direttamente influenzata dalle variazioni del ciclo solare.

Nel considerare piú particolarmente il problema dello stato elettrico di tali strati dell'atmosfera, bisogna tener conto di tutte le possibili cause di ionizzazione. Siccome alla radioattività della crosta terrestre è certamente dovuta notevole parte della ionizzazione della bassa atmosfera, si potrebbe credere che con l'aumentare dell'altitudine l'influenza della radioattività del suolo decresca rapidamente. Si deve perciò ritenere che la maggior ionizzazione degli strati superiori sia invece e specialmente da attribuirsi ad agenti celesti, come il Sole, la Luna e la radiazione cosmica interstellare. Indubbiamente la radiazione stellare ha un certo effetto ionizzante: però la ionizzazione dovuta a tale causa si calcola non essere superiore a un millesimo di quella dovuta al Sole. Di conseguenza la luce delle stelle si può considerare relativamente trascurabile sotto questo riguardo. L'importanza dei raggi cosmici nella ionizzazione dell'atmosfera è stata messa in rilievo in questi ultimi tempi dalle ricerche di Compton, Millikan ed altri, ma l'apparente costanza della ionizzazione dovuta a questa causa fa ritenere ch'essi non contribuiscano gran che alle variazioni periodiche del grado di ionizzazione. Sembra perciò probabile che il Sole sia il principale agente ionizzatore, specialmente per quanto riguarda le radiotrasmissioni.

Pedersen ritiene che la ionizzazione degli strati superiori dell'atmosfera solare sia dovuta, oltre che al potente agente ionizzatore rappresentato dalla radiazione ultravioletta del Sole, agli elettroni, ioni e particelle alfa che questo espelle dal suo interno; inoltre che si debba

agli strati altamente ionizzati della cromosfera solare la potente radiazione nell'estrema regione ultravioletta dello spettro, di gran lunga superiore a quella che si potrebbe ragionevolmente attribuire alla normale distribuzione di energia di un corpo incandescente avente la stessa temperatura del Sole (6000° circa). Un elemento a sostegno di questa ipotesi è dato dal fatto che la conduttività elettrica dell'aria è circa della metà superiore, in periodo di massima attività delle macchie solari, rispetto ai periodi di minimo. Da ciò si potrebbe dedurre che alle stesse macchie solari sia in certo qual modo attribuibile l'aumento del grado di ionizzazione dell'atmosfera terrestre.

Varie esperienze confermano che l'azoto e l'ossigeno, principali costituenti dell'atmosfera terrestre, vengono assai facilmente ionizzati dai raggi ultravioletti. L'altitudine, alla quale si verifica una notevole ionizzazione, risulterebbe perciò determinata dal grado di possibile penetrazione di queste onde corte della radiazione solare, appartenenti alla regione ultravioletta dello spettro. La ionizzazione allora dovrebbe interessare tutto lo strato compreso tra questa altitudine critica e il termine dell'atmosfera, dove la scarsità di molecole esistenti costituirebbe il secondo limite dello strato. Risulterebbe così esistere un'estesa zona di ionizzazione nell'atmosfera terrestre da circa 80 km fino ad alcune centinaia di km dal suolo. La funzione, che questa regione ionizzata esercita nelle radiocomunicazioni, può venire facilmente compresa in base ai risultati delle ricerche sulla propagazione delle radioonde eseguite in questi ultimi anni.

Nei primi tempi della telegrafia senza fili si ritenne che le onde eteree trasmesse si comportassero come onde luminose e si irradiassero in linea retta in tutte le dire-

zioni dall'antenna trasmittente. I primi sperimentatori ritennero perciò che le radiocomunicazioni non si potessero realizzare che su una distanza piuttosto limitata. Si pensava che la stessa curvatura della superficie terrestre bastava per impedire la diffusione delle radioonde a grandi distanze e che perciò sarebbe stato necessario costruire antenne altissime per poter trasmettere a qualche centinaio di km. Quando però Marconi dimostrò che i radiosegnali venivano ricevuti a distanza di migliaia di km ed oltre, risultò evidente che la semplice ipotesi della propagazione in linea retta più non bastava a spiegare la realtà dei fatti. Era quindi necessario rivedere la teoria.

Fu nel 1902 che Kennelly in America e Heaviside in Inghilterra giunsero alla conclusione che le radioonde, invece di diffondersi nello spazio in linea retta, incontravano nelle regioni superiori dell'atmosfera uno strato conduttore e venivano riflesse da questa superficie conduttrice verso la Terra; in questo modo si poteva teoricamente spiegare il fatto che una stazione potesse venire sentita nell'altro emisfero, purché di potenza sufficiente. La conduttività elettrica di questo strato, situato a oltre 150 km dalla superficie terrestre, diveniva plausibile ammettendo che le particelle gassose dell'atmosfera, alla bassissima densità ivi regnante, fossero sufficientemente ionizzate. Questa ipotetica regione, chiamata anche ionosfera, ma più spesso indicata anche col nome di strato di Kennelly-Heaviside in omaggio ai suoi scopritori, ha avuto un'assai notevole parte nella radiotecnica fino dal suo inizio. D'altra parte, lo studio delle radiotrasmissioni ha fornito molti elementi informativi sulle caratteristiche e sul comportamento di tale regione.

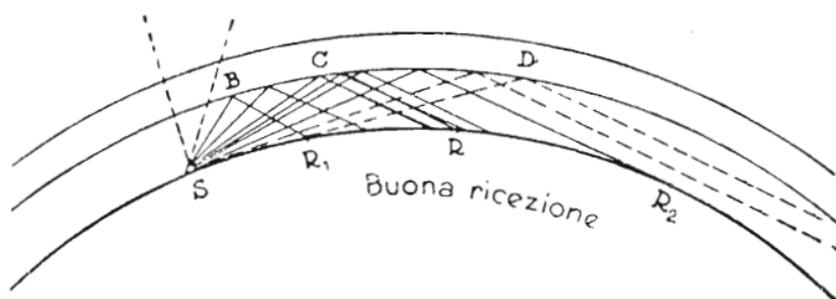
In seguito alle osservazioni di Appleton e dei suoi

collaboratori in Inghilterra, che applicarono i metodi dell'interferenza di due onde, e a quelle di Gilliland, Kenrick, Norton ed altri del Bureau of Standards americano, che applicarono il metodo degli impulsi (tops) di brevissima durata, è stato provato in modo sicuro che esistono almeno due ben definiti strati o zone di ionizzazione, conosciuti come strati E ed F, dai quali le radioonde vengono rimandate al suolo. In queste esperienze il radiosegnale emesso viene riflesso dagli strati ionizzati e captato da un apparecchio al suo ritorno sulla Terra. Il tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione del segnale è un indice dell'altezza alla quale ha luogo la riflessione. Questa altezza si dimostra variabile con la lunghezza d'onda del segnale radiotrasmesso.

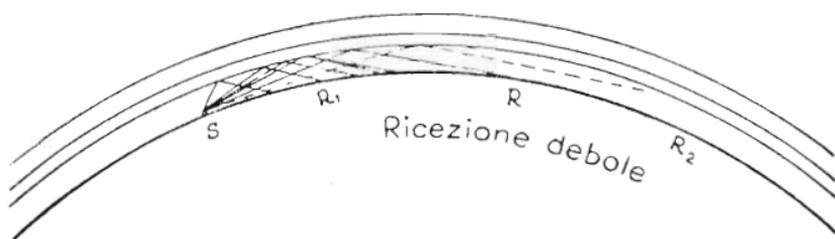
Per frequenze fino a 3000 chilocicli al secondo la riflessione avviene di giorno ad un'altitudine media di un po' più di 100 km (strato E). Per frequenze più elevate, da 4000 a 5000 chilocicli al secondo, la riflessione proviene da uno strato situato fra 200 e 300 chilometri (strato F). È però dallo strato E che ha luogo la riflessione delle radioonde dei servizi di radiodiffusione circolare. Sull'esatto meccanismo di questa riflessione delle radioonde si fanno varie ipotesi. Alcuni preferiscono credere che l'onda venga rifratta attraverso lo strato ionizzato finché si piega di nuovo verso Terra, piuttosto che ritenere che il fenomeno consista in una pura e semplice riflessione. Si tratta tuttavia di un dettaglio di interpretazione del meccanismo del fenomeno, che non intacca la sostanza del fenomeno stesso. Comunque il fenomeno avvenga, è certo che l'onda risulta rimandata a Terra da uno strato ionizzato dell'atmosfera terrestre. Ogni cambiamento nell'intensità o grado di questa ionizzazione ha per effetto di piegare l'onda più o

meno bruscamente verso il suolo e questo fatto s'avverte nell'intensità del segnale ricevuto a una data distanza dalla stazione trasmittente.

Riferendoci alla figura 32, si vede che l'apparecchio ricevente R può trovarsi in posizione tale, per ciò che



32. Riflessione delle radioonde da parte di uno strato ionizzato alto.



33. Riflessione delle radioonde da parte di uno strato ionizzato basso.

riguarda la sua distanza dalla stazione trasmittente S, da ricevere con notevole intensità le onde riflesse in C dallo strato di Kennelly-Heaviside. L'altezza, alla quale questo strato concede il massimo di ricezione, dipende sotto certi riguardi dalla lunghezza d'onda o frequenza

dell'onda radiodiffusa (1). Se ora, in seguito a cause esterne, la ionizzazione in questo strato viene notevolmente aumentata, gli ioni giungeranno piú vicini alla superficie della Terra, di guisa che diminuirà l'altitudine, alla quale lo strato conduttore diventa attivo. In seguito all'abbassarsi di questo strato, variano gli angoli della riflessione effettiva con conseguente diminuzione della intensità della radioricezione nel punto dato R (fig. 33).

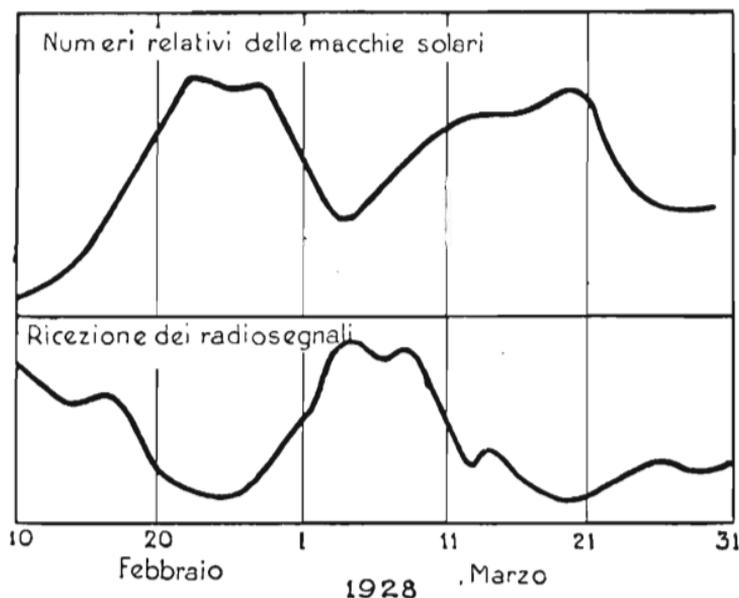
L'effetto piú palese dell'attività del Sole sulla ionizzazione o densità elettrica dello strato di Kennelly-Heaviside si manifesta nella differenza che si ha nelle condizioni di radioricezione tra il giorno e la notte. Ogni radiofilo sa che stazioni, dalle quali è impossibile ricevere programmi durante le ore del giorno, vengono invece spesso ricevute ottimamente durante le ore notturne. Durante le ore diurne l'ascoltatore si trova nell'emisfero rivolto al Sole epperò lo strato dell'atmosfera che interviene nella riflessione delle radioonde è direttamente esposto al bombardamento della radiazione solare; che questa sia costituita da raggi ultravioletti, elettroni o neutroni, non ha qui importanza. Qualunque sia il carattere della radiazione solare, il suo effetto è quello di ionizzare l'atmosfera terrestre, facendo diminuire l'altitudine dello strato di Kennelly-Heaviside e rendendo perciò impossibile o almeno difficile la trasmissione delle radioonde a grande distanza alle frequenze usate per le radiodiffusioni. Con l'avvicinarsi della notte, la Terra si è girata di tanto che la stazione in ascolto

(1) Le onde riflesse in B perdono gran parte della loro energia per assorbimento nello strato ionizzato, poiché esse lo incontrano in direzione così ripida che vi penetrano in misura molto sensibile. Le onde riflesse in D non ritornano sulla Terra. Il punto R₂ è il punto piú distante da S in cui si possa avere una riflessione diretta.

viene a trovarsi fuori dell'azione diretta delle radiazioni solari. Essendo perciò eliminata la causa ionizzante principale, si inizia un dissolvimento dello stato di ionizzazione dell'atmosfera. Molecole ionizzate catturano allora elettroni liberi, specialmente ai livelli inferiori della zona ionizzata dove la densità è piú grande, col risultato che durante le ore notturne lo strato di Kennelly-Heaviside si porta ad un'altitudine maggiore. Questo aumento nell'altitudine dello strato riflettente consente una riflessione piú favorevole delle radioonde e le stazioni lontane possono allora essere ricevute con la nitidezza ed intensità ben note ai radiofili.

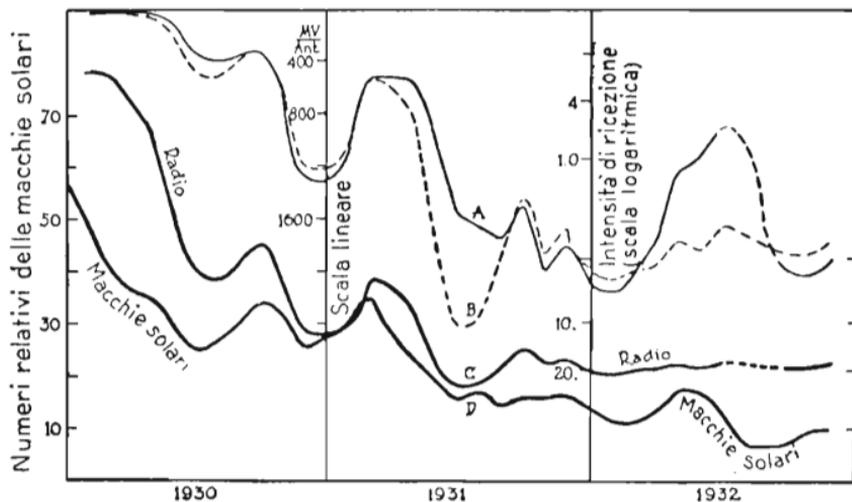
Oltre alle radioonde, che si propagano verso l'alto od onde spaziali, si hanno anche delle onde che seguono la superficie terrestre e che solitamente si chiamano onde superficiali. L'intensità di queste onde radenti diminuisce rapidamente coll'aumentare della distanza dalla stazione trasmittente e di solito non vengono piú avvertite che assai debolmente oltre 150 chilometri. È a queste onde radenti che si deve principalmente la ricezione diurna di stazioni situate entro il suddetto raggio. Succede però talvolta che per distanze fra 50 e 80 chilometri dalla stazione trasmittente si ha durante le ore serali una fastidiosa interferenza tra l'onda superficiale e l'onda spaziale. Questa interferenza produce affievolimenti e talvolta determina distorsioni tali da danneggiare seriamente la qualità della ricezione. La portata, alla quale si verifica questa condizione sfavorevole, dipende dall'altitudine dello strato di Kennelly-Heaviside e può venire seriamente influenzata dalle perturbazioni che in quel momento si verificano sul Sole.

Nel febbraio del 1926 furono iniziate da parte di G. W. Pickard nel suo laboratorio privato di Newton Cen-



34. Relazione tra radioricezione e numero di macchie solari per due mesi tipici.

CORRELAZIONE TRA LE RADIORICEZIONI E LE MACCHIE SOLARI - OSSERVATORIO DI PERKINS



35. Confronto tra le intensità delle radioricezioni e l'attività solare. Trasmettente, W B B M di Chicago. Ricevente, osservatorio Perkins, a Delaware, Ohio.

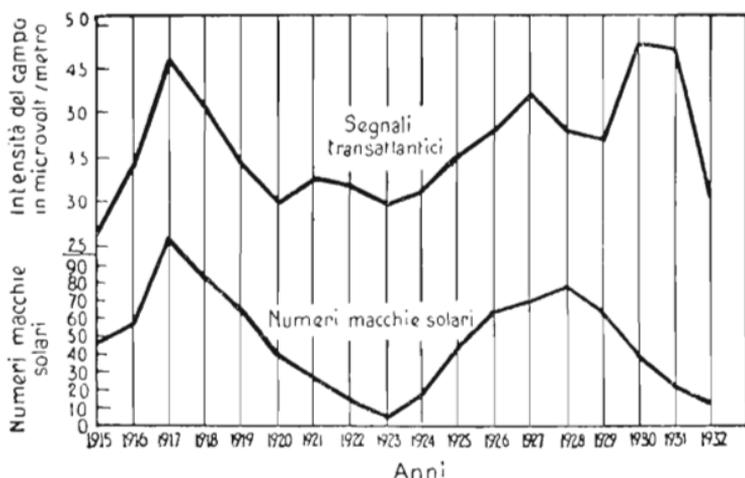
ter, Massachusetts, delle misure quantitative allo scopo di scoprire quali cause di origine cosmica possono influenzare la trasmissione delle radioonde nella gamma destinata alla radiodiffusione. In seguito a scambi d'idee che l'autore ebbe col Pickard nei primi anni delle sue ricerche risultò che era opportuno cercare le cause dei disturbi nello stato elettrico dell'atmosfera terrestre. Nessuno poteva prevedere quali sorprendenti risultati si sarebbero ottenuti in seguito agli studi intrapresi in questo nuovo campo.

Nella fig. 34, il diagramma inferiore mostra l'intensità relativa di ricezione della trasmittente WBBM di Chicago, ascoltata a Cambridge nel Massachusetts, per due mesi caratteristici. Il diagramma superiore si riferisce al relativo numero di macchie solari per lo stesso periodo di tempo (1). Si rileva subito il diminuire dell'intensità di ricezione col crescere del numero delle macchie e viceversa.

La fig. 35 mostra invece i rapporti intercorrenti tra l'intensità delle radioonde ricevute all'osservatorio di Perkins ed il numero delle macchie solari per il triennio 1930-1932. La curva inferiore si riferisce al numero di macchie presenti, con scala dei valori crescente verso l'alto. Il diagramma dell'intensità delle radioricezioni, con scala dei valori crescente verso il basso, segue assai d'avvicino quello delle macchie solari in tutte le sue

(1) Nei diagrammi che seguono il conteggio delle macchie solari è rappresentato dai « numeri relativi » di Wolf, i quali comprendono il numero di gruppi di macchie presenti in un dato giorno sulla superficie del Sole ed il numero delle singole macchie. Un numero relativo o di Wolf è dato dalla formula: $N = k(10g + n)$ ove g è il numero dei gruppi e macchie singole osservate; n è il numero totale di macchie presenti singolarmente od in gruppi. Il fattore k serve a ridurre i dati dei singoli osservatori e dei vari osservatori ad una base comune e dipende dalla potenza del telescopio usato e dall'assiduità dell'osservatore.

fluttuazioni grandi e piccole. I valori di questa curva C sono riportati in microvolt per metro sulla scala logaritmica di destra e sono stati preventivamente corretti mediante un fattore che tien conto dell'incremento medio nell'intensità dei segnali per ogni ora dopo il tramonto. La curva B è la stessa curva ma rappresentata in scala lineare, mentre la curva A rappresenta l'intensità di ricezione senza la correzione suddetta.

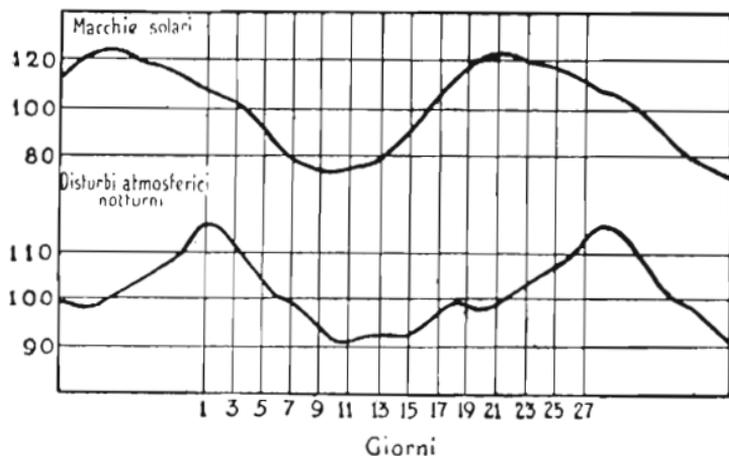


36. Intensità media annuale di ricezione dei radiosegnali diurni transatlantici e rispettivo numero di macchie solari (secondo Judson).

Il fatto che i risultati ottenuti tra Chicago e Delaware sono sensibilmente eguali a quelli di altre determinazioni dello stesso genere dimostra che pochi dubbi possono ancora sussistere su una reale correlazione tra macchie solari e radioricezioni per quanto riguarda almeno le lunghezze d'onda o frequenze usate nelle radiodiffusioni.

Altre conferme dell'effetto delle macchie solari sulle

radiotrasmissioni ci vengono dalle estese indagini del prof. Austin e dei suoi collaboratori del Bureau of Standards degli Stati Uniti. Più recentemente il dott. E. B. Judson pubblicò le medie mensili ed annuali delle intensità di campo di tre trasmettenti americane e dieci europee a bassa frequenza. Esse sono riportate nella figura 36 insieme ai corrispondenti numeri relativi delle



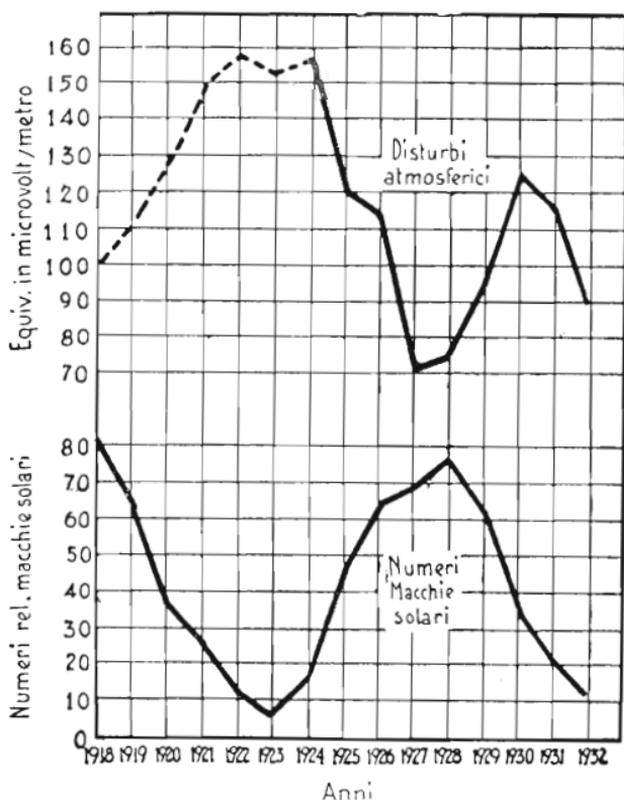
37. I disturbi atmosferici notturni in funzione del passaggio delle macchie sul disco del Sole.

macchie solari. La rispondenza generale è fuori discussione ed indica l'importanza che la considerazione dei disturbi cosmici è destinata ad assumere nel campo delle radiocomunicazioni transoceaniche (1).

Anche le indagini sui disturbi atmosferici hanno fornito preziose informazioni sulla dipendenza tra radio-

(1) Il fatto che qui la relazione è diretta e non inversa (i valori più grandi delle due curve si corrispondono e così i minori) non ha particolare importanza, inquantoché dalle fig. 32 e 33 si può vedere che un abbassamento dello strato ionizzato può talora far ricevere delle radioonde che altrimenti andrebbero perdute. La questione della correlazione diretta od inversa dipende da lunghezza d'onda, distanza ed altezza dello strato ionizzato.

propagazioni ed attività solare. Le ricerche di G. W. Pickard hanno comprovato che gli atmosferici notturni sono assai piú fastidiosi quando le macchie solari sono

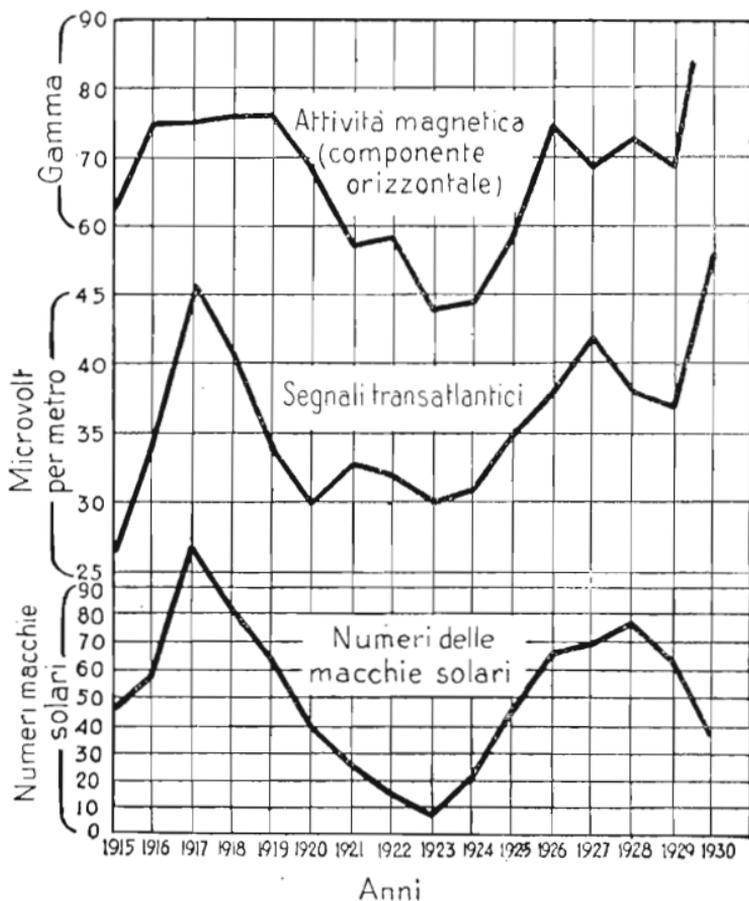


38. I disturbi atmosferici sulle onde lunghe si presentano in correlazione inversa con il numero delle macchie solari (secondo Austin e Judson).

piú numerose. Nel grafico della fig. 37 si è posto a confronto il numero delle macchie solari con quello dei disturbi atmosferici notturni su onda di 1330 chilocicli al secondo, per un intervallo di quattordici rotazioni del Sole, dal 25 gennaio del 1926 al 1° febbraio del 1927. Il

periodo della rotazione solare è qui assunto eguale a 27,3 giorni.

Austin produsse elementi comprovanti che i disturbi



39. Intensità di campo di radiotrasmissioni ad onda lunga e variazioni del magnetismo terrestre.

atmosferici diurni sulle onde lunghe sono in relazione inversa con le macchie solari quando se ne forma la media per lunghi periodi di tempo. In tale circostanza

Austin fa notare che è necessario distinguere tra influenze sulle radiotrasmissioni che dipendono dall'attività generale del Sole e quelle che variano con la sua rotazione. Le indagini supplementari di Judson sui segnali transatlantici, estesi fino alla fine del 1932, sembrano corroborare i rilievi di Austin come mostrano le curve della fig. 38. Siccome tuttavia le ricezioni transatlantiche si riferiscono a segnali di bassa frequenza o ad onda lunga, sembra probabile che si abbia da fare con un livello completamente diverso dello strato di Kennelly-Heaviside che nel caso delle frequenze di radiodiffusione usate nelle indagini di Pickard.

È interessante notare la stretta corrispondenza tra la variazione dell'intensità dei segnali transatlantici di bassa frequenza e l'attività magnetica della Terra, quale è riscontrabile nella fig. 39, nella quale è stata aggiunta per confronto anche la curva delle macchie solari.

Riteniamo che quanto precede possa bastare per dimostrare la correlazione esistente fra l'attività solare e la propagazione delle radioonde. Tratteremo ora di alcune teorie che sono state proposte per tentare di spiegare questo genere di relazione.

CAPITOLO XI

IL SOLE E LO STRATO DI KENNELLY-HEAVISIDE

DOPO aver accennato nel precedente capitolo agli elementi che comproverebbero l'esistenza di una stretta correlazione tra l'attività del Sole e le radioricezioni, ci proponiamo di analizzare in qual modo le macchie solari possano influire sulla trasmissione delle radioonde.

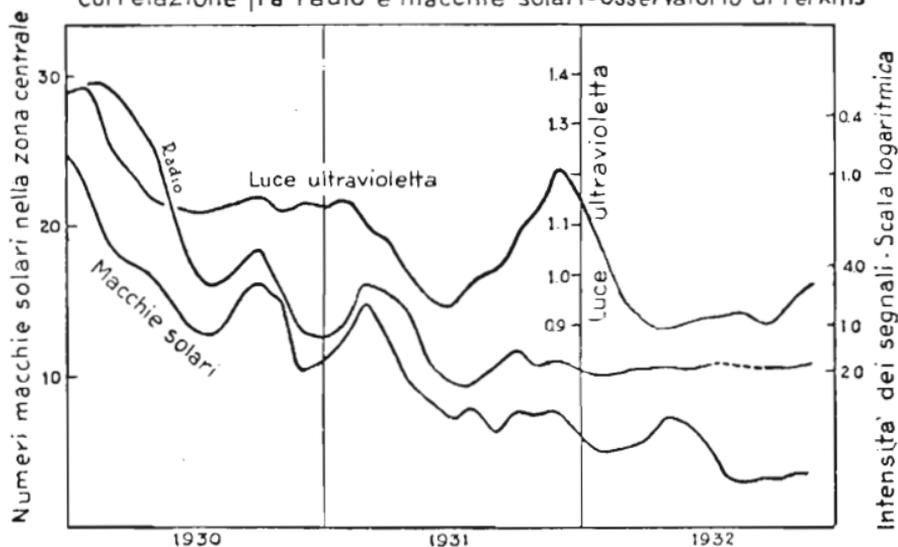
Si è visto che al Sole è dovuta in gran parte la ionizzazione degli strati superiori dell'atmosfera, donde le radioonde vengono riflesse verso la Terra; ora indagheremo il meccanismo secondo il quale avviene questo processo di ionizzazione. Se l'azione dei raggi ultravioletti del Sole costituisce la principale causa di ionizzazione, come alcuni scienziati ammettono, non solo si dovrebbe avere una stretta corrispondenza tra l'emissione della radiazione ultravioletta da parte del Sole e il numero delle macchie solari, bensì anche, quando esistono evidenti divergenze tra le curve rappresentative di questi fenomeni, una più stretta corrispondenza del complesso delle radiodeterminazioni con le variazioni delle radiazioni ultraviolette del Sole, che non con quelle del numero di macchie solari.

Nella figura 40 si può vedere l'andamento delle radioricezioni all'osservatorio di Perkins dal 1930 al 1932: è interessante rilevare che la curva dell'intensità di campo è nel suo insieme più aderente alla curva del numero delle macchie solari che non a quella della radiazione ultravioletta, come fu misurata all'osservatorio

di Monte Wilson. Ciò potrebbe significare che, in un certo qual modo, sieno le macchie solari stesse che disturbino la ionizzazione dell'atmosfera terrestre, influenzando così direttamente sulle radiocomunicazioni.

Per fare maggior luce in argomento furono confron-

Correlazione fra radio e macchie solari-Osservatorio di Perkins



40. Macchie solari (numeri relativi) nella zona centrale del Sole e curva delle intensità delle radioricezioni all'osservatorio di Perkins 1930-32. (Curva delle radiazioni ultraviolette secondo i dati di Pettit dell'osservatorio di Monte Wilson.)

tati i dati delle radiomisurazioni eseguite nell'osservatorio di Perkins e il numero delle macchie solari riscontrate in una data zona centrale del Sole. Se le radioricezioni sono direttamente influenzate dalle macchie solari, si dovrebbe verificare che, quando queste sono prossime alla retta che congiunge il Sole con la Terra, gli effetti dovrebbero essere più pronunciati. Limitando

l'osservazione alle macchie solari della zona centrale, si può ritenere di trovare una piú stretta corrispondenza tra il numero delle macchie e le radioricezioni di quando si tenga conto di tutte le macchie diffuse sull'emisfero visibile del Sole.

Se si confronta la figura 35 con la figura 40, nella quale la curva delle macchie solari si riferisce solo alla zona centrale, si vede che i risultati di questi studî confermano l'ipotesi che le macchie solari della zona centrale esercitino un maggior influsso sulle radioricezioni che non quelle piú lontane, poich  la curva di tali macchie segue molto piú da vicino le variazioni dell'intensit  delle radioricezioni di quanto non avvenga per la curva che tien conto di tutte le macchie solari visibili.

Se si ammette che degli elettroni vengano proiettati dal Sole allo stesso modo come vengono emessi dal filamento incandescente di una lampadina elettrica, si potrebbe supporre che le macchie solari abbiano l'effetto di dirigere gli elettroni in quella direzione radiale dal centro del Sole, che passa per le macchie.

La scoperta di Hale, che le macchie solari sono sede di potenti campi elettromagnetici, sembrerebbe a prima vista offrire una conveniente spiegazione dell'ipotesi precedente circa l'azione esercitata dalle macchie solari. Vi sono per  due difficolt  per poter accettare questa spiegazione senza riserva: la prima obbiezione   che, data la nostra attuale conoscenza della natura del Sole come stella tipica, riesce difficile, da un punto di vista astrofisico, ammettere ch'esso possa continuamente emettere elettroni. Se cos  avvenisse, il Sole acquisterebbe ben tosto una elevata carica positiva, originata dalla perdita d'elettroni, cio  di cariche negative. Non risulta per  sinora che il Sole abbia una sensibile carica elettrica.

Inoltre gli elettroni lanciati dal Sole verrebbero presto a costituire un'atmosfera elettronica di potenziale negativo tale da impedire la fuga di ulteriori elettroni dal Sole. L'aumento della carica positiva sul Sole dovrebbe analogamente provocare per attrazione un ristagno nella emissione elettronica dal Sole stesso.

Un'altra seria obiezione ad una spiegazione così semplice è data dal fatto che, sebbene il campo elettromagnetico delle macchie solari sia centinaia di volte più grande di quello terrestre, l'effetto propulsore di tale campo risulta ancora troppo debole per giustificare la proiezione di elettroni con energia sufficiente da sfuggire al Sole, attraversare lo spazio interplanetario e raggiungere la Terra, situata ad una distanza di circa 150 milioni di chilometri.

In contrapposto Hulburt fa l'ipotesi che le macchie solari sieno accompagnate da un'intensa radiazione ultravioletta e che sia questa radiazione a provocare l'aumento nella ionizzazione degli strati superiori dell'atmosfera, col conseguente effetto sulle radiotrasmissioni. Siccome però gli astronomi generalmente ammettono che le macchie solari rappresentano zone di minor temperatura della fotosfera, vi è una certa difficoltà per concepire la causa di questa forte emissione di raggi ultravioletti nelle vicinanze delle macchie solari e come avvenga, ammesso che tali radiazioni esistano, che siano dirette verso la Terra per l'azione delle macchie solari.

Recenti ricerche fatte da numerosi scienziati hanno permesso di raccogliere nuovi elementi che possono aiutare a chiarire il mistero della corrispondenza rilevata tra le macchie solari e i disturbi delle radiotrasmissioni. La scoperta dei neutroni e dei positroni potrebbe giustificare l'ipotesi che dal Sole vengano emessi dei corpu-

scoli, sia senza alcuna carica positiva o negativa predominante, sia caricati positivamente quando lasciano il Sole. In tal modo resta eliminata la difficoltà che sorgerebbe dall'ammettere l'esistenza di una possente carica negativa spaziale, che dovrebbe circondare il Sole, qualora questo emettesse soltanto elettroni, e si consolida l'ipotesi che corpuscoli di questa natura possano attraversare l'atmosfera solare con velocità sufficiente da sfuggire verso la Terra.

Swann, in una memoria di recente pubblicata nella *Physical Review*, ha cercato l'origine dei raggi cosmici nell'energia di propulsione del campo elettromagnetico delle macchie solari e di analoghe macchie delle stelle. Se si ammette che, esistendo un campo elettrostatico sufficientemente equilibrato risultante da una mescolanza di elettroni, positroni e neutroni, particelle di questa natura possano sfuggire dalla superficie del Sole, a cagione della pressione di radiazione di quest'ultimo, è anche lecito supporre che tali particelle, dotate di una piccola carica residua sia positiva o negativa, vengano nella loro fuga respinte dal campo elettromagnetico delle macchie solari agente in direzione radiale. Un corpuscolo del genere, dopo essere stato proiettato attraverso l'atmosfera solare, ed aver ripresa una carica che lo renda neutro, potrebbe venire facilitato dalla pressione di radiazione del Sole a proseguire il suo cammino in quella stessa direzione in cui aveva ricevuto il primo impulso per effetto dell'azione delle macchie solari. In ogni caso l'ipotesi di un'emissione di natura corpuscolare spiegherebbe in complesso assai meglio i risultati delle osservazioni dirette riportate più sopra. Certo i dati, di cui ora siamo in possesso, depongono in favore d'una stretta relazione tra le variazioni nelle radioricezioni e quelle

dell'attività solare quali risultano dal numero delle macchie nella zona centrale del Sole.

Swann ritiene che i corpuscoli emessi dalle macchie possano avere financo energie corrispondenti a una tensione di un miliardo di volt epperò avere almeno parte nelle aurore boreali. Egli suppone anche che in stelle lontane, piú grandi e piú calde del Sole, vengano generate energie dieci volte piú intense, che possono dar luogo ai raggi cosmici, oggi ritenuti di natura corpuscolare.

Heising, dei Laboratorî della Bell Telephone Co., discutendo sull'origine della ionosfera, trova difficoltà nel mettere d'accordo i fatti osservati coll'ipotesi dei raggi ultravioletti e ritiene invece opportuno dare maggiore importanza alle spiegazioni che potrebbero essere fornite dall'ipotesi d'una radiazione corpuscolare (elettroni o particelle beta). Molti risultati sperimentali raccolti nei laboratorî della Bell troverebbero allora piú facile spiegazione.

Bisogna tenere presente che gli elettroni o le particelle beta, effettivamente espulsi dal Sole o dalle macchie solari, non possono raggiungere, secondo traiettorie rettilinee, la faccia illuminata del nostro globo. A cagione del campo magnetico terrestre, essi sono costretti a seguire un percorso curvato verso le regioni polari, quando giungono nelle vicinanze della Terra. Da calcoli fatti risulta ch'essi tendono a produrre la maggiore ionizzazione in una zona situata a circa 55 km al disopra della superficie terrestre. Si può anche ritenere che la ionizzazione per collisione nell'atmosfera avvenga piú particolarmente nelle regioni polari ove si dirigono gli sciami di corpuscoli solari. La ionizzazione perciò non è affatto uniforme sulla superficie del globo terrestre. La causa

della presenza di elettroni liberi alle medie latitudini e all'equatore si potrebbe spiegare in base ad una migrazione di ioni dalle regioni polari. Sembra ammissibile che l'eccesso di elettroni, dovuto alle particelle beta in arrivo, possa causare una carica spaziale, che a sua volta avrebbe per risultato una diffusione d'elettroni in tutte le direzioni.

I movimenti degli elettroni o particelle beta sono determinati da parecchi fattori: l'atmosfera, il magnetismo della Terra e la rotazione di quest'ultima con la propria atmosfera. Ciò complica notevolmente la situazione, impedendo per il momento ogni analisi esatta. Da tutti questi elementi può ben derivare però un perturbamento dello strato ionizzato con produzione di quelle variazioni nel suo livello che sono state sempre riscontrate da quegli sperimentatori che si sono occupati di misurarne l'altitudine. Bisogna ancora notare che gli elettroni, che arrivano dal Sole e incontrano il campo magnetico terrestre, ne vengono completamente deviati o catturati.

Considerando il campo magnetico della Terra, un elettrone che lo incontri da quella parte del globo che sta per uscire dall'oscurità della notte, a causa della rotazione terrestre è assai probabile che venga deviato od espulso; mentre se incontra quella parte della Terra che si sta allontanando dal Sole, esso verrà deviato verso la Terra. Siccome penetrando nell'atmosfera l'elettrone risente dell'accrescersi dell'intensità del campo terrestre c'è la probabilità che venga catturato, aumentando così il grado di ionizzazione già esistente nell'atmosfera.

Si comprende allora come la maggior parte degli elettroni giungenti sulla Terra, si addensino in una zona situata in prossimità delle regioni al tramonto. Ciò risulta confermato dall'osservazione delle aurore boreali, che

rivelano come le aurore sieno molto piú frequenti tra il tramonto e la mezzanotte che non durante le prime ore del mattino. Corrispondentemente si è riscontrato che la ricezione delle onde corte dopo la mezzanotte si effettua meno bene, e questo si dovrebbe al minor numero di elettroni dalla parte verso mattino. Degli esperimenti hanno dimostrato che il numero di elettroni liberi, che raggiungono la località di Deal nel New Jersey nelle prime ore del mattino, non è sufficiente a riflettere le onde di 16 metri; ma a Londra e a Seattle, per esempio, la ionizzazione addizionale prodotta dai raggi solari rivela che nei primi mesi dell'estate vi sono elettroni sufficienti a riflettere le onde anche in questa parte della notte.

Non si deve tuttavia ritenere che tutta la ionizzazione sia dovuta soltanto alle particelle beta od elettroni. L'azione diretta del Sole, e specialmente le radiazioni ultraviolette, sono indubbiamente la causa principale della ionizzazione. La relativamente bassa altitudine degli strati riflettenti o rifrangenti della ionosfera durante le ore del giorno è senza dubbio dovuta principalmente alla radiazione solare diretta. La notte, mancando la luce del Sole, viene eliminata la causa di questa ionizzazione stabile e la densità degli ioni può in questo periodo venire maggiormente influenzata dagli elettroni o raggi beta. I piú rapidi affievolimenti che si riscontrano in quelle frequenze che si propagano meglio di notte, sembrano confermare questa ipotesi.

Le estese ricerche di Störmer sulle aurore boreali, delle quali si dirà piú ampiamente in appresso, confermerebbero un bombardamento elettronico. Chi si occupa di radio sa che insieme a splendide aurore boreali si verificano violenti disturbi negli strati ionizzati con no-

tevoli interruzioni nelle radiotrasmissioni. Il fatto che le aurore boreali sono state da tempo trovate in relazione con le macchie solari, ci mostra la necessità che vengano prese in considerazione nello studio della correlazione fra macchie solari e disturbi nelle radioricezioni.

Se le vedute degli scienziati che credono in una ionizzazione elettronica sono fondate, la ionosfera, alla quale si attribuisce la riflessione delle radioonde di una data frequenza, dovrebbe essere di notte molto piú bassa nelle regioni polari e piú elevata nelle regioni tropicali di quello che essa non sia alle latitudini medie intorno ai 40°. È da augurarsi che, per mezzo di una futura collaborazione internazionale, si possano raccogliere dati sufficienti sulle altezze dello strato di Kennelly-Heaviside, in modo da darci una rappresentazione soddisfacente della densità di ionizzazione nelle diverse parti del globo terrestre per una data condizione di illuminazione solare e di attività del Sole stesso. Il relativamente piccolo numero di osservatorî, che oggi eseguono continue e sistematiche misure dell'intensità delle radioricezioni o misure dirette dell'altitudine dello strato di Kennelly-Heaviside per mezzo di osservazioni della riflessione delle radioonde, è ancora troppo esiguo per darci una visione completa di quello che avviene in questo campo.

Quando un numero sufficiente di osservatorî, con strumenti tutti dello stesso tipo, collaborerà in modo da raccogliere giornalmente dati di questa natura, sarà possibile disegnare carte simili a quelle meteorologiche, nelle quali si potranno a colpo d'occhio distinguere le zone di elevata e di bassa densità elettronica nell'atmosfera terrestre allo stesso modo come le carte meteorologiche, a tutti note, danno le zone di alta e bassa pres-

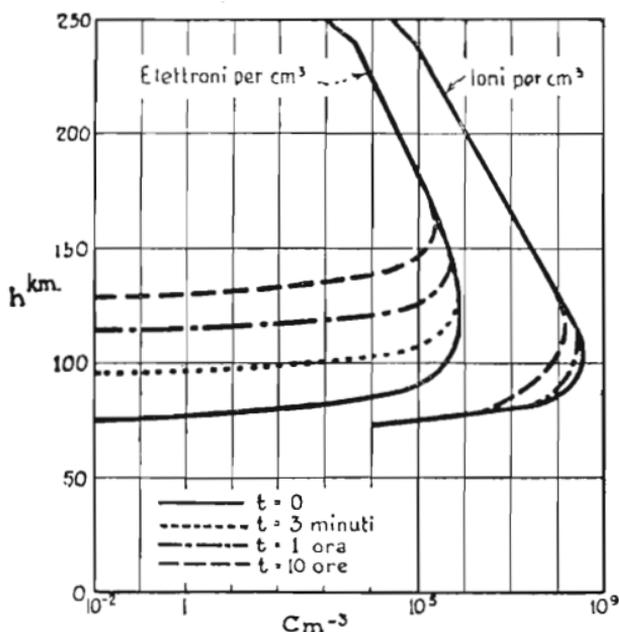
sione barometrica. Si potranno così studiare le variazioni, che si verificano in tutto il mondo, in seguito al presentarsi delle macchie solari. Si riscontreranno allora probabilmente migrazioni di queste zone di alta o bassa densità elettronica; i quali spostamenti potrebbero essere la causa delle variazioni nelle radioricezioni, in un dato luogo e tempo. Così si potrà ricercare una spiegazione di parecchie delle anomalie che si sono spesso riscontrate tra le curve delle radioricezioni e quelle dell'attività del Sole.

In tema di cooperazione internazionale molto può essere ottenuto dall'organizzazione della *Union radiotélégraphique scientifique internationale*, che è stata fondata per raccogliere e diffondere dati scientifici nel campo della radio. Questa organizzazione ha già raccolto per un certo tempo dei dati e pubblica giornalmente bollettini che contengono dati preziosi di natura cosmica. Ulteriori notizie sulla attività di questa associazione verranno dati nel capitolo XX.

Prima di procedere oltre sarà opportuno passare rapidamente in rassegna lo stato attuale delle nostre conoscenze, riguardanti l'influenza del Sole sulla ionizzazione dell'alta atmosfera terrestre.

Innanzitutto è assodato che la radiazione ultravioletta del Sole è un fattore ionizzante principale dell'ossigeno e dell'azoto, di cui l'atmosfera terrestre è in massima parte costituita. L'effetto di queste radiazioni molto energetiche che, provenendo dal Sole, colpiscono le molecole dei suddetti gas, è quello di mutarle, liberando uno o più elettroni dagli atomi che le compongono. In tal modo un certo numero di elettroni può vagare liberamente mentre le molecole che li hanno perduti assumono una carica positiva diventando ioni. Un

ione caricato positivamente è continuamente sulle mosse per ricattare un elettrone. Questo processo di ricombinazione è sempre in corso e le ricombinazioni hanno luogo in maggior numero nelle zone di maggior



41. Numero di ioni ed elettroni nell'atmosfera terrestre alle varie altezze. La curva a tratto continuo rappresenta lo stato di ionizzazione stazionaria. Le curve tratteggiate rappresentano la ionizzazione residua dopo gli intervalli di tempo indicati (secondo Pedersen).

densità atmosferica. Se l'agente ionizzante è sufficientemente attivo, le ricombinazioni non possono stare al passo con la produzione di ioni e ci sarà perciò un continuo aumento tanto nel numero degli elettroni che degli ioni liberi.

Pedersen ha calcolato il numero probabile di elettro-

ni liberi per centimetro cubo e anche di ioni presenti nell'atmosfera terrestre a diverse altitudini dal suolo. Egli ha pure trovato che, anche dopo tolta la causa ionizzante ed iniziate le ricombinazioni, lo stato di ionizzazione permane per un certo tempo.

La figura 41 riproduce alcune curve di Pedersen; la linea a tratto continuo di sinistra è quella del numero di elettroni presenti per centimetro cubo, la linea a tratto continuo di destra quella degli ioni per centimetro cubo esistente durante il processo della ionizzazione. Si vede che gli elettroni e gli ioni aumentano rapidamente a partire da un'altezza di 75-80 chilometri. Un po' al di sopra dei 100 chilometri ha inizio una diminuzione del loro numero con l'aumentare dell'altitudine. Intorno ai 100 chilometri si ha, secondo Pedersen, la regione di massima ionizzazione. Le curve tratteggiate, di cui è data la spiegazione in figura, indicano il numero di elettroni che esistono ancora tre minuti, un'ora e dieci ore dopo la cessazione dell'azione ionizzante. L'esame di queste curve mostra che dopo dieci ore da quando si è fatto notte, bisogna passare da 80 a 150 chilometri per trovare la stessa densità elettronica di 100000 elettroni per centimetro cubo. Ciò spiega lo spostamento verso l'alto dello strato di Kennelly-Heaviside durante le ore notturne.

Abbiamo anche accennato alla supposta esistenza di agenti ionizzanti di natura corpuscolare, elettroni, positroni o neutroni, che presumibilmente vengono emanati dal Sole in vicinanza delle macchie solari e che contribuiscono ad accrescere la ionizzazione durante i periodi di più intensa attività solare. Probabilmente la ionizzazione dovuta a questa causa è più sentita negli strati superiori dell'atmosfera che in vicinanza del suolo.

È stato anche mostrato che, nel caso di uno strato elettronico, la conduttività elettrica al disopra del campo magnetico terrestre ad un'altitudine di 100 chilometri, è piú di mille volte minore di quella che sarebbe se il campo magnetico terrestre non fosse presente, e a un'altezza di 150 chilometri è un milione di volte minore. È perciò evidente che il campo magnetico terrestre esercita un effetto assai notevole sulla conduttività dell'atmosfera terrestre a seconda dell'altezza dello strato ionizzato. Una relativamente piccola variazione nella ionosfera, prodotta ad es. da una radiazione corpuscolare, si può ritenere eserciti una notevole influenza sull'intensità dei radiosegnali, a cagione della variazione di conduttività dipendente dalla suddetta causa.

CAPITOLO XII

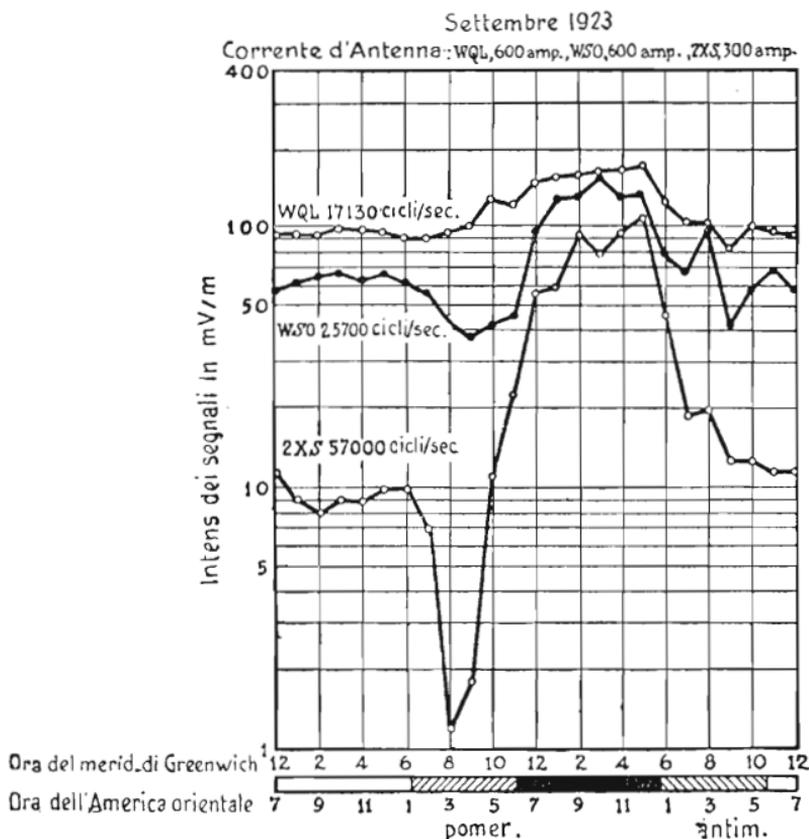
RADIOTRASMISSIONI TRANSATLANTICHE

NELLO studio dei problemi cosmici della radio, molto si può apprendere dalle esperienze fatte nel campo delle radiocomunicazioni transatlantiche. I dati raccolti dai Laboratori della Bell Telephone sulle trasmissioni radiotelefoniche tra gli Stati Uniti d'America e l'Inghilterra, hanno offerto un'insolita occasione per determinazioni quantitative dell'intensità dell'onda portante in condizioni molto diverse. Il percorso, lungo il quale avviene la trasmissione tra gli Stati Uniti e l'Inghilterra, segue approssimativamente un cerchio massimo ed è rappresentato nella figura 44. Un servizio continuativo è l'ideale per determinare le variazioni giornaliere nell'intensità dei segnali, in presenza od assenza dei raggi solari.

Nella figura 42 il diagramma dà la media mensile della variazione giornaliera delle intensità dei segnali ricevuti a New Southgate, Inghilterra, e trasmessi da stazioni americane. I dati furono raccolti nel settembre 1923, un anno di minimo delle macchie solari. La curva più bassa, che rappresenta l'intensità del campo per un'onda di 57 chilocicli/secondo, indica un andamento del campo abbastanza uniforme dalle sette del mattino fino all'una del pomeriggio (ora dell'America orientale). Segue una sensibilissima diminuzione nella intensità del campo, che raggiunge il minimo alle tre del pomeriggio, dopo di che l'intensità del segnale aumenta enormemente fino all'incirca alla mezzanotte. Dopo la

mezzanotte l'intensità del campo s'indebolisce di nuovo fino al valore normale delle sette del mattino.

Nel cercare di interpretare l'andamento di una tale



42. Media mensile della variazione giornaliera dell'intensità del campo di stazioni americane ricevute in Inghilterra - Settembre 1923.

(Laboratori della *Bell Telephone.*)

curva è interessante esaminare la relazione fra il percorso della radiotrasmissione e l'illuminazione solare, come è stato fatto per via grafica da Espenschied, An-

derson e Bailey in recenti pubblicazioni dei Laboratori della Bell Telephone.

Nella figura 45 è fotograficamente riprodotto un mappamondo per sei diverse posizioni del percorso di trasmissione rispetto alle condizioni d'illuminazione, al fine di seguire gli effetti della rotazione terrestre. Nella figura 45^a il percorso tra l'Inghilterra e l'America è tutto illuminato dalla luce del Sole; la posizione della freccia sulla rispettiva curva dell'intensità di trasmissione indica il valore dell'intensità del campo in queste condizioni. Nella figura 45^b la Terra ha girato in modo che il segnale proveniente da una stazione americana passa dalla zona illuminata a quella oscura attraverso la zona crepuscolare. È la condizione peggiore per la ricezione e la posizione della freccia sulla vicina curva indica il minimo di intensità di ricezione verificantesi. Nella figura 45^c il percorso tra l'America e l'Inghilterra si trova completamente nell'oscurità, con la stazione americana trasmittente vicino alla zona del tramonto. Qui le condizioni di trasmissione sono le migliori come è indicato dalla posizione della freccia sulla curva. Nella figura 45^d la rotazione della Terra ha portato il percorso di trasmissione in posizione tale che in Inghilterra si è prossimi all'alba e la freccia indica sulla curva che in questo caso le condizioni di trasmissione sono ancora buone, ma stanno per peggiorare. Nella figura 45^e il percorso è di nuovo metà in luce e metà in ombra, ma a cagione del precedente periodo notturno, nel quale è avvenuta una ricombinazione di ioni, la densità ionica non è così elevata come era nella figura 45^b, ove il percorso di trasmissione si trovava pure metà nella zona illuminata e metà in quella oscura, ma dove il percorso di trasmissione era stato sottoposto tutto il giorno al

bombardamento della radiazione solare. Perciò la posizione della freccia nella figura 45^c pur rappresentando un punto della curva di ricezione notevolmente piú basso di quello delle ore notturne, non indica un affievolimento dell'intensità del segnale cosí forte come nella corrispondente posizione della figura 45^b. Bisogna notare che i risultati esposti in questo particolare orientamento del mappamondo corrispondono a quanto si verifica nel mese di gennaio. Se si volesse seguire il ciclo per tutti i mesi dell'anno, bisognerebbe per ogni mese predisporre altrettante serie di fotografie.

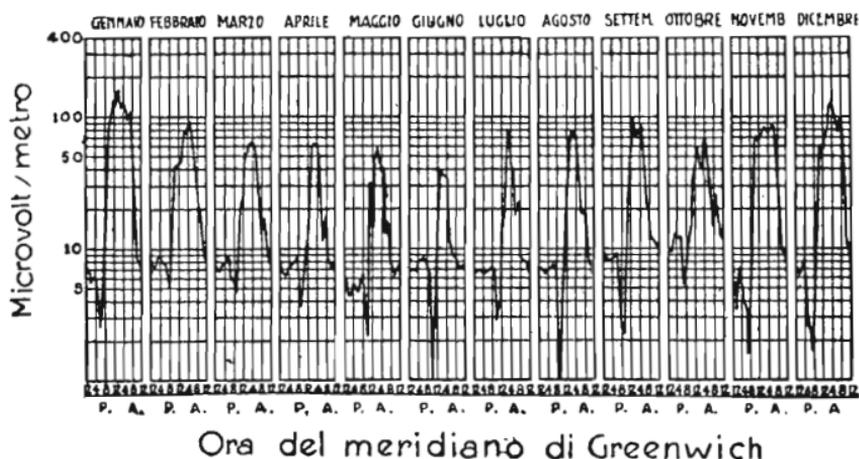
Siccome l'asse terrestre è inclinato rispetto all'eclittica, il polo Nord della Terra in gennaio è rivolto in direzione opposta ai raggi del Sole e l'Artide è completamente immersa nell'oscurità durante i mesi invernali. Sei mesi piú tardi, in luglio, conservandosi l'asse terrestre parallelo a se stesso nello spazio, il polo Nord rimane illuminato per tutte le ventiquattro ore. La figura 45^f mostra che durante il mese di giugno il percorso delle radioonde si trova anche nelle ore di notte relativamente prossimo alla zona crepuscolare. Sebbene le condizioni qui riprodotte sieno le migliori ottenibili in queste circostanze le intensità del campo debbono essere necessariamente piú deboli che per le trasmissioni notturne del gennaio.

Considerando le radiotrasmissioni su una scala mondiale, s'incomincia ad apprezzare l'importanza del fattore astronomico in questa impresa commerciale.

Le medie mensili delle variazioni giornaliere nell'intensità del segnale tra Rocky Point in America e New Southgate in Inghilterra, per una frequenza di 57 chilocicli al secondo, sono rappresentate per l'anno 1923-1924 in figura 43.

In merito alle suddette variazioni Anderson e i suoi collaboratori hanno fatto presente:

- 1) La costanza degli alti valori notturni dell'intensità durante tutto l'anno;
- 2) La maggior durata degli alti valori notturni nei mesi d'inverno che nei mesi estivi;



43. Media mensile della variazione giornaliera dell'intensità dei segnali trasmessi da Rocky Point in America e ricevuti a New Southgate in Inghilterra. (Laboratori della *Bell Telephone*.)

3) La variazione relativamente piccola delle intensità diurne;

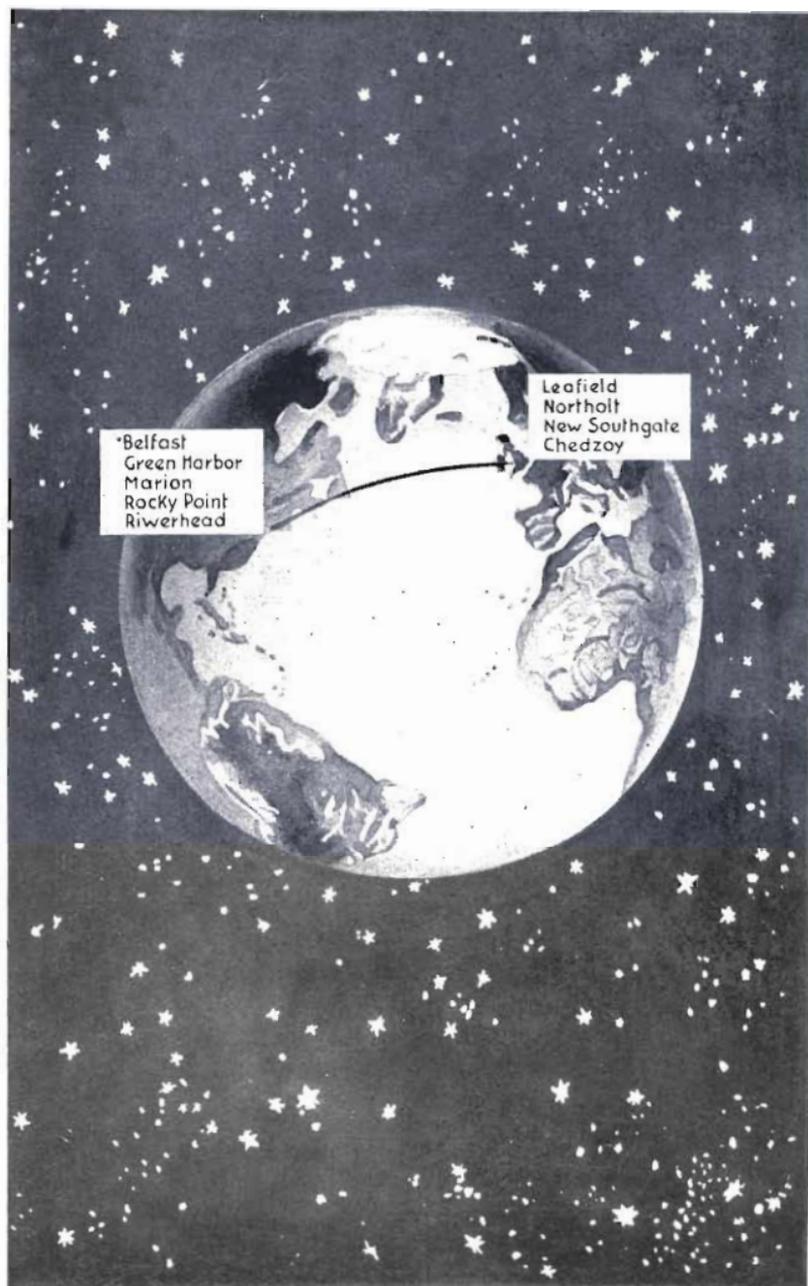
4) L'estrema variazione dell'intensità di campo, tra il minimo delle ore vespertine e il massimo delle ore notturne è dell'ordine di 1:100. Ciò corrisponde a un rapporto di 1:10 000 per le potenze.

I risultati sopra indicati si riferiscono a esperimenti principalmente eseguiti nella banda di frequenza di 57 chilocicli al secondo, corrispondenti a circa 5200 metri di lunghezza d'onda. Se si usano onde più lunghe o più

corte, la variazione giornaliera nell'intensità del segnale può essere molto diversa. Ritornando alla figura 42, si vede che la variazione media giornaliera, per una frequenza di 17130 cicli al secondo, alla quale corrisponde una lunghezza d'onda di 17 000 metri, è notevolmente minore che per la frequenza di 57 chilocicli al secondo. Ciò significa che nelle trasmissioni transatlantiche le onde lunghe di 18 000 metri sono più stabili per comunicazioni tanto diurne quanto notturne, che non le onde di 5000 metri.

Se consideriamo i risultati d'esperienze con onde corte comprese nella gamma da 20 a 150 metri, troviamo che in generale la trasmissione è migliore durante le ore diurne che non durante le ore notturne. Quest'affermazione va però modificata se si considerano più specificamente le singole lunghezze d'onda in questa banda. Per le onde più lunghe di queste cosiddette onde corte, e cioè per onde da 67 metri in su, i segnali sono generalmente intensi di notte, ma scompaiono quando l'alba si presenta all'una od all'altra estremità del percorso, mentre ricompaiono subito dopo che l'ultima stazione ricevente è entrata nella zona d'ombra.

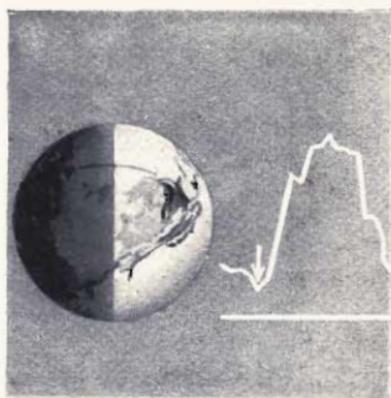
Per lunghezze d'onda minori di 50 metri si ha una diminuzione notevole nell'intensità del segnale dopo la mezzanotte; inoltre queste onde non sono caratterizzate dalla buona uniformità di trasmissione che si riscontra durante le ore notturne con le onde superiori ai 50 metri. Le onde comprese fra 15 e 50 metri, per venire rimandate alla superficie terrestre, richiedono una maggiore densità elettronica dello strato di Kennelly-Heavyside che non le onde comprese fra 50 e 150 metri. La diminuzione nell'intensità del segnale per le più corte delle onde sarebbe perciò dovuta a una riduzione nel nu-



44. Il percorso delle radiotrasmissioni transatlantiche tra New York e l'Inghilterra.
(Dai *Proceedings* dell'*Institute of Radio Engineers*, 1925.)



a



b



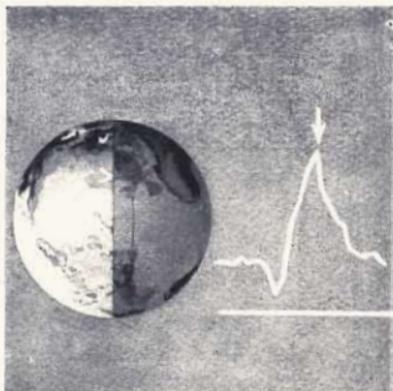
c



d



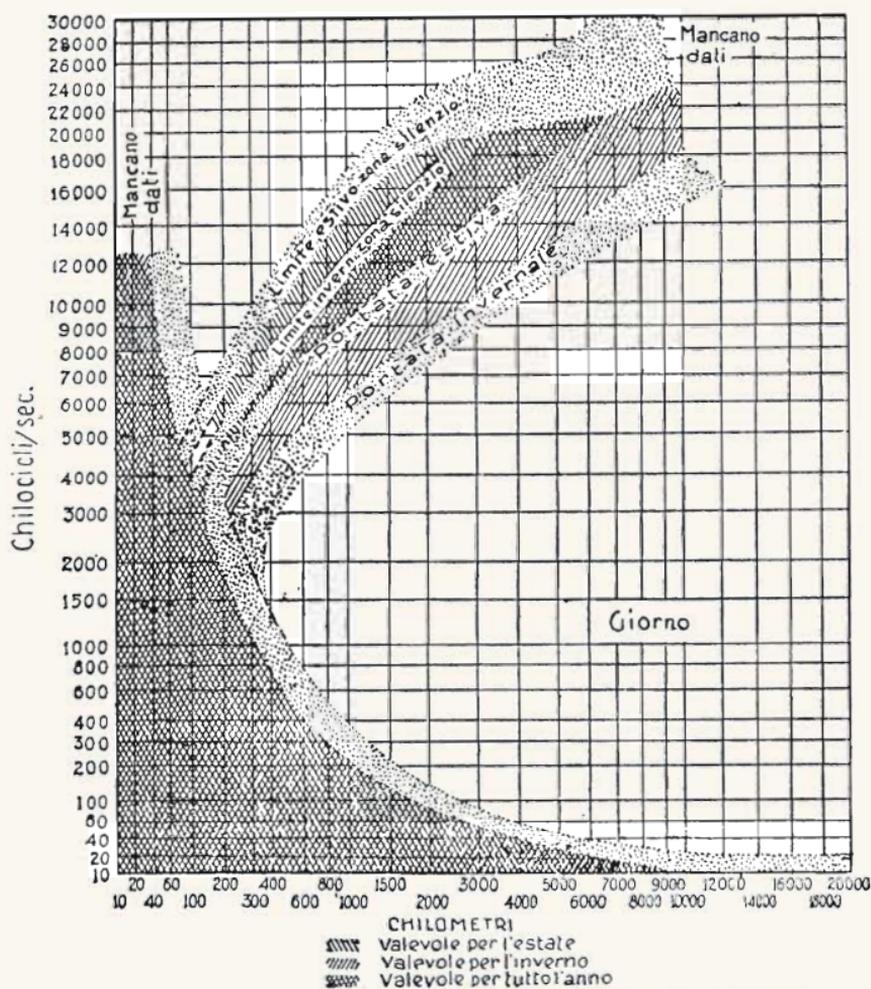
e



f

45. Percorso di trasmissione transatlantica nelle ore diurne e notturne. La curva in bianco indica la variazione nell'intensità di campo con l'esposizione del percorso ai raggi solari. (Laboratori della *Bell Telephone*.)

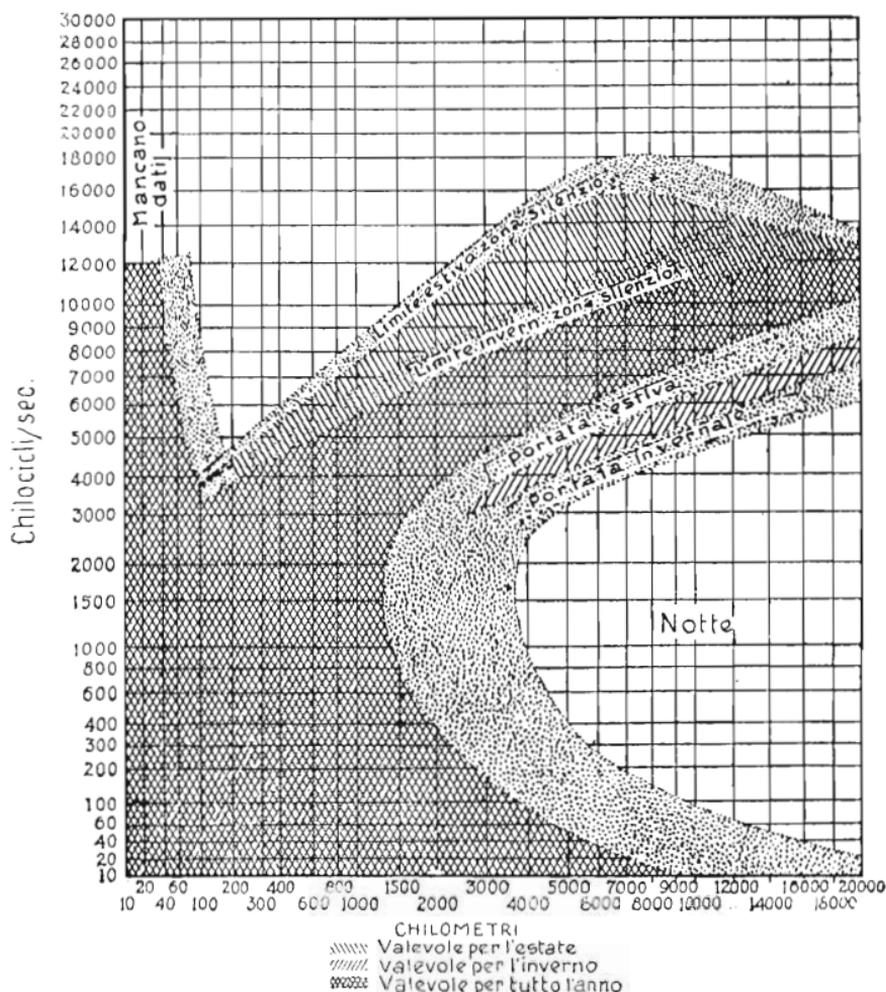
TERRA E RADIO NEL COSMO



La larghezza delle zone tratteggiate indica le differenze tra i valori medi riferiti dai vari osservatori.

46. Portate diurne delle radioonde alle varie frequenze.
(Dati del *Bureau of Standards*, 1932.)

mero degli elettroni fino ad un punto critico, al quale solo queste onde piú corte verrebbero seriamente influenzate.



La larghezza delle zone tratteggiate indica le differenze tra i valori medi riferiti dai vari osservatori.

47. Portate notturne delle radioonde alle varie frequenze.
(Dati del Bureau of Standards, 1932.)

Il National Bureau of Standards americano ha cercato di raccogliere tutti i dati disponibili in questo campo, nell'intento di diagrammare le portate delle radioonde,

per tutte le frequenze; da questi grafici si possono rilevare i limiti di ricezione tanto per il giorno che la notte. Le figure 46 e 47 riproducono due di tali diagrammi, pubblicati dal Bureau of Standards il 4 gennaio 1932. Si vede subito che vi è poca differenza nelle portate diurne e notturne per basse frequenze fino a 20 chilocicli al secondo, corrispondenti a lunghezze d'onda superiori a 15 000 metri; è appunto in questo campo di frequenze che lavorano le stazioni radiotelegrafiche transatlantiche di grande potenza. Segue una rapida diminuzione della portata utile durante le ore diurne a frequenze di 3000 chilocicli per secondo, corrispondenti a lunghezze d'onda fino a 100 metri; indi un incremento della portata per frequenze da 3000 a 18 000 chilocicli per secondo, con differenze tra l'inverno e l'estate. Nel caso di trasmissioni notturne si ha una diminuzione di portata, coll'aumentare della frequenza, fino a circa 1500 chilocicli per secondo, corrispondenti a onde di 200 metri, dopo di che si ha di nuovo un aumento per frequenze fino a circa 10 000 chilocicli per secondo. Da questi diagrammi si vede che la gamma delle onde medie, da 500 a 1500 chilocicli per secondo, usata nelle radiodiffusioni, non è adatta per trasmissioni transoceaniche. Per tali trasmissioni bisogna ricorrere alle onde corte.

Siccome una soddisfacente ricezione da lunga distanza dipende da una rifrazione nello strato ionizzato con perdita minima d'energia, le frequenze per trasmissioni di grande portata sono strettamente connesse con valori favorevoli della densità elettronica. L'assai limitata portata dei segnali per lunghezze d'onda fra 150 e 200 metri, corrispondenti a 2000 e 1500 chilocicli per secondo, dimostra che per tali onde deve avvenire una consi-

derevole perdita di energia per assorbimento in una regione ionizzata avente una densità elettronica critica.

È perciò molto interessante individuare le zone dell'atmosfera terrestre in cui si verificano assorbimento e rifrazione. Per giustificare la teoria della rifrazione dovuta alla presenza di elettroni liberi, occorre ammettere che il percorso libero medio degli elettroni in rapido moto sia sufficientemente grande affinché possano ricevere energia dall'onda incidente e irradiarla di nuovo in una fase leggermente diversa. Se la densità elettronica è troppo elevata, l'elettrone colliderà con una molecola gasosa o con un ione prima che esso abbia avuto la possibilità di irradiare di nuovo tutta l'energia ricevuta dall'onda in arrivo. Si avrà perciò come conseguenza una forte perdita di energia che si manifesta con un notevole affievolimento del segnale alla stazione ricevente. È evidente che la probabilità di una tale perdita di energia o di un tale assorbimento sarà maggiore là dove le molecole del gas sono più numerose. Nichols e Schelleng hanno dimostrato che la massima perdita di energia per elettrone si verifica quando l'atmosfera ha una densità critica tale che la frequenza con cui gli elettroni collidono, è pari a 6,28 volte la frequenza usata nella radiotrasmissione. Per altitudini inferiori a quella alla quale si verifica questa condizione, l'assorbimento è insignificante e lo stesso si verifica ad altitudini più elevate. Al disotto di questa zona di assorbimento, la densità atmosferica è così elevata che gli elettroni hanno poca probabilità di assorbire dalla radioonda e irradiare di nuovo una quantità apprezzabile di energia prima di entrare in collisione con molecole gaseose e ioni vicini. In tali condizioni si ha perciò una scarsa rifrazione e la radioonda non subisce deviazione nella sua ascesa. Nel-

la zona al disopra dello strato critico di assorbimento, le molecole di gas e gli ioni sono così rarefatti che intercede un notevole tempo tra le varie collisioni, in modo che un elettrone può raccogliere energia da una radioonda e irradiarla di nuovo prima che abbia occasione d'incontrare una molecola gasosa. In tale zona perciò ha luogo la rifrazione e l'onda spaziale viene riflessa di nuovo verso terra, procurando una buona ricezione.

Da quanto precede risulta chiaro perché tanto le onde molto lunghe quanto le onde molto corte possono venire usate per comunicazioni a grande distanza, mentre la gamma intermedia dà risultati del tutto insoddisfacenti, specialmente durante le ore diurne. Nichols e Schelleng hanno mostrato che l'effetto del campo magnetico terrestre è di ridurre notevolmente l'assorbimento per le onde lunghe da 2000 a 10 000 metri. Dai loro studi consegue che la frequenza critica di 1500 chilocicli al secondo, alla quale corrisponde una lunghezza d'onda di 200 metri, è la lunghezza d'onda peggiore per ciò che riguarda le condizioni di assorbimento.

In base alle indagini di Chapman e Milne sulle pressioni e sui percorsi liberi medi delle molecole dei gas dell'atmosfera, è stato calcolato che per le onde di 50 metri il massimo assorbimento si verifica ad un'altitudine di circa 65 chilometri. Per lunghezze d'onda fra 3000 e 10 000 metri l'altitudine di massimo assorbimento sarebbe compresa fra 80 e 95 chilometri.

L'assai ridotta portata riscontrata per lunghezze d'onda intorno ai 214 metri nelle ore diurne, palesa che le radiazioni elettromagnetiche solari sono la causa principale di ionizzazione dello strato interessato. Se le particelle beta o elettroni hanno notevole parte nella ioniz-

zazione dell'atmosfera terrestre, dai calcoli di Chapman e Milne risulterebbe che la zona di massima ionizzazione, dovuta a questa causa, si trova ad un'altitudine di circa 55 chilometri. Non sembra tuttavia che a ciò debba attribuirsi l'insoddisfacente trasmissione diurna, poiché, come abbiamo già altrove notato, gli elettroni non possono avvicinarsi alla Terra secondo linee rette e produrre una ionizzazione uniforme sulla parte del globo terrestre illuminata dai raggi solari. Gli elettroni, che entrano nell'atmosfera terrestre, vengono guidati lungo le linee di forza del campo magnetico terrestre verso le regioni polari. Si potrebbe perciò ritenere che gli effetti dell'assorbimento delle onde risultino più pronunciati in certe zone localizzate, a meno che gli elettroni liberi non siano obbligati a diffondersi su tutte le latitudini prima di raggiungere un livello superiore a quello dello strato di assorbimento delle onde e ciò per qualche causa non ancora individuata. Se questo si verificasse, si dovrebbe avere una migrazione di elettroni dalle regioni polari, estendentesi tanto sull'emisfero non illuminato quanto su quello illuminato. Ma allora non si dovrebbe avere la ben netta differenza di assorbimento tra il giorno e la notte che invece si riscontra in pratica. Il numero di elettroni che raggiungono le zone tropicali dovrebbe essere minore del numero di quelli che raggiungono le zone temperate, avendosi in tal modo una variazione nell'assorbimento a seconda della latitudine cui si trova il percorso della radiotrasmissione. Il fatto che l'assorbimento, per lunghezze d'onda di circa 100 metri, è massimo verso mezzogiorno e cessa verso il tramonto, difficilmente s'accorda con l'ipotesi che la ionizzazione nello strato assorbente sia molto influenzata dagli elettroni che provengono dal Sole. Si è perciò piut-

tosto indotti alla conclusione che, per quanto riguarda la presenza di elettroni liberi nella zona di assorbimento, la ionizzazione venga prodotta specialmente dalle radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole o anche da raggi gamma, ma non da particelle beta od elettroni.

Dallo studio delle radiotrasmissioni a lunga distanza, specialmente su percorsi transoceanici, dove l'acqua costituisce una superficie uniforme, risulta evidente che la ionizzazione dell'atmosfera dipende in gran parte dall'intensità e dalla durata dell'azione dei raggi solari ed ovviamente dalla possibilità che hanno gli elettroni e gli ioni di ricombinarsi. Siccome i raggi solari sono più obliqui verso l'alba ed il tramonto e nell'emisfero settentrionale lo sono di più durante l'inverno che d'estate, così il potere penetrante delle radiazioni ultraviolette in tali periodi di tempo è corrispondentemente minore e la ionizzazione si riduce in proporzione. In questa zona di ionizzazione dell'atmosfera terrestre, dovuta all'azione dei raggi solari, sembra però probabile che si verifichi una seconda ionizzazione, irregolare nella sua variazione e dipendente in larga misura dalle macchie solari; essa sarebbe dovuta a corpuscoli caricati elettricamente provenienti dal Sole, i quali potrebbero essere particelle beta od elettroni. È probabile che l'altitudine, alla quale questa seconda ionizzazione si verifica, sia notevolmente superiore a quella della zona di assorbimento delle radioonde o che gli effetti di assorbimento in questione siano dipendenti in modo critico dalla luce del Sole. Col calare della notte la ionizzazione provocata dai raggi solari gradualmente scompare e la ionizzazione meno regolare dovuta alle particelle beta od elettroni è sufficiente per rifrangere verso la superficie terrestre

tutte le radioonde, ad eccezione di quelle piú corte. È possibile che questa ionizzazione sia quella principale sull'emisfero immerso nell'oscurità. Quando, come succede nei periodi di massima attività solare, l'emissione da parte del Sole di particelle cariche è intensa, tanto lo strato assorbente come quello rifrangente dell'emisfero in ombra dovrebbero, in base a tale ipotesi, trovarsi ad un'altezza relativamente minore. Ogni variazione nell'altezza dello strato ionizzato dovrebbe subito rivelarsi dal comportamento delle radioricezioni, specialmente per frequenze prossime a quelle di assorbimento critico.

CAPITOLO XIII

LA RADIO E LA LUNA

MENTRE non sembra piú possibile dubitare che l'attività del Sole abbia una parte principale nella ionizzazione dell'atmosfera terrestre, cui si deve la possibilità delle radiocomunicazioni a grande distanza, e che le perturbazioni solari sieno una delle cause prime dei disturbi nelle radiotrasmissioni, non si può fare a meno di guardarsi attorno per vedere se negli spazi celesti vi sieno altri agenti la cui presenza sia rivelata dall'andamento delle radioricezioni.

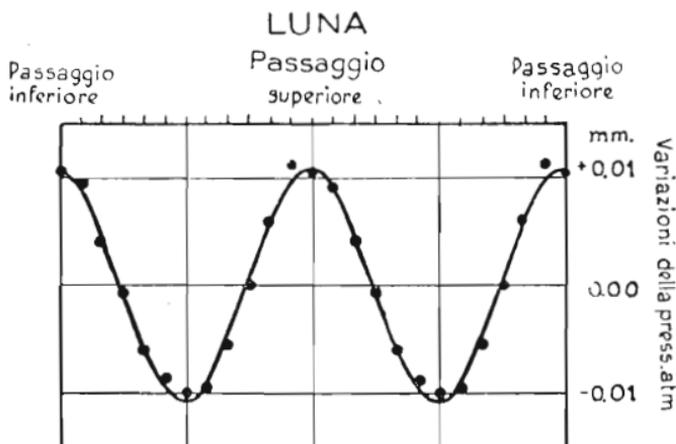
Nei primi capitoli di questo libro abbiamo fatto risaltare che l'uomo abita un pianeta avente un astro gemello assai vicino, la Luna. Abbiamo anche visto che la Luna esercita un'azione notevole sul moto della Terra e che ad essa si deve far risalire il fenomeno delle maree oceaniche e terrestri. Tali considerazioni ci condussero ad alcune speculazioni non prive di fantasia su ciò che avverrebbe sotto la crosta terrestre in conseguenza delle forze lunari di marea.

È ovvio che le forze di marea della Luna debbano anche agire sull'oceano atmosferico della Terra. Già svariati tentativi sono stati fatti per misurare graficamente il flusso e riflusso dell'atmosfera terrestre. Ma le grandi e complicate variazioni nella pressione atmosferica conseguenti alla migrazione delle aree di bassa ed alta pressione dovuta ai cicloni ed anticicloni, non facilitano il problema di misurare con un ordinario barometro le

variazioni di peso dell'atmosfera al passaggio dell'onda di marea provocata dalla Luna.

A recar confusione contribuisce anche l'efficace riscaldamento dell'aria da parte della radiazione solare, il quale è causa di una variazione diurna del barometro.

Recentemente, tuttavia, un accurato studio delle va-



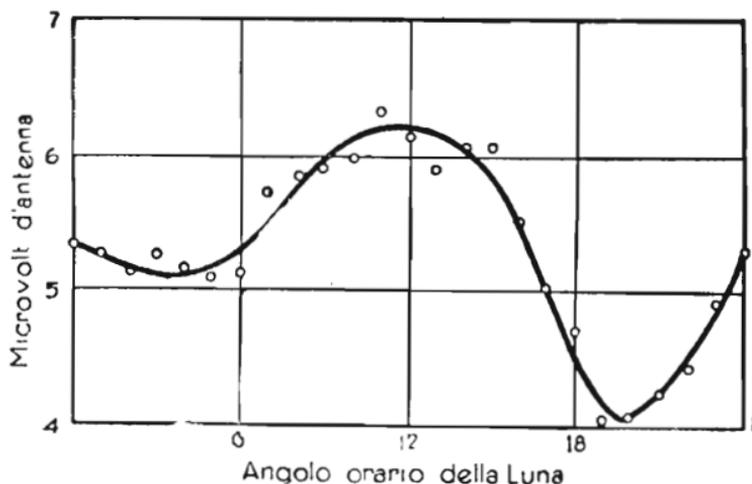
48. Onda di marea lunare nell'atmosfera terrestre, da osservazioni eseguite a Potsdam, Germania.

(Da Bartel, *Tides in the Atmosphere*, Carnegie Institution.)

riazioni barometriche eliminante una gran parte delle perturbazioni accennate, ha reso possibile d'isolare nettamente la marea lunare nell'oceano atmosferico. La variazione di pressione provocata dal passaggio dell'onda di marea lunare è al massimo poco più di 0,02 mm, come è visibile nel grafico della fig. 48 ricavato da osservazioni eseguite a Potsdam in Germania durante sessantasei anni.

Siccome le radioricezioni sembrano dipendere dalle condizioni dell'atmosfera terrestre e durante gli ultimi

anni sono stati raccolti sistematicamente dati quantitativi in proposito, vale forse la pena di indagare se le misurazioni fatte rivelano qualche relazione col passaggio della Luna al meridiano dell'osservatore. Un'indagine preliminare dell'A. su una serie di misure tra Chicago e Boston sembrò indicare una marcata correlazio-



49. L'intensità delle radioricezioni sembra indicare una correlazione con l'angolo orario della Luna.

ne tra l'intensità della radioricezione e l'angolo orario della Luna. Il procedimento seguito era analogo a quello già descritto nel Capitolo III quando si considerarono le variazioni di latitudine in funzione dell'angolo orario della Luna. La fig. 49, che compendia i risultati dell'indagine, mostra una distinta correlazione tra l'angolo orario della Luna e l'intensità dei segnali ricevuti. Se dobbiamo interpretare la variazione dell'intensità di ricezione come una variazione in altezza dello strato di Kennelly-Heaviside che rifrange le radioonde, l'incre-

mento dell'intensità del segnale quando la Luna s'avvicina all'antimeridiano apparirebbe come il risultato d'un innalzamento dello strato ionizzato nell'atmosfera terrestre. Questa interpretazione sarebbe allora in accordo con quella dell'influenza solare: siccome al minimo d'attività solare s'accompagna un incremento d'intensità di ricezione della gamma d'onde usata nelle radiodiffusioni ed attribuito ad un presupposto innalzamento dello strato ionizzato, possiamo con una certa sicurezza ritenere che il miglioramento della ricezione quando la Luna passa sotto l'orizzonte sia dovuto ad un innalzamento dello strato di Kennelly-Heaviside per effetto del moto della Luna.

Un'analogia correlazione tra posizione della Luna e bontà di ricezione si riscontra quando si considera l'intensità dei segnali in funzione dell'altezza della Luna sull'orizzonte, e precisamente si ha un miglioramento della ricezione quando la Luna è sotto l'orizzonte ed un peggioramento quando è sopra.

Resa nota l'apparente correlazione tra radioricezioni e posizione della Luna nel cielo sorse il timore che il periodo della rotazione sinodica del Sole, in media eguale a circa ventisette giorni, non fosse estraneo alle variazioni riscontrate ed attribuite alla Luna. Siccome però le osservazioni s'estendevano a centinaia di notti, ben distribuite rispetto alla curva dell'attività solare e siccome il giorno lunare non è paragonabile col periodo di rotazione solare, così è assai poco probabile che quest'ultimo possa aver peso nell'interpretazione del fenomeno.

Si presenta ora la questione della natura del meccanismo secondo il quale i movimenti della Luna influirebbero sull'altezza dello strato ionizzato dell'atmosfera

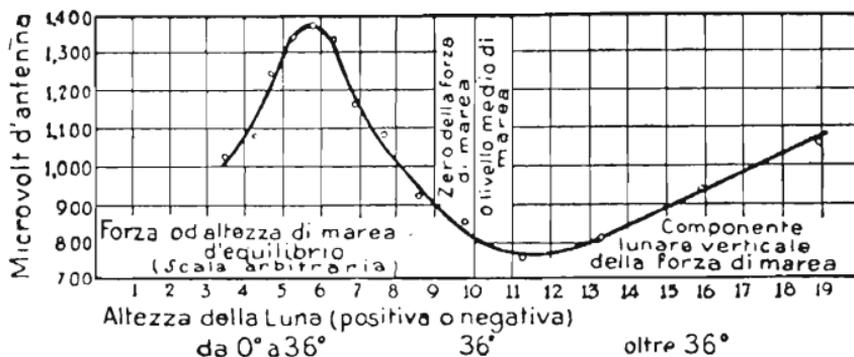
terrestre. Difficilmente si potrebbe ammettere che la leggera marea causata nell'atmosfera dall'attrazione gravitazionale della Luna possa essere sufficiente a produrre gli effetti notati.

Lo scrivente ardí congetturare che se la Luna possedesse una carica elettrica negativa ad un potenziale sufficientemente elevato rispetto a quella della Terra, potrebbe darsi ch'essa influisca sullo strato ionizzato dell'atmosfera terrestre in modo da spiegare i fenomeni in parola. Quando la Luna è alta in cielo, la sua carica negativa tenderebbe a respingere quella negativa della regione ionizzata e quindi ad abbassare l'altezza efficace dello strato di Kennelly-Heaviside col risultato di peggiorare la ricezione sulla gamma usata nelle radiodiffusioni. Con la Luna sotto l'orizzonte, lo strato ionizzato al di sopra del percorso delle radioonde dovrebbe corrispondentemente innalzarsi, consentendo un rinforzo nell'intensità dei segnali nella gamma suddetta.

Richey, della Bell Telephone, crede di riscontrare un'influenza lunare sui disturbi atmosferici, i quali sarebbero leggermente piú intensi durante la fase di novilunio che durante il plenilunio. Egli richiama anche l'attenzione sul possibile effetto termico esercitato dalla radiazione lunare e ciò basandosi sulle misure di Pettit e Nicholson che determinarono per il centro del disco lunare una temperatura di circa 400° centigradi assoluti al plenilunio; la quantità di energia termica incidente su un centimetro quadrato di superficie terrestre normale alla direzione dei raggi sarebbe di 0,4039 piccole calorie al minuto, sufficienti a riscaldare di tanto i gas dell'alta atmosfera da aumentare la ionizzazione per collisione, provocando la nota riduzione nell'intensità dei

segnali riscontrata all'osservatorio di Perkins dallo scrivente.

Prima di speculare ulteriormente sulla plausibilità d'una spiegazione gravitazionale od elettrica dell'effetto lunare, sembrò conveniente di intraprendere ulteriori ricerche a conferma o non di queste risultanze preliminari. Per completare i dati necessari a tale proposito,

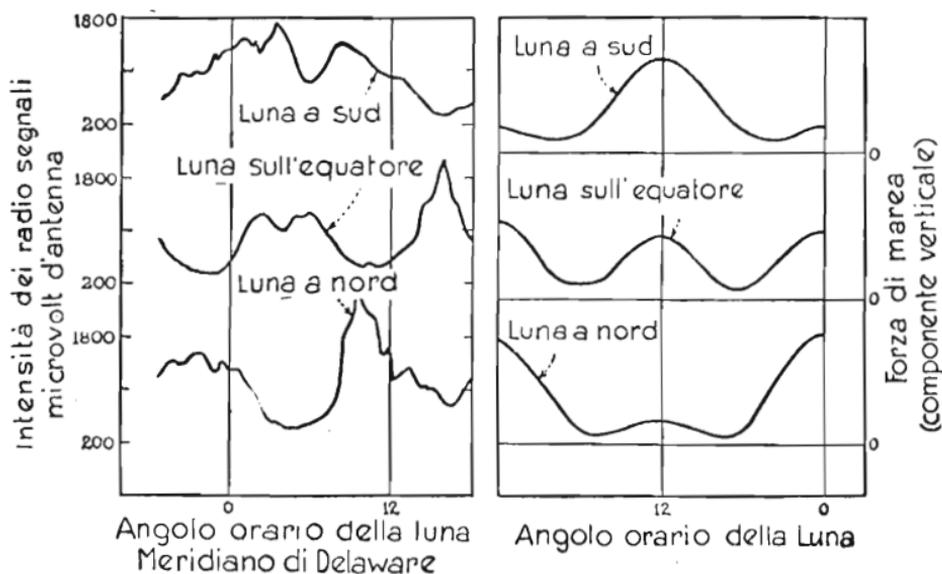


50. Diagramma dell'intensità di ricezione delle radioonde all'osservatorio di Perkins, in funzione della componente verticale della forza di marea per una latitudine di 4° (secondo Johnson).

l'apparecchio registratore delle intensità di campo all'osservatorio di Perkins venne usato per una lunga campagna di osservazioni durante le ore notturne, estendentesi ad una serie grande quanto possibile di angoli orari della Luna. Ciò contribuì anche ad eliminare più completamente un eventuale effetto del periodo di ventisette giorni della rotazione sinodica del Sole, data la quantità di registrazioni eseguite per ogni stato di quest'ultimo.

In collaborazione con il signor J. Johnson l'autore esaminò i dati raccolti all'osservatorio di Perkins allo scopo di ristudiare l'effetto lunare in base ad una nuova serie

di oltre millecinquecento periodi d'osservazione in tempi equamente distribuiti lungo il giorno lunare. Le indagini statistiche condussero ad un diagramma dell'intensità dei radiosegnali in funzione della forza verticale di marea alla superficie terrestre dovuta alla Luna e quindi presumibilmente agente anche sull'atmosfera



51. Correlazione tra l'intensità di ricezione e l'angolo orario e la declinazione della Luna. A destra, per confronto, le curve di marea d'equilibrio a 40° .

della Terra. Si osserverà in questo grafico (fig. 50) un incremento iniziale dell'intensità del segnale col crescere della forza di marea dovuta alla componente verticale dell'attrazione lunare. L'intensità di ricezione tocca un massimo per un valore sei sulla scala arbitraria della forza di marea. Segue un deciso decremento con l'ulteriore crescere di quest'ultima fino ad un valore un-

dici circa, indi un nuovo incremento dell'intensità del segnale. Dal grafico sembrerebbe quindi che la ricezione migliore avvenga per un innalzarsi dello strato ionizzato fino ad un punto critico, oltre il quale interviene un assorbimento delle radioonde fino a toccare un valore minimo dell'intensità di ricezione corrispondentemente al valore undici della forza di marea. Il successivo incremento di quest'ultima si manifesta in una rifrazione migliore delle radioonde.

Finora non ci siamo chiesti se la marea atmosferica qui considerata sia di natura gravitazionale od elettrostatica, in tal caso attribuibile a un'influenza della Luna quale agente ionizzante; siccome ambedue gli effetti, gravitazionale ed elettrostatico, sono in proporzione inversa del quadrato della distanza, c'è da attendersi che le forze di marea dovute all'uno od all'altro dei due effetti agiscano nella stessa maniera.

Nella fig. 51 l'intensità dei segnali registrati all'osservatorio di Perkins è data in funzione dell'angolo orario della Luna per il meridiano di Delaware e per tre diversi casi: Luna a sud dell'equatore (declinazione tra -12 e -28), sull'equatore (decl. da -12 a $+12$) ed a nord dell'equatore (decl. da $+12$ a $+28$). Di fianco a destra è riprodotto il grafico di pag. 64 che dà i valori teorici della componente verticale della forza di marea per una latitudine di 40° . L'andamento delle tre precedenti curve dell'intensità di ricezione dei segnali dà l'impressione che lo strato di Kennelly-Heaviside vada soggetto ad un effetto di marea, come ben rivela l'evidente inversione di fase quando la Luna passa da sotto a sopra l'equatore.

È comunque pretendere troppo che un qualsiasi effetto di marea della Luna sullo strato di Kennelly-Hea-

viside si esplichì nella semplice maniera presupposta dalla teoria delle maree d'equilibrio, perciò è difficile attendersi che una curva delle intensità di ricezione in funzione dell'angolo orario e della declinazione della Luna segua con un qualsiasi grado di precisione le curve di marea calcolate in base alla semplice teoria delle maree d'equilibrio. È perciò tanto piú significativo l'aver riscontrato certe marcate corrispondenze tra la curva delle intensità di ricezione delle radioonde e quella delle maree d'equilibrio ipotizzate per l'atmosfera.

Come si è visto precedentemente la distribuzione degli ioni ed elettroni nella ionosfera non può affatto essere uniforme in causa della presenza del campo magnetico terrestre. Siccome gli elettroni tendono a venire trascinati verso i poli magnetici della Terra, c'è da attendersi d'incontrare ad una data altitudine una densità maggiore d'elettroni passando dalle basse alle alte latitudini che non nel caso d'una ripartizione uniforme. L'effetto sarebbe sensibilmente il medesimo d'un progressivo abbassamento dello strato di Kennelly-Heaviside dall'equatore verso i poli. L'effetto della rotazione terrestre complica ancora la situazione e sarebbe impossibile stabilire in base alle nostre attuali conoscenze quale ritardo nella formazione di una marea si potrebbe attribuire ad un effetto lunare. Occorre perciò raccogliere molti altri dati d'osservazione da ogni parte del globo al fine di attaccare il problema su una scala mondiale.

Per quanto riguarda il massimo divario nell'intensità delle radioricezioni si può osservare che mentre nella figura 49 questa intensità quasi raddoppia quando la Luna passa da sopra a sotto l'osservatore, nella fig. 51 la differenza d'intensità della ricezione tra la culminazio-

ne superiore ed inferiore della Luna è ancora maggiore di quanto indicato in fig. 49.

Non sembra ragionevole pensare che la relativamente piccola marea gravitazionale nell'atmosfera terrestre, che fa variare la pressione atmosferica per meno di 0,003 per cento, possa causare un cambiamento in altitudine dello strato ionizzato sufficiente a produrre le constatate notevoli variazioni nell'intensità di ricezione. Se, d'altra parte, la Luna medesima è una sorgente ionizzante sia per l'esistenza di una carica elettrica alla sua superficie, sia, come appare più probabile, per l'emissione di una radiazione ionizzante, possiamo avere qualche elemento per spiegare le variazioni nella ionosfera quando la Luna passa nel cielo dell'osservatore.

Secondo un rapporto dell'Istituto di Fisica Terrestre di Napoli la radiazione gamma osservata in un punto a 20 metri di profondità nel tufo vulcanico dimostra un potere penetrante superiore a quello dei raggi gamma emessi dalla pechblenda. Il fatto che recenti ricerche a Pasadena fanno ritenere che la superficie della Luna sia principalmente formata da lava vulcanica fornisce qualche base all'ipotesi che la Luna stessa possa emettere radiazioni ionizzanti capaci di influire sulla densità elettronica dello strato riflettente dell'atmosfera.

Esiste ancora un fattore da tenere presente, se necessario, per spiegare la grande variazione nell'intensità di ricezione che le osservazioni ricordate in questo capitolo sembrerebbero confermare. Questo fattore è la parte che la risonanza può avere nella variazione della densità elettronica nello strato conduttore dell'atmosfera. Se le caratteristiche elettriche della ionosfera ad un'altezza critica fossero tali da stabilire un periodo naturale del moto degli ioni paragonabile con il giorno lunare o qual-

che sua armonica, allora un piccolo effetto della Luna potrebbe esaltare grandemente un'azione di marea sulla conduttività dello strato, attraverso la stretta relazione tra un periodo lunare ed un periodo naturale libero del moto delle particelle medesime. La convenienza di introdurre il concetto di risonanza nel problema dipende da ulteriori indagini teoriche o dalla raccolta di altri dati sperimentali. Dobbiamo accontentarci in questo capitolo d'aver preso nota di quei fatti che furono già constatati e con l'esposizione di quelle ipotesi che sembra ragionevole conservare finché verranno confermate o negate da ulteriori ricerche.

CAPITOLO XIV

LA RADIO E LE ECLISSI SOLARI

UN'OCCASIONE abbastanza rara per controllare le diverse teorie riguardanti gli effetti della radiazione solare sullo strato ionizzato si ha quando la Luna viene a trovarsi fra la Terra e il Sole, provocando un'eclisse totale di Sole. La Luna, posta ad una distanza di circa 385 mila chilometri dalla Terra, esercita in tal caso un'azione schermante su ogni genere di radiazione od emissione proveniente dal Sole. L'intercettazione dei raggi solari per un breve intervallo di tempo durante le ore diurne, offre la possibilità di confrontare le intensità del campo prima o dopo l'eclisse con quelle che si verificano quando l'ombra della Luna attraversa il percorso d'una radiotrasmissione.

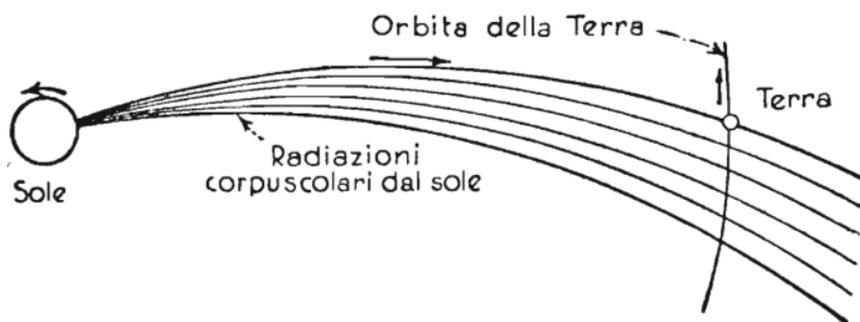
Pickard, che ha fatto misure quantitative delle intensità del campo durante l'eclisse del gennaio 1925, scoprì che durante i pochi minuti di durata dell'eclisse totale, migliorava assai la ricezione di quelle radioonde la cui propagazione è migliore di notte, mentre per le radioonde, la cui propagazione è migliore di giorno, si aveva una diminuzione nell'intensità di ricezione. L'effetto dell'eclisse si presentava quindi analogo a quello prodotto dal sopraggiungere della notte e sembrò indicare un temporaneo innalzamento dello strato di Kennelly-Heaviside o una diminuzione nella densità elettronica come conseguenza immediata dell'intercettazione della radiazione solare sulla Terra da parte della Luna.

Appleton e Naismith controllarono le radiotrasmis-

sioni durante l'eclisse solare che si verificò in Inghilterra e in Norvegia nel giugno 1927, ed essi pure conclusero per un parziale ritorno alle condizioni notturne durante l'eclisse. Dalle loro osservazioni risultò che l'altezza equivalente e il coefficiente di riflessione dello strato ionizzato raggiungevano i loro valori massimi a meno di un secondo dalla fase massima. La coincidenza praticamente esistente fra l'istante della massima altezza dello strato ionizzato e quello di mezzo della totalità dell'eclisse confermerebbe che il fattore solare principale di ionizzazione dello strato di Kennelly-Heaviside è quello della radiazione ultravioletta, la quale, avendo la velocità della luce, produrrebbe il massimo effetto sulle radiotrasmissioni contemporaneamente alla massima oscurità.

Alcuni mesi prima dell'eclisse del 31 agosto 1932 Chapman suppose che, mentre lo strato ionizzato più alto dell'atmosfera terrestre, ad un'altitudine di circa duecento chilometri, debba la sua ionizzazione specialmente alle radiazioni solari ultraviolette, lo strato più basso, situato a circa 100 chilometri, la debba invece a particelle neutre emesse dal Sole. L'ipotesi di Chapman si basava sull'esistenza di prove a favore d'una radiazione corpuscolare come la più verosimile per spiegare certi fenomeni dello strato ionizzato inferiore. Comprendendo l'impossibilità d'ammettere che le particelle o corpuscoli vengano emessi dal Sole a velocità dell'ordine di quella della luce, egli fece l'ipotesi che la loro probabile velocità fosse di 1600 chilometri al secondo. Chapman fece osservare che le condizioni di un'eclisse totale di Sole sarebbero state molto favorevoli per controllare una tale ipotesi, poiché le particelle, muovendosi molto più lentamente, avrebbero dovuto arrivare sulla

Terra ad una notevole distanza di tempo dopo la radiazione ultravioletta. Considerando l'effetto di un'eclisse dal punto di vista di un'ipotesi corpuscolare, fu ritenuto che le particelle abbandonassero in senso radiale il Sole e che perciò si dovesse tenere conto dell'effetto della rotazione del Sole, della velocità con cui procedono la Terra e la Luna lungo le loro orbite e della rotazione della Terra stessa, nel predeterminare il tempo in cui l'atmo-



52. Schema della traiettoria di sciami di particelle emesse dal Sole in rotazione (secondo Chapman).

sfera terrestre verrebbe privata di una tale corrente di corpuscoli in seguito all'eclisse.

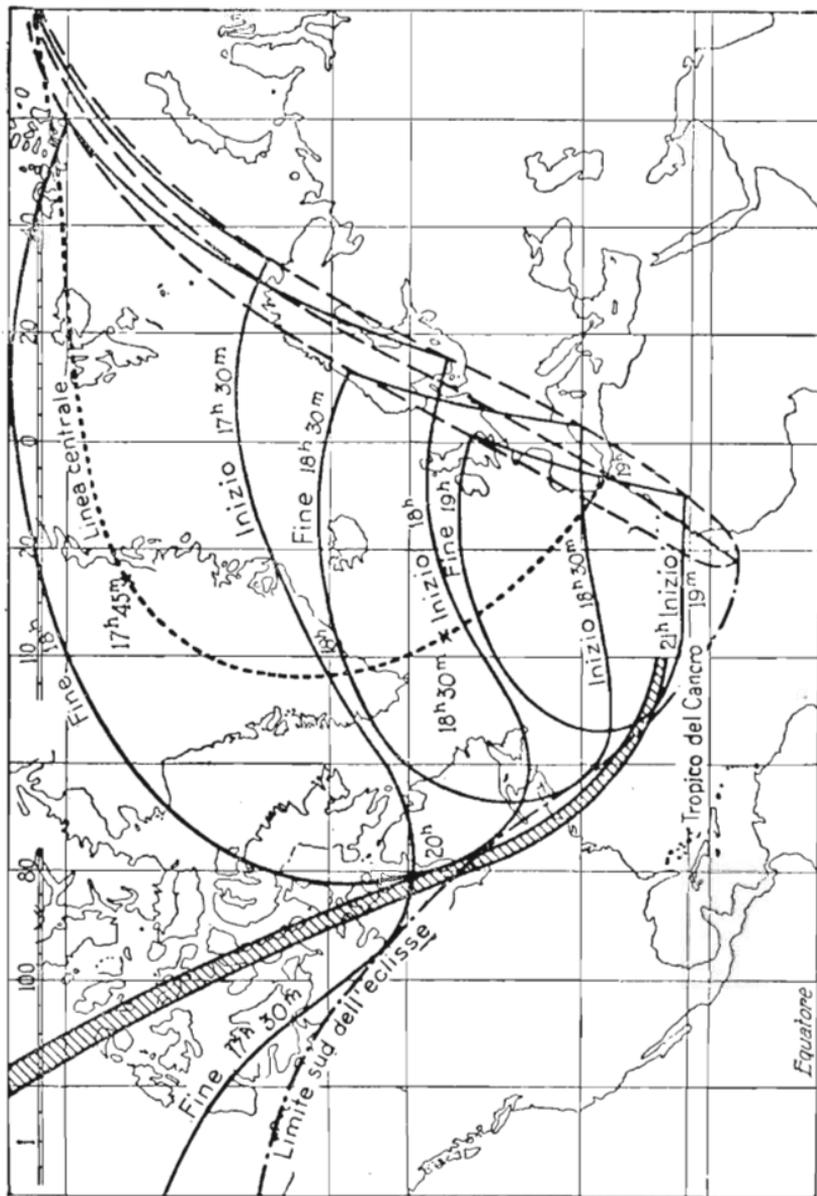
Nella figura 52 è rappresentato schematicamente un'emissione di particelle dal Sole in relazione coll'ipotesi di Chapman. Durante l'intervallo di tempo, che intercorre tra il momento in cui le particelle abbandonano radialmente la superficie del Sole e l'istante in cui raggiungono l'orbita terrestre, il punto d'emissione delle particelle si sarà spostato nel senso della rotazione del Sole, la quale si compie in circa 27 giorni. In base alla velocità ammessa per le particelle, esse dovrebbero raggiungere l'orbita terrestre circa trenta ore dopo aver lasciato il Sole. Nel frattempo un nuovo sciame di particelle do-

vrebbe partire dallo stesso punto della superficie solare; siccome però tale punto si sarà nel frattempo portato avanti a cagione della rotazione del Sole, la rappresentazione di un flusso continuo di particelle emananti dal Sole e dirette verso la Terra viene ad assumere una curvatura analoga a quella della coda di una cometa, il cui nucleo sia il Sole. Tenendo conto anche dei movimenti della Terra e della Luna, Chapman calcolò che occorrono quattro minuti affinché le particelle possano percorrere la distanza fra la Luna e la Terra. Perciò il problema di calcolare l'ombra corpuscolare prodotta dall'azione schermante della Luna, si riduce al problema di stabilire la regione sulla Terra in rotazione, in cui i corpuscoli, intercettati dalla Luna, non verrebbero a cadere. Chapman calcolò che l'intera ombra corpuscolare proiettata dalla Luna, di oltre 4000 chilometri di diametro, impiegherebbe 74 minuti per oltrepassare il centro del disco terrestre. Il tempo effettivo del passaggio di quest'ombra corpuscolare in un dato punto della superficie della Terra dipende dalla latitudine, dalla stagione e dall'ora del giorno in cui l'eclisse si verifica per quella data località. L'importante è che, siccome l'ombra corpuscolare rimane indietro rispetto all'ombra ottica, la Terra deve risentire l'effetto dell'ombra corpuscolare circa due ore « prima » dell'arrivo dell'ombra ottica. Sempre secondo Chapman, se lo strato ionizzato inferiore dell'atmosfera terrestre deve la sua ionizzazione specialmente ai corpuscoli emessi dal Sole, la produzione di nuovi ioni cesserà durante il passaggio dell'ombra corpuscolare con una conseguente diminuzione, durante questo periodo, della densità ionica. Questa continuerebbe a scemare fin quasi al termine dell'eclisse corpuscolare. Passata l'ombra corpuscolare, il bombarda-

mento corpuscolare riprenderebbe aumentando di nuovo la densità ionica.

Se invece la ionizzazione tanto dello strato superiore che inferiore è essenzialmente dovuta ai raggi ultravioletti, il periodo di minima ionizzazione deve corrispondere piú da vicino a quello di un'eclisse centrale. Però, a cagione del ritardo di tempo che si può supporre esistere tra l'istante della soppressione della causa ionizzante e quello di minima ionizzazione, si potrebbe ritenere che, anche nel caso in cui la radiazione ultravioletta sia l'unica causa di ionizzazione, un effetto sulle radiotrasmissioni dovrebbe riscontrarsi solo alcuni minuti dopo l'istante in cui si osserva otticamente un'eclisse centrale. Nel caso dell'eclisse della radiazione ultravioletta, ci si potrebbe attendere che la ionizzazione degli strati dell'atmosfera si riduca gradualmente e che il massimo effetto dell'eclisse sulle radiocomunicazioni si abbia, sempre secondo i calcoli di Chapman, circa 15 minuti dopo la totalità dell'eclisse. Però le conseguenze dipendono molto anche dall'ora del giorno in cui l'eclisse si verifica, nonché dalla latitudine alla quale si trova l'osservatorio.

Nella figura 53 è riprodotta una carta pubblicata da Miller, nella quale è segnato il percorso sull'America del Nord dell'eclisse totale di Sole dell'agosto 1932; nella stessa carta è indicato anche il cammino dell'ombra elettronica, calcolata in base all'ipotesi di una velocità di 1600 chilometri per secondo, posseduta dai corpuscoli provenienti dal Sole. È interessante notare che, mentre la zona di visibilità dell'eclisse totale è una stretta striscia non piú larga di circa 150 chilometri attraverso la parte Nord-Est dell'America settentrionale, la linea centrale dell'ombra corpuscolare si estende attraverso la



AGOSTO 1932

53. Carta che mostra la relazione tra un'ipotetica ombra corpuscolare e la traccia dell'eclisse totale avvenuta il 31 agosto 1932 (da dati di Chapman e Miller).

Groenlandia e la parte centrale dell'Oceano Atlantico a circa tremila chilometri ad oriente del percorso dell'ombra ottica. L'estremo limite occidentale dell'ombra corpuscolare giunge a mala pena a toccare l'ombra ottica.

Dal punto di vista delle radioosservazioni l'eclisse del 31 agosto 1932 non si prestava troppo bene per verificare la teoria di Chapman, inquantoché l'eclisse corpuscolare essendo avvenuta in mezzo all'Atlantico, non favoriva la collaborazione di radiostazioni vantaggiosamente situate. Per di piú le osservazioni di ricezione delle stazioni europee andarono soggette allo svantaggio delle condizioni al tramonto, le quali rappresentano, come già detto, uno stato di transizione tra la ionizzazione diurna e notturna, con una conseguente instabilità nella ionosfera. Le osservazioni lungo la costa atlantica degli Stati Uniti e del Canada avvennero pure in condizioni svantaggiose poiché le stazioni della costa atlantica erano prossime al limite estremo occidentale della zona d'ombra corpuscolare. È tuttavia interessante conoscere qualche risultato delle misure eseguite in queste condizioni.

Le osservazioni europee non portarono prove suffraganti l'esistenza d'una radiazione corpuscolare. Solo a Cupar (Scozia) si registrò una scomparsa completa dei segnali tra le 20 e 15 e le 20 e 18, ora di Greenwich, del 31 agosto, non riscontrata invece nelle osservazioni di controllo del giorno prima. L'ascolto venne fatto intorno ai 60 chilocicli/secondo e gli affievolimenti su questa gamma sono relativamente così rari da far attribuire una certa importanza al fatto che il fenomeno si sia verificato in un giorno d'eclisse. Tuttavia, siccome esso è avvenuto in un momento assai prossimo a quello di minima illuminazione dello strato ionizzato, i risultati si

potrebbero interpretare come la prova d'un effetto di eclisse di radiazione ultravioletta nella regione dello strato di Kennelly-Heaviside.

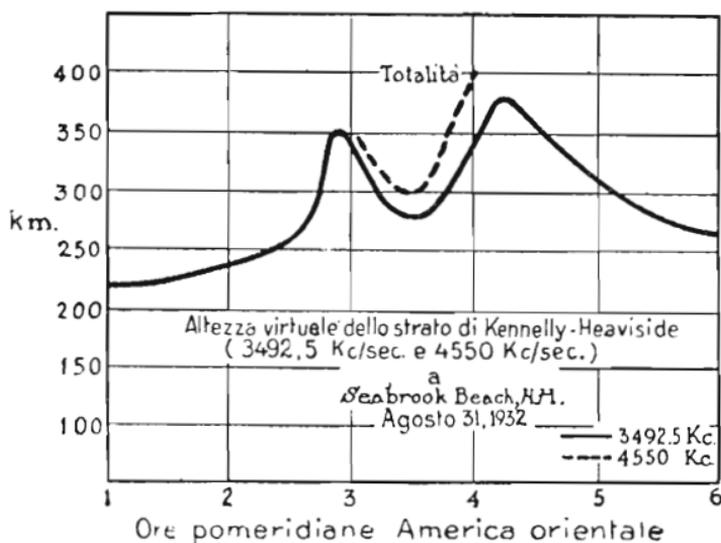
Nemmeno le osservazioni di tre stazioni canadesi furono favorevoli all'esistenza d'un'eclisse corpuscolare. Altre osservazioni, quelle del Bureau of Standards, sembrarono piuttosto indicare che la regione dello strato di Kennelly-Heaviside abbia risentito l'azione di radiazioni ultraviolette.

Burton e Boardman della Bell Telephone eressero una stazioni a Portsmouth e Seabrook (New Hampshire) eseguendo registrazioni dalla sera del 30 agosto alla mattina del 2 settembre. Poco prima della totalità dell'eclisse essi riscontrarono un improvviso incremento nell'intensità dei disturbi atmosferici ed un egualmente brusco suo decrescere dopo passata la totalità. Il momento culminante del fenomeno si manifestò cinque minuti dopo l'istante medio della fase totale. Le osservazioni del 1° settembre non diedero nulla di simile. Il fenomeno si potrebbe interpretare come il risultato d'una intercettazione di radiazione ultravioletta.

Kenrick e Pickard intrapresero estese indagini con stazioni a Portsmouth e Seabrook (New Hampshire) ed a Medford (Massachusetts) eseguendo osservazioni di controllo in ambedue i giorni, precedente e susseguente l'eclisse. Le misure dell'altezza efficace dello strato di Kennelly-Heaviside per trasmissioni su 3492,5 chilocicli/secondo e su 4550 kc/sec. al 31 agosto 1932, sono diagrammate in fig. 54. La brusca discesa dello strato F, o di Appleton, da circa 350 a circa 300 chilometri, al momento della totalità dell'eclisse, è probativa per un'eclisse della radiazione ultravioletta agli alti stra-

ti ionizzati. Le osservazioni di controllo nei giorni precedente e susseguente non mostrarono nulla di paragonabile con tale fenomeno.

Rendendosi conto delle condizioni relativamente sfavorevoli dell'eclisse del 31 agosto 1932 per osservare un'eventuale ombra corpuscolare, un gruppo di scien-



54. Variazioni in altezza dello strato di Kennelly-Heaviside durante l'eclisse del 31 agosto 1932. (secondo Kenrick e Pickard).

ziati dell'University College of Science di Calcutta intraprese una serie d'osservazioni durante l'eclisse anulare di Sole che fu visibile in India il 21 agosto 1933. Essi ritennero, dai risultati ottenuti, poco provato l'effetto d'una radiazione corpuscolare quale agente di ionizzazione dello strato E, maggiore invece quello d'una radiazione ultravioletta. Il fatto che l'eclisse fu soltanto anulare e non totale non dovrebbe avere qui

importanza, potendosi ritenere che l'influenza sulle radiotrasmissioni sia assai poco diversa nei due casi.

Una seria difficoltà si presenta per osservare un'ombra corpuscolare, dato che questa esista. A meno che le particelle, che provengono dal Sole, riescano a raggiungere gli strati superiori dell'atmosfera prive di ogni carica elettrica iniziale od acquisita, la loro traiettoria deve subire una notevole deviazione quando incontrano il campo magnetico terrestre per cui si dirigeranno verso i poli lungo le linee di forza del campo terrestre, tosto che penetrano nell'atmosfera. Non risulta però che nel predeterminare il tempo e la località di un'eclisse corpuscolare sia mai stato preso in considerazione un tale effetto. Finché non si avranno maggiori conoscenze sul comportamento delle particelle cariche dirigentisi verso la Terra, è difficile prevederne l'effetto sulla ionizzazione dell'atmosfera in una data zona, anche se si facesse l'ipotesi di un'ombra corpuscolare causata dalla Luna. Non sembra che si debba abbandonare del tutto questa ipotesi basandosi sui risultati negativi provenienti dai piuttosto scarsi dati sinora raccolti durante le eclissi. Si deve perciò sperare che tali osservazioni vengano proseguite in ogni occasione d'eclisse solare, tanto più che non sono pregiudicate da un cielo nuvoloso. Inoltre la zona coperta da un'ipotetica ombra elettronica è così estesa, in contrapposto alla stretta striscia dell'eclisse ottica, che non sarà difficile trovare località adatte per eseguire le osservazioni.

CAPITOLO XV

LA RADIO E LE METEORE

La scoperta di possibili relazioni tra Sole, Luna e variazioni negli strati ionizzati influenzanti le radio-ricezioni ci incoraggia nella ricerca di altre cause cosmiche che possano agire sulla ionizzazione dell'atmosfera terrestre.

Subito dopo il Sole e la Luna dobbiamo considerare le stelle cadenti che la Terra incontra nello spazio e che sono forse i corpi celesti con cui ha maggior intimità. Quasi ogni notte serena un osservatore attento può vedere una o più di tali meteore o stelle cadenti rigare il firmamento. In certi periodi dell'anno la Terra occupa un punto della sua orbita tale da incontrare sciami considerevoli di questi erranti corpuscoli interplanetari che originano vere piogge di stelle cadenti a date fisse.

Uno dei flussi di stelle cadenti meglio noti accade in agosto. Le meteore sembrano allora scaturire dalla costellazione di Perseo, epperò vennero chiamate Perseidi. Verso la metà di novembre la Terra incontra un altro sciame di meteore che generalmente produce una pioggia di stelle cadenti che sembrano uscire dalla costellazione del Leone e furono quindi dette Leonidi; queste stelle si vedono meglio nelle prime ore del mattino.

Sorprende talora di sentire che un corpuscolo meteorico di grandezza media non pesa più di pochi grammi ed anche meno; tuttavia queste minuscole particelle cosmiche penetrano nell'atmosfera terrestre ad una veloci-

tà così grande che la resistenza incontrata è sufficiente ad elevarne la temperatura fino all'incandescenza, striando spesso luminosamente il cielo. Secondo recenti indagini la scia luminosa delle stelle cadenti sarebbe in gran parte dovuta alla ionizzazione delle molecole d'aria, come è rivelato dalla spettrografia.

Sono stati fatti tentativi per vedere se in concomitanza di una notevole pioggia di stelle cadenti, si verificano variazioni nella ionizzazione dello strato di Kennelly-Heaviside, percettibili mediante misure di radioricezione.

Che un fenomeno del genere meritasse di venire indagato, venne per la prima volta fatto rilevare dal ricercatore giapponese Nagaoka, il quale vi richiamò sopra l'attenzione degli scienziati nel 1929.

Pickard, di cui già ricordammo gli importanti contributi sulle relazioni tra radio e fenomeni cosmici, pubblicò recentemente i risultati di alcune sue importanti ricerche in proposito. Egli attesta che fin dal 1921, mentre faceva osservazioni direzionali a Seabrook Beach (New Hampshire) su un certo numero di stazioni europee a bassa frequenza, fu colpito dall'interessante coincidenza di un suono estraneo nella cuffia col passaggio di una brillante meteora.

La stella cadente fu da lui vista verso la una del mattino e superava in luminosità la luce di ogni altra stella fissa. Essa sembrò provenire dalla costellazione di Perseo e la sua scia copriva un arco di oltre 30°. Nello stesso tempo Pickard udì nella cuffia un forte sibilo, che durò, a suo giudizio, dall'inizio alla fine della visione meteorica. Probabilmente l'orientamento dell'antenna a telaio usata da Pickard ebbe notevole parte nella scoperta del fenomeno.

Secondo altre piú recenti indagini statistiche di Pickard su possibili relazioni tra i periodi di massima frequenza degli sciami meteorici e le radioricezioni, sembra che, almeno per le Perseidi, si verifichi durante molti giorni prima e dopo il loro massimo un considerevole aumento nell'intensità dei segnali, come possibile conseguenza d'un'influenza delle meteore sullo strato ionizzato dell'atmosfera. Queste osservazioni si riferiscono all'ascolto a Boston della stazione di radiodiffusione WBBM di Chicago; per contro l'ascolto, sempre a Boston, della stazione europea di Nauen rivelò un minimo d'intensità di campo per il massimo del fenomeno meteorico. Ciò è in accordo col fatto generale che i disturbi influiscono inversamente sulle ricezioni diurne e notturne. Bisogna poi tenere presente che Nauen emetteva a bassa frequenza in confronto alla stazione di radiodiffusione di Chicago.

Un'altra indagine statistica di Pickard sulla relazione tra radioricezioni e meteore ha dimostrato un netto incremento dell'intensità dei segnali circa un mese dopo il massimo del bombardamento meteorico. Egli crede che le sue determinazioni possano costituire una prova dell'esistenza d'una relazione tra stelle cadenti e radioricezioni, in quanto rivelano uno spiccato aumento del campo notturno, per le frequenze usate nella radiodiffusione, in concomitanza dei disturbi meteorici. Sembrerebbe perciò che gli sciami di stelle cadenti contribuiscano alla ionizzazione dell'alta atmosfera ad un livello tale da migliorare la propagazione notturna e peggiorare quella diurna delle radioonde.

Un'indagine teorica di A. M. Skellett della Bell Telephone ebbe per conclusione che la ionizzazione prodotta dalle meteore può estendersi per piú chilometri

in ogni direzione a partire dalla traiettoria della stella filante e che la ionizzazione così occasionata può persistere per un tempo considerevole dopo passata la meteora. Questo ricercatore ritiene che la ionizzazione prodotta dalla caduta media giornaliera di stelle sia approssimativamente equivalente a quella dovuta ai raggi cosmici e che durante una pioggia meteorica l'energia ionizzante ricevuta dalla Terra dalle stelle cadenti può salire fino al 7 per cento di quella dovuta ai raggi ultravioletti emanati dal Sole. In queste circostanze le meteore diverrebbero il secondo maggiore agente ionizzante dello strato di Kennelly-Heaviside, ad eccezione dell'effetto di una discutibile emissione corpuscolare da parte del Sole. Le sorgenti di ionizzazione dello strato di Kennelly-Heaviside sono state raccolte da Skellett nel seguente specchio, ordinate secondo le rispettive energie cedute.

SORGENTE DI IONIZZAZIONE	Energia ricevuta dalla Terra in erg al centimetro qua- drato per secondo
Radiazione ultravioletta dal Sole	28,35
Meteore durante piogge di stelle ca- denti (antimerid.) fino a	2,4
Radiazione ultravioletta dalle stelle (appross.)	0,014
Raggi cosmici	0,00031
Meteore, media di giorni normali:	
antimerid.	0,00024
pomerid.	0,00012
Radiazione ultravioletta dalla Luna piena	0,000044

Il valore per i raggi cosmici è quello stimato da Millikan e Cameron mentre quello per la luce stellare è stato derivato da Pedersen dai valori di Eddington, tenendo conto che la Terra riceve energia solo da metà stelle per ogni emisfero alla volta. Skellett richiama l'attenzione sul fatto che l'osservazione astronomica delle strie meteoriche dimostra ch'esse hanno quasi esclusivamente origine nella zona piú bassa dello strato di Kennelly-Heaviside tra i 70 ed i 100 chilometri d'altezza. Le conclusioni di Skellett s'accordano con le scoperte di Pickard mentre contraddicono del tutto l'idea di Nagaoka che la densità elettronica dovrebbe diminuire per effetto del pulviscolo meteorico.

Osservazioni eseguite da Schafer e Goodall della Bell Telephone durante il passaggio delle Leonidi del novembre 1931, sembrano indicare variazioni della ionizzazione attribuibili alla pioggia meteorica del 16 e 17 novembre; tuttavia i risultati ottenuti non sono probativi poiché s'era in un periodo di disturbi del campo magnetico terrestre. L'effetto di tali disturbi sulle radio-ricezioni è troppo noto per venire sottovalutato in quest'occasione.

È d'augurarsi che i radioricercatori continuino le loro indagini sull'altezza dello strato di Kennelly-Heaviside e sull'intensità di ricezione di segnali provenienti da lontano durante i prossimi anni, in occasione di piogge meteoriche di eccezionale intensità. La raccolta di simili dati estesi ad un lungo periodo di tempo porterebbe molta luce nel problema generale della ionizzazione dovuta a cause cosmiche.

Da osservazioni recentemente fatte durante la spedizione nell'Arizona promossa dall'osservatorio del Harvard College e dalla Cornell University per lo studio

delle meteore, risulta che queste si presentano in numero assai maggiore di quanto finora sospettato. Un'alta velocità media d'arrivo di 40 chilometri al secondo ed oltre indica con una certa sicurezza che gran parte dei corpuscoli meteorici raggiungente la Terra deve provenire dalle profondità interstellari.

CAPITOLO XVI

LA RADIO E LE STELLE

ANCORA pochi anni addietro, l'ipotesi che fra la radio e le stelle potesse esistere una relazione qualsiasi sarebbe stata considerata il massimo delle assurdit . Ma nel 1933 si verific  un fatto per cui una simile ipotesi era invece da prendersi sul serio.

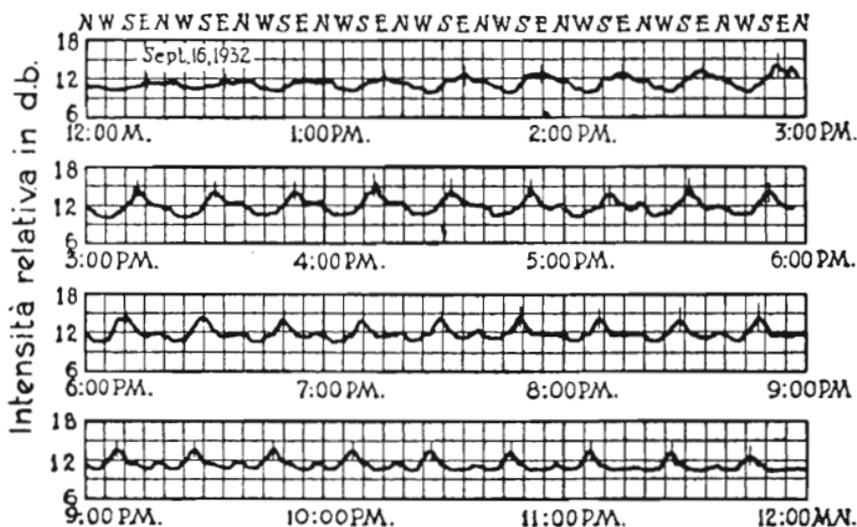
In quell'anno, nelle campagne di Holmdel, New Jersey, il dott. Carlo G. Jansky, dei Laborator  della Bell Telephone, ricercava l'origine di certi deboli disturbi atmosferici con un radiorecettore molto sensibile munito di un lungo aereo montato in modo da poter venire girato in ogni direzione. Tra i var  rumori raccolti dall'apparecchio il dott. Jansky not  un sibilo persistente molto acuto. Deciso d'indagare a fondo le cause di questo particolare disturbo, il dott. Jansky incominci  una serie d'osservazioni sistematiche per misurare l'intensit  del misterioso suono, dirigendo lentamente l'antenna verso ciascun punto dell'orizzonte. Pot  cos  riscontrare un forte aumento nell'intensit  del suono, quando l'antenna assumeva un particolare orientamento, che indicava presumibilmente la direzione da cui proveniva il disturbo. Jansky continu  giorno e notte le sue indagini e trov  che la direzione, donde sembrava provenire l'insolito rumore, subiva un progressivo spostamento. Dopo un anno di costanti osservazioni il disturbo sembrava provenire di nuovo dalla stessa direzione trovata nelle osservazioni fatte un anno precedente. Quale poteva essere la causa di tale singolare disturbo atmosfere-

rico? Certamente nessuna stazione radiotrasmittente poteva prendersi licenza di lanciare un segnale continuo di simile frequenza variandone costantemente la direzione nel corso dell'anno.

Fu il continuo avanzare di quest'ultima lungo il giro dell'orizzonte per le diverse ore del giorno e col procedere delle stagioni, che indusse Jansky a supporre che l'origine di questo particolare disturbo dovesse ricercarsi fuori della Terra, negli spazî siderei. Siccome la direzione cambiava secondo l'ora della giornata, egli pensò prima di tutto che la causa fosse da ricercare nel Sole. Se questo fosse tuttavia stato il caso, la provenienza avrebbe dovuto essere la medesima per la stessa ora dei varî giorni, in funzione soltanto dell'angolo orario del Sole e della posizione di questo rispetto all'orizzonte. Quando invece si constatò che l'origine del disturbo cambiava progressivamente direzione coi mesi e con le stagioni, risultò evidente che il Sole non c'entrava per nulla: se un certo giorno dell'anno il rumore proveniva dalla direzione nello spazio in cui si trovava il Sole, sei mesi piú tardi avrebbe dovuto provenire dalla direzione opposta. Da una sinossi delle direzioni secondo le ore ed i giorni, il dott. Jansky pervenne alla conclusione che il disturbo proveniva da una direzione fissa nello spazio rispetto alle stelle, ma non rispetto al Sole.

Osservando il firmamento ciascuno avrà notato che ogni notte le stelle sorgono ad oriente, s'innalzano fino a un certo punto nel cielo, ne discendono e tramontano ad occidente; però una data costellazione o un dato gruppo di stelle ogni notte sorge all'orizzonte un po' piú presto rispetto al tempo solare. Dopo un mese l'anticipo, con cui si leva una costellazione, è di circa due ore. Dopo sei mesi un gruppo di stelle tramonterà poco

dopo il tramonto del Sole, mentre sei mesi prima al tramonto la stessa costellazione cominciava appena a sorgere all'orizzonte. Questo apparente movimento progressivo stagionale delle stelle è dovuto al fatto che la Terra, oltre al moto di rotazione attorno al suo asse, ha anche un moto di rivoluzione intorno al Sole. Mentre comunemente si ritiene che l'anno sia costituito da



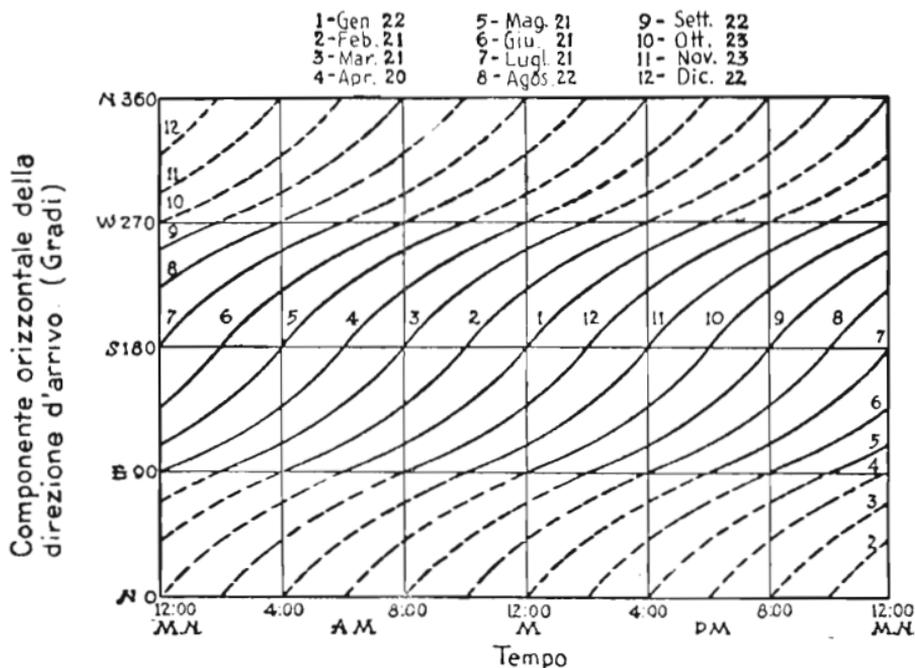
55. Diagramma indicante il progressivo spostamento della massima intensità di radioonde d'origine extraterrestre osservate da Jansky.

(Proceedings of the Institute of Radio Engineers.)

365 giorni, effettivamente la Terra ruota attorno al suo asse 366 volte rispetto alle stelle prima d'aver compiuto un giro completo intorno al Sole. Il fatto che l'acuto sibilo, notato da Jansky, partecipava a questa stessa variazione di orientamento stagionale osservata per il movimento annuale delle stelle, indicava in modo evidente che il disturbo proveniva da qualche punto fisso nell'u-

niverso, al di là della Terra, e da una distanza tale che nemmeno la rivoluzione della Terra intorno al Sole alterava la direzione nello spazio, dalla quale il rumore sembrava provenire.

Nei *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* è comparsa qualche tempo fa una memoria, nella quale



56. Cambiamento stagionale nella direzione di arrivo di radioonde extraterrestri (secondo Jansky).

sono riassunte le scoperte del dott. Jansky e da essa vengono qui riprodotti alcuni grafici.

Nella figura 55 è riprodotto un diagramma dell'intensità delle radioonde extraterrestri per un giorno tipico, il 16 settembre 1932. Mentre la registrazione avveniva automaticamente da mezzogiorno fino a mezza-

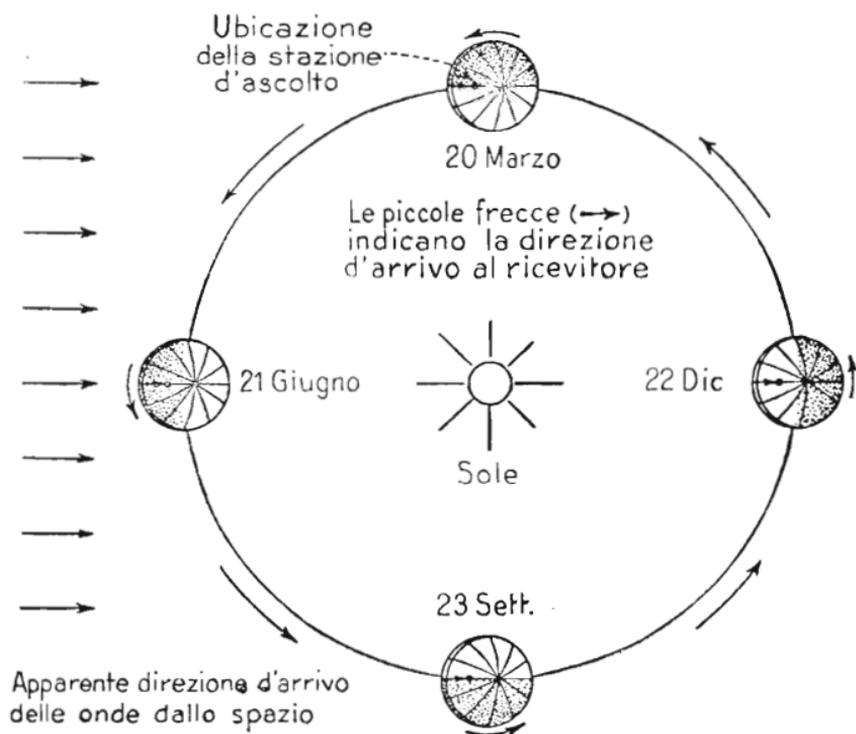
notte, all'antenna direzionale si faceva fare il giro dell'orizzonte, come indicato dalle lettere rappresentanti i punti cardinali nella parte superiore della figura. Dalle punte del diagramma si rileva che s'ebbe un massimo di intensità del segnale alle 18,10, quando l'aereo era diretto verso Sud; questo massimo si verificò poi sempre tutte le volte che l'aereo aveva completato un giro di 360° ed era di nuovo rivolto a Sud. Verso le 21 però lo spostamento del massimo di intensità del segnale indicò che le onde provenivano da un punto piú a Sud Ovest, e un po' prima di mezzanotte la sorgente s'era portata quasi ad Ovest.

Va notato che il dott. Jansky ascoltava su un'onda di 14,6 metri, ossia che il suo apparecchio era accordato per una frequenza di 20 500 chilocicli al secondo.

Confrontando le registrazioni fatte durante l'intero anno, fu possibile stabilire lo spostamento generale della sorgente con le stagioni. Nella figura 56 è indicata la variazione della direzione orizzontale di arrivo del segnale durante le ventiquattro ore del giorno per dodici diversi periodi dell'anno. Nella figura 57 si vede in qual modo queste onde ad alta frequenza sono ricevute sulla Terra nelle diverse stagioni dell'anno. Siccome il cambiamento apparente della direzione colle stagioni corrispondeva dappresso ai mutamenti di posizione della Terra rispetto al Sole, fu possibile stabilire, in base a considerazioni astronomiche, la direzione fra le stelle da cui sembravano provenire queste onde misteriose. Dai calcoli risultò che la « radiostazione » celeste responsabile dell'acuto sibilo doveva trovarsi nella direzione della Via Lattea e precisamente in quella zona del cielo che il dott. Shapley dell'osservatorio della Harvard University ha indicato come il centro del nostro sistema

TERRA E RADIO NEL COSMO

galattico. In coordinate astronomiche i risultati del dott. Jansky vengono designati con: ascensione retta 17 h. 30 min. e declinazione -10° . Questo punto non è poi lontano dalla regione nello spazio, verso la quale il



57. Schema che dà la spiegazione del cambiamento apparente nella direzione delle radioonde siderali ricevute da una data stazione nelle quattro stagioni dell'anno (secondo Jansky).

Sole si dirige con una velocità di 65 000 chilometri all'ora, trascinando con sé la Terra e l'intero sistema planetario.

È possibile che la Terra nella sua corsa attraverso il sistema galattico incontri un flusso d'elettroni o corpu-

scoli che ionizzi la parte superiore dell'atmosfera terrestre in modo che ne derivi questo disturbo alla radio? Difficilmente si può supporre che, se la Terra dovesse incontrare una corrente di elettroni provenienti dalla direzione indicata, l'effetto osservato dovrebbe risultare proprio in questa direzione. Come abbiamo fatto già notare, particelle cariche provenienti da una direzione qualsiasi dello spazio, nell'avvicinarsi all'atmosfera terrestre verrebbero fortemente deviate dal campo magnetico terrestre. Non si può perciò ammettere che esse possano svelare la direzione dalla quale provengono. D'altra parte invece, se si trattasse di particelle neutre o di minuscoli proiettili di materia inerte senza carica elettrica, la loro traiettoria non risulterebbe modificata dal campo magnetico terrestre e il loro incontro coll'atmosfera potrebbe invero causare un massimo effetto in quella parte dell'oceano gassoso terrestre, che si trova nella direzione dalla quale esse provengono. Che queste particelle non possano essere elettroni o corpuscoli carichi elettricamente, provenienti direttamente dal centro del sistema galattico, noi lo comprenderemo forse meglio dopo aver preso in considerazione un altro fenomeno ugualmente sorprendente.

Fin dal dicembre 1927 un radio-ingegnere norvegese, certo Hals, notò che in particolari circostanze potevano essere uditi degli strani echi di radiosegnali e che questi echi sembravano provenire dagli spazi siderali al di là della Terra. L'ing. Hals, che faceva i suoi esperimenti a Bydgo in Norvegia, comunicò la sua scoperta al dott. Störmer dell'Università di Oslo, che s'era molto occupato di aurore boreali come fenomeni cosmici. Nella relazione dell'ing. Hals era indicato che i radiosegnali provenienti dalla stazione olandese P C J J di Eindhoven

erano accompagnati da distinti echi, di intensità pari talvolta a un decimo del segnale diretto, ed un ritardo di 3 secondi su quest'ultimo. Ammettendo che le radioonde si propaghino con la stessa velocità della luce, egli calcolò che tale intervallo di tempo era sufficiente alle radioonde per arrivare sino alla Luna e ritornare sulla Terra; e avanzò perciò questa ipotesi. Ma siccome la Luna è un corpo relativamente piccolo e di superficie convessa, è poco probabile che una qualsiasi radioonda ne possa venire diffusa con intensità sufficiente da produrre un disturbo percettibile alla radio. Al dott. Störmer sembrò invece più plausibile un'altra spiegazione.

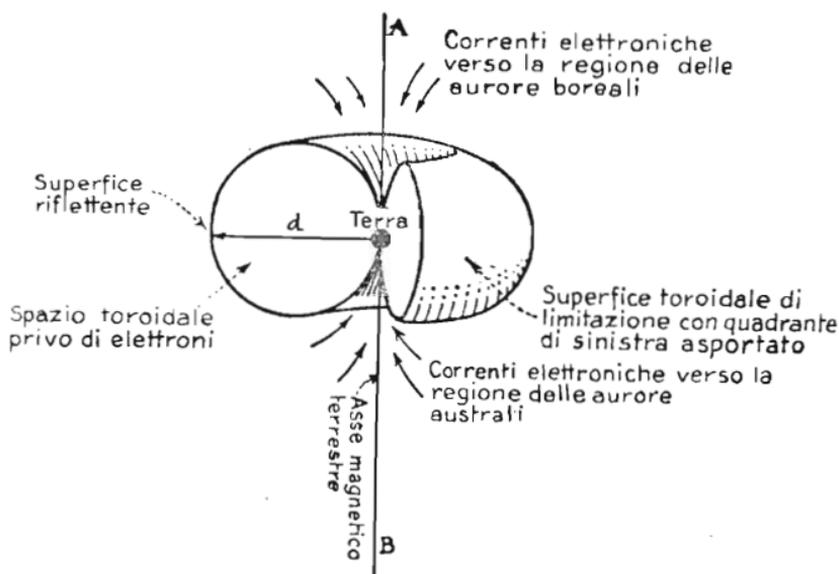
Però lo stesso dott. Störmer, prima di tentare questa spiegazione, volle verificare nuovamente l'esistenza del fenomeno. Prese perciò accordi con la radiostazione olandese PCJJ perché lanciasse una serie di segnali di prova, che dovevano essere ricevuti dall'ing. Hals. Nell'ottobre 1928 fu trasmessa una serie di segnali, che originarono distinti echi a Bygdö. I segnali consistevano in tre impulsi di onde non modulate di 31,4 metri emessi ad intervalli di 20 secondi. Gli echi registrati dall'ing. Hals e dal dott. Störmer furono ricevuti tre secondi dopo i segnali diretti, ma spesso si avevano anche dei ritardi maggiori, variabili fra 5 e 15 secondi. I disturbi atmosferici nei giorni di prova erano minimi, cosicché i segnali potevano venire notevolmente amplificati nell'altoparlante. Il dott. Störmer constatò che gli echi erano molto forti, benché di minore intensità dei segnali diretti, i quali per altro erano così intensi da far male alle orecchie. Il dott. Störmer telegrafò allora immediatamente al dott. Van der Pol ad Eindhoven chiedendo la sua collaborazione per controllare e confermare il fenomeno. I controlli del dott. Van der Pol fu-

rono in generale probativi, ma egli notò che i tre impulsi dell'eco arrivavano sovente confusi e non più distinti l'uno dall'altro come era stato precedentemente osservato da Hals e Störmer.

Negli ultimi giorni di ottobre partecipò alle esperienze anche il servizio telegrafico norvegese, grazie all'interessamento dell'ingegnere capo di tale Amministrazione, signor Hermod Petersen; furono prese disposizioni per registrare automaticamente gli echi con un oscillografo. Poco dopo il 24 ottobre, gli echi scomparvero completamente, benché i segnali fossero trasmessi regolarmente dall'Olanda due volte la settimana durante i mesi di ottobre, novembre, dicembre e gennaio. Una spiegazione di questa scomparsa fu data ben presto in base ad una teoria matematica del dott. Störmer, secondo la quale le migliori condizioni d'eco si dovevano verificare quando il Sole si trovava sopra l'equatore magnetico della Terra. Analizzando le osservazioni eseguite risultò che gli echi furono infatti avvertiti più distintamente l'11 e il 24 ottobre, quando il Sole non era lontano dall'equatore magnetico terrestre. Verso la fine di ottobre, il Sole abbandonava questa posizione e non vi sarebbe più ritornato fino a circa la metà di febbraio. Ed a conferma della teoria il 14 febbraio si ebbe ancora una lunga serie di echi. Pochi giorni dopo, Andrea Kleve, della radiostazione di Bodö, presso il circolo polare artico, raccolse degli echi 12 secondi dopo l'invio del segnale; il 19 febbraio Appleton e Barrow al Kings College, Londra, ne registrarono altri con ritardi fino a 25 secondi.

La notizia di questi echi si diffuse rapidamente e nel maggio 1929 si udirono circa 2000 echi in Indocina, utilizzando onde di 25 metri. Per molti echi furono

riscontrati ritardi fino a 30 secondi. La loro intensità risultò in certi casi pari fino ad un terzo di quella del segnale diretto. Particolarmente soddisfacenti furono i risultati ottenuti nelle regioni tropicali, secondo le previsioni fatte dal dott. Störmer in un articolo della rivista



58. Anello toroidale intorno alla Terra per spiegare i radioechi spaziali (secondo Störmer, *Journal of Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*).

« Nature » del 5 gennaio 1929, ove è detto che le più favorevoli condizioni per ricevere gli echi dovrebbero esistere in vicinanza dell'equatore.

Da un esame minuzioso fatto da Pedersen a Copenhagen risultò che non era possibile attribuire a questo fenomeno un'origine terrestre. Inoltre lo stesso prof. Pedersen aveva dimostrato che le radioonde di 30 metri potevano attraversare lo strato di Kennelly-Heaviside

e propagarsi nel libero spazio interplanetario. Cercando perciò una spiegazione cosmica del fenomeno, il dott. Störmer trovò, in base ai risultati dei suoi lunghi anni di ricerche sulle aurore boreali, un plausibile meccanismo del fenomeno stesso. Partendo dall'ipotesi che la causa principale delle aurore boreali fosse il bombardamento degli strati superiori dell'atmosfera terrestre da parte di elettroni emessi dal Sole, Störmer calcolò i vari percorsi che tali elettroni dovevano seguire sotto l'influenza del campo magnetico terrestre. Abbiamo già accennato nei precedenti capitoli che gli elettroni, seguendo le linee di forza di questo campo, si dirigerebbero verso i poli magnetici.

Complessi calcoli matematici hanno permesso a Störmer di individuare un ampio spazio intorno alla Terra, nel quale non possono penetrare elettroni provenienti dall'esterno. La forma di questo spazio vietato è all'incirca quella di un grosso anello di forma toroidale, nel cui centro si troverebbe la Terra, col suo asse magnetico perpendicolare al piano dell'anello, come è visibile nella figura 58. Gli elettroni, che arrivano dal Sole o da ogni altra sorgente situata negli spazî siderei, non possono penetrare in questo anello, il cui spessore è dell'ordine del raggio dell'orbita lunare o anche maggiore. Gli elettroni non riescono perciò a raggiungere la Terra che nelle vicinanze dei poli magnetici ove vengono per così dire aspirati con moto vorticoso entro gli spazî a forma di imbuto circondanti l'asse magnetico terrestre. Il risultato è che l'involucro dell'anello diventa una superficie conduttrice di correnti elettroniche, che all'interno riflette relativamente bene verso Terra le radioonde d'alta frequenza capaci di attraver-

sare lo strato di Kennelly-Heaviside. La superficie curva riflettente dell'anello agisce come uno specchio concavo e tende a dirigere gli echi riflessi con la maggiore intensità verso l'equatore magnetico. I risultati eccezionalmente favorevoli delle osservazioni di echi fatte in Indocina confermano brillantemente questa tesi di Störmer.

Basandoci sulla spiegazione dei radioechi data da Störmer, ci possiamo ora rendere conto perché sia impossibile ammettere che i disturbi rilevati dal dott. Jansky, e da lui giudicati provenire dal centro della Via Lattea, si possano attribuire ad elettroni irradiati dalle stelle. Anche se potessimo supporre che tali elettroni venissero emessi dalle stelle più calde e fossero proiettati in direzione della Terra, non riuscirebbero probabilmente a penetrare nell'anello rappresentato in figura 58, per cui non potrebbero attraversare lo strato di Kennelly-Heaviside che in vicinanza delle zone polari. Di conseguenza in qualsiasi modo si cercasse alla superficie della Terra di scoprire la direzione dello spazio, dalla quale provengono questi elettroni, sarebbe difficile giungere ad un risultato conclusivo. Se dovessimo ammettere che la causa del sibilo cosmico di Jansky siano le radiazioni provenienti dal centro del sistema galattico, dovremmo supporre che queste radiazioni siano costituite da onde molto penetranti, fotoni, o da corpuscoli, od anche che siano il risultato di una rimissione di energia che si verifica nell'atmosfera terrestre in seguito ad un bombardamento cosmico. L'origine siderale del disturbo scoperto da Jansky non è da mettere in dubbio; ma per spiegarla bisognerà escogitare qualche altra ipotesi, che meglio si accordi coi fatti osservati.

Il fatto piú importante, connesso coi sorprendenti fenomeni descritti in questo capitolo, è forse questo: che abbiamo un nuovo mezzo per cercare di scoprire i misteri dello spazio cosmico. Non è azzardato predire che negli anni venturi la radio si dimostrerà essere uno strumento di ricerca astronomica altrettanto efficace quanto lo furono in passato i telescopi.

CAPITOLO XVII

ILLUMINAZIONI NOTTURNE DEL CIELO

PRESCINDENDO dalla luce delle stelle e di altri corpi celesti, i piú notevoli fenomeni luminosi del cielo stellato sono quelli delle aurore boreali. Molte ricerche sono state fatte nell'emisfero Nord su queste aurore, mentre per quelle australi si sono raccolti dati in minor copia. Dalle osservazioni in proposito sembra che, in generale, queste strane illuminazioni notturne avvengano con maggior frequenza all'intorno dei poli magnetici della Terra. Quando alla fine del diciannovesimo secolo si cominciarono a studiare le scariche elettriche nei gas rarefatti, sempre piú si poté constatare l'analogia tra i fenomeni delle aurore boreali e quelli dei tubi di scarica. Molte teorie sono state avanzate per spiegare le origini delle aurore boreali; le lunghe indagini di Störmer, Vegard ed altri ci consentono di formulare almeno un'ipotesi di lavoro sul meccanismo di produzione di queste strane luci.

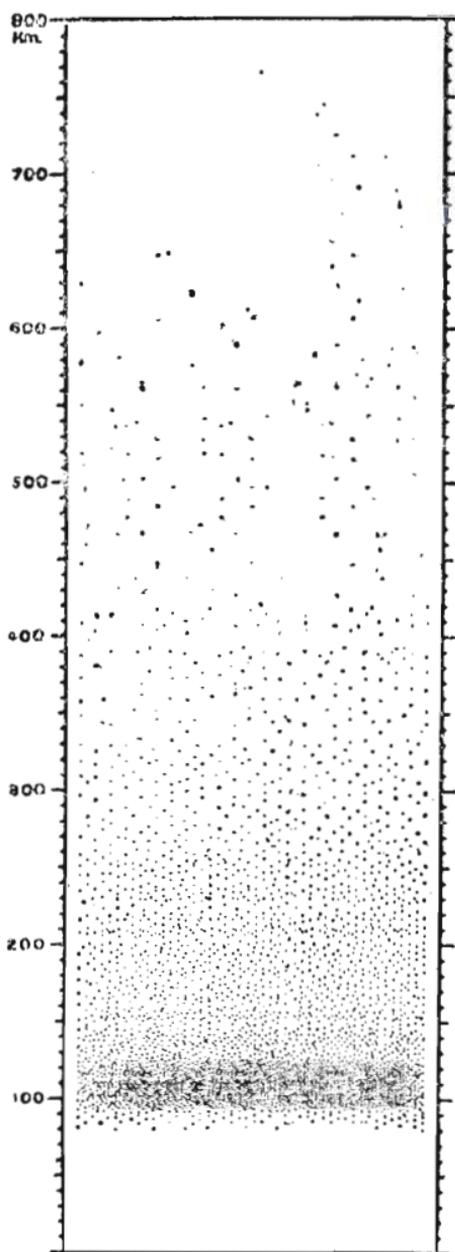
Le molte osservazioni delle aurore boreali, raccolte fino ad oggi, svelano l'esistenza d'una loro stretta connessione con le tempeste magnetiche, e cosí pure con le macchie solari. Quando il numero di queste macchie è elevato, si ha un massimo di aurore boreali con illuminazioni molto piú intense. Ciò prova che il Sole è di nuovo la causa della ionizzazione degli strati superiori dell'atmosfera terrestre, nei quali si devono verificare quei cambiamenti nello stato elettrico che danno origine alle luci aurorali. Uno dei primi problemi affrontati per

spiegare il mistero delle aurore polari è stato quello di determinare le altezze raggiunte dai bagliori radiali e dagli archi luminosi, che sembrano irradiarsi dal polo magnetico.

I primitivi metodi visuali sono stati recentemente sostituiti con la fotografia, mediante la quale si poté aumentare considerevolmente la precisione nel determinare l'altezza delle aurore. Oggidí nella Norvegia meridionale vengono eseguite misure sistematiche di quest'altezza da parte di una rete di osservatorî. I risultati di tutte le determinazioni d'altezza fatte da questi osservatorî durante il periodo 1911-1912 sono riportati in figura 59. Il limite inferiore delle forme luminose appare trovarsi a circa 80 chilometri, e da questo livello le luci aurorali possono elevarsi fino a oltre 300 chilometri. In certe occasioni le stalattiti luminose hanno raggiunto nella Norvegia settentrionale l'altezza fenomenale di 800 e 1000 chilometri.

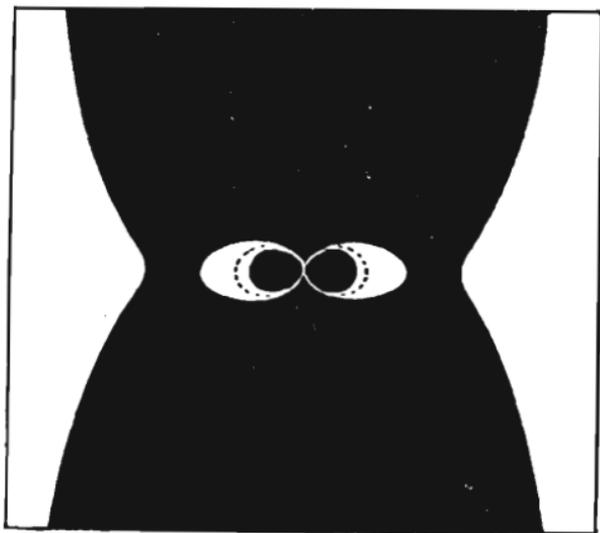
Un'analisi della luce aurorale, per mezzo dello spettroscopio, rivela molte larghe righe dovute all'ossigeno e all'azoto contenuti nell'atmosfera terrestre, ma la caratteristica dominante è una riga verde, relativamente brillante, tecnicamente definita dalla lunghezza d'onda di circa 5577 unità Angstrom, ed il cui mistero sembra ora risolto. Il dott. McLennan ed i suoi collaboratori, dell'Università di Toronto, sono infatti riusciti recentemente a produrre questa stessa radiazione eccitando elettricamente l'ossigeno in tubi a vuoto molto spinto. È probabile che ulteriori studî sullo spettro delle aurore boreali frutteranno altre importanti informazioni sulla costituzione degli strati superiori dell'atmosfera, notizie che forse non si possono ottenere in alcun altro modo.

Al dott. Störmer è sembrato che la stretta dipendenza



59. Altezze delle aurore boreali osservate
nella Norvegia meridionale, 1911 - 1912
(secondo Störmer).

delle aurore boreali dall'attività del Sole sia a favore dell'ipotesi che le variazioni nella ionizzazione degli strati superiori dell'atmosfera, cui sarebbero dovute le aurore, sieno causate da una radiazione di natura corpuscolare proveniente dal Sole. Studiando analiticamente



60. Sezione dello spazio nella regione dell'anello toroidale. Gli elettroni, che si avvicinano alla Terra, sfuggono le aree nere (secondo Störmer).

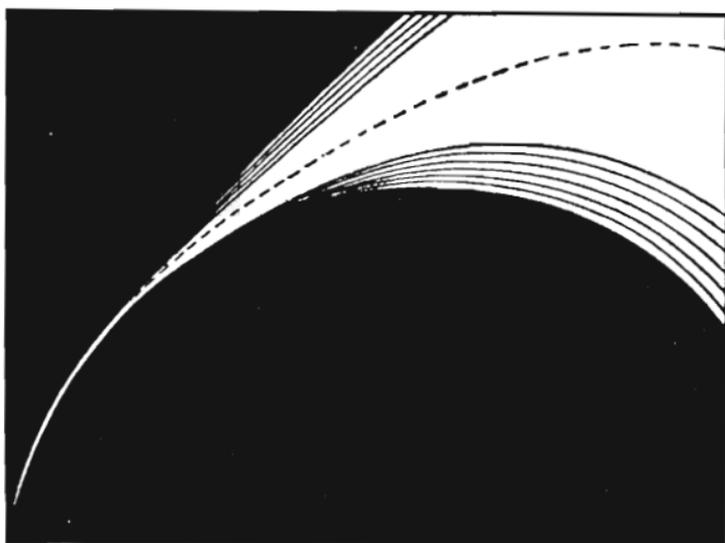
le possibili traiettorie di particelle cariche che dal Sole giungessero agli strati superiori dell'atmosfera terrestre, egli poté stabilire ch'esse risulterebbero sensibilmente deviate dal campo magnetico terrestre, e convergerebbero, con un movimento a spirale lungo le linee di tale campo, verso i poli magnetici. Si spiegherebbe così perché l'effetto di ionizzazione sia massimo, come è indicato dagli archi aurorali, nelle immediate vicinanze dei poli magnetici della Terra.

Abbiamo descritto nel precedente capitolo il singolare spazio toroidale, che dovrebbe avvolgere la Terra ed andare esente da elettroni. Una soluzione delle equazioni matematiche di Störmer ci dà una piú precisa idea delle caratteristiche di queste regioni dello spazio cosmico intorno alla Terra. Talune di esse sono accoglienti, altre invece ostili per gli elettroni. È stato dimostrato che la velocità dei corpuscoli in arrivo non viene influenzata dal campo magnetico terrestre e che ci sono certe regioni dello spazio intorno alla Terra, dalle quali essi non possono provenire nell'avvicinarsi a quest'ultima.

La figura 60 rappresenta una sezione di spazio cosmico passante attraverso l'asse magnetico della Terra, e perpendicolare all'equatore magnetico terrestre. La Terra è un punto nel centro della figura. Le aree in bianco rappresentano le regioni dello spazio ospitali per i corpuscoli mentre quelle nere rappresentano le zone proibite: ai loro bordi si può immaginare che una pattuglia sia costantemente a guardia perché non avvengano infrazioni alle norme del traffico. Dalla figura si vede che gli elettroni o corpuscoli provenienti dal Sole, possono raggiungere la Terra solamente per la via delle regioni polari, perché altrimenti dovrebbero attraversare le aree nere proibite. Si noti anche che le due aree nere centrali di forma ovoidale corrispondono a una sezione trasversale dell'anello toroidale rappresentato nella figura 58 del capitolo precedente.

Nella figura 61 è riprodotta ingrandita una porzione limitata di questa regione dello spazio nelle immediate vicinanze del polo magnetico boreale. Le traiettorie debolmente ombreggiate, all'interno dell'area bianca, indicano le vie di arrivo degli elettroni o corpuscoli. Le proprietà elettromagnetiche dello spazio in questa re-

gione, permettono di capire la formazione degli archi e colonnati caratteristici delle aurore boreali. I risultati della teoria matematica di queste aurore concordano in molti particolari con i fenomeni osservati in pratica, e questa concordanza è forse l'argomento piú valido in



61. Ingrandimento di una porzione del campo spaziale in vicinanza del polo magnetico terrestre. I corpuscoli carichi, che si avvicinano alla Terra, giungono solo attraverso la zona in bianco, producendo i bagliori delle aurore boreali (Störmer).

appoggio di un'ipotesi corpuscolare circa la ionizzazione degli strati superiori dell'atmosfera.

Hulburt ha creduto, è vero, di spiegare la formazione delle aurore boreali con una ionizzazione dovuta alle radiazioni ultraviolette emesse dal Sole; però, allo stato presente delle indagini, questa ipotesi si presta meno *elegantemente alla spiegazione dei fenomeni esposti.*

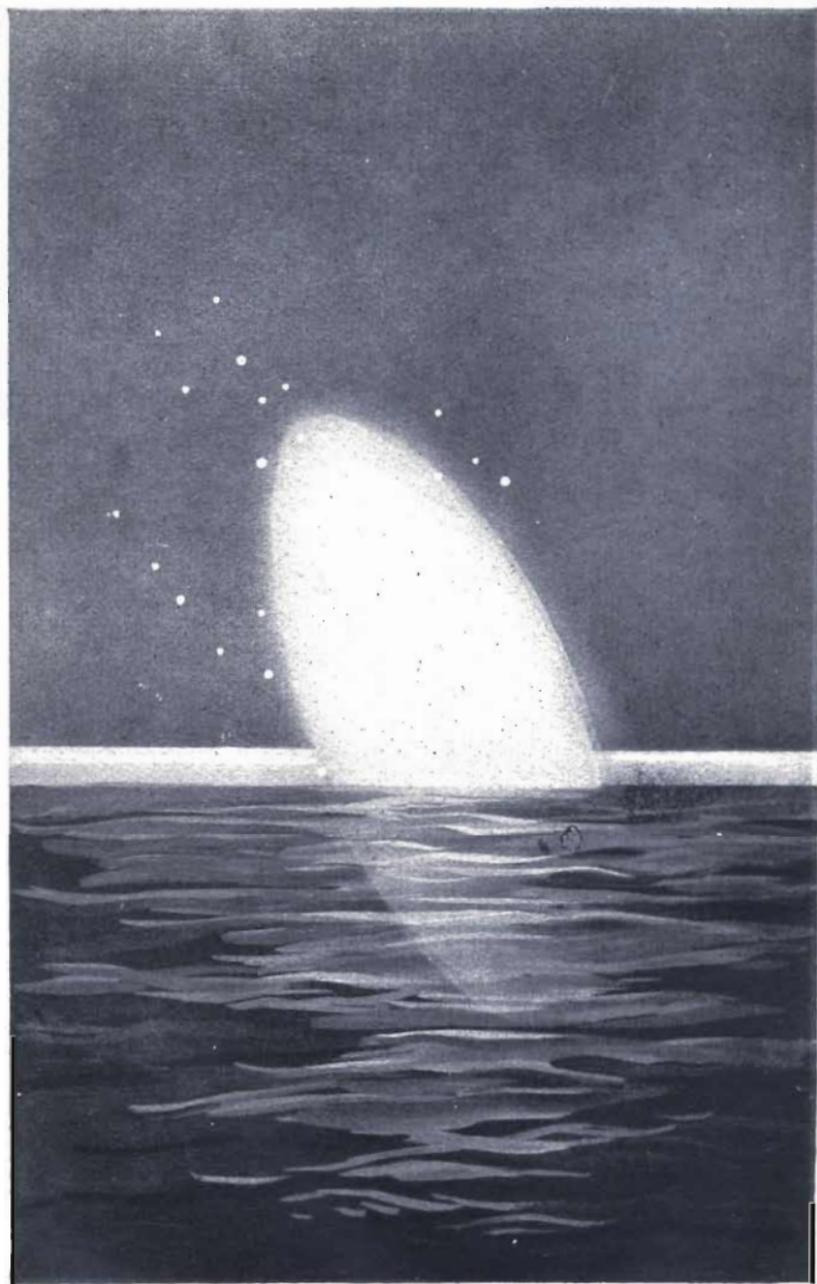
Le indagini sull'illuminazione del cielo notturno fatte dal dott. M. Slipher dell'osservatorio Lowell di Flagstaff, Arizona, dal 1915 in poi, hanno dimostrato che la riga verde dello spettro delle aurore boreali è sempre presente in tutte le parti del cielo con maggiore o minore intensità. È stato inoltre trovato, a Flagstaff, che in generale questa luce particolare è più intensa nella parte del cielo più vicina al Sole, ed invece più debole vicino allo Zenit. Misure accurate di spettrogrammi, fatte allo stesso osservatorio, indicano che la sua lunghezza d'onda e il suo aspetto sono gli stessi di quelli della brillante riga aurorale. Nella luce del cielo notturno, però, tale riga non è in generale accompagnata dalle bande dell'azoto, tipiche per lo spettro delle aurore boreali. Le osservazioni più recenti del dott. Slipher confermano che la lunghezza d'onda di questa riga verde, fotografata nel cielo notturno, è di sei unità più grande del valore della riga aurorale, quale era da tempo accettato; egli è perciò indotto all'ipotesi che la sua emissione sia dovuta a una radiazione cosmica sconosciuta nel cielo notturno. La mancante coincidenza delle righe di questo spettro misterioso con quelle che potrebbero essere dovute a deboli stelle molto distanti, esclude l'ipotesi che dei corpi celesti ben individuati siano causa delle radiazioni in questione. Le recenti ricerche verso l'infrarosso dello spettro hanno messo in evidenza nuove emissioni sorprendenti ed è molto probabile ch'esse non siano di natura permanente. In seguito ad ulteriori perfezionamenti strumentali, si è constatato che le righe tipiche dell'azoto, caratteristiche delle luci aurorali, possono venire fotografate sul fare del dì e della sera, mentre tracce di luce solare ancora sfiorano l'atmosfera

superiore. Nessuna prova esiste invece d'una presenza di righe dell'azoto nell'oscurità della notte avanzata.

La conclusione generale che si può trarre dalle importanti constatazioni dell'osservatorio di Lowell è che, contrariamente all'opinione comune, la maggior parte dell'illuminazione di un chiaro cielo notturno, non è dovuta alla debole luce proveniente dalla moltitudine di stelle che brillano sullo sfondo nero del cielo. Solo ulteriori indagini potranno stabilire se queste luci di recente scoperta provengono dall'interno dell'atmosfera stessa della Terra, o sieno invece eccitate da innumerevoli particelle provenienti dallo spazio cosmico. Si ha così un'altra conferma che lo spazio cosmico intorno al globo terrestre è causa di ionizzazione nell'atmosfera terrestre, cosa di cui non eravamo precedentemente a conoscenza.

Non possiamo abbandonare l'argomento dell'illuminazione del cielo notturno, senza accennare a due altri fenomeni noti da tempo agli astronomi: la luce zodiacale e la luce d'opposizione (*Gegenschein*).

Se si guarda l'orizzonte verso occidente subito dopo il crepuscolo di una notte chiara di primavera, si potrà osservare una strana luminosità, che partendo da una larga base sull'orizzonte, sale col suo vertice per 30° , 40° nel cielo: questa zona diffusamente illuminata, di forma ellittica, coll'asse inclinato sull'orizzonte è la luce zodiacale; il suo nome lo deve al fatto che l'asse dell'area illuminata coincide approssimativamente con lo zodiaco, che segna il percorso annuo del Sole nel suo trasportarsi apparente tra le stelle, causato dal moto della Terra lungo la propria orbita. Nell'emisfero settentrionale la luce zodiacale si può osservare poco dopo il tramonto verso l'equinozio di primavera, poiché è al-



62. La luce zodiacale osservata nell' Oceano Indiano dalla spedizione della Harvard University per l'eclisse del 1929.

lora che il suo asse forma l'angolo piú favorevole coll'orizzonte, cosí da rendere piú ampia l'area illuminata. Anche verso l'equinozio d'autunno si può osservare il fenomeno, ma allora esso si presenta poco prima dello spuntare dell'alba.

Taluni testi di astronomia attribuiscono ancora il debole chiarore zodiacale alla riflessione della luce del Sole da parte di sciami di particelle meteoriche, ritenuti circolare attorno al Sole nel piano dell'orbita terrestre. Siccome la luce zodiacale è piú intensa vicino al Sole, si supponeva che il pulviscolo fosse piú denso nelle vicinanze dell'orbita di Mercurio, il piú interno dei pianeti. Si può però, tenendo conto dei molti fenomeni nuovi considerati in questo volume, dare della luce zodiacale una nuova spiegazione. Coloro che osservano la luce zodiacale da punti situati sull'equatore terrestre o nelle sue vicinanze si trovano nelle migliori condizioni, perché nelle regioni tropicali l'asse maggiore della zona luminosa forma un angolo notevole coll'orizzonte per tutto l'anno. Nelle regioni tropicali, perciò, il chiarore si eleva nel cielo ad un punto piú alto sull'orizzonte che non alle latitudini piú a Nord o a Sud.

Nel 1929, di ritorno da una spedizione alla penisola di Malacca per osservare una eclisse, e mentre si trovava ancora nell'Oceano Indiano, lo scrivente ebbe occasione d'osservare la luce zodiacale per parecchie sere dopo il tramonto. In quella del 31 maggio 1929 dalle 19,50 alle 20,20, egli stava prendendo uno schizzo del fenomeno (figura 62), quando notò delle variazioni del chiarore zodiacale durante un periodo di due o tre minuti. Tali variazioni furono notate anche da Weld Arnold (ora all'Istituto di Geografia della Harvard Uni-

versity), che l'autore pregò di controllare, indipendentemente da lui, la posizione del vertice della luce zodiacale rispetto alle stelle della costellazione del Leone. Dopo un lasso di tempo di due o tre minuti, essendosi verificato un apparente affievolimento del chiarore zodiacale l'autore chiese all'Arnold di ripetere l'osservazione. Il vertice della zona illuminata si era nel frattempo spostato da poco sopra la stella gamma della costellazione del Leone, al disotto della stella Regolo, la diminuzione di luminosità spostandosi apparentemente lungo l'asse della luce zodiacale verso l'orizzonte. L'Arnold ancora una volta controllò le osservazioni dell'autore e trovò con sorpresa una differenza tra la prima e la seconda osservazione. Pochi minuti dopo, quando la luminosità aveva ripreso il suo valore primitivo, si determinò nuovamente la posizione del vertice al disopra della stella gamma del Leone. Il cielo era perfettamente sereno ed era rimasto così tutto il pomeriggio precedente. Le fluttuazioni continuarono periodicamente fino a che la luce zodiacale scomparve, rendendo impossibile prolungare le osservazioni.

A questo riguardo è particolarmente importante notare che a tale epoca era comparsa una grande macchia solare. L'autore aveva osservato tale macchia durante il giorno col cannocchiale di un sestante, e piú tardi distintamente ad occhio nudo poco prima del tramonto. Allora il Sole era prossimo al periodo di massima attività di macchie solari del suo ciclo undecennale.

Facendo ricerche nella letteratura riguardante la luce zodiacale, chi scrive trovò che una simile fluttuazione della luce zodiacale era qui stata osservata da Humboldt, Arago e da altri. Se variazioni notevoli di luminosità

possono avvenire in spazi di tempo così brevi, come fu constatato, è evidente che deve trattarsi di un fenomeno ben diverso dalla semplice riflessione della luce solare da parte di particelle meteoriche. Ed invero sembra che la luce zodiacale, forse finora troppo trascurata dagli studiosi, offra un campo d'investigazione di non comune interesse cosmico. L'analogia con le fluttuazioni osservate nell'intensità luminosa degli archi e drappaggi aurorali fa pensare ad un effetto di ionizzazione avente la sua origine o negli strati superiori dell'atmosfera terrestre o nello spazio cosmico nelle vicinanze della Terra. La stretta correlazione notata tra le aurore boreali e l'attività delle macchie solari dovrebbe indurre ad intraprendere accurate indagini sulla luce zodiacale in relazione ai cicli di macchie solari, per scoprire se esiste veramente una dipendenza tra di essi.

Faceva parte del programma della spedizione della Harvard University precedentemente ricordata la presa di fotografie della luce zodiacale nelle regioni tropicali a scopo di investigazioni fotometriche, poiché i membri della spedizione speravano, studiando la distribuzione della luminosità, di scoprire se nel fenomeno della luce zodiacale avevano parte oppure no le estreme propaggini della corona solare stessa.

Successive indagini di Hulburt nel 1930 hanno mostrato che nel comportamento della luce zodiacale le anomalie riscontrate erano più frequenti in periodi di tempeste magnetiche. Il 3 novembre 1929 furono contemporaneamente segnalate da punti fra di loro molto distanti in Giappone, delle fluttuazioni nella luce zodiacale. Una perturbazione magnetica di considerevole entità, incominciata poco prima della mezzanotte del 2

novembre (ora di Greenwich) era andata crescendo d'intensità durante il 3 novembre per scomparire entro il 6 novembre.

Molti tentativi sono stati fatti per fotografare lo spettro della luce zodiacale, il che presenta notevoli difficoltà per il suo carattere di luce diffusa e poco intensa. Fath, dalla fotografia dello spettro durante 12 ore distribuite su dodici giorni, poté scoprire due delle principali righe di assorbimento dello spettro solare. La massima lunghezza dello spettro sulla lastra fotografica di Fath era però solo di 2,2 mm. Finora non si riscontrò traccia di righe brillanti d'emissione, quali potrebbero essere dovute ad una ionizzazione. Siccome però la luce zodiacale è soggetta a fluttuazioni, non possiamo più accontentarci dell'idea ch'essa sia unicamente dovuta a luce solare riflessa. Hulburt è propenso a credere che la pressione di radiazione solare, unitamente all'azione dei campi magnetico e gravitazionale della Terra, produca un anello ellittico di ioni intorno alla Terra, nel piano dell'eclittica, ad una distanza di circa 30 000 chilometri. Egli ritiene che questi ioni assorbano luce solare nella regione ultravioletta dello spettro e riemettano parte dell'energia assorbita come luce visibile.

Un altro chiarore misterioso, indubbiamente connesso con la luce zodiacale, è quello della luce d'opposizione o « Gegenschein », che si manifesta, in un punto del cielo diametralmente opposto al Sole, come una luminosità debole e diffusa di forma quasi circolare o talvolta ellittica. Il fenomeno è meglio osservabile verso mezzanotte con cielo sereno e senza Luna; però anche in questo caso con una certa difficoltà poiché la luce d'opposizione è appena un po' più intensa dell'illuminazione generale del cielo.

Ampie indagini di questo fenomeno furono fatte da Barnard durante gli anni dal 1882 al 1899. Dalle sue osservazioni Barnard ha concluso per una variazione stagionale nelle dimensioni e nella forma del «Gegenschein», essendo questo piú prossimo alla forma circolare in primavera e in autunno ed alla forma ellittica durante l'estate e l'inverno. Barnard ne calcolò il diametro apparente in circa 7 gradi, ma in certi casi egli ritenne di poter affermare che la luminosità si estendeva per un diametro di piú di 30 gradi.

Sono state avanzate varie teorie per spiegare il fenomeno. Moulton ha fatto l'ipotesi che fosse dovuto a riflessione o dispersione di luce solare da parte di una nube di corpuscoli meteorici, librantisi intorno ad un punto della congiungente Sole-Terra, punto che esisterebbe, per ragioni di dinamica celeste, come soluzione particolare del problema dei tre corpi. In base a questa teoria, le meteore erranti tenderebbero, per l'attrazione combinata del Sole e della Terra, a riunirsi nel punto in questione.

Barnard invece ha ritenuto che l'atmosfera terrestre eserciti un'azione in certo qual modo analoga a quella di una lente convergente, in modo da formare un fascio luminoso nella direzione in cui si trova il pulviscolo meteorico. È dubbio però che la luce rifratta attraverso l'atmosfera terrestre possa raggiungere una concentrazione sufficiente da produrre l'effetto osservato.

D'altro canto Hulburt ha citato fatti che proverebbero l'esistenza di una relazione tra la luminosità della luce d'opposizione ed il verificarsi di tempeste magnetiche. I dati di cui oggi si dispone sembrano però sufficienti a confermare tale relazione. Hulburt suppone

inoltre che la luce zodiacale e quella d'opposizione siano l'ultima fugace manifestazione di particelle dell'atmosfera terrestre che vengono proiettate nello spazio per non tornare mai piú. Dato che il quantitativo d'elio contenuto nell'atmosfera terrestre è assai piccolo in confronto a quello che risulta liberarsi continuamente dalle rocce, Hulburt congetture anche che gli atomi di elio, provenienti dall'atmosfera terrestre, si disperdano negli spazii siderei e vengano spinti dalla pressione di radiazione solare nella direzione del « Gegendeschein ».

Se una parte della luce d'opposizione è dovuta ad una ionizzazione dei gas in questa zona, sarebbe logico supporre che delle variazioni nell'attività del Sole, che possono produrre fluttuazioni nella luce zodiacale, dovrebbero parimenti esercitare un'azione sul grado di ionizzazione e perciò anche sulla luminosità del « Gegendeschein ». Per risolvere il problema occorreranno maggiori indagini sulla luce zodiacale e su quella d'opposizione, che potranno anche fornire ulteriori notizie sulla costituzione dello spazio cosmico nelle immediate vicinanze della Terra.

Uno spostamento stagionale del vertice della luce zodiacale è stato attribuito ad errori di osservazione derivanti da variazioni d'inclinazione della striscia zodiacale rispetto all'orizzonte. Siccome l'equatore solare fa un angolo di circa 7 gradi col piano dell'eclittica, uno spostamento del vertice della luce zodiacale da Nord a Sud si potrebbe verificare da una stagione all'altra, qualora l'azione determinante il fenomeno luminoso provenisse principalmente dalle zone delle macchie solari. Inoltre l'entità dello spostamento e la direzione, nella quale esso avviene nelle diverse stagioni, risultano in

relazione coi diversi modi di presentarsi dell'equatore solare, come è visto dalla Terra.

Indubbiamente dovranno essere fatte ulteriori osservazioni per risolvere il problema se l'asse principale della luce zodiacale coincide piú col piano dell'equatore solare che non con quello dell'eclittica.

CAPITOLO XVIII

NUBI COSMICHE

DA quanto esposto nei capitoli precedenti appare abbastanza evidente che la Terra è circondata da materia cosmica e che corpuscoli meteorici e particelle elettricamente cariche oppure neutre, bombardano più o meno continuamente l'atmosfera terrestre, facendo variare il suo stato di ionizzazione, come ci rivelano i disturbi della radio. Abbiamo anche visto, studiando le aurore boreali, che esiste la possibilità per elettroni o corpuscoli d'avvicinarsi alla Terra, evitando però lo spazio delimitato dall'anello toroidale di Störmer.

Un esame dei fenomeni della luce zodiacale e d'opposizione ci ha fatto di nuovo incontrare, alla distanza di parecchie migliaia di chilometri dalla Terra, un inviluppo di materia cosmica relativamente vicino al nostro pianeta. Ci possiamo ora chiedere fino a quale distanza particelle di materia possano vagare nello spazio e quali elementi esistano per affermare che, fatta astrazione dai sistemi stellari, questo spazio possa essere occupato da materia cosmica assai rarefatta.

Fortunatamente l'astronomia ci può venire in aiuto per tentare di stabilire la distribuzione della materia nello spazio. Recenti ricerche confermano che questo è ben lungi dall'essere vuoto. Fotografie eseguite coi più grandi telescopi oggi disponibili non solo hanno rivelato l'esistenza di vaste nubi di materia non risplendente di luce propria nelle varie parti del nostro sistema galattico, ma ci hanno mostrato che anche altri lontani si-

stemi galattici, presumibilmente analoghi al nostro universo, sono attraversati da ampie fasce di materia opaca, che nascondono alla nostra vista molte delle loro stelle.

Di tanto in tanto furono fatte indagini per scoprire se e in quale misura la luce delle stelle del nostro sistema galattico venga assorbita nell'attraversare le enormi distanze che le separano dalla Terra. Ancora pochi anni or sono, benché gli astronomi avessero ammessa l'esistenza di ben definite regioni di materia oscura nella Via Lattea, si era ancor scettici sulla possibilità che una tale materia si trovasse così generalmente diffusa da offuscare lo splendore effettivo delle stelle e si fece ricorso a diversi argomenti per tentare di provare, in modo definitivo, la trasparenza dello spazio.

Se l'ipotetico etere, che serve da veicolo alle onde luminose, fosse una sostanza omogenea come l'aria o l'acqua, sarebbe relativamente facile determinare il suo potere assorbente. Con l'assorbimento si dovrebbe verificare un relativo ritardo nella velocità delle onde di frequenza più elevata. Certe stelle variabili, il cui splendore cambia periodicamente, ci dovrebbero offrire il modo di controllare tale ritardo nella velocità delle onde, osservando simultaneamente le variazioni della loro luce per differenti colori o lunghezze d'onda. Shapley, indagando accuratamente lontani ammassi globulari di stelle, dimostrò invece in modo indubbio che i raggi di luce violetta e rossa percorrono lo spazio assolutamente con la stessa velocità. Di conseguenza risultava escluso un assorbimento della luce nel passare attraverso lo spazio considerato come un mezzo omogeneo.

Però ogni effettivo ostacolo alla propagazione dei raggi di luce, frapposto da eventuali particelle meteoriche

di dimensioni non infinitesime, è un'altra questione che non può venire così facilmente risolta con esperimenti diretti. Recenti studî sulla distribuzione delle stelle eseguiti all'osservatorio della Harvard University ed altrove hanno portato alla delimitazione di certe regioni dello spazio, nelle quali sembrano esistere notevoli estensioni di materia opaca. Dai frammenti d'origine cosmica caduti sulla Terra dobbiamo arguire che lo spazio ne ospiti di varie forme e grandezze. Quanto più questa materia è suddivisa, tanto maggiore è il suo potere oscurante almeno fino a un certo limite. Particelle di dimensioni estremamente piccole, dell'ordine d'una lunghezza d'onda luminosa, potrebbero risentire l'azione della pressione di radiazione ed andare perciò meno soggette alle forze gravitazionali dei corpi celesti. L'esistenza di un tale pulviscolo cosmico dovrebbe svelarsi in una diffusione selezionata della luce, che dovrebbe dipendere dalla lunghezza d'onda, venendo i raggi violetti generalmente più diffusi nell'incontrare il pulviscolo che non i raggi rossi, aventi maggior lunghezza d'onda. Perciò in questi ultimi anni sono state fatte indagini per stabilire se la luce, che proviene dalle stelle più lontane, rivela, per la ragione qui esposta, una maggiore intensità di raggi rossi con l'aumentare della loro distanza. È a tutti noto che il Sole, quando si trova vicino all'orizzonte all'alba o al tramonto, appare rosso in conseguenza della diffusione e quindi dell'assorbimento della maggior parte delle sue radiazioni violette per opera di tenuissime particelle in sospensione nell'atmosfera terrestre; così come la luce d'una lampada prende una tinta rossastra quando venga osservata attraverso una nuvoletta di fumo.

Fotografando le stelle situate a distanze note con fil-

tri rosso e azzurro, collocati nel telescopio davanti alla lastra sensibile, si può stabilire quantitativamente lo splendore delle stelle sia nel rosso come nell'azzurro. Confrontando queste luminosità relative con quelle di analoghi tipi di stelle situate a maggiore o minore distanza è possibile determinare in quale misura la loro luce viene assorbita da nubi di pulviscolo cosmico situate nello spazio interposto. La quantità, di cui la luce rossa eccede un certo valore di confronto, quale si può ottenere da un'ordinaria stella bianca quando non è interposto alcun filtro, è di solito considerata in astronomia come un eccesso di colore. Questo è solitamente espresso coi termini di una scala di grandezze, cui ne corrisponde una logaritmica di luminosità per gli splendori, comunemente usata in astronomia. L'eccesso di colore, espresso numericamente, è anche chiamato spesso « indice di colore ».

Qualche anno fa il dott. Trumpler dell'osservatorio di Lick fece un'ampia indagine sull'eccesso di colore che si poteva osservare in parecchi dei piú vicini ammassi stellari e mostrò che l'indice di colore era decisamente maggiore per le stelle piú distanti, stabilendo cosí una indiscutibile diffusione della luce o un equivalente assorbimento spaziale, specialmente nelle vicinanze del piano della Via Lattea. Con espressione tecnica Trumpler trovò che l'arrossamento aumentava di 0,32 grandezze per ogni mille parsec (3260 anni luce) di distanza percorsi dai raggi luminosi. Van de Kamp ed altri giunsero in seguito alle stesse conclusioni, di guisa che non vi è piú dubbio circa il grado generale di assorbimento incontrato nella direzione del piano, attorno al quale il nostro sistema galattico è disposto.

Stebbins ha in seguito fatto uso di cellule fotoelettri-

che nel determinare il grado di arrossamento di circa cinquanta ammassi stellari coll'aiuto del riflettore da due metri e cinquanta dell'osservatorio di Monte Wilson. Anche dalle sue osservazioni si rileva una concentrazione di materia opaca nel piano del sistema galattico. Stebbins ha trovato un valore alquanto piú elevato dell'assorbimento che non i ricercatori precedenti facenti uso della fotografia ed ha notato anche un arrossamento nella luce delle stelle piú azzurrognole e piú distanti col crescere della distanza dalla Terra; questo arrossamento risulta inoltre essere piú accentuato in certe direzioni della Via Lattea, dove pare si abbia la maggior concentrazione di materia assorbente.

Molto recentemente Zug, pure dell'osservatorio di Lick, ha eseguito delle estese indagini sull'entità dell'arrossamento, che si può osservare negli ammassi piú aperti di stelle nel nostro sistema galattico, la cui distanza oscilla tra parecchie centinaia e parecchie migliaia di anni luce. Supponendo che l'eccesso di colore osservato sia causato dalla diffusione della luce delle stelle per opera di minuscole particelle di materia interstellare, e ammettendo che tale materia sia distribuita piuttosto uniformemente nelle vicinanze del Sole, Zug trovò che l'arrossamento delle stelle in ventitré ammassi studiati potrebbe essere ben rappresentato da un aumento di 0,36 dell'indice di colore per ogni 1000 parsec. I risultati indicarono anche che la materia cosmica assorbente era piú densa in una certa regione della Via Lattea individuata dalla longitudine galattica di 27° . La materia oscura sembrava invece essere meno densa nella direzione di 207° di longitudine galattica. In seguito ai risultati numerici ottenuti, Zug emise l'ipotesi che il Sole sia situato a una certa distanza dalla linea di mas-

sima densità del braccio spirale di materia assorbente, cosicché in realtà il Sole sarebbe una stella esterna ad una tipica nebulosa spirale, e questa particolare nebulosa spirale non sarebbe altro che il nostro sistema galattico.

Per renderci conto dell'ambiente cosmico che ne circonda in questa nebulosa, che chiamiamo il sistema galattico, può riuscire utile studiare particolareggiatamente la luce di altri sistemi galattici. Da poco tempo si è potuto giungere a qualche conclusione circa le distanze che ci separano dalle nebulose spirali piú lontane, la piú vicina delle quali è la grande nebulosa della costellazione di Andromeda, situata alla distanza di 900 mila anni luce da noi. Si può calcolare che un milione circa di queste nebulose spirali, o universi remoti, sieno alla portata dei nostri moderni telescopi.

Uno studio della distribuzione della luce anche solo di un piccolo numero di questi lontani sistemi stellari può darci un'idea generale del come la materia possa essere distribuita nel nostro sistema galattico, di cui il Sole è certo una stella tipica ma non di importanza particolare. Molte di queste nebulose spirali palesano regioni opache, come è indicato nella figura 63, che rappresenta una nebulosa spirale tipica, in tale posizione rispetto alla Terra e al Sole, da esser vista di taglio.

Un'altra spirale tipica, orientata in modo che il suo piano è all'incirca perpendicolare alla nostra visuale, ci è offerta dalla figura 64. Da un esame attento della distribuzione della luce in questa spirale si rilevano di nuovo strisce di materia oscura assorbente. Per quanto è a nostra conoscenza, il nostro sistema galattico dovrebbe avere un aspetto analogo qualora fosse visto da una distanza di un milione di anni luce. Non possia-

mo dire esattamente quanto della parte oscura di tale fotografia rappresenti materia opaca e quanto invece rappresenti puramente il vuoto. Si sarebbe però indotti a credere che nelle fasce oscure della fotografia si raccolga molta della materia cosmica, di cui la nebulosa spirale è costituita. Forse qua e là, lungo i rami della spirale, potranno avverarsi fluttuazioni di luminosità, a cagione dei continui cambiamenti di stato di ionizzazione dovuti alle radiazioni della materia piú luminosa. Nelle zone della spirale, in cui la luce è piú affievolita, possiamo supporre che anche per questa nebulosa si verificchino fenomeni di luce zodiacale e d'opposizione e d'aurora boreale, che in sostanza potrebbero avvenire ovunque nell'universo si abbia una ionizzazione di gas estremamente rarefatti.

Carpenter, dell'osservatorio di Steward, ha di recente fatto studî sull'intensità luminosa di molte centinaia di nebulose extragalattiche. Ritenendo che lo spazio compreso fra i diversi sistemi galattici sia relativamente libero di materia cosmica, Carpenter, in seguito ad un attento esame dell'elenco di Hubbe di quattrocento nebulose pubblicato dall'osservatorio di Monte Wilson, venne alla conclusione che si verifica un considerevole assorbimento della luce proveniente da questi corpi lontani, quando si osservino nella direzione generale del piano della nostra Via Lattea; e questa conclusione sembra confermata da altri ricercatori. Se, come elementi del sistema galattico, situati non lontani dal piano della Via Lattea, la Terra ed il Sole si trovano piú o meno nel cuore di una nube cosmica di materia meteorica, cioè di minutissime particelle di pulviscolo, di molecole ed atomi di gas rarefatti, non è possibile che vi siano altre vie per cui la presenza di questa ma-

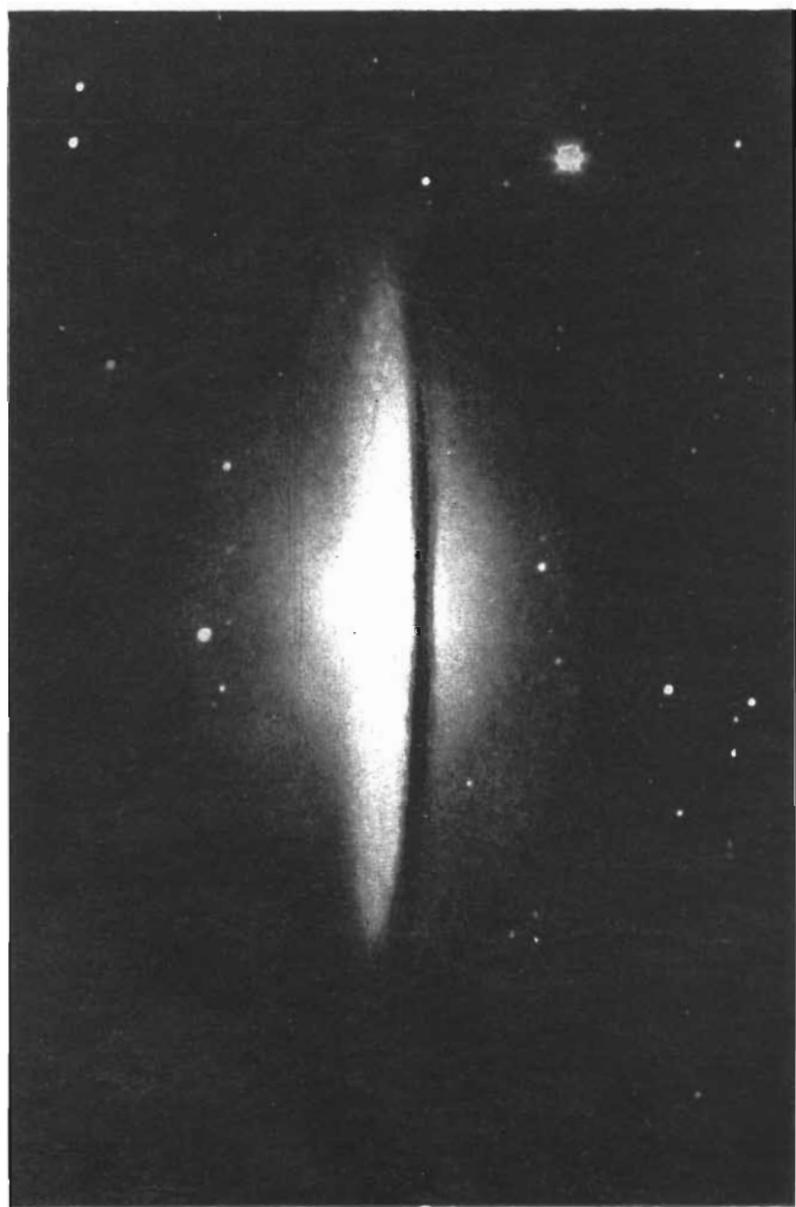
teria cosmica possa rivelarsi? Nelle vicinanze del Sole queste particelle non dovrebbero diventare luminose in parte per luce riflessa e in parte per ionizzazione di molecole gaseose, rese luminescenti per l'azione eccitatrice delle varie specie di radiazioni solari? Se non fosse per l'estremo splendore del Sole, non dovremmo forse vedere illuminata questa nube di polvere cosmica, in cui il nostro sistema planetario potrebbe essere immerso?

Fortunatamente in diverse occasioni, sia pur rare, gli astronomi possono controllare direttamente il comportamento di tale materia cosmica nelle immediate vicinanze del Sole, poiché, con la precisione di un cronometro, la Luna periodicamente viene a portarsi tra la Terra e il Sole producendo un'eclisse totale anche quando il Sole è alto sull'orizzonte. Con un'approssimazione di due o tre secondi il verificarsi di questo evento può essere previsto con anni di anticipo e si possono perciò organizzare tempestivamente spedizioni scientifiche, che si portino in quelle regioni del globo, che verranno a trovarsi nel cono d'ombra proiettato dalla Luna. Se non ci fosse l'inconveniente delle nubi, che al momento propizio possono impedire la visione del fenomeno, oggi avremmo disponibile una assai maggior copia di dati sulla misteriosa materia cosmica che circonda il Sole. Pur tuttavia sono già disponibili bastevoli elementi per ritenere che nella corona del Sole si abbia realmente un'illuminazione della ipotetica nube cosmica, illuminazione che si può osservare tutte le volte che si verifica un'eclisse totale di Sole (figura 65). Peraltro le nostre conoscenze sulla natura di questo involucro luminoso che circonda il Sole sono ancora assai scarse. L'analisi spettroscopica ci dice che l'illuminazione è dovuta in parte alla luce riflessa del Sole e in parte alle ra-

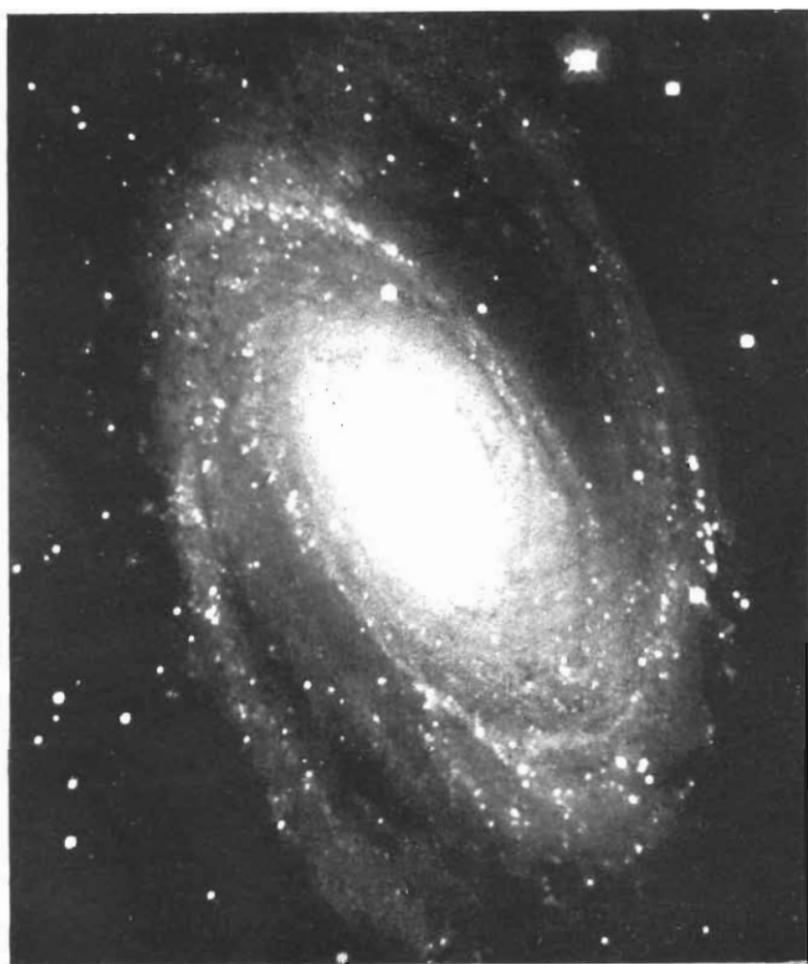
diazioni emesse da atomi eccitati di gas rari trovantisi nelle immediate vicinanze dell'astro. Che una parte di questa materia sfugga dalla superficie del Sole sembra plausibile, ma che molta dell'illuminazione della corona solare sia dovuta alla luce proveniente da una nube cosmica circondante il Sole è pure un'ipotesi che merita seria considerazione.

In tale ipotesi un'indagine sulla corona solare risulta strettamente connessa col problema della luce zodiacale e d'opposizione. Dall'esame della distribuzione della luce nella corona solare, eseguito da Stetson e Andrews in base ai risultati ottenuti durante recenti spedizioni per lo studio delle eclissi, si può dedurre che non esiste una legge semplice per determinare la diminuzione della luminosità della corona con l'aumentare della distanza di questa dal Sole. La complessità del problema della luce coronale così distintamente fotografata in ogni eclisse, suggerisce l'ipotesi che molti fattori contribuiscano a produrla. La distribuzione dell'illuminazione in una nube intorno al Sole, che potrebbe per se stessa obbedire ad una relazione matematica piuttosto semplice, può bene venire confusa con la luce di gas incandescenti dell'atmosfera esterna del Sole ed anche con un fenomeno di aurore boreale diurna nell'atmosfera terrestre causata dalla ionizzazione dei suoi alti strati in seguito ad una diretta radiazione solare. Se le eclissi totali potessero durare delle ore, invece che dei minuti, certamente le nostre conoscenze su questa misteriosa corona solare potrebbero accrescersi molto più rapidamente.

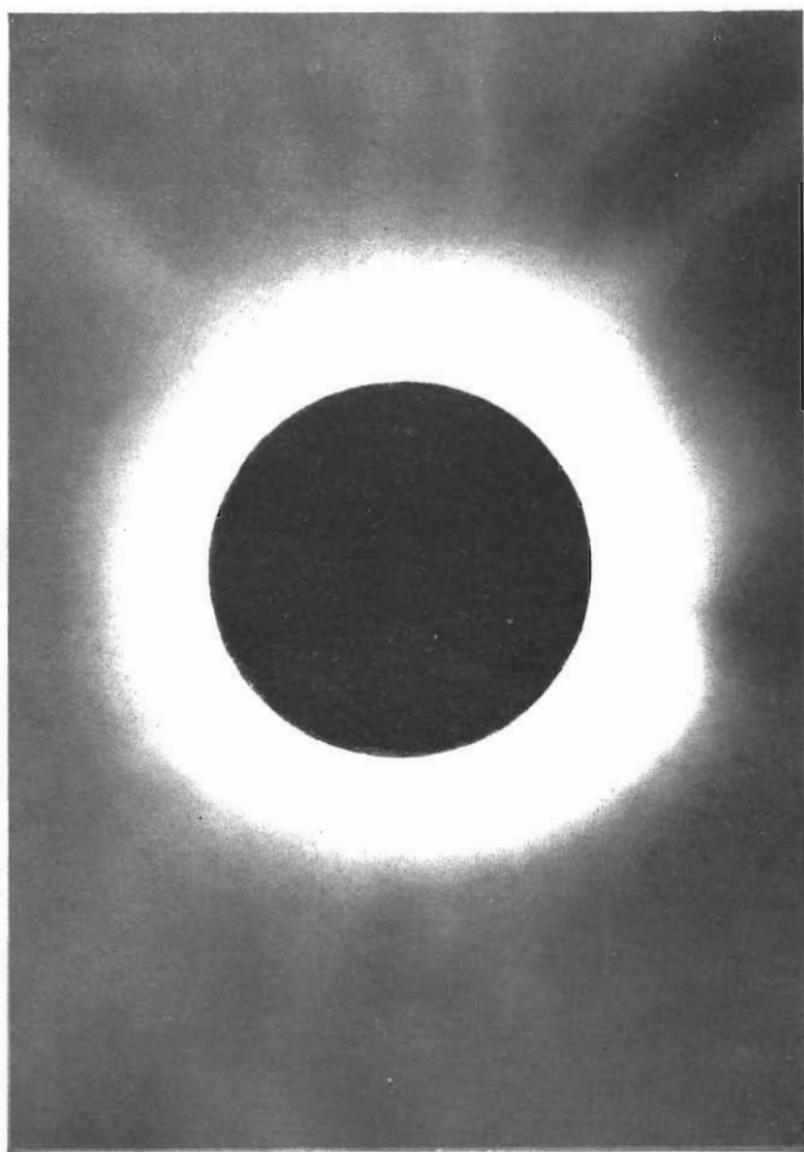
Dall'esame di fotografie di eclissi si può rilevare un fatto molto importante, di particolare significato; si tratta cioè della variazione riscontrata sia nella forma che nelle caratteristiche della corona solare in relazione



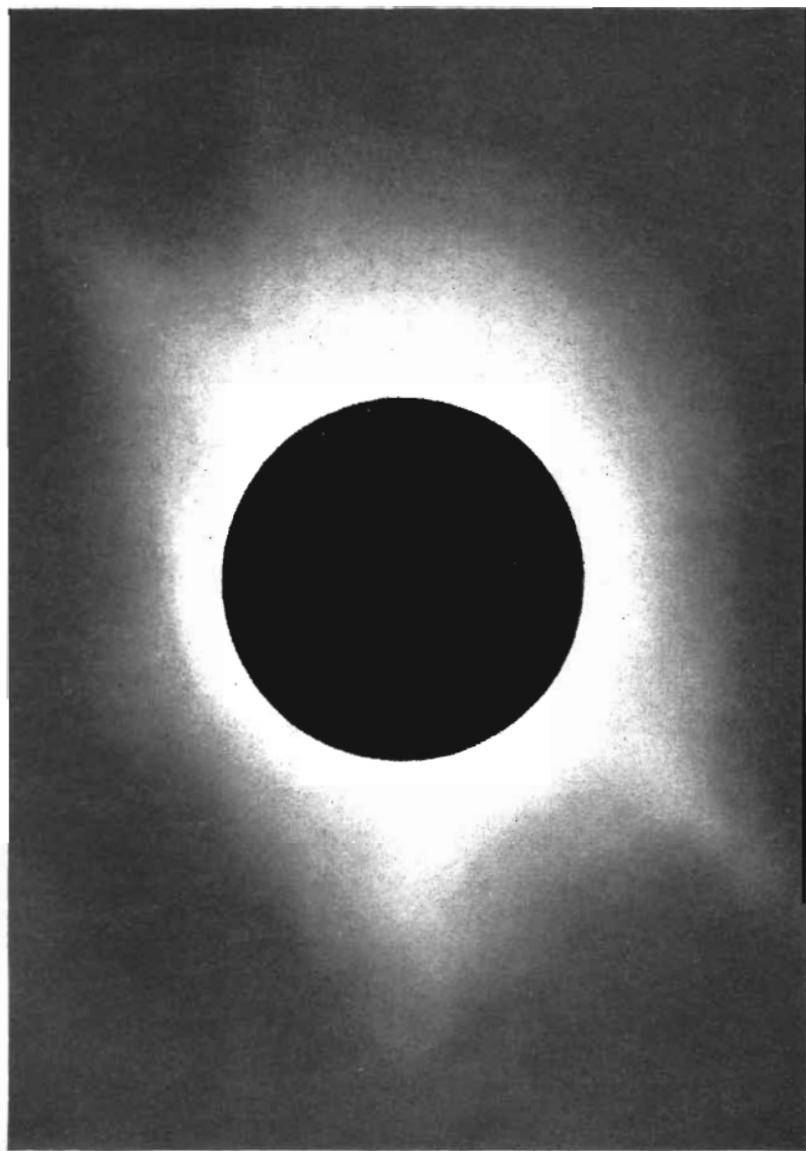
63. Nebulosa spirale nella costellazione della Vergine, con una fascia di materia oscura assorbente. (Osservatorio di Monte Wilson.)



61. Nebulosa spirale nell'Orsa Maggiore. (N. G. C. 3031.)



65. Corona solare in vicinanza di un massimo di macchie solari.
Sumatra 1929. (Spedizione Swarthmore.)



66. Corona solare in vicinanza di un minimo di macchie solari.
Walfal Australia, 1922. (Osservatorio di Lick.)

allo svolgersi del ciclo delle macchie solari. In periodi di massima attività delle macchie, la corona è disposta simmetricamente intorno al disco solare, come in figura 65; invece in periodi d'attività minima la corona si estende maggiormente nella direzione dell'equatore solare e si restringe in vicinanza dei poli (fig. 66). Questo comportamento ciclico della corona fa pensare che esista una relazione fra la sua luminosità e l'attività del Sole. Dallo studio dei pennacchi coronali, su fotografie di notevole ingrandimento, sembra si possa confermare l'ipotesi che queste irradiazioni seguano le linee di forza del campo magnetico del Sole e che possano essere dovute alla ionizzazione che avviene nella scia di particelle cariche, che si muovono vorticosamente lungo le linee di forza magnetica.

Una radiazione misteriosa, caratterizzata da una intensa riga verde nello spettro della corona solare, è stata attribuita ad un ipotetico elemento chiamato coronio, e ciò a cagione della seria difficoltà di classificare questa riga dello spettro fra quelle proprie dei corpi semplici conosciuti. Le moderne teorie sulla struttura atomica non consentono però oggi di ritenere che tale ipotetico elemento possa esistere. La misteriosa radiazione è invece probabilmente dovuta all'eccitazione di un atomo ionizzato di qualche elemento semplice già conosciuto.

Molto recentemente Adams e Joy, dell'osservatorio di Monte Wilson, hanno scoperto che la radiazione proveniente dalla stella variabile RS di Ophiuchi ha le stesse caratteristiche di quella coronale. Conosciamo perciò oggi almeno un'altra stella, oltre al Sole, che emana questo stesso genere di radiazione. In quanto alla stella RS Ophiuchi, la cui esistenza era da tempo conosciuta, de-

stò notevole interesse il fatto che nell'estate del 1933 la sua brillantezza aumentò tanto da passare dalla categoria delle stelle variabili, in quella delle stelle nuove o « novae ». E fu in seguito alla sua improvvisa esplosione nell'agosto del 1933 che si notarono nel suo spettro le stesse righe dello spettro della corona solare.

Ancora piú recentemente si è avuta notizia dall'osservatorio della Harvard University che Menzel e Boyce hanno identificato la riga verde dello spettro coronale con quella emessa dall'atomo di ossigeno in un particolare stato di transizione. Cosí risulta che l'ossigeno, al quale sarebbe dovuta la riga verde aurorale e quella verde, una volta cosí misteriosa, dell'ipotetico nebulio, sarebbe pure la causa della riga verde dello spettro coronale.

Un altro argomento a favore dell'esistenza di una nube di materia cosmica intorno al Sole è offerto dal comportamento delle comete. È arcinoto che le code delle comete sono sempre rivolte in direzione opposta al Sole. Si è supposto di solito che la coda di una cometa sia costituita da materia derivante dalla disintegrazione del suo nucleo e che i gas e le particelle emesse da quest'ultimo vengano respinte dal Sole per via della pressione di radiazione.

Al principio del nostro secolo, Hull e Nichols nonché Lebedew, avevano dimostrato sperimentalmente gli effetti della pressione di radiazione su minutissime particelle materiali; i risultati dei loro esperimenti furono considerati atti a svelare il mistero del particolare comportamento della materia formante le code delle comete. Però s'incontra una certa difficoltà quando, sulla base della teoria della pressione di radiazione, si vogliono spiegare tutte le particolarità di comportamento

di queste parti delle comete. In certi casi ben noti, in cui una cometa era passata molto vicina al Sole, la coda fu vista scopare lo spazio per 180° nel giro di poche ore. Alle particelle di materia, che dovrebbero venire emesse dalla testa della cometa per ricostituire con tale rapidità una coda lunga oltre 150 milioni di chilometri, si richiederebbero in queste circostanze velocità estremamente elevate, quali non si possono immaginare.

Indagini molto diligenti di Bobrovnikoff sul movimento della materia nella coda di certe comete, hanno dimostrato che le particelle materiali s'allontanano dalla testa della cometa con una velocità non superiore ai 100 chilometri al secondo. Dalle ricerche di questo studioso è anche risultato che le accelerazioni impresse a queste particelle di materia, in direzione centrifuga rispetto al Sole, sono dovute a forze repulsive fino a due-mila volte più intense della forza di attrazione gravitazionale del Sole sulla cometa a quella data distanza.

Queste conclusioni sono perciò difficilmente conciliabili con una spiegazione in base alla pressione di radiazione. Siccome la pressione di radiazione dipende dall'area superficiale della particella ed invece l'attrazione gravitazionale del Sole dipende dalla massa della materia che costituisce la particella, è evidente che, per una data densità, la forza repulsiva dovuta alla radiazione e la forza attrattiva dovuta alla gravitazione diminuiranno entrambe col diminuire delle dimensioni della particella, finché l'area offerta alla pressione di radiazione compensa la diminuita massa, dalla quale dipende l'attrazione gravitazionale. Siccome l'area diminuisce col quadrato del raggio e il volume col cubo, si può calcolare qual è il valore limite della grandezza della particella, per il quale la pressione di radiazione

equilibra la gravitazione. Questa dimensione limite per una particella sferica di densità uno corrisponde a un diametro di un po' piú di un millesimo di millimetro, ossia ad un valore un po' maggiore del doppio della lunghezza d'onda di una radiazione luminosa. Quando la grandezza della particella diminuisce oltre tale valore limite, la forza repulsiva, dovuta alla pressione luminosa, aumenta sempre piú in confronto alla forza attrattiva esercitata dal Sole. Per un diametro della particella eguale a 0,00024 mm, il rapporto della pressione di radiazione alla forza di attrazione gravitazionale è massimo. Diminuendo il diametro oltre questo valore critico, l'effetto della pressione luminosa diminuisce rapidamente. È però difficile immaginare l'esistenza di una materia qualsiasi, per la quale possano verificarsi gli eccezionalmente elevati valori del suddetto rapporto fra la pressione di radiazione e l'attrazione gravitazionale, riscontrati in certe comete.

D'altra parte parecchie di queste difficoltà scomparirebbero attribuendo la luminosità della coda all'eccitazione di una nube cosmica di pulviscolo e gas da parte di elettroni o forse di una radiazione gamma proveniente dalla testa della cometa. In tal caso il cambiamento di direzione della luminosità caudale si verificherebbe in seguito al cambiamento di direzione dell'emissione elettronica. Una tale ipotesi potrebbe inoltre dare ragione degli improvvisi cambiamenti nell'illuminazione e nella forma della coda come sono stati spesso osservati nei casi delle comete di Morehouse nel 1908, di Rordame nel 1893 e di Swift nel 1892. Barnard notò fluttuazioni di breve periodo nella brillantezza nella coda della cometa di Morehouse, che gli fecero ricordare le variazioni in luminosità dei bagliori aurorali. La teo-

ria della pressione di radiazione a nulla giova nel tentare di spiegare questi misteri. Invece un'irregolarità nell'emissione di elettroni o radiazioni ionizzanti da parte della testa della cometa potrebbe essere un fattore importante su cui basarsi per spiegare tali anomalie. Non va inoltre dimenticata la parte che potrebbe venire esercitata da emissioni solari o radiazioni ultraviolette sulla ionizzazione della materia costituente la coda della cometa.

Hulburt e Maris hanno recentemente richiamato l'attenzione sulla corrispondenza da essi riscontrata fra violenti cambiamenti in certe comete e il verificarsi di tempeste magnetiche sulla Terra e fanno l'ipotesi che questi fenomeni concomitanti sieno dovuti alla radiazione ultravioletta del Sole. I primi dati in proposito, basati principalmente sul comportamento della cometa di Morehouse del 1908, sono stati più recentemente confermati dalla relazione tra le perturbazioni magnetiche che si sono trovate registrate nella raccolta di dati magnetici compilati a Göttingen e a Praga e le variazioni riscontrate nell'aspetto della cometa di Halley del 1835 e delle grandi comete del 1843 e del 1847.

Però i dati offerti dal comportamento di due o tre comete non potrebbero essere sufficienti a confermare o a svalutare una data teoria. È quindi ora in corso di preparazione presso l'osservatorio di Perkins da parte del dott. Bobroviff un elenco completo di tutti i dati astrofisici riguardanti le comete conosciute, di modo che tutte le cognizioni disponibili in argomento potranno essere prontamente utilizzate per la soluzione di parecchi di questi problemi cosmici. Finché questo materiale non sarà stato raccolto, non si potrà decidere quale sia l'ipotesi più plausibile che debba essere accettata.

Un altro fatto, tuttavia, nel comportamento delle comete, sembra confermare che molta della materia resa visibile nelle code piú lunghe esista per suo proprio conto nello spazio intorno al Sole. Si tratta del fatto che le stelle di debole luminosità non risultano offuscate dal passaggio delle code delle comete davanti ad esse. Se la materia cui si attribuisce la luminosità della coda esiste già nello spazio intorno a noi, allora le stelle, che si scorgono attraverso tale materia, risplenderanno sempre con la stessa intensità, sia che la materia sia illuminata o no. Sappiamo che la densità della materia nelle code delle comete deve essere tenuissima. Calcoli fatti nel caso della cometa di Halley hanno mostrato che in media la quantità di materia contenuta in circa 8000 km^3 della coda non era maggiore di quella che era contenuta in circa 16 cm^3 di aria ordinaria.

Se il sistema solare si trovasse immerso in una nube cosmica di estensione indefinita, le stelle apparirebbero meno luminose coll'aumentare della loro distanza dalla Terra. Se invece supponiamo che la nostra nube abbia un'estensione limitata a poche centinaia di anni luce, solo quelle stelle che si trovano entro questa distanza dovranno manifestare una diminuzione della loro brillantezza col crescere della distanza dalla Terra. Tutte le stelle situate ad una distanza maggiore del raggio di questa nube locale dovrebbero subire un offuscamento costante dipendente dalla capacità di oscuramento della nube.

Sembra a mala pena possibile che l'effetto d'una nube oscura locale sia piú generale di quanto supposto e che per questa ragione le distanze di sistemi stellari lontani, calcolate in base a misure fotometriche, nell'ipotesi che il fattore di oscuramento fosse trascurabile,

debbano venire sottoposte a revisione. Una sorgente di errore per gli astronomi, che studiano lontani sistemi galattici, è quella dovuta al fatto che tali sistemi appaiono relativamente piccoli in confronto al diametro della nostra Galassia. Potrebbe darsi che le estreme propaggini di questi lontani sistemi galattici contengano realmente materia luminosa non ancora visibile nei nostri telescopi, e ciò a causa dell'assorbimento esercitato dalle loro proprie nubi cosmiche e da quelle circondanti il nostro stesso sistema galattico. Recenti indagini, fatte negli osservatorî di Monte Wilson e della Harvard University, fanno ritenere che si potrebbero in tal modo estendere i diametri delle lontane nebulose spirali dal 50 al 100 per cento.

Un altro argomento molto plausibile a conferma dell'esistenza di materia interstellare, è la presenza quasi universale di righe scure di assorbimento di atomi ionizzati di calcio negli spettri di molte stelle. Queste righe tradiscono la loro origine interstellare per il fatto che non cambiano la loro posizione nello spettro di una data stella con l'avvicinarsi o l'allontanarsi di questa rispetto alla Terra. Righe d'assorbimento sono state trovate anche per il sodio, che risulta pure essere uno degli elementi piú importanti delle nostre nubi interstellari.

Eddington ritiene che entro lo spazio occupato dal nostro sistema galattico ci debba essere in media un atomo di calcio per ogni 16 cm^3 circa. La presenza di atomi di calcio negli spazi intersiderali spiega la ragione dell'assorbimento selettivo della luce, di cui sono testimoni le righe scure del calcio nello spettro delle stelle. Queste righe si possono distinguere da quelle dovute al calcio diffuso nell'atmosfera di una data stella per il fatto che, se la stella si muove nello spazio avvicinandosi o

allontanandosi rispetto alla Terra con notevole velocità, la lunghezza d'onda delle righe del calcio soggetto a movimento è diversa da quella delle righe d'assorbimento della materia fissa interstellare. Ammessa l'esistenza di questi corpuscoli diffusi per tutto lo spazio, sembra ragionevole supporre che maggiori agglomerazioni di materia opaca ed assorbente possano impedire il passaggio della luce proveniente da stelle più distanti. Il fatto poi di avere Eddington dimostrato che le stelle appaiono solo un decimo così luminose di quello che dovrebbero essere in base a considerazioni teoriche, è un'ulteriore prova che l'offuscamento della loro luce è dovuto all'interposizione di materia cosmica.

Qualunque cosa possano rilevare ulteriori ricerche sulla materia interstellare, sembra però ragionevole ammettere fin d'ora che, migrando nella Galassia, il nostro sistema planetario debba spesso incontrare estese nubi di materia cosmica del genere di quelle riscontrabili osservando la Via Lattea. È interessante esaminare l'effetto che può risentire la Terra da tale incontro. Se la nube è di notevole densità, è evidente che la temperatura della Terra dovrebbe subire un notevole abbassamento. Da osservazioni della radiazione solare è risultato che in anni di grandi eruzioni vulcaniche la quantità di calore ricevuta dalla Terra da parte del Sole è stata notevolmente inferiore al normale. Notevoli esempi di questo genere si sono verificati in occasione di eruzioni dei vulcani Krakatoa, Pelée e Katmai. Nel 1883 il Krakatoa lanciò in aria molte tonnellate di polvere e ceneri con sí formidabile energia che finissime particelle erano ancora diffuse nei superiori strati dell'atmosfera parecchi mesi dopo l'eruzione. Trasportato dalle alte correnti aeree, il pulviscolo a poco a poco si sparpagliò per l'inte-

ro globo terrestre, causando per molti mesi tramonti straordinariamente rossi. Le particelle di pulviscolo devono avere agito come uno schermo per la radiazione del Sole e ad esse fu probabilmente dovuta la diminuzione di calore solare, che raggiungeva la Terra dopo l'eruzione. Incidentalmente aggiungiamo che la catastrofe dell'eruzione del Krakatoa fu così violenta che, quando metà del vulcano franò nello stretto della Sonda, il fenomeno fu accompagnato da un'onda marina che trasportò una nave da guerra olandese nell'interno dell'isola di Sumatra fino a circa due chilometri e mezzo dalla riva a un'altezza di 15 metri superiore al massimo livello mai raggiunto di alta marea.

Se il relativamente piccolo disturbo prodotto dalle ceneri vulcaniche diffuse negli strati superiori dell'atmosfera può far diminuire in modo notevole la temperatura della Terra, è chiaro che l'incontro con una nube di polvere cosmica di una certa densità potrebbe avere per conseguenza un offuscamento ben più notevole della radiazione solare, in misura tale da abbassare la temperatura della Terra per un tempo sufficiente al formarsi di ghiaccio e neve in quantità tanto grande da renderne poi impossibile lo scioglimento durante l'estate. E questa è almeno una spiegazione cosmica plausibile del verificarsi di periodi glaciali nella storia geologica della Terra.

Può aggiungere interesse a questo quadro anche la considerazione che la grande regione nebulare, che circonda la costellazione di Orione, non è lontana da quella parte del nostro sistema galattico dalla quale il Sole sta ora provenendo. Una delle masse più oscure di nebbia cosmica che si sono mai fotografate è quella a forma di testa di cavallo a Sud della stella ζ di Orione.

Siccome questa nube di materia opaca offusca la luce di molte stelle retrostanti, è facile dedurre che essa deve trovarsi relativamente vicina a noi, nella scala delle distanze galattiche. Le stelle all'intorno si considerano essere ad una distanza di circa 150 anni luce. Sembra probabile che la distanza della nube di materia opaca possa essere ancora minore, poiché non abbiamo un mezzo diretto per conoscere in qual misura la luce delle stelle vicine può essere offuscata da materia opaca. Siccome l'intera regione nebulare d'Orione copre un'area di circa 12° , la distanza dalla Terra al limite di questa grande nube opaca può essere soltanto una piccola frazione della suddetta distanza.

Sembra perciò possibile che nelle epoche glaciali il Sole stesse attraversando regioni spaziali dove esistevano enormi estensioni di questa materia cosmica. Se la densità di tale materia era sufficientemente grande, essa può aver agito in modo da diminuire la temperatura sulla Terra, schermando la radiazione solare così come in scala ridotta agiscono le nubi di ceneri vulcaniche. Shapley ha affacciato l'ipotesi che la presenza di tale materia nelle immediate vicinanze del Sole possa aver direttamente influenzato l'emissione dal Sole nelle diverse ère geologiche. La geologia c'insegna che attualmente la Terra sembra uscire dall'ultima epoca glaciale e che ci siano riservati per il futuro climi più miti. Quanto tempo debba passare prima che il Sole, viaggiando nel sistema galattico, incontri di nuovo una vasta regione di nebbia interstellare, è cosa che nessuno potrebbe predire.