

IL MONDO IN CUI VIVIAMO

ARNOLDO MONDADORI EDITORE

IL MONDO IN CUI VIVIAMO



ARNOLDO MONDADORI EDITORE

IL MONDO IN CUI VIVIAMO

a cura

delle Redazioni di LIFE e di EPOCA
e di LINCOLN BARNETT

*

© Arnoldo Mondadori Editore: 1956

*

© 1952, 1953, 1954, 1955 BY TIME INC.

ALL RIGHTS RESERVED BY INTERNATIONAL AND
PAN-AMERICAN COPYRIGHT CONVENTIONS.
THIS TRANSLATION HAS BEEN AUTHORIZED BY TIME INC.

SOMMARIO

NASCE LA TERRA

La sfera di fuoco - L'origine dei pianeti - Appaiono i continenti - Il diluvio forma gli oceani - Sorgono le montagne - La marcia dei ghiacciai.

IL MIRACOLO DEL MARE

Il pianeta delle acque - L'esplorazione degli oceani - Il profilo degli abissi - Le grandi correnti - Le maree e le onde.

IL VOLTO DELLA TERRA

Il globo senza pace - La terraferma si muove - Come sorgono le montagne - Come si consumano le montagne - L'acqua modella e distrugge - L'azione del vento - L'azione dei ghiacciai - Creazione e distruzione.

LA CUPOLA D'ARIA

L'oceano atmosferico - L'origine dell'aria - Anatomia dell'aria - Arcobaleni e aurore boreali - La girandola dei venti - Perché varia il tempo - Perché piove - Come nascono le nuvole.

IL MATTINO DELLA VITA

Le leggi dell'ereditarietà - Le prime creature - I mari si popolano - La terra si riveste di verde - Dagli anfibi ai rettili - L'età d'oro dei dinosauri - I rettili tornano al mare.

L'ERA DEI MAMMIFERI

I mammiferi scendono dagli alberi - Lotta per il predominio - Appare la fauna moderna - Gli abitanti delle pianure - I giganti e i ghiacci.

LE CREATURE DEL MARE

Le regioni dell'oceano - Il regno della notte perenne - I nuotatori del mare aperto - Gli abitanti del fondo - Difesa e mimetismo - Sistemi di locomozione - I pascoli del mare - La lotta per il cibo - Vita e morte nel mare.

LA BARRIERA DI CORALLO

I palazzi sottomarini - La grande barriera australiana - Un mondo multicolore - Gli artigiani della scogliera - Gli ospiti invertebrati - Gli ospiti vertebrati - I pesci armati di veleno.

IL DESERTO

La terra del sole - Il profilo del deserto - Gli animali del mondo senz'acqua - Le cause del miraggio - Il deserto di giorno - Il deserto di notte - Quando cade la pioggia - E il deserto fiorirà.

LE LANDE ARTICHE

Il deserto freddo - I vagabondi della tundra - Geometrie del suolo - La vita d'inverno e d'estate - La tundra fiorisce - La tundra e l'uomo.

LA FORESTA TROPICALE

Un mare di verde - Il profilo della foresta - Le creature dell'ombra - Il suolo della foresta - Le fondamenta - Gli acrobati delle cime - I giardini pensili - Le scimmie urlatrici - Produttori e consumatori - Il cimitero della foresta.

LA VITA NEI BOSCHI

Le piante delle zone temperate - Gli abitanti dei boschi - Il ruscello nel bosco - La piena estate - Il suolo vivente - Il bosco alato - I fuochi dell'autunno - Il sonno dell'inverno.

L'UNIVERSO STELLATO

La vastità del Cosmo - I nostri vicini nello spazio - L'armonia delle sfere - La Via Lattea e le sue compagne - Gli universi-isole - Le nubi cosmiche - Vita e morte delle stelle - L'Universo in espansione.

EPOCA

presenta

Il mondo in cui viviamo

Dal momento in cui ha fatto la sua prima apparizione sulla Terra, circa mezzo milione di anni fa, l'uomo si è posto innumerevoli domande sull'Universo in cui vive, sul pianeta da lui abitato, sulle forze della natura che lo circondano, sulla misteriosa origine della vita e delle creature che popolano il nostro globo. « Il mondo in cui viviamo », l'eccezionale documentario scientifico del quale iniziamo la pubblicazione, offre una risposta a ciascuna di queste secolari domande. Esso è il frutto di tre anni di lavoro di un gruppo di illustri scienziati e di artisti famosi ed è stato studiato in modo da presentare ai lettori, in forma chiara e con immediatezza visiva, attraverso 300 grandi tavole a colori e centinaia di fotografie, la storia dell'Universo, della Terra e delle creature che l'abitano. È la prima volta, nella storia del giornalismo, che un esperimento del genere viene tentato su così larga scala e con tanta ricchezza di mezzi. Ed è la prima volta che il pubblico potrà avere dell'evoluzione terrestre un'immagine che finora nessun mezzo espressivo era riuscito a dargli. « Il mondo in cui viviamo » si compone di materiale illustrativo di eccezionale vigore, tale da illuminare visivamente al lettore ogni aspetto della materia trattata, e di un testo scritto dal celebre studioso Lincoln Barnett, l'autore del volume *L'Universo e il dottor Einstein*, nel quale ha dimostrato la sua straordinaria capacità di rendere semplici ed accessibili gli argomenti scientifici più complessi. Questo ampio documentario sarà pubblicato da *Epoca*, in sedici puntate, ciascuna delle quali farà « corpo a sé » nella rivista in modo da poter essere staccata e conservata. « Il mondo in cui viviamo » rappresenta un avvenimento giornalistico e culturale della cui importanza sarà il pubblico stesso a giudicare: *Epoca* è lieta di iniziarne la pubblicazione nella ricorrenza del quinto anniversario della sua fondazione.

Nasce la Terra

Prigioniero delle città d'asfalto, dominato dagli impulsi e dalle proprie necessità, l'uomo di solito ignora il sistema che regola il mondo in cui vive. Soltanto in rari momenti, quando si trova di fronte allo spettacolo del cielo stellato, magari al mare, o sotto il chiaro di luna che splende su una prateria, o in un paese straniero, egli si ferma a contemplare l'universo che lo circonda e se ne meraviglia.

Meravigliarsi fa parte della sua stessa natura. Fu in cima a una collina primordiale, quasi mezzo milione di anni or sono, che il primo uomo rivolse gli occhi al cielo e si meravigliò. In quel momento, egli andò al di là di se stesso, si distaccò da tutti gli altri animali viventi. In quel momento era nato lo spirito di ricerca dell'uomo, la scintilla iniziale della sua filosofia, della religione, della scienza. I suoi primi disegni, scalfiti sulle pareti rocciose delle caverne, rivelano ciò che egli conosceva del mistero dell'esistenza. In ciò che la natura aveva di regolare (l'alternarsi dei giorni e delle stagioni) e in ciò che aveva di irregolare (le improvvise tempeste e le eruzioni dei vulcani) vedeva la volontà di esseri soprannaturali. Soltanto ieri (poiché i secoli di storia da noi conosciuti sono lo ieri, paragonati a mezzo milione d'anni) l'uomo è entrato in possesso della chiave capace di aprirgli i segreti del mondo. Questa chiave è rappresentata dal concetto della causalità, che gli ha suggerito di cercare la spiegazione dei fenomeni naturali nelle cause naturali.

Oggi sembra incredibile che l'uomo sia riuscito a penetrare al di là delle apparenze del mondo visibile. Ai suoi occhi la terra si mostrava piatta. Il suolo sul quale camminava sembrava fermo. In che modo riuscì ad immaginare se stesso avvinghiato alla superficie di una sfera che gira intorno al Sole alla velocità di circa 33 chilometri al secondo e procede nello spazio ai limiti della Via Lattea a una velocità di circa 275 chilometri al secondo, scivolando, tuffandosi tra le stelle, e compiendo altri complessi ed eccentrici movimenti?

L'uomo non ha potuto far altro che congetture, in ogni epoca. Gli antichi egizi immaginavano l'Universo come un'enorme stanza: la terra ne era il pavimento, il cielo il soffitto, sostenuto da quattro grandi colonne e tappezzato la notte, per opera degli dei, dalle lampade delle stelle. Durante la miracolosa fioritura della civiltà greca alcuni uomini di grande ingegno si avvicinarono, in qualche modo, a molte delle risposte esatte. Pitagora, vissuto intorno al 530 a.C., affermò che la Terra è una sfera. Aristarco di Samo (310-230 a.C.) sostenne che essa gira intorno al Sole. Eratostene, direttore della biblioteca d'Alessandria (276-195), ne calcolò la circonferenza con un errore di soli 360 chilometri. Ma per un'ironia della storia queste scoperte sono rimaste misconosciute durante 15 secoli di guerre e di altre cose futili. Bisognò infatti attendere la grande età di Copernico, di Galileo e di Newton perché la scienza cominciasse a riscoprire le antiche verità e ad accertare l'umiltà della nostra situazione nell'Universo. Oggi sappiamo che, ben lungi dall'essere il centro del Cosmo, la nostra Terra è soltanto un satellite minore di una stella di seconda grandezza situata sul bordo della Via Lattea, che è una delle galassie dell'Universo, cioè una zona di nubi luminose formate da miriadi di stelle.

Tuttavia, con la consapevolezza dei nostri limiti, abbiamo acquistato anche la convinzione di trovarci in una situazione unica. La nostra Terra appare, sotto molti aspetti, del tutto singolare. Gli elementi solidi, di cui è composta, sono rari. Infatti il 99 per cento di tutta la materia dell'Universo è costituito dai due elementi più leggeri, l'idrogeno e l'elio. Tutti gli altri elementi messi assieme formano solo l'uno per cento dell'intera sostanza. Poiché la temperatura cosmica va dai 20.000.000° C. dell'interno delle stelle allo zero assoluto (-273° C.) degli spazi siderali, è logico pensare che l'universo materiale sia composto quasi interamente di gas altamente ionizzati ed allo stato instabile. Solo in poche zone temperate dello spazio, come la nostra orbita, la materia può liquefarsi in modo da formare cose rare come l'acqua, gli animali e le piante.

Appunto per l'apparente singolarità e solitudine del nostro pianeta in un universo ostile sorgono le domande più profonde: Come fu creata la Terra? Quando cominciò la sua vita? Qual è il suo destino? Il concetto di un universo che esista per caso e che non abbia un'origine né un destino non può essere accettato dall'uomo, che vive nella dimensione del tempo. L'uomo ha sempre postulato una creazione e la Genesi ne parla con accenti universali nella sua frase iniziale: «Nel principio Iddio creò il Cielo e la Terra. E la Terra era una cosa deserta e vuota; e le tenebre erano sopra la faccia dell'abisso...». Nell'affrontare queste domande estre-

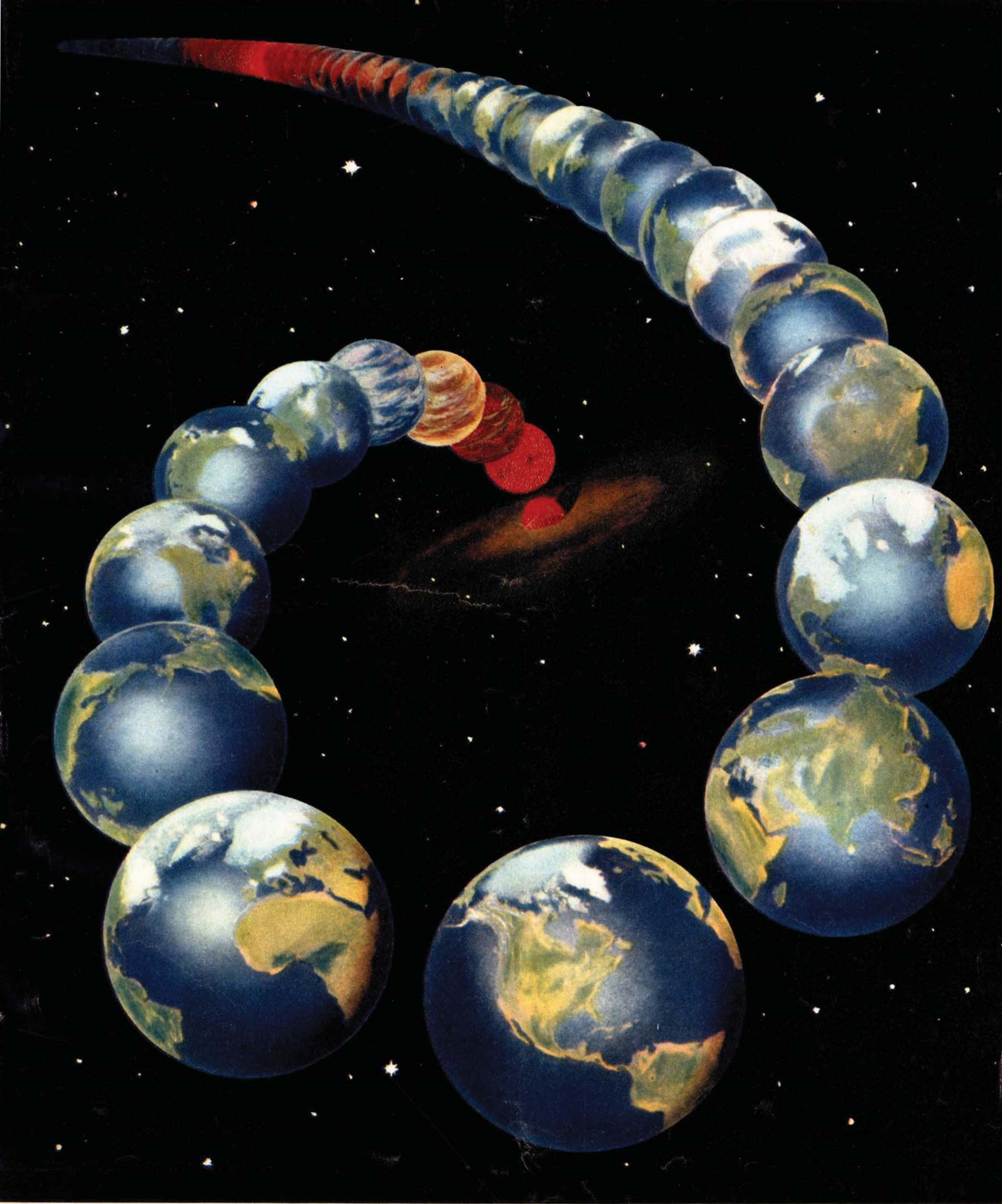
me, la moderna cosmogonia penetra in quello che un tempo fu il regno della religione. Ciò che colpisce è il fatto che oggi le spiegazioni della cosmogonia e della religione tendono a convergere. Ed ogni mistero, che la scienza risolve, rivela l'esistenza di un nuovo mistero al di là di esso.

Egocentrico com'è, l'uomo ha ritenuto, per gran parte della sua breve storia, che il proprio pianeta fosse di poco più anziano di lui. E spesso non ha tenuto abbastanza conto degli indizi che periodicamente venivano alla luce: resti di fossili sulle rocce, forme definite di vita diverse da quelle contemporanee o stranamente fuori posto. Nel 450 a.C. Erodoto, dalla presenza di scheletri fossilizzati di pesci nel cuore del deserto del Libano, dedusse giustamente che un tempo il Mediterraneo doveva estendersi su una superficie molto più vasta di quella odierna. Duemila anni dopo Leonardo da Vinci scoprì analoghi resti anche in Italia e giunse alla medesima conclusione. Ma nel 1654 l'arcivescovo irlandese Ussher annunciò con sicurezza che il suo studio delle Sacre Scritture lo aveva portato a concludere che la creazione aveva avuto luogo nell'anno 4004 a.C., il 26 ottobre, alle 9 antimeridiane. Per più di un secolo questa data conservò un carattere ufficiale, al punto che veniva considerata eresia supporre che la Terra fosse nata in un periodo antecedente. Le scoperte di fossili venivano deprecate come espedienti del demonio per trarre l'uomo in inganno e, poiché esse diventavano sempre più frequenti, si arrivò alla conclusione che si trattasse dei «resti della razza perita durante il Diluvio».

All'inizio del secolo XIX pochi pionieri fecero compiere i primi passi a una nuova scienza: la geologia. Scavando lungo i fianchi delle colline e nelle vallate dove le correnti avevano aperto gole profonde, essi portarono alla luce antichi strati di rocce e non tardarono ad accorgersi che esisteva una relazione tra i diversi strati e i fossili in essi contenuti. I resti delle piante e degli animali erano caratteristici per ciascun livello e differivano da uno strato all'altro. Così a poco a poco, seppure in maniera ancora nebulosa, si cominciò a intravedere nel tempo secondo un'ampia prospettiva nella quale prendevano rilievo profondi cambiamenti di clima, di topografia, di vita. Non si sarebbero potuti spiegare in maniera diversa la presenza di ossa di balene sulle colline del Vermont, i depositi marini sulle pianure del Kansas e le tracce di un'età glaciale in Australia e nel Brasile. Nel 1858 l'epico lavoro di Darwin non solo rivelò che la vita terrestre è stata soggetta a un'evoluzione irreversibile, ma fornì una cronologia geologica secondo un sistema coerente. Così il calendario dei fossili ha fatto retrocedere il tempo della creazione di milioni di anni.

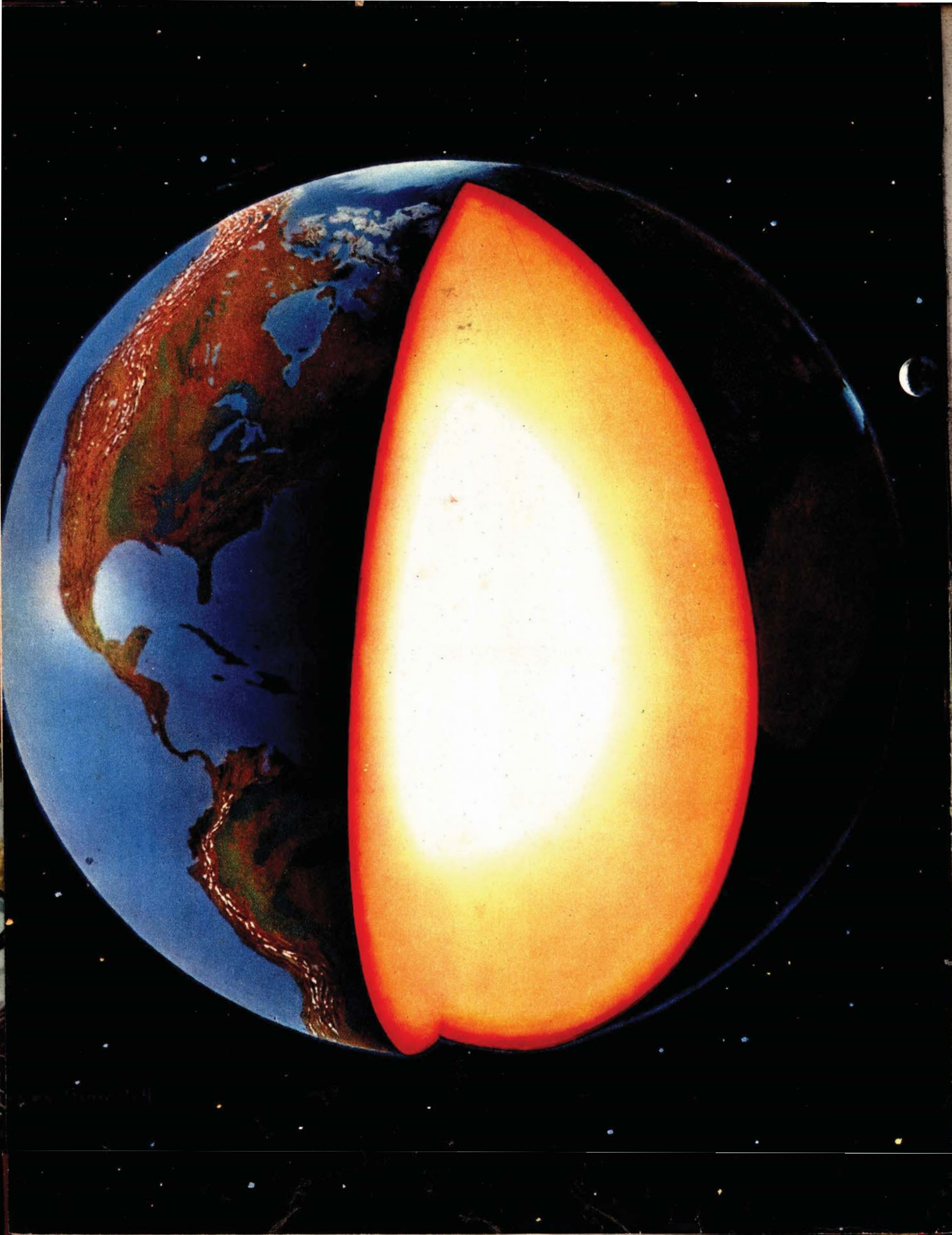
La lettura delle rocce restava, tuttavia, un compito molto arduo. La registrazione del passato incisa sulla faccia accidentata, profondamente segnata della Terra, spesso era stata resa incerta o addirittura cancellata dallo scorrere dei ghiacci, dall'erompere della lava vulcanica, dall'erosione provocata dalla pioggia e dal gelo. Fu solo con la scoperta della radioattività, avvenuta intorno al 1900, che l'età della Terra poté essere stabilita con un'approssimativa precisione. Infatti gli elementi radioattivi, come l'Uranio, il Torio e il Radio, perdono le loro caratteristiche entro periodi fissi, che sono indipendenti dalla temperatura, dalla pressione e da ogni altra influenza esterna. Ognuno di questi elementi, in un determinato periodo di tempo, perde una quantità di atomi definita ed è pertanto soggetto a una lunga serie di trasmutazioni che si svolgono secondo un ritmo fisso, a noi noto, e si concludono con la trasformazione in atomi di piombo. Per esempio, un grammo d'Uranio produce 1/7.600.000.000mo di grammo di piombo all'anno. È possibile perciò calcolare la quantità di Uranio che esiste in un pezzo di roccia e confrontarla con la quantità del suo residuo di piombo, arrivando così a calcolare il tempo in cui si formò il deposito.

Accurate analisi, condotte sulle rocce radioniche in tutte le parti del mondo, hanno portato a stabilire che le più antiche di esse, situate nel Sud Africa, risalgono a due miliardi e mezzo di anni or sono. La conclusione che ne è stata tratta è che la crosta della Terra si solidificò circa tre miliardi di anni or sono. Tutte le altre indagini compiute su questo problema, come ad esempio i calcoli sulla quantità di sale contenuta nell'oceano confrontata con la quantità di sali convogliata annualmente dai fiumi verso il mare, o come i recenti studi sulla combustione stellare e i movimenti galattici, portano alla conclusione che vi è stato un principio, una creazione situata nel tempo. La data cade sempre entro questi limiti: non meno di due miliardi d'anni e non più di quattro o cinque. Perciò la Terra non è esistita sempre ed è molto più antica di quanto l'uomo, ingannato dalla sua breve prospettiva temporale, abbia finora immaginato.



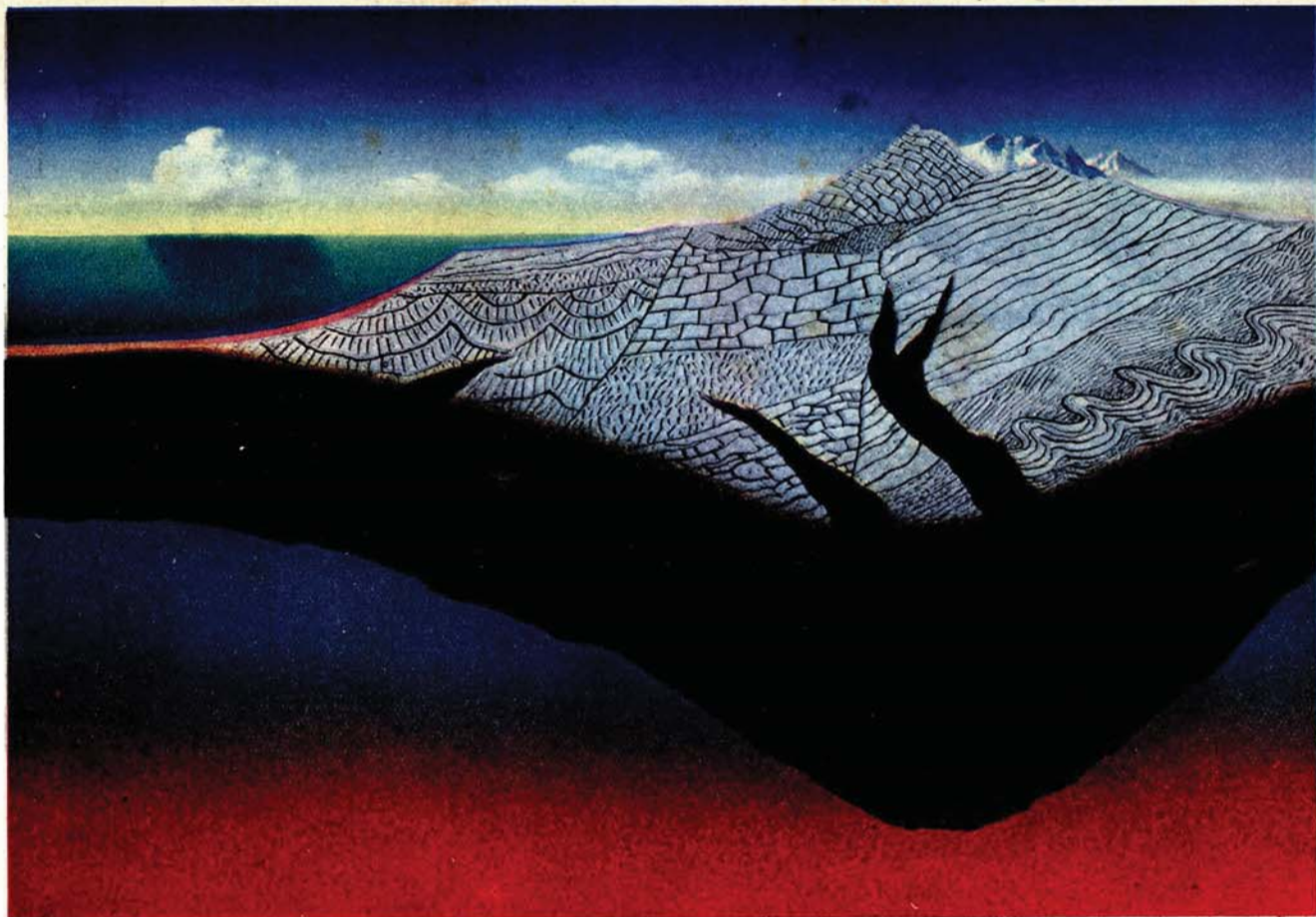
LA VITA DELLA TERRA è qui raffigurata nel suo passato e nel suo futuro. Al centro vediamo il pianeta nascere dalla nube di pulviscolo cosmico, condensarsi, raffreddarsi e solidificarsi al di fuori dell'originaria nube solare. Per tre miliardi d'anni si succedono epoche di nascita delle montagne ed ere glaciali.

In primo piano la giovane Terra come appare nel suo aspetto attuale. Ma a mano a mano che s'allontanerà nel tempo e nello spazio il suo aspetto si trasformerà. Alla fine, dopo una serie di apocalittiche esplosioni solari, il nostro globo sarà trasformato in una sfera incandescente e la vita sarà distrutta.



L'INTERNO DELLA TERRA (nella pagina a sinistra) ha una struttura simile a quella di un frutto titanico: se potessimo tagliare una fetta del globo, ci apparirebbero un guscio esterno formato da una crosta di roccia spessa 15-30 chilometri, una seconda scorza interna di circa 3.000 chilometri e un nucleo centrale formato da una sfera di ferro fuso grande il doppio della Luna.

LA CROSTA TERRESTRE (a destra) consiste di due strati: quello superiore è composto principalmente di granito, dal quale sono formati i continenti. Quello inferiore è di basalto, una roccia nera più pesante del granito. Le radici delle montagne raggiungono le rocce incandescenti dell'interno. Le diramazioni del basalto nel granito sono vecchie aperture vulcaniche.



La sfera di fuoco

Se dalla domanda *quando* si passa a chiedersi *come* nacque la Terra, la scienza si inoltra in acque ancora più profonde. Lo studio delle origini deve sempre cominciare da una conoscenza dello stato attuale: ma il paradosso della geofisica è che i più grandi misteri che essa si trova ad affrontare giacciono proprio sotto i nostri piedi. I mezzi moderni di cui si avvale l'astronomia ci hanno permesso di conoscere molte cose dell'universo stellato, per un raggio di un miliardo d'anni-luce; invece la nostra conoscenza del sottosuolo si spinge a pochi metri di profondità. Il pozzo più profondo che l'uomo sia riuscito a scavare nella terra si trova nel Wyoming ed è inferiore ai sette chilometri: perciò non rappresenta che un millesimo della distanza che ci divide dal centro della Terra. È questa la ragione per cui la geofisica è attualmente la scienza meno sicura di se stessa, molto spesso basata su interpretazioni contrastanti delle testimonianze che vengono alla luce. Non c'è da stupirsi, perciò, se il concetto che l'uomo s'è fatto del centro della Terra ha assunto spesso forme fantastiche e paurose.

Un grande scienziato, l'astronomo inglese Halley, avanzò l'ipotesi che la Terra fosse una gigantesca caverna, abitata da esseri sotterranei. Gli stessi fenomeni dei vulcani, dei terremoti e dei *geyser* suggeriscono immagini spaventose su ciò che avviene al di sotto della nostra superficie. In tutte le epoche il mondo sotterraneo è stato dipinto come la destinazione dei dannati e spesso come il dominio assoluto del fuoco. Oggi quest'ultima opinione sembra confermata: l'interno della Terra non è popolato ma è estremamente caldo.

Le misurazioni del calore rilevate all'interno delle miniere e gli scandagli nella crosta della Terra indicano che la temperatura aumenta di circa 1° C. per ogni 33 metri. A poco più di tre chilometri di profondità si raggiunge il punto di ebollizione dell'acqua e a circa 50 chilometri il punto di fusione delle rocce. È a questa profondità che di solito si formano le lave dei vulcani, le quali prorompono alla superficie passando attraverso le fessure esistenti negli strati solidi superiori. Naturalmente l'aumento della temperatura non è progressivo, a mano a mano che ci si addentra verso il centro della Terra. Recenti esperienze stanno a dimostrare che gran parte del calore degli strati superiori è prodotto dagli elementi radioattivi, che sono concentrati in depositi nei pressi della superficie. È certo, tuttavia, che verso il centro della Terra la temperatura si accuisce, fino a raggiungere i 6.000° circa, press'a poco la temperatura della superficie esterna del Sole.

Il quadro generalmente accettato dai geofisici considera il nostro pianeta composto di tre principali sfere concentriche. La Terra non può essere formata all'interno dalla stessa specie di rocce che vediamo alla su-

perficie, poiché in questo caso la sua massa dovrebbe essere meno della metà di quella accertata, di 6.600 milioni di milioni di milioni di tonnellate. Si è pertanto potuto stabilire che la sua densità aumenta a mano a mano che si progredisce verso il centro. Probabilmente il centro vero e proprio si trova allo stato liquido. Tutte le congetture portano a concludere che il nucleo della Terra sia costituito da una gigantesca sfera di ferro fuso (probabilmente con l'aggiunta di nichel e di qualche altro elemento) del diametro di 6 mila chilometri e mezzo, ossia all'incirca della grandezza del pianeta Marte. Anche le proprietà fisiche di questa enorme sfera sono sconosciute, ma si ritiene che la straordinaria pressione al centro schiacci le molecole fino a formare una strana sostanza, tecnicamente definita un « liquido » ma diversa da qualsiasi altro liquido che vediamo o che possiamo immaginare.

Intorno a questa sfera liquida centrale si estende la intelaiatura interna della Terra, dello spessore di circa tremila chilometri, che viene definita « il mantello » e raggiunge quasi la superficie. Ancora una volta, in questo caso, la sismologia e le altre scienze che studiano la Terra si trovano di fronte alla necessità di stabilire quale sia l'elemento che compone questa intelaiatura. Il minerale che maggiormente risponde alle qualità richieste è l'olivina, una roccia pesante color verde oliva, composta di silicati di magnesio e di ferro. Essa ha la paradossale proprietà di presentarsi sia sotto forma rigida sia sotto forma plastica, di un bianco incandescente, all'estrema profondità, che diventa poi rosso infuocato.

Al di sopra del « mantello » è posta la sottile crosta del mondo dell'uomo, divisa a sua volta in due strati. Quello inferiore, o « basamento », ricopre il fondo degli oceani e sostiene il nostro suolo: sembra essere costituito da un'ossatura di basalto (una roccia nera che si può rintracciare spesso nella lava) il cui spessore va dai 15 ai 30 chilometri. Su questo strato si levano, simili agli *icebergs* sui mari del Nord, i continenti di granito sui quali viviamo noi. Alcuni geofisici li descrivono come « galleggianti », poiché il granito è più leggero del basalto, così come il basalto è più leggero dell'olivina e l'olivina più leggera del ferro. Sembrerà strano, ma le grandi masse di terra che noi vediamo sono costituite dai materiali più leggeri che compongono il nostro globo.

Questa strana anatomia, che ci porta a discendere verso strati composti da elementi sempre più pesanti e a trovare temperature sempre più elevate, ci fa pensare che la Terra si sia trovata un tempo allo stato liquido e che soltanto ora abbia cominciato a raffreddarsi. Mentre alcuni scienziati ritengono che la Terra fosse originariamente costituita da materia fredda che avrebbe cominciato a riscaldarsi per effetto dell'energia radioattiva, i più preferiscono accedere al punto di vista opposto. « Questo mondo è stato sempre, è ancora e sarà sempre un Fuoco eterno », disse il filosofo Eraclito, vissuto intorno al 500 a.C.



IL SISTEMA SOLARE è nato da una nube rotante di gas e pulviscolo cosmico. La forza della gravitazione spinge la nube a contrarsi. Il nucleo diventa incandescente e dà vita al Sole. Le spirali esterne divengono pianeti e lune.

L'origine dei pianeti

Pur differendo nei particolari, tutte le teorie sull'origine della Terra seguono due linee fondamentali di pensiero, ciascuna delle quali ha una lunga tradizione. Nel 1749 il naturalista francese Buffon avanzò l'ipotesi che una cometa si fosse scontrata col Sole, precipitandovi dentro e provocando enormi spruzzate di gas solare, che poi si condensarono nei pianeti. Nelle più recenti evoluzioni di questa teoria la cometa è divenuta una stella e la collisione una semi-collisione, nel senso che il Sole e l'altra stella sarebbero venuti a trovarsi a una distanza così ravvicinata che la forza d'attrazione esercitata dalla stella di passaggio avrebbe sollevato le onde di gigantesche maree nel corpo del Sole. Al momento del ravvicinamento estremo le creste di queste onde solari si sarebbero staccate, evadendo nello spazio e raffreddandosi poi fino a formare i pianeti: una metà di essi avrebbe seguito l'invasore, mentre l'altra metà sarebbe rimasta con la stella materna, il Sole.

Contro questa «teoria della marea» sta la non meno antica «ipotesi nebulari» suggerita dal filosofo Kant nel 1755 ed elaborata dal matematico francese Laplace nel 1796. Secondo questa teoria, il Sole fu circondato un tempo da una nebulosa rotante, un involucro di gas e pulviscolo cosmico, probabile residuo di una selvaggia esplosione stellare. La forza centrifuga costrinse la nebulosa a curvarsi all'equatore e a scagliare all'esterno una serie di anelli che si raffreddarono e formarono «oggetti» separati del sistema solare.

Generazioni di astronomi hanno lavorato intorno a queste due idee fondamentali, rivedendone alcuni principi e scartandone altri. La teoria che ora illustreremo fu formulata nel 1951 dall'astronomo Gerard P. Kuiper dell'osservatorio di Yerkes, dell'Università di Chicago. La maggioranza degli astronomi è oggi concorde nel ritenere che tutte le stelle siano nate da nubi primordiali di gas e di pulviscolo cosmico, vaganti a caso nello spazio. Per effetto della gravitazione, esse si ammassarono, si contrassero, cominciarono a ruotare. Le pressioni interne aumentarono e le temperature si elevarono, finché raggiunsero lo stadio finale del bianco incandescente: allora divennero stelle e cominciarono a irradiare luce. Girando vorticosamente intorno ai loro poli, molte di loro si spezzarono in due e divennero stelle binarie (doppie): esse costituiscono più della metà della popolazione stellare. Altre si divisero in tre o anche, come la nostra Stella Polare, in cinque unità che però appaiono alla vista come una sola. Tuttavia in certi casi (forse l'uno per cento) si verificarono eventi diversi. (È qui che la teoria di Kuiper si differenzia da quelle che presuppongono fenomeni rari e accidentali, come un'esplosione stellare o una semi-collisione; in base alle sue congetture è invece possibile che esista un miliardo di sistemi analoghi al nostro all'interno della Via Lattea.) In questi casi la distribuzione della materia e l'equilibrio delle forze erano tali che, invece di dividersi, alcune nubi formarono singoli nuclei. Uno fu il nostro Sole, una stella giovane e incandescente, in fase di sviluppo, posta al centro di un disco rotante di materia informe del diametro del nostro sistema solare. Mentre questo disco girava, divenendo sempre più schiacciato, l'effetto della gravità creava all'interno numerose spirali di materia più densa. Le spirali vennero a collisione fra loro, si unirono, raccolsero sempre più larghe masse di materia in aggregati sempre più vasti. Col tempo (forse ci vollero 100 milioni d'anni) le spirali maggiori si condensarono in pianeti e le minori in pianetini, in satelliti e, ai margini del disco, nelle stupefacenti comete. All'interno della spirale dalla quale si congelò la Terra se ne coagulò una più piccola, che formò la Luna.

LA PROTO-TERRA E LA PROTO-LUNA sono appena nate: il loro stesso fuoco interno le rende rosse. In questo momento del tempo cosmico la giovane Terra ha un diametro di appena 6.500 chilometri. La Luna dista dal proprio pianeta soltanto



8.000 chilometri. Esse ruotano nella nube di pulviscolo da cui si sono formate e a poco a poco, secolo dopo secolo, si appropriano della materia che le circonda e l'aggiungono al proprio volume. Enormi ammassi di materia, simili a meteoriti incan-

descenti, solcano la Terra e scompaiono rapidamente nell'interno liquido, senza lasciare traccia. Ma sul più piccolo corpo della Luna, meno riscaldato dalla contrazione gravitazionale, queste secolari ferite rimangono visibili ancora oggi.



I CONTINENTI SI RAFFREDDANO e prendono forma mentre intorno si stendono mari di rocce fuse. I blocchi di granito si congelano e si cristallizzano allo stesso modo dei banchi di ghiaccio su un mare polare. Alcuni affondano di nuovo

nella massa incandescente, altri vanno a posarsi sulle piattaforme di basalto affondate e solidificatesi al di sotto della superficie. In questa tavola si immagina che l'osservatore si trovi a circa 800 metri dalla superficie. Le rupi continentali sono

Appaiono i continenti

Nel mattino del tempo, la Terra fu una sfera informe di materia anarchica che si inoltrava nel polveroso corridoio della propria orbita. Alcuni teorici sono dell'opinione che la sostanza della quale era formata fosse fredda e umida, come la neve. I più, invece, concordano nel sostenere che, sviluppandosi, essa dovè riscaldarsi fino a divenire incandescente, sia per effetto della compressione dovuta alla gravitazione, sia a causa dell'attrito prodotto dal suo passaggio attraverso la nuvola solare. Mentre la Terra era allo stato liquido, gli elementi più pesanti affondarono verso il centro

e i più leggeri affiorarono alla superficie. Grandi getti di vapor acqueo e di anidride carbonica, prima trattenuti all'interno, eruppero e si sollevarono fino a formare la prima atmosfera. Lentamente la crosta si raffreddò. Probabilmente ci sono voluti diversi secoli perché le rocce della superficie si raffreddassero; forse diverse migliaia di anni o, come alcuni dicono, un milione d'anni.

Mentre il calore veniva irradiato dalla superficie nello spazio, nuove ondate di materia calda salivano verso l'esterno, si raffreddavano e si stabilivano di nuovo al centro. Perciò, molto probabilmente, la prima cristallizzazione ebbe luogo all'interno: il «mantello» d'olivina si indurì prima della crosta esterna e suggellò nel centro del globo il calore ori-



alte 400 metri e la Luna è distante 15.000 chilometri. Da ogni parte provengono meteoriti che bombardano il pianeta incessantemente, aprendo crateri nelle rocce ardenti. Dall'inferno che si trova al di sotto della crosta scaturiscono getti di lava.

Il vapore acqueo, l'anidride carbonica ed altri gas sfuggono dalle aperture vulcaniche e si condensano in nubi, che costituiscono intorno al pianeta una cortina di tenebre perenni: la pioggia che tenta di cadere evapora immediatamente.

ginario, che da quel giorno è rimasto invariato sino ai nostri tempi.

Fu in questo periodo che i primi continenti presero forma tra le più apocalittiche scene del tempo geologico. Dalla selvaggia faccia della Terra emergevano incessantemente fumo e fiamme e feroci fontane vomitavano alla superficie rocce liquide, stendendo sull'infernale pianura nuovi strati di lava. A mano a mano che gli anni diventavano secoli, le diverse isole formate da blocchi di granito e di basalto cominciarono a unirsi in masse sempre più vaste. Molte si dissolsero: affondarono o si fusero. Ma qua e là le masse granitiche apparvero come *icebergs* sul mare di fuoco e poterono espandersi sia all'esterno che in profondità, finché si cristallizzarono posandosi sul « basamento » di basalto. Questi furono i protocon-

tinenti della Terra, ossia la prima forma embrionale dei continenti.

Nessuno sa con certezza in che periodo il volto della Terra assunse l'aspetto attuale. Una teoria afferma che i continenti si congelarono esattamente nel posto dove si trovano ora. Un'altra è dell'opinione che essi si siano cristallizzati in una singola massa, per poi dividersi e vagare intorno al globo, spinti dalla forza di rotazione della Terra, finché il basamento di basalto li congelò ai loro posti attuali (uno sguardo alla carta geografica dimostra che la costa orientale dell'America combacia con quelle occidentali dell'Europa e dell'Africa). Una terza teoria sostiene che il processo di costituzione dei continenti è tuttora in corso, tanto è vero che ammassi di materia continuano a sollevarsi dalla fornace posta all'interno.



L'OCEANO PRIMORDIALE si formò quando la temperatura delle rocce della superficie si abbassò al di sotto del punto di ebollizione dell'acqua. I grandi ammassi di nuvole che avevano steso sul giovane pianeta un'impenetrabile cor-

tina di tenebre cominciarono a riversare acqua sulle valli e sui bacini della Terra. Piovve per secoli e secoli, fu il più grande diluvio di tutti i tempi. Alla fine i raggi del Sole poterono illuminare sul globo gli oceani appena nati.



IL PAESAGGIO PRIMORDIALE prese forma lentamente, in un periodo che durò milioni di anni dopo che la crosta della Terra si era raffreddata. La roccia originaria del pianeta venne plasmata da due grandi processi an-

tagonistici: il sollevarsi delle montagne e l'erosione. Non appena sorgevano nuovi monti, le piogge cominciavano a intagliarli, a livellarne le cime, a intaccarne il dorso, scavando profonde vallate e gole lungo i loro declivi.

Il diluvio forma gli oceani

Una volta che la Terra si fu consolidata, nacquero i mari. Mentre le rocce lentamente indurivano, il vapor acqueo ed altri gas si liberarono dall'interno del pianeta attraverso un processo di cristallizzazione e salirono nell'atmosfera più fredda, dove si raccolsero in enormi ammassi di nuvole, che stesero sulla Terra una perenne oscurità. Di tanto in tanto, dagli strati superiori della volta delle nuvole, cadeva la pioggia: ma naturalmente bolliva appena toccato il suolo e ridiventava di nuovo vapore. Forse per mille anni la luce del Sole non attraversò mai questa densa e continuamente rinnovantesi cortina di tenebre. Una situazione del genere deve essere durata almeno per tutto il periodo in cui la crosta della Terra passò gradatamente dalla temperatura di fusione delle rocce (500-1500° C.) a quella di ebollizione dell'acqua (100°). Ma infine venne il giorno in cui la pioggia cadde e non bollì, non evaporò: le piogge cadute affrettarono il processo di raffreddamento e stimolarono, di conseguenza, un condensamento delle nuvole. Ne scaturì il più grande diluvio di tutti i tempi. Nessuno può dire quanto durò: forse secoli. Ma quando alla fine le nuvole si assottigliarono, gli oceani primordiali apparvero ai primi raggi del nuovo Sole.

Molte epoche dovettero trascorrere prima che i bacini marini diventassero pieni fino all'orlo, come sono ora. Dal tempo di quella grande inondazione il livello delle acque della Terra si è abbassato e innalzato parecchie volte, le coste sono cambiate, i mari hanno invaso le terre e se ne sono ritirati, il profilo dei continenti è mutato a più riprese. L'interno della Terra, continuando a raffreddarsi, a un certo punto si contrasse, costringendo anche la sua crosta esterna a contrarsi,

allo stesso modo della mela che avvizzisce. E come la cortecchia della mela, così la crosta della Terra si coprì di rughe: erano le montagne. Altre montagne sorsero per il sollevarsi del « mantello » alla superficie del pianeta sotto la spinta delle ondate di materia calda provenienti dall'interno. Altre ancora sorsero in seguito al convergere dei materiali leggeri, che si trovavano nei pressi della superficie, nelle regioni dove le masse di rocce pesanti affondavano verso l'interno.

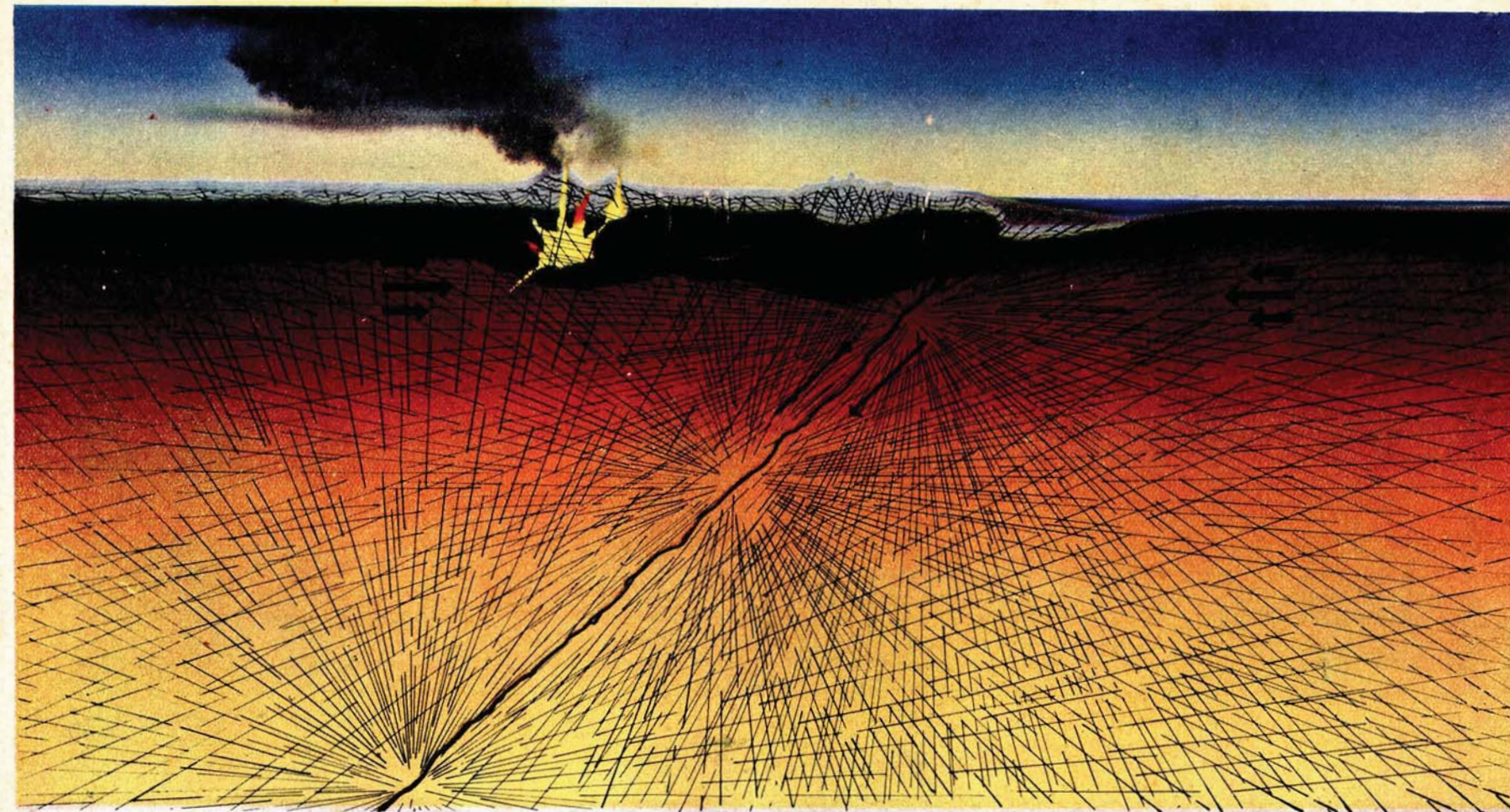
Probabilmente, in questo periodo della loro infanzia, le prime montagne presentavano una superficie relativamente liscia: le loro cime apparivano arrotondate e i loro burroni non erano ripidi. Non ci volle molto, tuttavia, perché questo delicato profilo fosse sfigurato dall'azione erosiva dell'aria e dell'acqua, che intrapresero la loro opera di scultura della faccia della Terra. Prima ancora che la pioggia cominciasse a cadere sul nostro pianeta, l'umida atmosfera primordiale, composta da gas corrosivi, cominciò a disgregare la superficie delle rocce: in questo modo le indebolì, le rese meno resistenti per il momento in cui sarebbero state sottoposte all'urto dell'acqua e all'azione delle correnti.

E finalmente venne la pioggia continua, violenta, che lungamente s'accanì contro le rocce. L'acqua morse gli altipiani con vorace rapidità, incidendo e scavando il paesaggio. In un periodo di tempo relativamente breve il grande diluvio scatenatosi sulla Terra produsse una serie di cambiamenti che la blanda pioggia cui siamo abituati attualmente impiegherebbe millenni a provocare. Nessuno può dire quante catene di montagne sorsero e precipitarono nelle prime epoche della preistoria; le loro radici giacciono bruciate a chilometri di profondità nell'interno della Terra, sparse lungo gli abissi marini, perdute nelle rovine del tempo.



Intanto i vulcani continuavano a eruttare lava infuocata dalle inquiete profondità, lanciando sulla crosta primordiale strati sempre più spessi di roccia fusa. In un momento sconosciuto di quest'oscura epoca, apparve la vita.

Qui sono visibili due delle prime forme viventi: i licheni, che appaiono come macchie verdi sulla roccia erosa (al centro, in primo piano) e i batteri rossi che hanno dato il loro colore alle acque del lago (a sinistra).



LE MONTAGNE SONO SORTE quando la Terra, raffreddandosi, si è contratta producendo tremende tensioni orizzontali (freccie triple) che hanno piegato la crosta. Enormi masse continentali, per effetto di queste forze, si sono rovesciate sul fondo dell'oceano costringendolo, col loro peso, a "sprofondare". Così

si sono create le faglie, cioè delle incrinature profonde fino a 500 chilometri (linea nera diagonale) lungo le quali si verificano improvvisi avvallamenti (indicati dalle due frecce diagonali) accompagnati da terremoti (la cui azione è mostrata dall'irraggiarsi delle numerose linee sottili) e da un'intensa attività vulcanica.

Sorgono le montagne

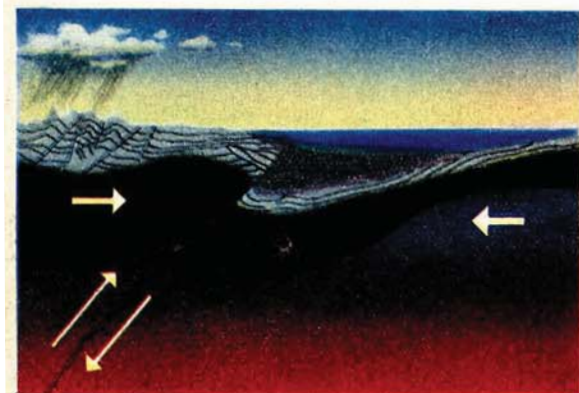
Il periodo geologico della violenta nascita delle montagne, caratterizzato da bruschi assestamenti della Terra, si è alternato a periodi ancora più lunghi di calma, durante i quali la pioggia implacabile spianò le cime dei monti, portò alla luce i loro minerali, intagliò gole e *canyons*, spazzò le montagne rovesciandole nel mare insaziabile. Allora, per milioni di anni, la Terra giacque piatta e gli oceani si sollevarono dai loro bacini e si insinuavano nei continenti e il suolo fu livellato e restò senza lineamenti, ad eccezione dei lenti fiumi e dei mari interni poco profondi. Infine la crosta cominciò ad agitarsi ancora una volta e sorsero nuove montagne.

Più di un milione di anni or sono si ebbe un periodo di prodigiosi sollevamenti, che i geologi americani chiamano Rivoluzione Laurenziana, poiché le radici di alcune delle grandi montagne che sorsero allora giacciono ancor oggi incastonate tra i monti Laurenziani, nel Canada orientale. Tutta la crosta della Terra si agitò violentemente e si incurvò verso l'alto e verso il basso, formando le profondità oceaniche e vaste catene di montagne. Dappertutto il processo di sollevamento fu accompagnato da terremoti e da eruzioni vulcaniche. I monti Laurenziani, in particolare, nacquero in mezzo a una spaventosa furia di attività vulcanica, quale la Terra non

aveva ancora conosciuta. Fu un gigantesco scaturire di rocce liquide che ricoprirono con uno strato di lava dello spessore di tre chilometri una zona di tre milioni di chilometri quadrati intorno alla baia di Hudson: ed è questo strato che costituisce ancora oggi il « pavimento » di granito dello « Scudo canadese ». La catena degli Appalachi sorse 200 milioni di anni or sono: allora era una catena splendida come le Alpi attuali, adesso è così livellata dall'erosione che solo lievi increspature rimangono a ricordo delle cime coperte di neve che un tempo si estendevano ininterrotte da Terranova all'Alabama.

Tutte le maggiori catene di montagne che esistono oggi sulla Terra (le Montagne Rocciose, le Alpi, l'Himalaya) sorsero entro gli ultimi 60 milioni di anni. Meno di un milione di anni fa la più giovane di tutte, quella dei monti Cascade sulla costa occidentale americana, sorse dal mare accompagnata da fenomeni vulcanici le cui tracce sono visibili in tutto il West americano.

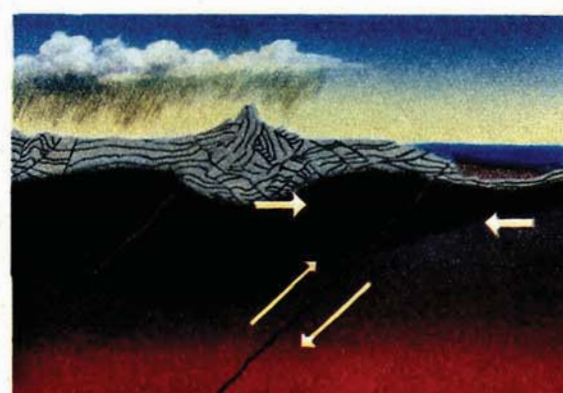
Il fenomeno della crescita delle montagne non è ancora cessato. Lungo il Pacifico, dall'Alaska alle Indie, i vulcani formano come un cerchio di fuoco. Ci sono le prove che l'Himalaya ed altre montagne sono ancora in fase di sviluppo. Stiamo vivendo in un'epoca rivoluzionaria di formazione di montagne. L'intera storia umana si è svolta durante uno dei brevi interludi di splendore del nostro pianeta, quando le montagne hanno trasfigurato l'aspetto di solito piatto della Terra.



IL PAVIMENTO MARINO SI INCURVA e si formano le profondità costiere: esse si ricoprono di spessi strati sedimentari, che premono a loro volta sulla faglia.



LA CROSTA SI CORRUGA quando, per il cedere della faglia, il pavimento marino e il continente si scontrano dando vita a una nuova catena di monti.

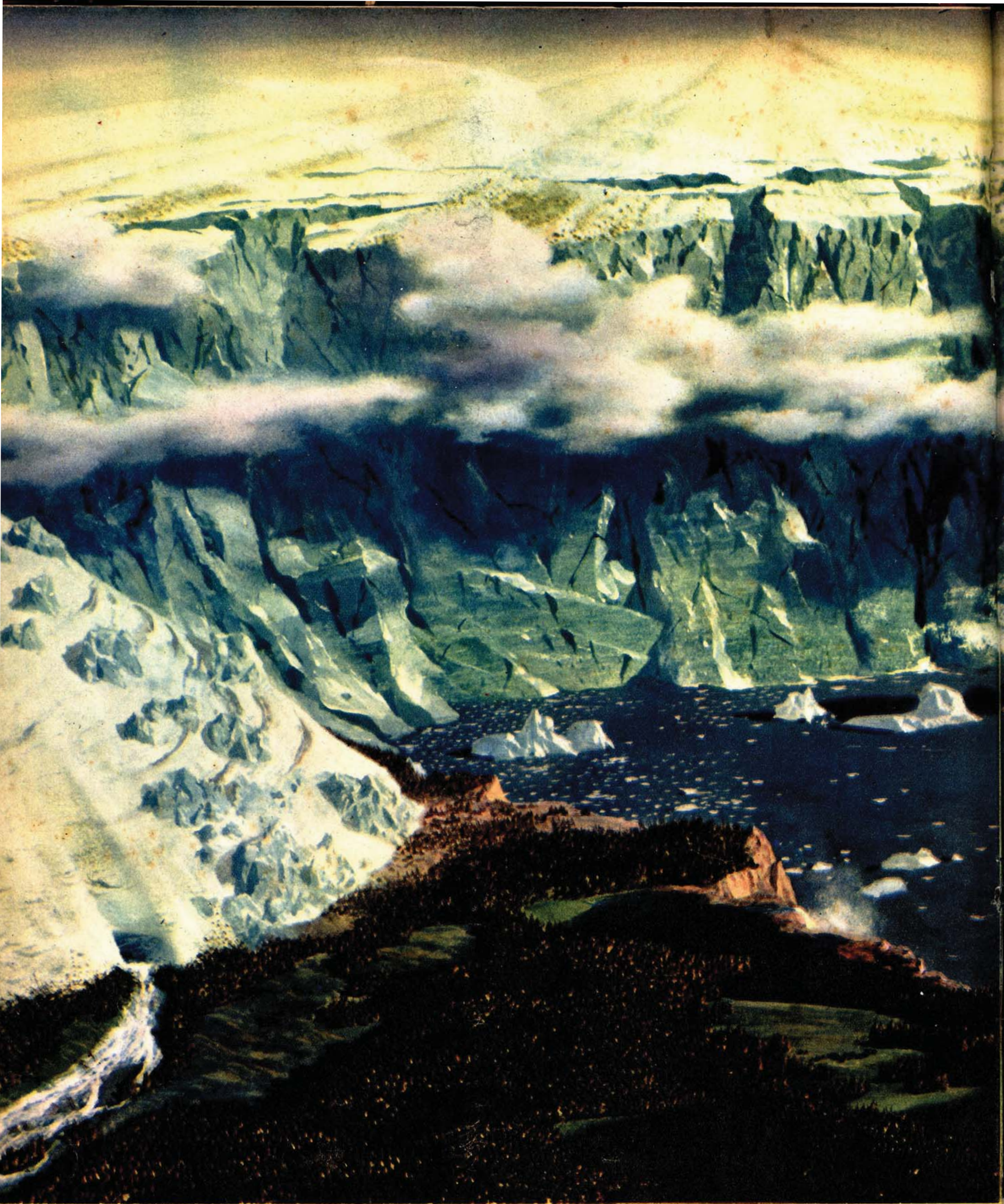


APPARE UNA NUOVA FAGLIA sotto il nuovo confine tra il mare e il continente e il ciclo si ripete. Intanto la pioggia scava le montagne appena nate.



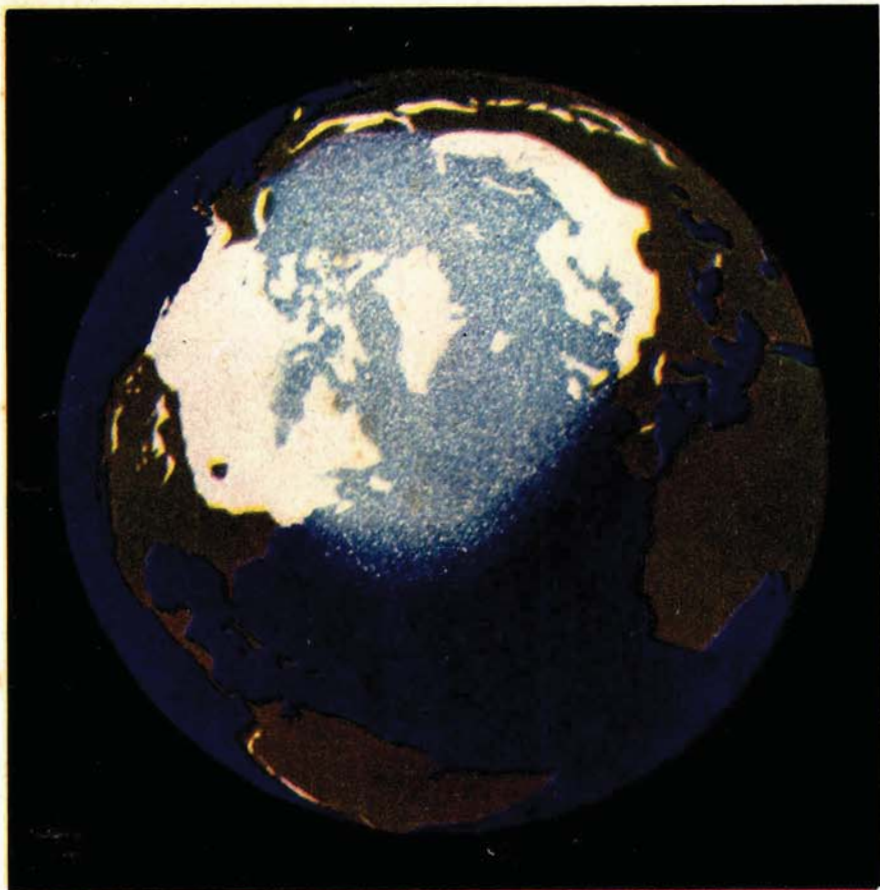
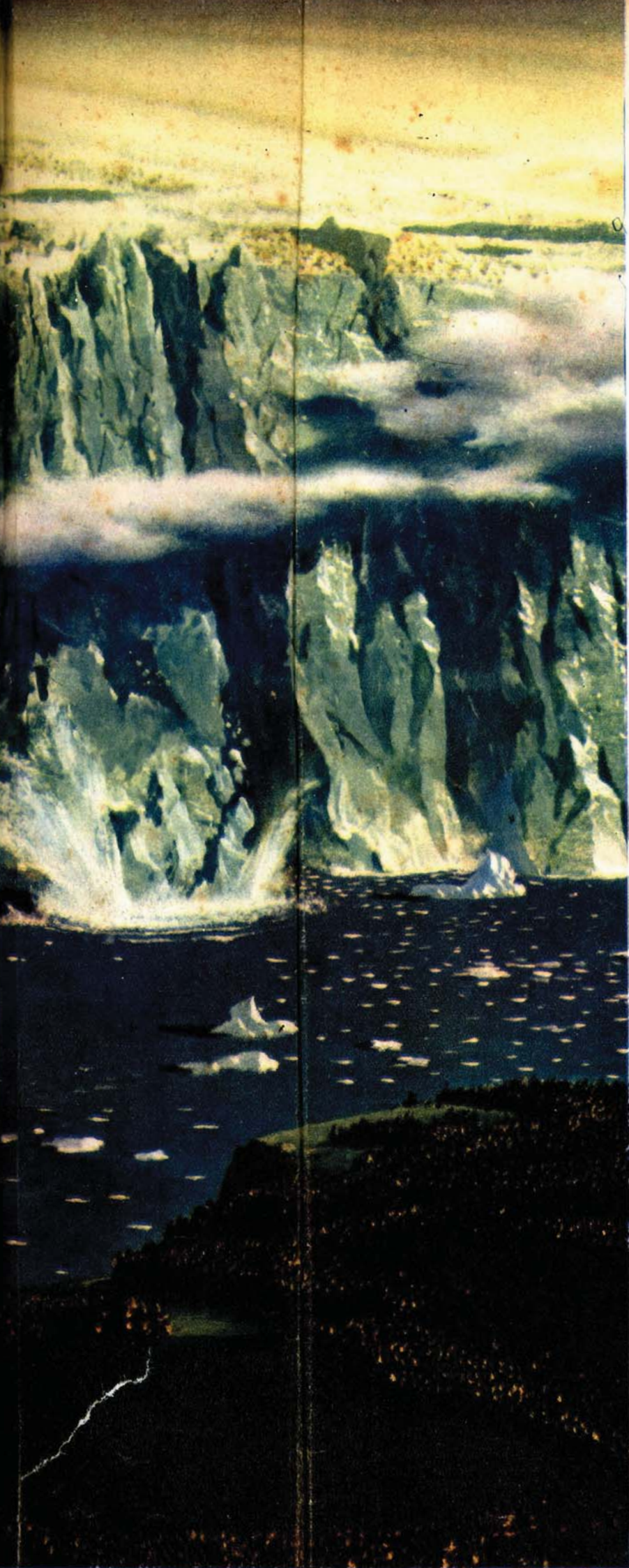
I PAVIMENTI DELL'OCEANO, che originariamente erano formati da pianure di basalto poste da un chilometro e mezzo a otto chilometri al di sotto delle masse continentali, furono deformati col tempo dalle stesse forze interne che produssero

gran parte del paesaggio terrestre. Immense catene di montagne e gole profondissime apparvero nelle profondità marine. Qui vediamo rappresentati due dei caratteristici monti dalla cima piatta scoperti recentemente sul fondo dell'Oceano Pacifico.



I GHIACCIAI MARCIANO SULLA TERRA, avanzano e si ritirano, lungo i secoli del tempo geologico. A più riprese conquistano i continenti e li perdono. Intanto trasformano la fisionomia del globo, mutano l'aspetto delle valli, lasciano dietro di sé nuovi fiumi e nuovi laghi. La prima età del ghiaccio fece la sua

apparizione sul globo mezzo miliardo di anni fa. Da quel tempo i ghiacciai hanno coperto enormi estensioni della Terra e se ne sono ritratti numerose volte. Ed ogni volta la fitta coltre glaciale, che spesso è giunta a superare lo spessore di un chilometro, come si vede nella tavola, ha sconvolto la faccia del pianeta, distruggendo



L'ULTIMA GRANDE COLTRE DI GHIACCIO cominciò a spingersi verso il Sud un milione d'anni fa e ricoprì l'Europa settentrionale, l'Asia, l'America. La sua ritirata ebbe inizio 20.000 anni or sono e sta continuando ancora ai giorni nostri.

La marcia dei ghiacciai

Noi viviamo, oggi, in un'epoca glaciale. Dove esistono alte montagne, esistono nevi e ghiacci. La geologia ci rivela che molte epoche caratterizzate dalla formazione di montagne sono state, contemporaneamente, epoche glaciali. Le catene di montagne impediscono il flusso dell'aria e gli immensi ponti di terra che sorsero nei periodi di formazione dei continenti allontanarono le correnti calde degli oceani, producendo localmente fenomeni climatici estremi. Durante la Rivoluzione degli Appalachi, che riguardò sia l'emisfero settentrionale sia quello meridionale, enormi cappe di ghiaccio ricoprirono l'Africa fino al Tropico del Capricorno e l'America del Sud fin quasi all'Equatore. La presenza dei ghiacciai, tuttavia, è così irregolare che non può essere spiegata soltanto come un effetto del fenomeno di formazione delle montagne.

Le cause delle periodiche età glaciali della Terra costituiscono uno dei più profondi enigmi della geo-storia. Alcuni geologi le hanno spiegate in base a fattori atmosferici, con i cambiamenti avvenuti nella composizione chimica dell'aria o con le nubi di ceneri vulcaniche che, nei periodi di maggior inquietudine da parte della crosta terrestre, possono aver impedito per un certo tempo il passaggio dei raggi solari. Altri hanno suggerito cause astronomiche, come le fluttuazioni d'intensità nelle radiazioni solari o i mutamenti avvenuti nella posizione della Terra rispetto al Sole. L'ellisse dell'orbita della Terra si allunga e si contrae alternativamente e l'asse terrestre assume un'inclinazione a volte maggiore ed a volte minore. Tuttavia è probabile che nessuno di questi fattori sia bastato da solo: piuttosto è da supporre che essi abbiano agito congiuntamente.

L'ultima e probabilmente più grande età del ghiaccio ebbe inizio un milione di anni or sono, al tempo in cui la cortina della vita si sollevò sull'uomo. I ghiacci a quel tempo ricoprirono più di un quarto della superficie del nostro pianeta, avanzando e ritirandosi per almeno quattro volte nel corso di questo milione d'anni. Oggi stiamo appunto uscendo dall'ultima grande avanzata dei ghiacci, che raggiunse il suo punto culminante circa 20.000 anni or sono. Attualmente, quasi un decimo della superficie della Terra è permanentemente ricoperta da ghiacci. La Groenlandia e l'Antartide si trovano sotto un'enorme cappa di circa venti milioni di chilometri cubi di ghiaccio. Sulle montagne dell'Alaska, della Nuova Zelanda, della Scandinavia, così come sull'Himalaya, sulle Ande e sulle Alpi esistono ancora i ghiacciai. Tuttavia, negli ultimi 200 anni c'è stata una notevole ritirata dei ghiacci: alcuni alberghi svizzeri, costruiti alla fine del secolo per dominare il panorama dei ghiacciai, oggi non s'affacciano più su alcun ghiacciaio. Gli ammassi di ghiaccio dell'Artide e dell'Antartide si stanno ritirando. Secondo i calcoli attuali, il clima della Terra diventerà sempre più caldo nei prossimi 20.000 anni; una nuova età del ghiaccio avrà inizio fra 50.000 anni. La più profonda conseguenza dello sciogliersi delle attuali masse di ghiaccio sarà il sollevarsi del livello del mare di quasi 50

alberi e la vegetazione e costringendo la vita animale a ritirarsi verso l'Equatore. Quando raggiunsero i limiti dei continenti, i ghiacci si aprirono formando froni paurosi, dai quali si staccarono enormi ammassi di ghiaccio che rovinarono il mare sottostante, dando vita ad immensi, giganteschi "icebergs" vaganti sulle acque.



LA FINE DELLA TERRA, secondo alcuni astronomi, avverrà quando il Sole, invecchiato, subirà una serie di spaventose esplosioni che aumenteranno di milioni di volte la potenza delle sue radiazioni. Questo fenomeno apocalittico potrà accadere fra miliardi d'anni: forse tre, forse dieci. Ogni forma di vita sarà arsa sulla

faccia del nostro pianeta. Per effetto dell'esplosione i gas espulsi dall'interno del Sole si espanderanno fino ad avvolgere la Terra in un viluppo di fuoco. Le montagne fonderanno, rovesciando nelle vallate cateratte di rocce incandescenti. Quando la tempesta solare si spognerà, il globo sarà un braciere ardente.

metri, quanto basta per sommergere New York, Londra, Parigi e la maggior parte dei grandi porti e delle zone costiere della Terra.

« Il mondo creato », scrisse Thomas Browne, « non è che una breve parentesi nell'eternità. » Su scala minore, il mondo dell'uomo non è che una breve parentesi nella vita terrestre. Nelle età future si ripeteranno i grandi fenomeni ricorrenti del nostro pianeta: la pioggia e le acque che scorrono ogni giorno spazzeranno verso il mare milioni di tonnellate della sostanza della Terra, finché tutte le torreggianti cime che ora conosciamo finiranno sgretolate in fondo all'oceano. Ma nuove vette di montagne sorgeranno e di nuovo, a intervalli così vasti da rendere insignificante la ristretta dimensione umana del tempo, la faccia del pianeta si contrarrà, i vulcani ruggiranno, i ghiacciai copriranno le pianure e le foreste, per lasciarvi nuovi fiumi e laghi, e i mari s'alzeranno e torneranno ad abbassarsi.

Tutto questo si spiega col fatto che la Terra è ancora giovane. Sebbene l'uomo abbia conosciuto soltanto la centesima parte del tempo trascorso da quando le prime cose viventi si agitarono nei mari paleozoici, sebbene la vita stessa sia solo il capitolo più recente del tempo geologico, tuttavia la Terra è ancora giovane. Probabilmente la sua esistenza continuerà finché durerà quella del Sole. E il Sole è una stella giovane. I maggiori studiosi di astrofisica ci avvertono che il combustibile solare sarà sufficiente per molti miliardi di anni. A meno che non si verifichi una catastrofe rara come una collisione stellare, la Terra continuerà a girare seguendo la propria orbita per millenni e millenni.

Forse, entro un periodo di tempo che va dai tre ai dieci miliardi d'anni l'idrogeno che accende il nostro Sole comincerà a rallentare il suo moto e, mentre esso si andrà esaurendo, avranno luogo determinati processi dinamici che renderanno il Sole ancora più ardente e ricco di splendore. Lentamente ma costantemente, di millennio in millennio, la temperatura sulla Terra si eleverà, finché le forme della vita bruceranno e gli oceani bolliranno. Ed ancora per innumerevoli età il pianeta bruciato e senza vita continuerà a girare intorno alla graticola del Sole morente. Infine si immolerà, e questo potrà avvenire in diversi modi. Nella sua agonia il Sole potrà gonfiarsi, prima lentamente e poi sempre più rapidamente, divenendo infine ciò che gli astronomi chiamano una stella « rossa gigante », qualcosa come Betelgeuse o Antares, stelle diffuse, enormi, al punto che se una di esse sostituisse il Sole arriverebbe a coprire l'intera orbita della Terra. Così, ad uno ad uno i pianeti più vicini (Mercurio, Ve-

nere e forse anche Marte e Giove) sarebbero incorporati nel mostruoso, gonfio corpo del Sole morente.

È anche possibile, tuttavia, che il Sole, nel suo parossismo finale, esploda. Se questo dovesse avvenire mediante una sola catastrofica esplosione (per esempio se il Sole dovesse diventare una « supernova » come la stella di Betlemme) la superficie della Terra evaporerrebbe in pochi minuti. Ma per ragioni tecniche gli astronomi ritengono che il Sole diventerà una « nova », e cioè si disintegrerà attraverso una serie di esplosioni parziali, per ciascuna delle quali aumenterà temporaneamente la propria luminosità di circa 10.000 volte. E da notare che finora, dal tempo in cui nacque l'astronomia, sono state osservate soltanto trenta « supernovae », mentre nella sola nostra Galassia appaiono ogni anno almeno 30 « novae ».

Quando il giorno fatale arriverà, il Sole espellerà gli strati superiori della sua atmosfera incandescente, rivelando il pauroso, bianco fuoco dell'interno. Le prime vampe di luce e di calore inonderanno la Terra con radiazioni mortali esattamente otto minuti dopo l'esplosione iniziale. Due giorni dopo i gas atmosferici espulsi dalla superficie solare e vaganti in tutte le direzioni dello spazio alla velocità di tre milioni di chilometri l'ora avvolgeranno il nostro pianeta in un viluppo di fuoco, fondendo le rocce ed infiammando l'aria. È una fine che ci fa avvicinare le profezie scientifiche a quanto scrive la Bibbia: « E gli uomini furono arsi con grande calore... e le città delle nazioni caddero... Ed ogni isola fu sommersa e le montagne non furono trovate... ».

(I - Continua)

Lincoln Barnett

La seconda puntata

IL MIRACOLO DEL MARE

sarà pubblicata nel numero di "Epoca" del 10 novembre prossimo con bellissime tavole a colori che illustreranno la formazione degli oceani e l'aspetto degli abissi marini.

2 - IL MONDO IN CUI VIVIAMO

Il miracolo del mare



Il pianeta delle acque

Gli uomini hanno sempre considerato il mare come una suprema meraviglia, un elemento favoloso nel mondo della natura, sorgente al tempo stesso di bellezza e di terrore, una grande via che divide e unisce il genere umano, una fonte di vita e un tremendo distruttore, dalle mosse imprevedibili. I poeti di ogni regione hanno cantato il mare esaltando le sue immense distese ma esprimendo anche paura per il suo furore e per le sue profondità senza limiti.

Oggi, nella più ampia prospettiva di conoscenze che l'uomo possiede nei confronti dell'Universo, siamo ancora convinti che il mare, sotto molti aspetti, rappresenti un miracolo. Oggi sappiamo che dipendiamo dal mare non soltanto per taluni fattori accessori dell'esistenza ma per il carattere stesso della vita umana. L'entità chiamata «vita» emerse dal mare, il quale fu inizialmente la fabbrica fondamentale di tutte le cose viventi e governa l'intero sistema della natura che costituisce il «dominio» dell'uomo. Non sono tanto le altre caratteristiche fisiche del pianeta, quanto la presenza del mare a rendere unica la nostra Terra.

Se un astronomo osservasse il nostro sistema solare stando su un altro satellite del Sole, dovrebbe dare al nostro pianeta il nome di Mare piuttosto che di Terra, poiché la caratteristica che gli resterebbe impressa più vividamente sarebbe la grande quantità di acqua che avvolge perennemente circa i tre quarti del nostro globo. Nessun altro mondo, nel vasto raggio di esplorazione dell'uomo, possiede un mare. Mercurio sembra completamente privo d'acqua. Venere appare avvolta da un denso strato di nubi che, a differenza delle nuvole della Terra, probabilmente non contengono né ossigeno né acqua. I pianeti più lontani dal Sole sono troppo freddi per possedere acqua: la temperatura di Giove è di 137°C. al di sotto dello zero e quella di Saturno è ancora inferiore, arriva ai 150°C. sotto zero.

La nostra Terra, invece, è quasi sommersa dalle acque. Solo il 29 per cento della sua crosta emerge dal grande oceano che ricopre tutto il resto della superficie del pianeta con uno strato liquido della profondità approssimativa di tre chilometri e mezzo. A sud dell'Equatore i mari ricoprono l'81 per cento dell'emisfero. Se tutte le aree terrestri (i continenti, le isole, le montagne) dovessero essere scosse dalle loro fondamenta e precipitate in mare, sposterebbero soltanto la diciottesima parte del volume totale delle acque dell'oceano. E se tutte le irregolarità della crosta terrestre fossero livellate, in modo da ridurre il pianeta a una sfera perfettamente liscia, i mari sommergerebbero completamente il globo con una liquida coltre uniforme della profondità di circa 2.500 metri.

L'uomo è solito compiacersi per molti aspetti della natura che lo circonda ed anche per la grande abbondanza di acqua di cui la Terra è dotata. In un certo senso, il miracolo del mare è il miracolo dell'acqua. Nelle regioni deserte o nei periodi di siccità, l'uomo avverte penosamente la mancanza dell'acqua. Ma ciò che rimpiange è sempre l'acqua fresca, come se il mare salato, ultima origine e virtuale riserva di tutte le acque della Terra, non avesse alcuna parte nel soddisfare le sue necessità.

In tutto l'Universo l'acqua sotto forma liquida di qualsiasi specie - dolce o salata - è una rarità. Ma anche se restiamo nel campo più ristretto dell'esistenza terrena dell'uomo, l'acqua si rivela uno dei composti più notevoli della natura, dalle cui qualità uniche dipendono, in ultima analisi, molti fenomeni e processi fisici, come l'atmosfera, il clima, il suolo e tutte le cose viventi. Quasi tutte le sostanze materiali, ad esempio, si espandono quando sono riscaldate e si contraggono quando si raffreddano (così fa il mercurio nel termometro). Allo stesso modo si comporta l'acqua, la quale però presenta un'anomalia fondamentale, al momento di ghiacciarsi inverte il processo di contrazione e si espande per il nove per cento. È questa la ragione per cui il ghiaccio ri-

mane sulla superficie di tutti i mari e i fiumi, invece di andare a fondo. Sebbene le proprietà dell'acqua salata differiscano in parte da quelle dell'acqua dolce, i ghiacci galleggiano anche sul mare: è questo un fatto di importanza basilare per il clima del mondo. Se infatti il ghiaccio affondasse, i mari freddi della Terra si congelerebbero e presenterebbero solo un lieve strato di acqua «liquida» nei mesi estivi: in questo caso sarebbe profondamente alterato lo scambio tra le correnti fredde e calde che concorre a moderare e regolare le temperature della Terra.

L'acqua presenta altre peculiarità, che prima d'ora non erano state capite completamente e che riguardano l'intero sistema della vita sulla Terra. La sua capacità di assorbire calore (la più alta di tutti i liquidi e i solidi che esistono in natura, ad eccezione dell'ammoniaca) le rende possibile incamerare e conservare grandi quantità di calore, in modo che gli oceani diventano in effetti grandi serbatoi di energia solare che concorrono a prevenire mutamenti climatici estremi. L'acqua discioglie più sostanze di qualsiasi altro liquido ed è questa sua proprietà che aiuta il mare ad essere un deposito di minerali e a farsi sbocco del processo di erosione e sedimentazione, cioè dell'infinito affluire di minerali e di sali, di sabbia e di melma, dalla terra. Queste sostanze rimangono per sempre nel mare e forniscono un ricco nutrimento ai minuscoli organismi dai quali dipende la vita marina.

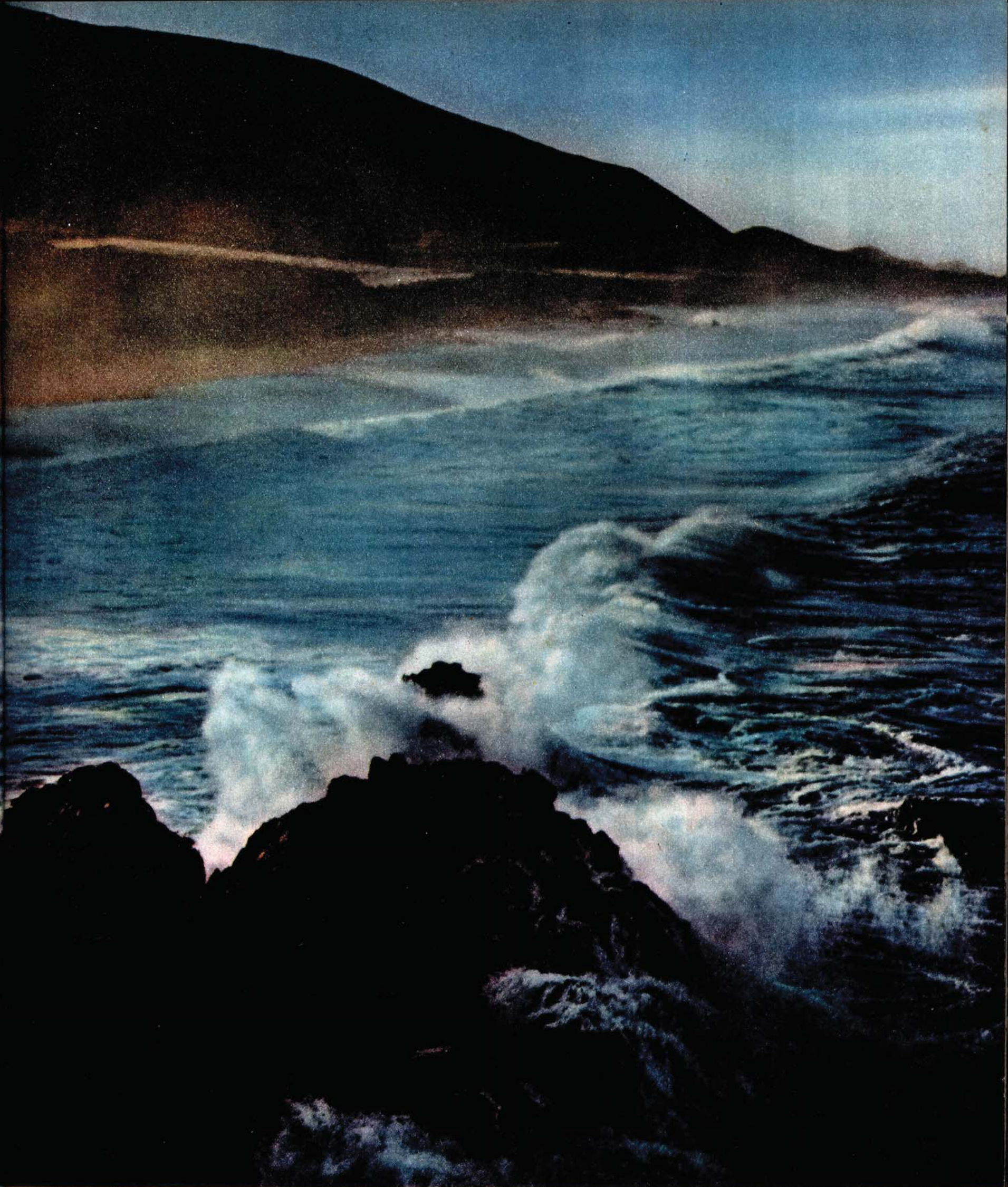
Ma la caratteristica forse più importante di tutte è che il punto di congelamento e il punto di ebollizione dell'acqua sono, a confronto degli altri composti, estremamente alti: perciò essa può mantenersi allo stato liquido alla temperatura media del pianeta Terra. Contrariamente a quanto si crede di solito, lo stato liquido è, in natura, eccezionale; la maggior parte della materia dell'Universo pare consista di gas incandescenti, come nel caso delle stelle, oppure di solidi freddissimi alla deriva negli abissi dello spazio. Nell'immenso quadro della temperatura dell'Universo, che ha sbalzi di milioni di gradi, c'è solo una sottilissima striscia, paragonabile allo spessore di un capello, entro la quale l'acqua si può manifestare come un liquido.

Non è certo per un caso che la vita, così come noi la conosciamo, esista soltanto entro questa esile striscia di temperatura moderata. Pochi animali isolati abitano le distese ghiacciate della Terra e solo alcuni organismi semplici possono resistere a un calore elevato: i limiti della temperatura della materia vivente cadono entro i limiti della temperatura dell'acqua. Il fatto non deve sorprenderci, perché tutte le cose viventi non solo si servono dell'acqua, ma di acqua sono in gran parte composte. Il corpo umano è fatto di acqua per circa il 70 per cento: un terzo si trova nel sangue e negli altri liquidi del nostro organismo e i restanti due terzi entro le cellule viventi. Inoltre non bisogna dimenticare un fatto di profonda importanza, dal punto di vista dell'evoluzione: la composizione chimica del sangue dell'uomo è simile a quella dell'acqua marina. Nel sangue si trovano tutti gli elementi del mare, naturalmente in proporzioni diverse. Una spiegazione di ciò è che tutti noi, originariamente, siamo venuti dal mare.

Tutte le acque della Terra hanno avuto origine - e ci vengono ogni giorno - dal mare. Il grande bacino dell'oceano contiene circa 1300 milioni di chilometri cubi di acqua salata. Di questi, 320 chilometri cubi vengono succhiati ogni anno attraverso l'evaporazione e in parte tornano sulla Terra sotto forma di pioggia e di corsi fluviali. Più di 95 chilometri cubi di pioggia cadono ogni anno sui continenti, riempiendo i laghi e i fiumi, le sorgenti e le distese d'acqua da cui dipende la vita delle piante e degli animali. Senza questa intricata matassa di processi naturali e di portentose proprietà dell'acqua, l'esile filo dell'esistenza organica non avrebbe potuto essere tessuto. In ultima analisi, il miracolo dell'acqua è il miracolo del mare.

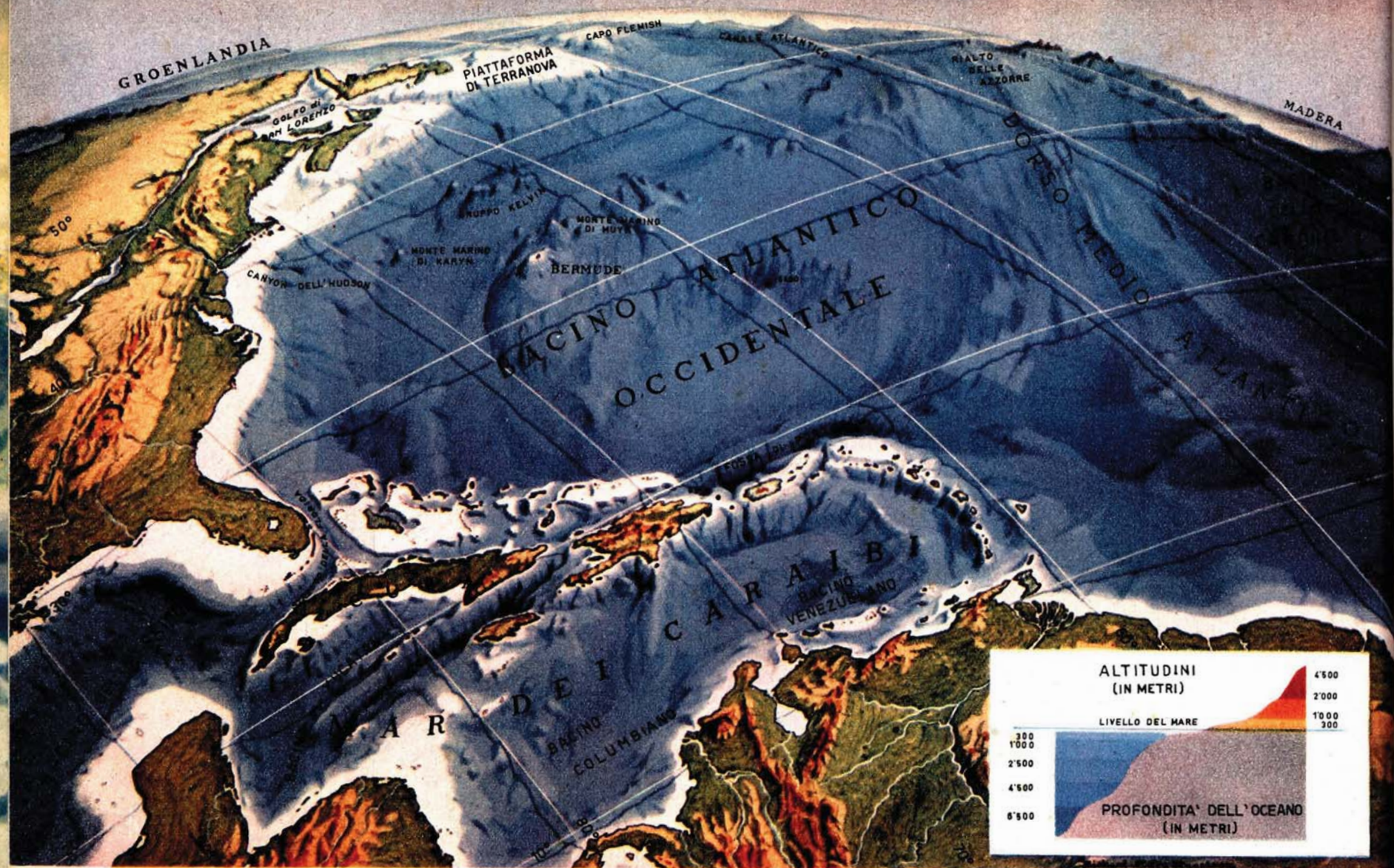
SOLTANTO IL NOSTRO GLOBO
È BAGNATO DAGLI OCEANI





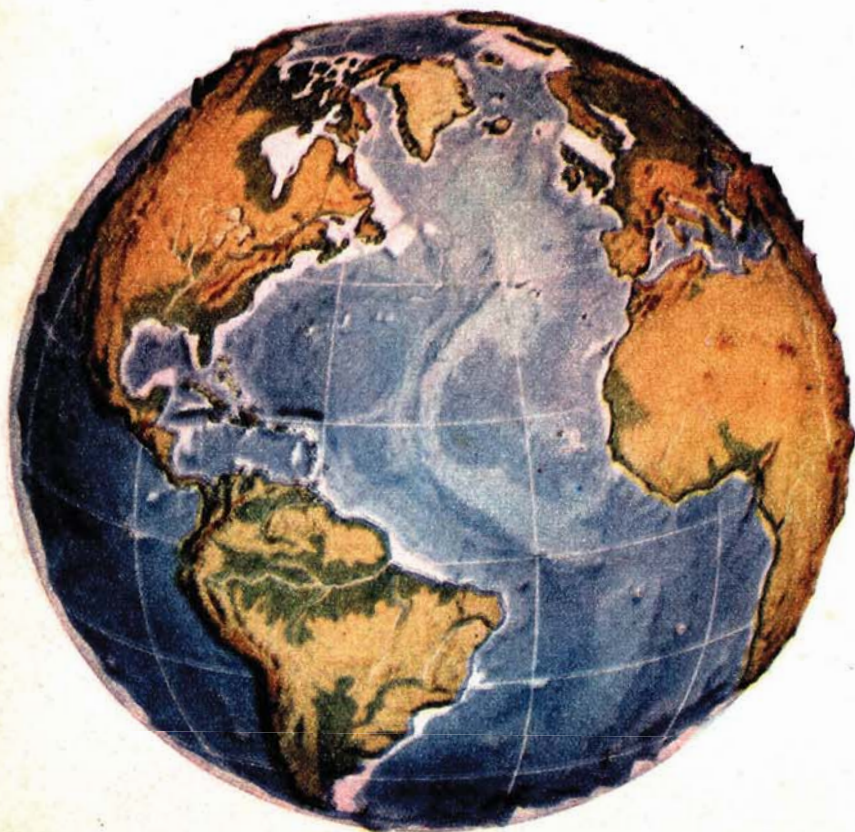
Nessun altro mondo, tra quelli che l'uomo riesce a scorgere negli spazi, possiede un mare. L'acqua è una caratteristica unica del pianeta Terra, una rarità nell'intero Universo. La sua esistenza ha qualcosa di miracoloso: fu nelle profondità mari-

ne, milioni di anni or sono, che fece la sua apparizione l'entità chiamata vita. Il sistema della natura in cui abita l'uomo è interamente governato dall'immenso mantello d'acqua che ricopre all'incirca i due terzi della superficie del globo.



DAL MESSICO ALLE AZZORRE l'oceano Atlantico si estende lungo il Bacino occidentale, il cui pavimento è relativamente piatto, e il Dorso Medio-atlantico, una grande catena di montagne sottomarine. Le profondità oceaniche e le altezze terrestri sono indicate secondo la scala a colori riportata a destra nella tavola.

L'ATLANTICO, nel quale vanno compresi anche il Mar dei Caraibi e il Mediterraneo, ha più chilometri di coste degli oceani Indiano e Pacifico messi assieme. In questa tavola è possibile notare come il Dorso Medio-atlantico si snodi nella parte centrale dell'oceano in modo da dividerlo in numerosi bacini.



L'esplorazione degli Oceani

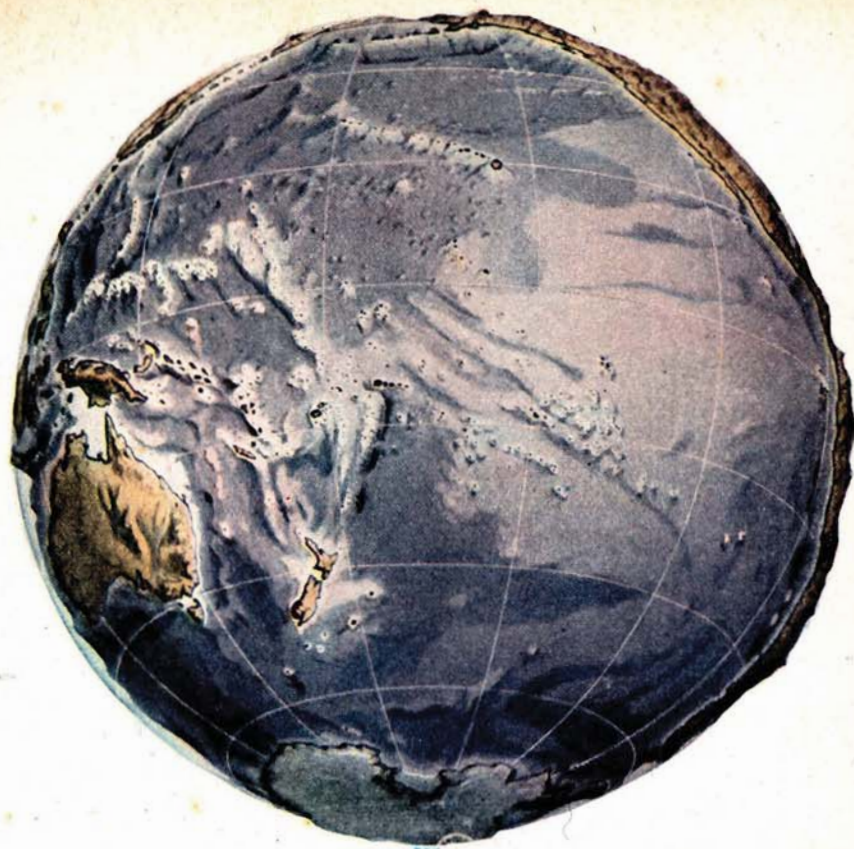
Alla domanda « Come furono creati i mari? » sono state date molte risposte. L'autore del novantacinquesimo Salmo cantò semplicemente: « Il mare è Suo, ed Egli lo ha fatto ». Oggi gli scienziati affermano che le acque della Terra uscirono attraverso i vulcani dall'interno della sfera terrestre. Relegati nel cuore del giovane pianeta, al momento della sua nascita, il vapore acqueo e gli altri gas eruppero verso la superficie quando la crosta si raffreddò e formarono una densa cortina di nubi che poi si sciolsero nel più grande diluvio di tutti i tempi (vedi la prima parte « Nasce la Terra »). Molti studiosi sono concordi nel ritenere che questa prima inondazione non abbia potuto riempire i bacini dell'oceano nella misura che ci è possibile osservare oggi. Tuttavia essa fornì più del 20 per cento dell'acqua che oggi lambisce le coste dei continenti. In seguito, per migliaia di secoli ancora, a mano a mano che l'interno della Terra continuava a raffreddarsi e a contrarsi, nuova acqua fu spinta verso la superficie e sgorgò dalle fessure dei vulcani per poi confluire nell'oceano finché, forse un miliardo di anni or sono, i mari si sollevarono al loro attuale livello.

I primi uomini che spinsero le loro vele sulle grandi acque al di là delle Colonne d'Ercole credettero che l'oceano fosse infinito e che scorresse eternamente intorno al mondo come un grande fiume, ultima e inviolabile frontiera dell'ignoto. I greci chiamarono queste acque *Oceanos Potamos*, Fiume Oceano. Fino a ieri (per il tempo terrestre è passato appena un battito di cuore) l'orizzonte Atlantico ha segnato il confine ultimo dell'uomo occidentale, il passaggio verso il vuoto. Al di là di quest'orizzonte, secondo le parole di Milton, non giaceva che « un oscuro oceano illimitato, senza confini, senza dimensioni, dove la lunghezza, la larghezza, l'altezza e il tempo e lo spazio sono perduti ». In verità, nel significato moderno della parola, l'oceano è illimitato: non ci sono oceani separati, ma esiste il mare, uno solo, che circonda tutto il nostro pianeta e si muove da una profondità all'altra. Nelle desolate distese d'acqua tra il Capo Horn e l'Antartide, l'oceano è letteralmente uno. Qui una nave dal destino avverso potrebbe navigare verso l'Est o verso l'Ovest senza mai avvistare la terra. Ma verso Nord le masse continentali dividono longitudinalmente il mare in tre grandi « golfi » cui i geografi hanno dato il nome di oceani: l'Atlantico, a forma di clessidra; l'oceano Indiano, a forma di cuore; il Pacifico, a forma ellittica. Alcuni ritengono di poter definire l'Antartico, che ha la forma di un cerchio, come un quarto oceano. L'Artico e il Mare del Polo Nord sono assegnati, per convenzione, all'Atlantico.

Oggi il mistero che per lungo tempo ha reso favolose le dimensioni della superficie marina è stato chiarito, poiché le navi ne hanno attraversato in tutte le direzioni anche le zone più remote. Ma le profondità oceaniche sono ancora oggetto di congetture e di supposizioni da parte dell'uomo. Sebbene, nei confronti del globo terrestre, l'oceano non rappresenti che una sottile pellicola d'acqua, proprio la terra posta sotto questa pellicola appare ora come l'ultimo oscuro limite del pianeta, come il « Regno dell'invisibile ». Fino a mezzo secolo fa, soltanto pochi riuscivano a immaginare la configurazione degli abissi oceanici. L'opinione corrente li riteneva senza forma, come enormi distese piatte e lisce che si allungavano nelle tenebre per migliaia e migliaia di chilometri a colmare il vuoto tra un continente e l'altro. La conoscenza della topografia sottomarina era limitata alle acque meno profonde, poiché il sistema di misurazione basato sul principio del filo a piombo e per il quale ci si serviva di lunghe funi era poco efficiente e molto costoso. Esso fu l'unico in uso fino al 1870 e spesso richiedeva molte ore e perfino un'intera giornata per un solo scandaglio. Ed anche quando entrò in uso il sistema di misurazione basato sul più efficiente filo metallico il quadro in nostro possesso del fondo dell'oceano rimase frammentario. Nel 1895 le carte di navigazione includevano soltanto 7.000 scandagli a una profondità superiore al chilometro e mezzo (uno per ogni 12.000 miglia quadrate) e solo 550 a profondità superiori ai cinque chilometri.

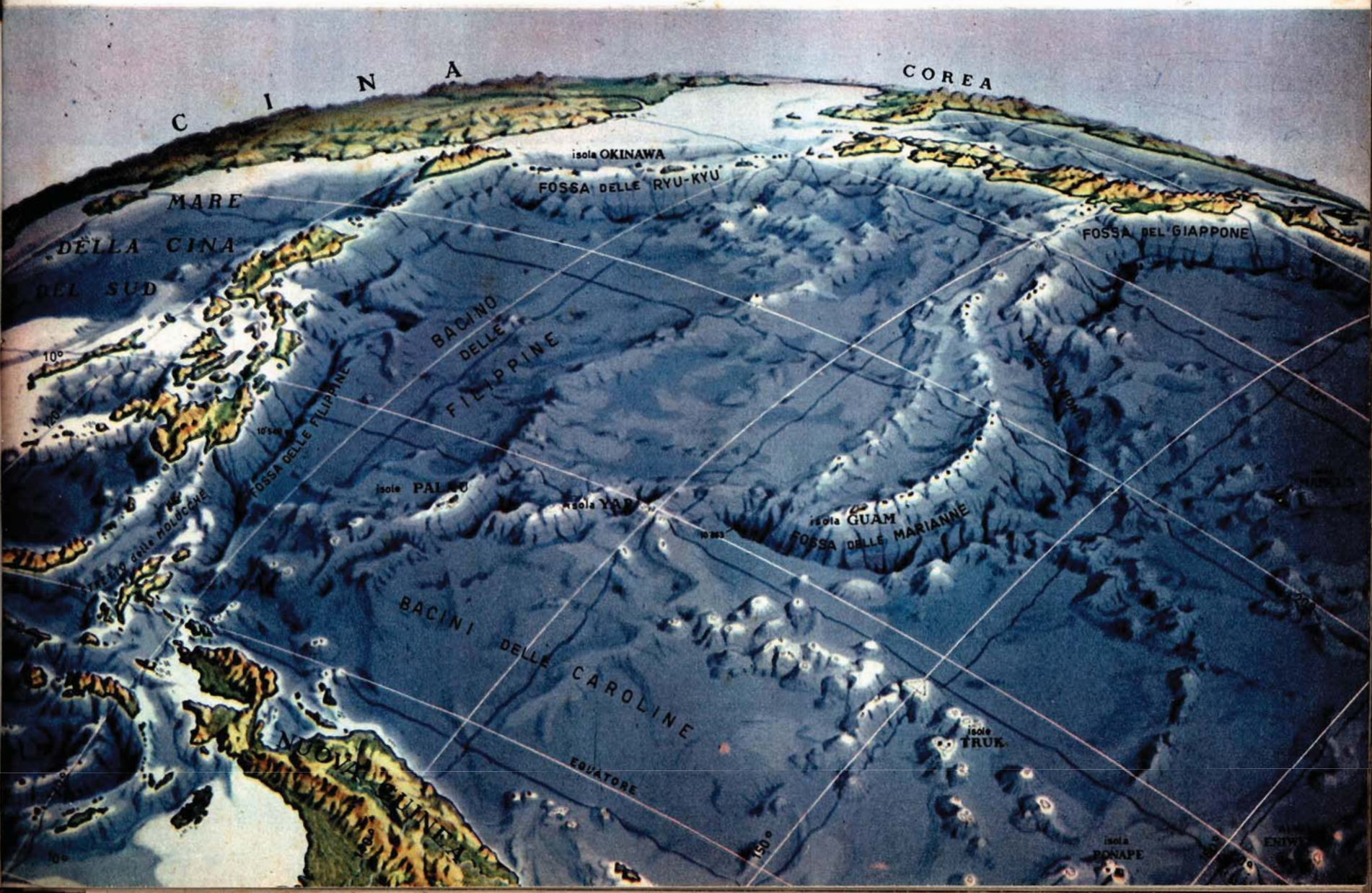
Così, nonostante i meriti vantati dalla scienza del XIX secolo, l'uomo non poteva dire di conoscere veramente il profilo del proprio pianeta: le sue cognizioni restavano in gran parte limitate a quel trenta per cento della superficie terrestre che emerge dalle acque. Finalmente, nel 1920, si ebbe uno degli sviluppi di maggiore importanza negli annali dell'idrografia: lo scandaglio acustico, il metodo in base al quale si misura la profondità calcolando l'intervallo necessario a un impulso sonoro per raggiungere il fondo e tornare indietro. Da allora in poi, invece di richiedere ore, le misurazioni poterono essere effettuate in pochi secondi, anche nei mari più profondi. In breve gli scandagli acustici effettuati in tutte le parti dell'oceano cominciarono ad accumularsi: le carte idrografiche furono costrette ad aggiornarsi costantemente per tener dietro al ritmo dei rilievi.

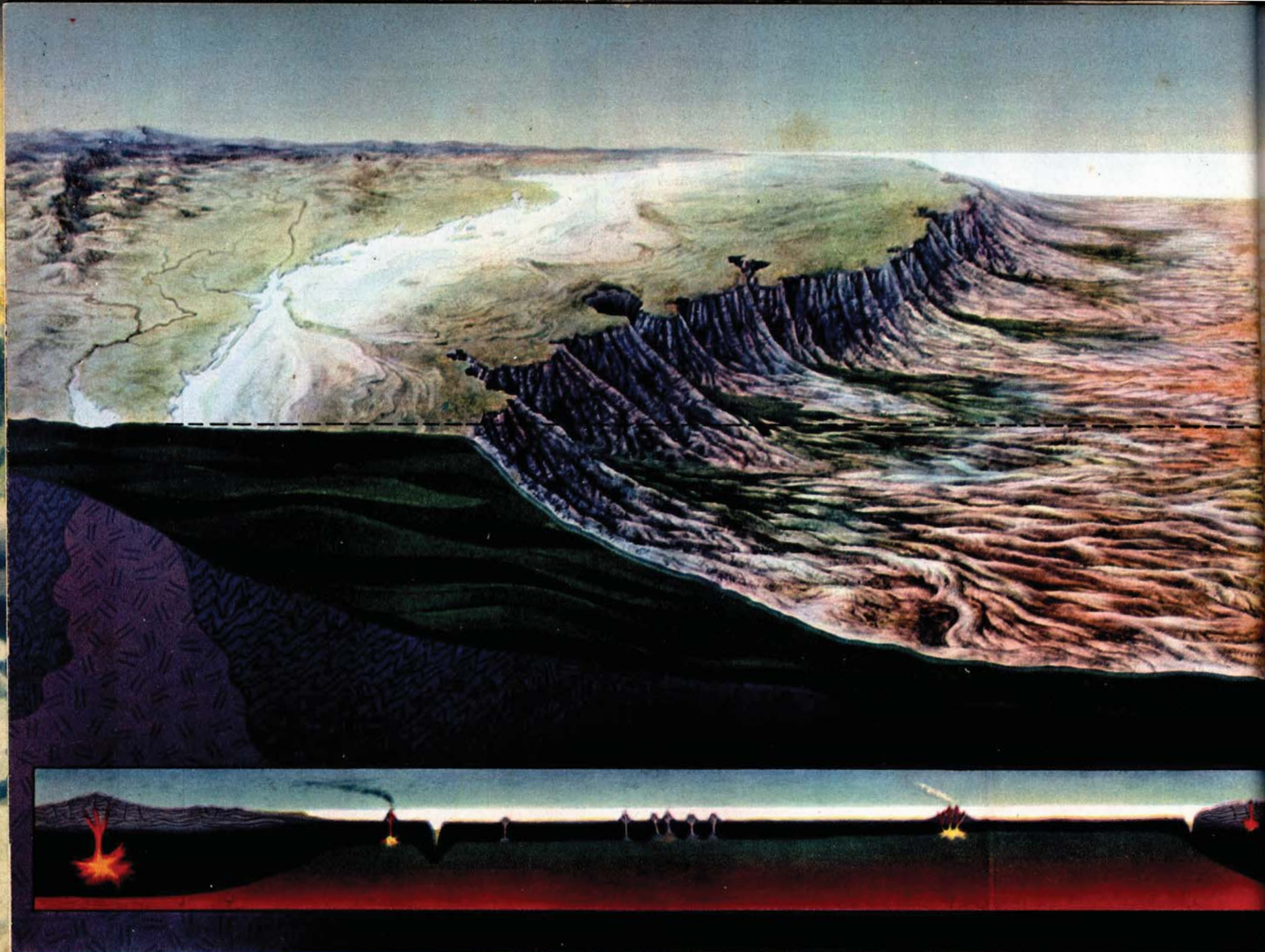
Oggi molti profili invisibili delle profondità oceaniche hanno preso forma e siamo in grado di raffigurarci l'aspetto che presenterebbero le varie sezioni del pianeta Terra se il mantello livellatore delle acque dovesse ritirarsi dai bacini dell'oceano. L'immagine che otterremmo in questo caso avrebbe scarse somiglianze con le consuete carte geografiche del globo e deluderebbe coloro che si raffigurano il fondo marino come una pianura priva di dislivelli. I paesaggi sottomarini del nostro pianeta presentano la stessa varietà di quelli visibili alla superficie, ma su una scala più vasta, secondo una misura di grandezza che l'occhio dell'uomo non ha mai potuto osservare nel suo dominio di luce e d'aria.



IL PACIFICO ricopre quasi la metà del nostro globo ed appare costellato da numerosi gruppi di isole. Il pavimento oceanico presenta profonde fosse e una serie di montagne sottomarine, la maggior parte delle quali sono state scoperte di recente. In corrispondenza dell'Alaska si estende una lunghissima scarpata.

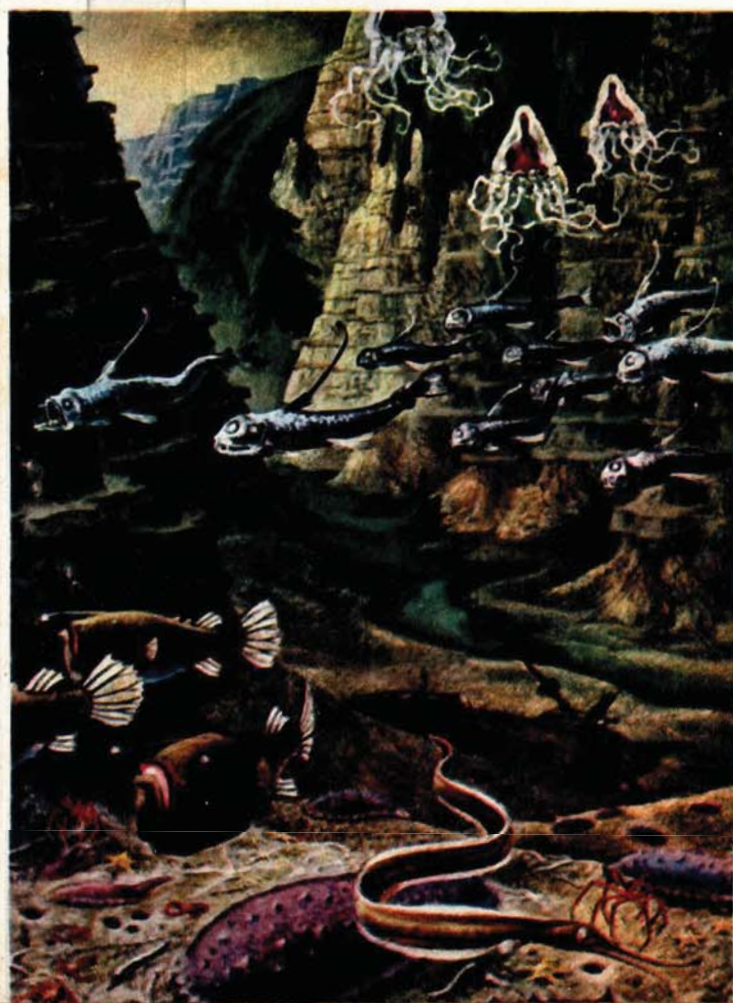
DALLA NUOVA GUINEA ALL'ASIA il fondo del Pacifico presenta un aspetto molto vario: gli abissi più profondi della Terra sono rappresentati dalla Fossa delle Filippine (10.540 metri) e dalla Fossa delle Marianne (10.853 metri). Le Marianne sono le cime di una catena di montagne vulcaniche lunga 800 chilometri.





ALL'IMBOCCATURA di un canyon (tavola a sinistra), alla base di una scarpa continentale, vivono meduse, polipi, vipere marine. Tutto è avvolto dalle tenebre: bisognerebbe risalire di un chilometro e mezzo per trovare un barlume di luce. Sullo sfondo si scorge una frana marina di fango e sabbia verde, simile a quella che nel 1929 ruppe i cavi telegrafici nell'Atlantico.

SULLA CIMA di una montagna sottomarina (tavola a destra) a circa tre chilometri di profondità si muovono lòligi, aragoste, ragni marini, spugne. È un regno gelido, dominato da una notte eterna. La roccia nera che si scorge a sinistra è costituita da basalto di origine vulcanica. Il sedimento bianco, simile a neve, rappresenta uno strato di limo marino formato da piccoli organismi.





IL PAESAGGIO ATLANTICO, se le acque scomparissero, presenterebbe pianure e montagne, gole e scarpate molto più imponenti di quelle che siamo abituati a vedere sulla terraferma. Nel lato sinistro della tavola è raffigurata la piattaforma continentale, formata da spessi strati sedimentari, in tenue declivio. Al suo limite si apre la scarpa continentale, attraversata da innumerevoli canyons sottomarini, che dà direttamente sul fondo, sul pavimento dell'oceano, raffigurato nel lato destro della tavola. Qui si scorgono vette montane ricoperte di limo, un atollo corallino

dalla cima bianca, un'isola vulcanica. Così ci apparirebbe il panorama dell'oceano se il nostro sguardo potesse penetrare nelle profondità. Il quadro inserito nella parte inferiore della tavola mostra una sezione schematica dei continenti e degli oceani. Come appare da questo grafico, al di sotto della roccia granitica e sedimentaria, la quale forma i continenti, si stende il basalto che costituisce il pavimento dell'oceano. Esso è percorso da fessure vulcaniche dalle quali esce la roccia fusa, che solidificandosi dà origine alle montagne sottomarine ed alle isole.

Il profilo degli abissi

Sotto le acque del mare vi sono, come sulla terra, catene di montagne, vulcani, dirupi, altipiani e pianure. Vallate e gole profonde solcano il pavimento dell'oceano. Ma le loro dimensioni sono più maestose di quelle delle valli e delle gole che vediamo sulla terra: molte montagne sono più alte, molte catene più lunghe, molti canyons immensamente più profondi. Se la vetta più alta della terra, il Monte Everest, dovesse essere rovesciata nel punto più profondo dell'oceano, si troverebbe ricoperta da uno strato d'acqua dello spessore di quasi un chilometro e mezzo. Le differenze, però, non si limitano alla scala delle grandezze. Tutte le montagne e i punti sopraelevati della terra sono soggetti alla perenne opera di corrosione del vento, della pioggia e delle correnti d'acqua. Le montagne dell'oceano rimangono invece ferme e immutabili nelle tranquille profondità, protette contro tutti i mutamenti dallo scudo del mare.

I bacini dell'oceano differiscono topograficamente l'uno dall'altro, così come l'Asia differisce dall'Africa e l'America del Nord da quella del Sud. Tuttavia hanno in comune alcuni caratteri sostanziali. Ciascuno è diviso in tre grandi aree: la piattaforma continentale, la scarpa continentale e il fondo, il pavimento marino.

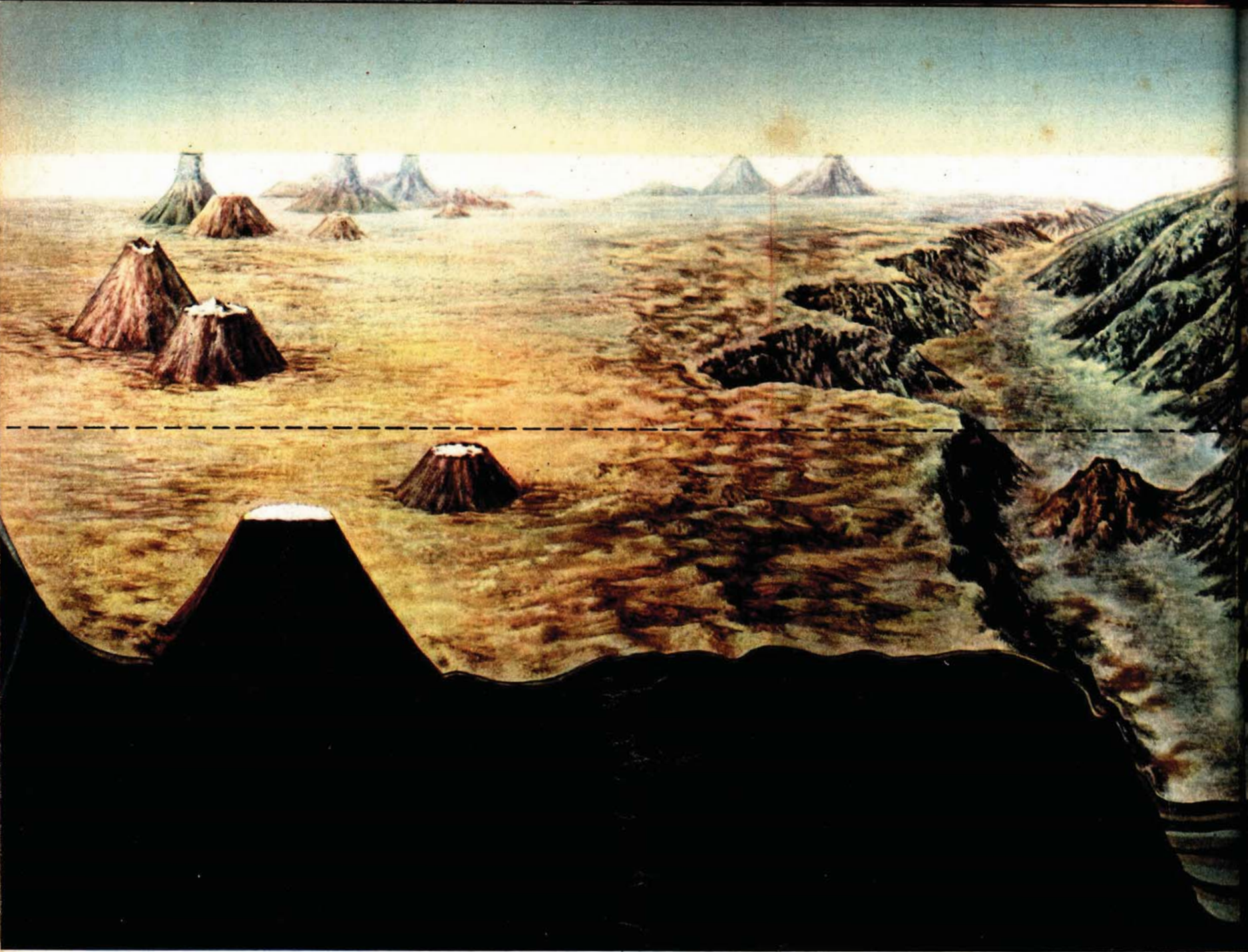
Le piattaforme sono la soglia dei continenti, le zone di transizione tra la terra e l'acqua. Nel corso delle età passate esse apparvero ora ricoperte dalle acque ed ora esposte all'aria, a seconda dei movimenti di avanzata o di ritirata del mare. Alcune parti delle coste continentali e molte isole danno bruscamente sul profondo pavimento marino, ma la maggior parte delle masse terrestri è circondata da estese fasce di acque poco profonde,

il cui declivio lentamente digrada fino a profondità che vanno dai 50 ai 200 metri coprendo un raggio dai 15 ai 350 chilometri di distanza dalla costa. Al largo delle coste montane e delle rive occidentali dell'America Settentrionale e Meridionale queste terrazze continentali sono limitate. Invece, al largo delle coste basse e delle foci dei grandi fiumi si estendono per chilometri e chilometri.

Al loro estremo limite le piattaforme continentali, queste terrazze sommerse della terra, si aprono improvvisamente su immensi versanti, spesso della lunghezza di 150 chilometri, che presentano strapiombi da 3.000 a 5.000 metri: sono le scarpe continentali, le più lunghe e ininterrotte scarpate che esistano sulla faccia del pianeta.

Alla base delle scarpe continentali, relegato nel freddo e nelle tenebre eterne, a chilometri di profondità, c'è il pavimento marino, il *nadir* del mondo dell'uomo, che comprende la metà di tutta la superficie della sfera planetaria. In un certo senso il termine di pavimento non è esatto, poiché solo in alcuni punti, come nel grande bacino dell'Atlantico orientale e in una vasta pianura vulcanica dell'oceano Indiano a sud-est di Ceylon, il fondo abissale del mare presenta quella piattezza ed omogeneità che si associa al concetto di pavimento. Tutti i letti dell'oceano sono increspatisi, attraversati da avvallamenti, divisi da catene di montagne e suddivisi da ponti trasversali e da catene di isole in gruppi di bacini più piccoli. Così ogni oceano ha diversi pavimenti (tanti quanti sono i suoi bacini) ciascuno dei quali ha contorni propri ed è ricoperto da vari strati di sedimenti.

Su tutto il fondo dell'oceano le rocce sono coperte da questi strati sedimentari, che sono il risultato del costante depositarsi, per un miliardo d'anni, di detriti organici ed inorganici che discendono lentamente dalle acque della superficie verso il fondo. Alcuni oceanografi hanno calcolato



IL PAESAGGIO DEL PACIFICO è caratterizzato da fosse abissali molto estese e da strani monti sottomarini dalla cima perfettamente piatta. I geologi americani hanno dato a queste montagne sommerse il nome di *Guyots* e ritengono si tratti di isole vulcaniche sprofondate. Alla base di alcuni *Guyots* ci sono avvallamenti, dovuti forse al fatto che la roccia sottostante si è incurvata sotto il loro peso. Le caratteristiche cime piatte appaiono ricoperte da scheletri di coralli e da detriti dell'erosione; ciò sembra indicare che un tempo i *Guyots* furono esposti all'aria

che questi detriti si accumulano nella misura di un centimetro ogni mille anni. Altri hanno calcolato che in certe zone le profonde correnti che scorrono lungo il fondo possono arrivare ad accumulare anche più di 30 centimetri in un giorno.

Del grande, invisibile scenario sottomarino, ciò che ha maggiormente attratto l'attenzione dei geologi, suscitandone la curiosità e la meraviglia, è la presenza delle grandi catene di montagne prive di alberi, senza neve, le cui cime non vedono mai il sole e che si innalzano di tenebra in tenebra, sommerse da una notte eterna. La più grande di tutte è il « Dorso Medio-atlantico », che attraversa l'Atlantico dall'Irlanda fin quasi all'Antartide. Scoperta per la prima volta quasi un secolo fa, in occasione del deposito dei cavi telegrafici transatlantici, questa catena è conosciuta oggi come il più imponente sistema di montagne della Terra: è lunga almeno 16.000 chilometri e larga 800, più del doppio della larghezza delle Ande. Molte sue cime sono più alte della maggior parte delle montagne continentali. Tuttavia giacciono quasi tutte a più di un chilometro e mezzo di profondità: solo di tanto in tanto c'è una vetta che emerge nel mondo dell'aria. Sono le isole sparse lungo l'Atlantico: l'isola d'Ascensione, le Rocce di San Paolo, le Azzorre. La vetta più alta, il Monte Pico delle Azzorre, si innalza per 2.284 metri sopra la superficie del mare.

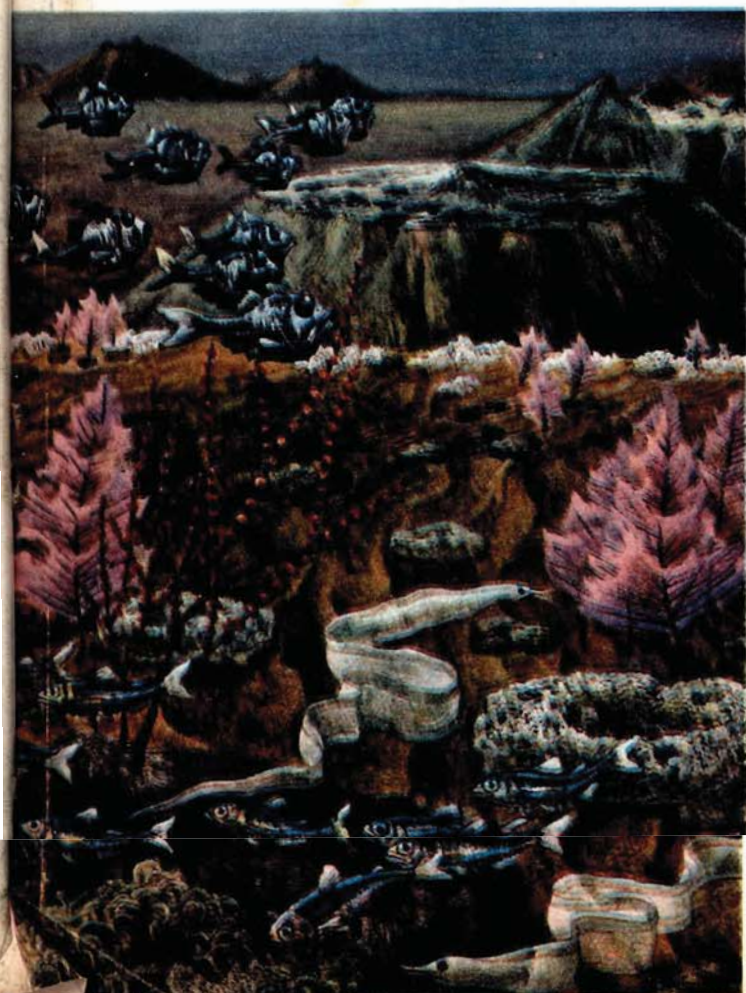
Più piccole sono le catene che si stendono attraverso i letti degli oceani Pacifico e Indiano. Le isole Hawaii rappresentano le vette di una catena, lunga 2.400 chilometri, che attraversa il Bacino del Pacifico centrale. Il vulcano hawaiano Mauna Kea è la montagna più alta della Terra; una grande cupola di lava che si innalza per quasi 10.000 metri direttamente dal pavimento del Pacifico e della quale appaiono, al di sopra del mare, soltanto gli ultimi 4.208 metri. Praticamente, tutte le isole che si tro-

e all'azione livellatrice delle onde. Al centro della tavola è raffigurata una tipica fossa oceanica, larga 15 chilometri e profonda 8.000 metri. Il fondo della fossa è costituito da strati di sedimenti il cui spessore è probabilmente di dieci chilometri. A destra appaiono una catena montana continentale e un canyon terrestre che, nella scala della tavola, ha le dimensioni del Grand Canyon dell'Arizona. Il lettore, attraverso questo raffronto, può valutare la differenza di dimensioni esistente tra i profili della terraferma e le gigantesche montagne e vallate dell'oceano.

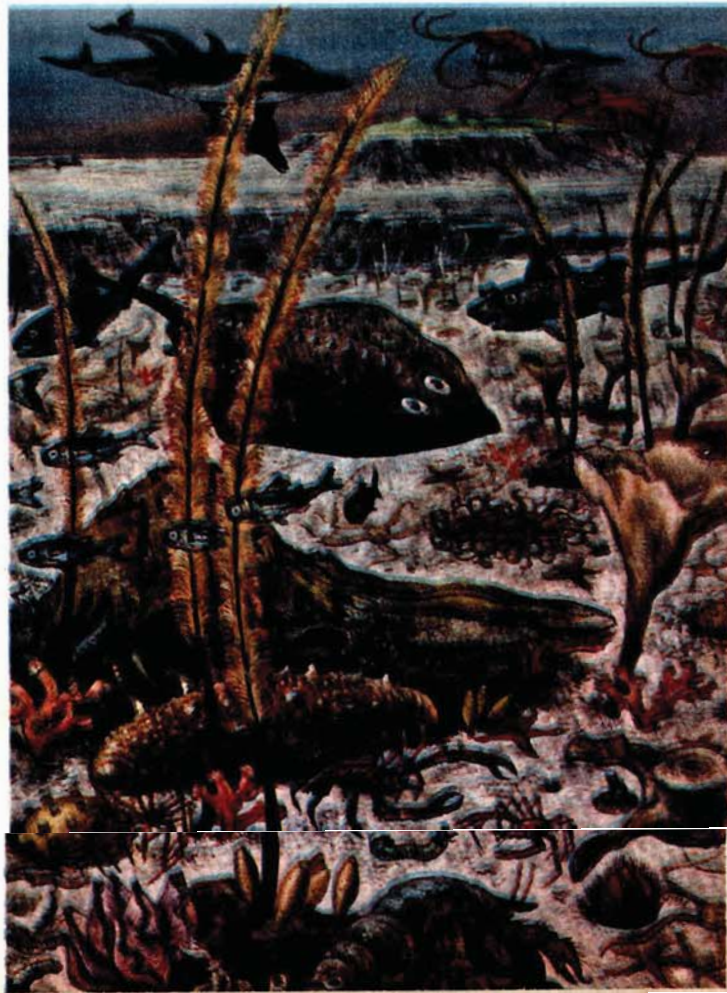
vano in mezzo all'oceano sono costituite da materiale vulcanico, basaltico, per cui differiscono geologicamente dalle isole che si trovano nei pressi delle coste, come l'Inghilterra, Cuba e Terranova, che attualmente sono appendici dei continenti di granito di fronte ai quali si trovano. L'opinione più diffusa è che la maggioranza delle montagne del mare abbia un'origine vulcanica.

Oltre alle grandi catene vulcaniche, gli oceani presentano un'altra forma di montagna sottomarina, diversa da tutte quelle che l'uomo è abituato a vedere: il « Guyot », ossia la montagna marina dalla vetta piatta. Nessun geologo aveva mai sospettato la presenza di simili montagne finché le navi provviste di scandagli non ne individuavano più di 150 nel Pacifico centrale durante la seconda guerra mondiale. Da allora ne sono state scoperte 500 nel Pacifico ed alcune nell'Atlantico. I « Guyots » rappresentano un prezioso materiale di studio per lo sviluppo delle teorie oceanografiche. A quanto pare, si tratta di vulcani le cui cime sono state erose dall'azione delle onde nel periodo in cui ancora emergevano dalle acque. Oggi le loro vette tronche giacciono coperte da uno strato d'acqua la cui profondità varia dagli 800 ai 1.500 metri. « Antiche isole annegate », le ha definite il loro scopritore.

Come esistono vallate sulla terra, così esistono vallate sotto il mare. Ma neppure le gole più selvagge dell'Himalaya sono così profonde, così paurose e tanto impenetrabili per l'uomo come le vallate del pavimento oceanico. Ogni oceano ha le sue lunghe e profonde gole; crepacci e baratri sul pavimento marino che sprofonda come se una forza titanica avesse succhiata la crosta attirandola verso il centro della Terra. Nessuna montagna si innalza di tanto, oltre la superficie del mare, da eguagliare in altezza la profondità di questi immensi avvallamenti.



LA CIMA DEL "GUAYOTE" (tavola a sinistra) si trova a poche centinaia di metri sotto il pelo dell'acqua, in una zona intermedia tra la superficie e il pavimento dell'oceano (visibile sullo sfondo). Queste montagne dalla cima piatta costituiscono uno degli aspetti più suggestivi del Pacifico. Fino a pochi anni fa la loro esistenza non era neppure sospettata.

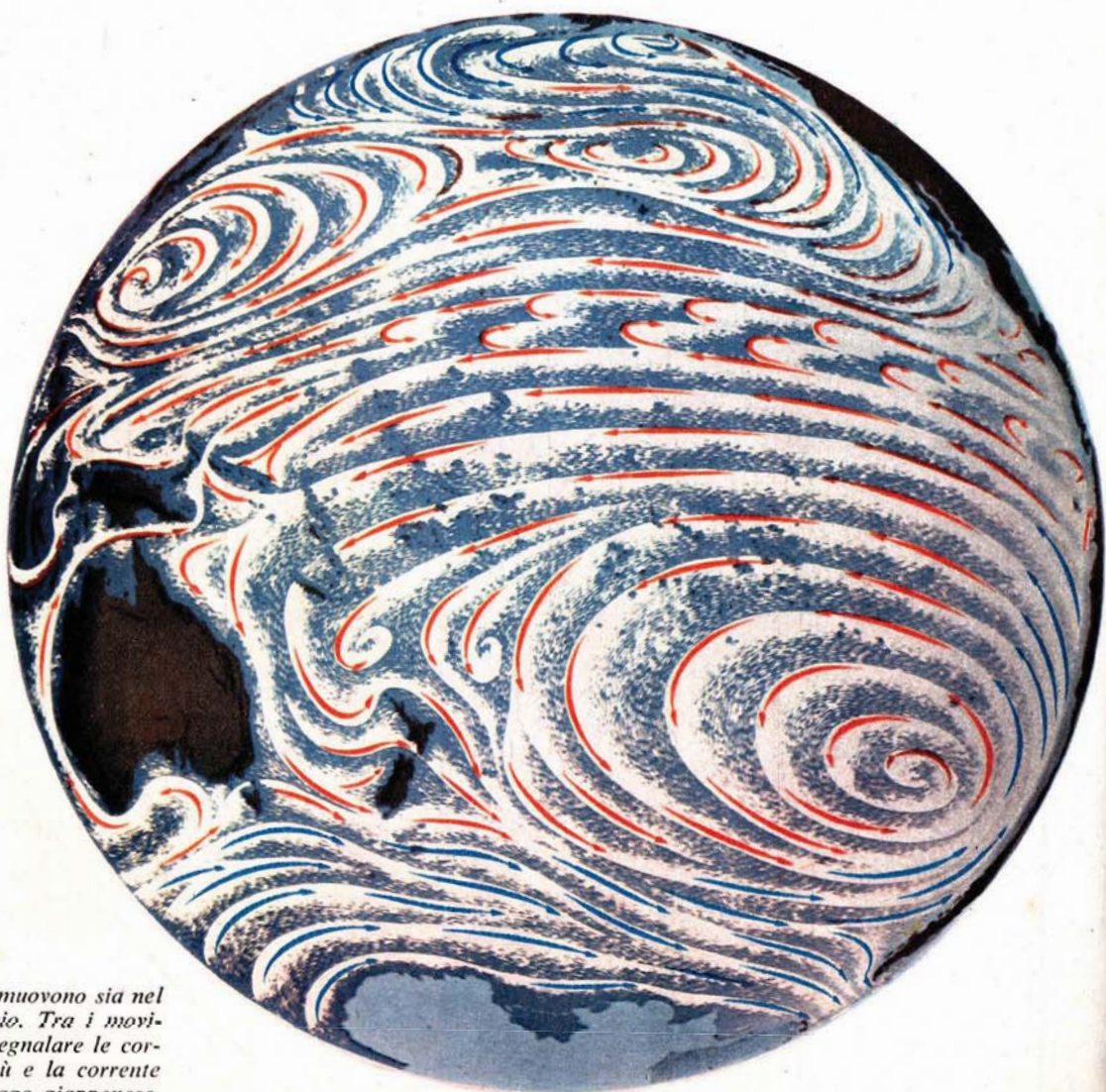
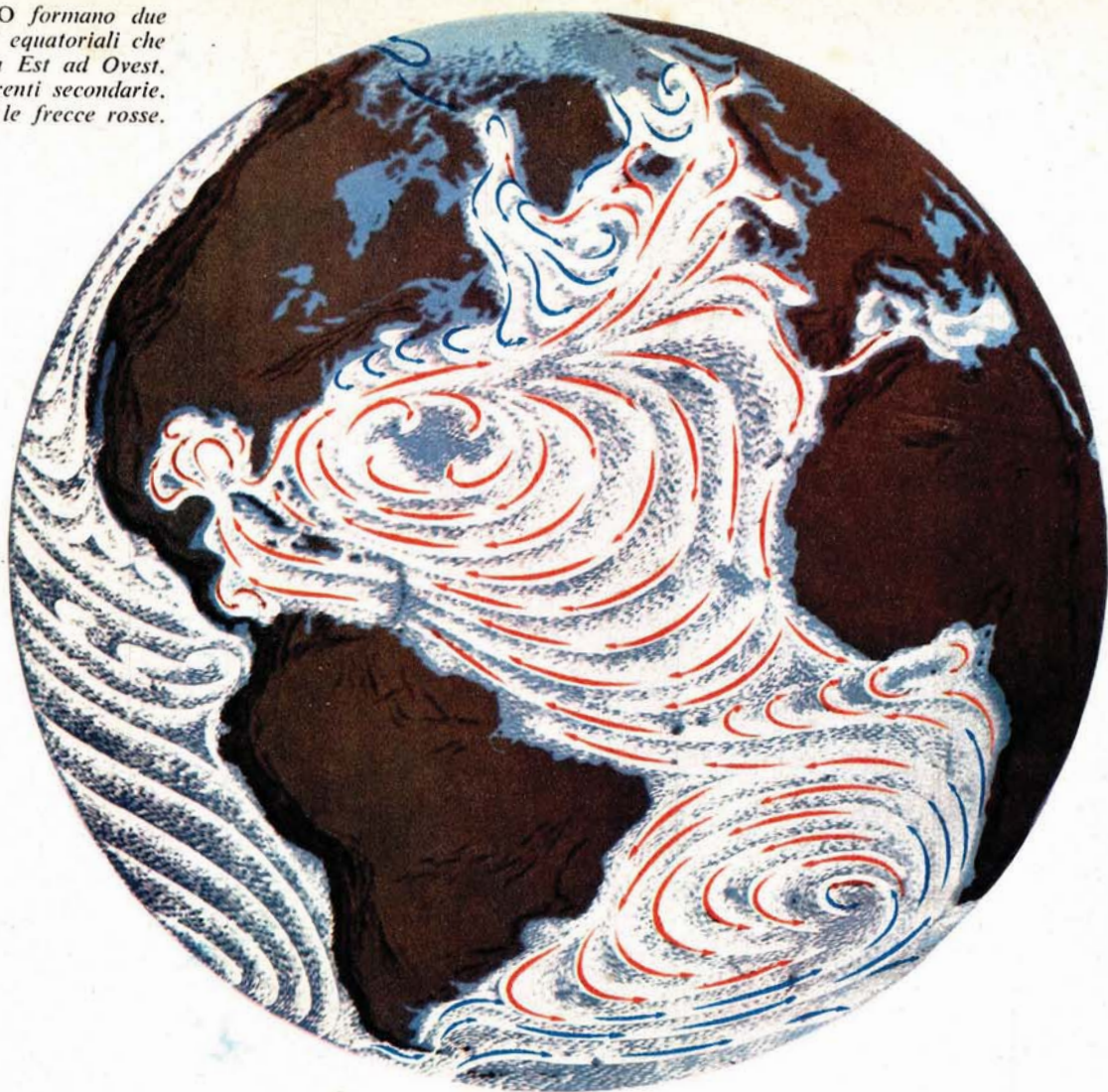


A DUECENTO METRI di profondità, su un banco al largo della costa (tavola a destra) la fauna marina è particolarmente rigogliosa. I raggi del sole vi giungono estremamente attenuati e la luce scarsa non favorisce la vita delle piante: vi si scorgono però animali che hanno l'aspetto di piante. In questa regione dell'oceano vivono di preferenza i delfini.

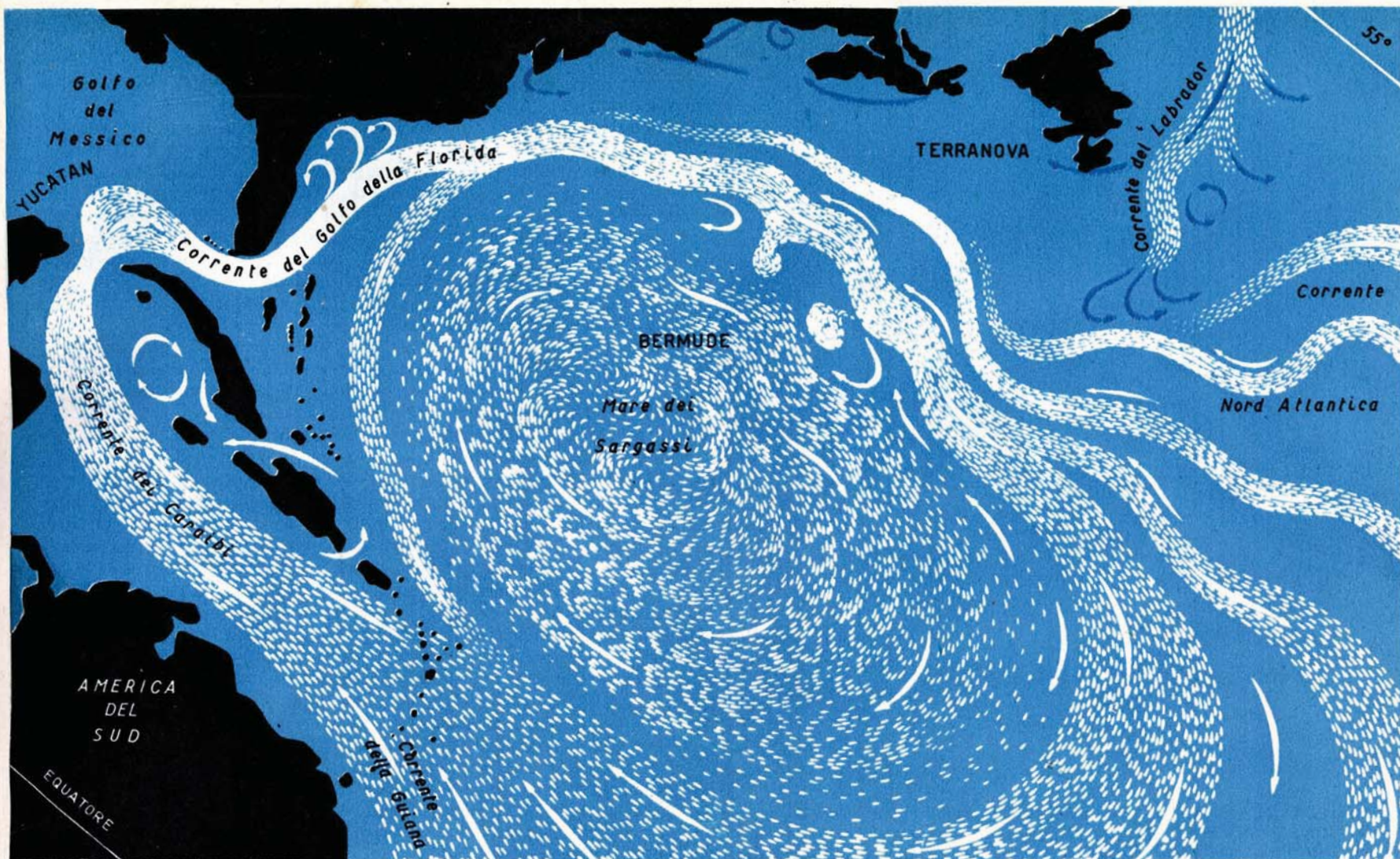
LE CORRENTI DELL'ATLANTICO formano due grandi vortici, originati dalle correnti equatoriali che corrono insieme con i venti Alisei da Est ad Ovest. Dai due sistemi maggiori nascono correnti secondarie. Quelle calde sono state indicate con le frecce rosse.



IL BORDO DELLA CORRENTE DEL GOLFO è reso visibile dallo stacco tra l'acqua verde e l'azzurra. I segnali gialli allineati in fila (foto al centro) subiscono la spinta della corrente verso il Nord e dopo breve tempo si dispongono ad angolo retto (foto in basso).



LE CORRENTI DEL PACIFICO si muovono sia nel senso dell'orologio sia in senso contrario. Tra i movimenti d'acque più importanti sono da segnalare le correnti fredde della California e del Perù e la corrente calda di Kuroshio, al largo dell'arcipelago giapponese.



LA CORRENTE DEL GOLFO è formata da una serie di correnti calde che vanno dallo Yucatan all'Europa avendo come perno il Mar dei Sargassi. Alimentata dalle

correnti della Guiana e dei Caraibi, essa passa all'altezza della Florida e si allarga gradualmente fino a dividersi in quattro correnti, separate da controcorrenti.

Le grandi correnti

L'aspetto complesso e meraviglioso del mare non risiede, naturalmente, soltanto in questi regni che si negano alla vista dell'uomo: ci sono i movimenti eterni, il sollevarsi e il ricadere delle maree, l'incresparsi della superficie per il vento e le onde, le grandi correnti che vanno da un polo all'altro, dall'oriente all'occidente e dall'occidente all'oriente, dai banchi sabbiosi agli abissi senza luce, suscitando «eterni sospiri sulle rive desolate».

Le forze che uniscono gli oceani e li accomunano in un movimento reciproco, che agitano le profondità, che spingono le acque calde verso le estreme regioni gelide della Terra e le acque fredde verso i Tropici assolati, sono complesse e interdipendenti, ma sostanzialmente si riducono a tre: il vento, la rotazione della Terra e i mutamenti nella densità dell'acqua (che varia a seconda della temperatura e del sale che contiene). Il clima, la gravità e l'attrito dell'acqua contro la terra hanno pure la loro parte notevole nel dare impulso a questo immenso movimento e nel perpetuarlo.

È noto che determinate condizioni locali possono creare venti locali, però le principali correnti d'aria, la cui direzione è influenzata anche dalla rotazione del pianeta, sono gli Alisei e gli Extratropicali. I primi soffiano da Nord-Est tra il Tropico del Cancro e l'Equatore e da Sud-Est tra il Tropico del Capricorno e l'Equatore. I secondi spirano in direzione opposta agli Alisei e cioè dai Tropici verso le regioni polari. Gli Alisei danno l'impulso iniziale alle grandi correnti marine equatoriali che procedono verso occidente e dalle quali prendono l'avvio molti dei complessi movimenti della superficie dell'oceano. In ogni oceano le correnti equatoriali, che corrono con gli Alisei dall'Est all'Ovest, quando arrivano nei pressi delle barriere continentali subiscono una deviazione verso Sud nell'emisfero meridionale e creano un grande mulinello che gira in direzione opposta a quella dell'orologio; nell'emisfero settentrionale subiscono invece una svolta verso Nord e formano un vortice che segue il movimento dell'orologio.

Da ognuno di questi sistemi maggiori si sviluppa una serie di correnti secondarie, ciascuna delle quali ha profonde influenze sul clima e sull'economia delle terre adiacenti. La più famosa di tutte è la grande corrente dell'Atlantico del Nord, nota ai marinai da quattro secoli sotto il nome di Corrente del Golfo. Fino a poco tempo fa si riteneva che questa corrente costituisse un unico «fiume» sottomarino, secondo un arco continuo dalla Florida alle coste della Norvegia. Ora però gli oceanografi riten-

gono che essa consista in quattro correnti minori, separate da controcorrenti, che mutano continuamente di posizione e a volte formano immensi vortici che si estendono per 150 chilometri. La corrente varia a seconda dei luoghi e delle stagioni e può trasportare fino a 72 milioni di metri cubi di acqua al secondo (quasi 1.200 volte il volume del Mississippi) a una velocità massima che s'avvicina ai 10 chilometri l'ora.

Non è solo il vento, tuttavia, che governa i movimenti marini. Ci sono nell'acqua declivi invisibili, piani inclinati determinati dalle variazioni nella densità dell'acqua. Queste variazioni sono il risultato di differenze che si verificano nella temperatura e nella salinità, principalmente per effetto della pioggia e dell'evaporazione prodotta dal Sole. Mentre la Terra gira, le correnti si muovono lungo questi declivi di densità. La temperatura dell'oceano, alla superficie, va dai 2° sotto zero nelle regioni polari ai 32° nel bacino del Golfo Persiano. L'acqua fredda è più densa di quella calda e per questa ragione si adagia sul fondo, dove giorno e notte, per tutto l'anno, la temperatura si mantiene sullo zero.

Anche il sale contenuto dalle acque influisce sulla loro densità. Quelle del Mar Rosso, ad esempio, presentano 41 parti di sale per ogni 1000 parti di acqua e perciò hanno una densità molto maggiore delle acque del Baltico, dove i fiumi e la pioggia rendono molto basso il contenuto di sale. Così, attraverso i mari, ci sono correnti non viste che salgono e scendono continuamente o che scivolano lungo i declivi segreti e sempre mutevoli della temperatura e del sale.

Vi sono molti strati, nel mare, e molte correnti invisibili che debbono la loro energia esclusivamente alle differenze di densità. Le più famose sono forse le correnti di densità che attraversano lo Stretto di Gibilterra. Nel Mediterraneo le piogge sono scarse e le temperature sono alte, così che le acque, per effetto del calore solare, evaporano rapidamente. Di conseguenza diventano sempre più salate, sempre più dense, e affondano formando sotto la superficie una coltre ricca di sale, la quale scorre in un corridoio attraverso lo Stretto di Gibilterra e si abbassa verso il fondo finché raggiunge i 1000 metri di profondità: a questo livello trova intorno a sé acque della stessa densità e tende ad allargarsi orizzontalmente attraverso l'Atlantico, finché perde la propria identità nei pressi delle Bermude. Mentre le acque del fondo del Mediterraneo escono attraverso il corridoio, quelle più leggere, meno saline dell'Atlantico affluiscono in superficie nel Mediterraneo e ne prendono il posto. Durante l'ultima guerra i sottomarini tedeschi si servivano di questa doppia corrente dello Stretto di Gibilterra per entrare nel Mediterraneo ed uscirne a motori spenti: entravano spinti dalle acque di superficie dell'Atlantico e uscivano seguendo il corridoio dell'acqua pesante.

Le maree e le onde

Possiamo ora descrivere le grandi correnti marine come un duplice sistema rotatorio. Alla superficie, spinte dal vento, ruotano le masse d'acqua al cui centro si trovano le grandi correnti come la Corrente del Golfo, che si muove alla velocità di quasi 10 chilometri l'ora. Al di sotto della superficie, influenzate dalla pioggia e dal sole, scorrono le profonde correnti di densità che, a strati sovrapposti, si aprono la strada nelle cieche profondità, a volte sollevandosi e a volte abbassandosi lungo i loro invisibili declivi. Alcuni oceanografi stimano che una determinata particella d'acqua, posta in una simile corrente di densità, possa impiegare dieci anni per scivolare dagli strati della superficie dell'Artico alle abissali profondità nei pressi dell'Equatore. Altri ritengono invece che occorra un periodo di 2.000 anni.

Oltre a questi progressivi, continui movimenti delle acque, spinte dal vento e dalla rotazione della Terra, gli oceani manifestano moti più chiaramente periodici o reversibili, come il quotidiano sollevarsi e abbassarsi delle maree. Discusse per la prima volta nella storia verso la metà del quinto secolo a. C. da quell'acuto osservatore che fu lo storico greco Erodoto, le maree quotidiane restarono un mistero (spesso le attribuirono al respiro di un gigantesco mostro marino) finché Isacco Newton nel 1687 le mise in relazione con la sua famosa teoria della gravitazione. Ma la complessità del fenomeno è tale che un'unica spiegazione non può essere ritenuta sufficiente. Un fatto noto è che in molte zone del mondo, come ad esempio lungo l'oceano Atlantico, la marea ascendente è più alta e quella discendente più bassa nei periodi di Luna piena o Luna nuova. Quando invece la Luna è nel primo o nel terzo quarto le fluttuazioni sono meno marcate. Queste variazioni sono dovute al fatto che le acque della Terra rispondono all'impulso gravitazionale tanto del Sole quanto della Luna, la cui forza d'attrazione è però diversa. La Luna, essendo più vicina alla Terra, esercita un'attrazione superiore più del doppio a quella del Sole. Durante la Luna nuova o la Luna piena tutti e tre i corpi - la Terra, la Luna e il Sole - sono allineati, sicché l'influsso gravitazionale del Sole e quello della Luna si stimolano reciprocamente e si verificano maree massime. Invece, durante il primo e il terzo quarto, il Sole, la Luna e la Terra si trovano ad angolo retto l'uno rispetto alle altre e neutralizzano la propria influenza, producendo movimenti più limitati nelle maree.

Neppure ora, però, la risposta è completa. La velocità del movimento delle maree è determinata dalla profondità delle acque. Ogni stretto, ogni baia, ogni insenatura della Terra ha particolari ritmi e misure nel movimento delle maree. In alcuni luoghi, come a Tahiti, la marea si solleva di soli trenta centimetri. In altri, come la baia di Fundy, nella Nuova Scozia, si innalza fino a 15 metri. In alcuni rami della foce del Rio delle Amazzoni può formare un'onda, detta *bore*, alta sino a 3 metri, che risale il fiume. In molti punti dell'Atlantico le maree si sollevano e si abbassano due volte al giorno, in alcune regioni del Pacifico e dell'Oceano Indiano solo una volta al giorno.

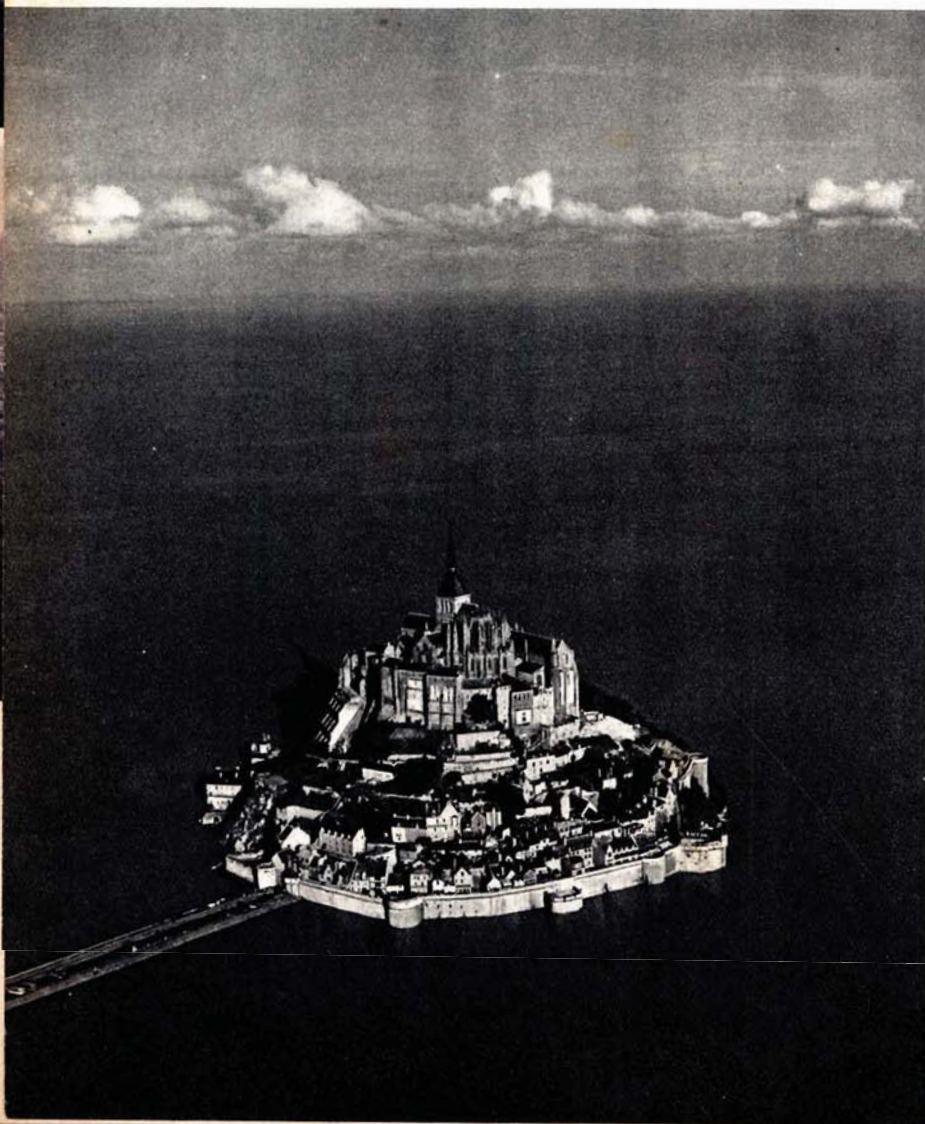
Questi fenomeni furono catalogati tra le inspiegabili anomalie del mare fin quando si ritenne che il pavimento dell'oceano fosse costituito da un'immensa pianura perfettamente livellata. Oggi invece sappiamo che ogni oceano ha molti bacini e che all'interno di ciascun bacino le acque tendono ad oscillare, esattamente come quelle di un catino o di una vasca da bagno quando vengono smossi, con movimenti in avanti e indietro. L'estensione, la forma e la profondità di ogni bacino determinano il periodo dell'oscillazione ed è questo il fattore che provoca le irregolarità nella consistenza e nella periodicità delle maree. Quando per caso il movimento armonico delle acque di un bacino coincide con l'attrazione combinata del Sole e della Luna le maree raggiungono il loro massimo livello; quando invece queste forze si trovano in opposizione ottengono il risultato di neutralizzarsi a vicenda e le maree sono meno accentuate. Una località posta all'estremità di un bacino avverte maree più alte di una località situata nella zona centrale, così come ai punti estremi di un'altalena si registra un movimento più marcato che nel centro. La baia di Fundy si trova alla fine di un bacino il cui periodo d'oscillazione è in armonia con gli influssi gravitazionali della Luna e del Sole. La sua conformazione, inoltre, è tale che le acque, gonfiandosi, passano attraverso una vasta imboccatura per riversarsi in un braccio di mare sempre più ristretto. Due volte al giorno miliardi di metri cubi di acqua passano attraverso questa gola, formando la più grande marea della Terra.

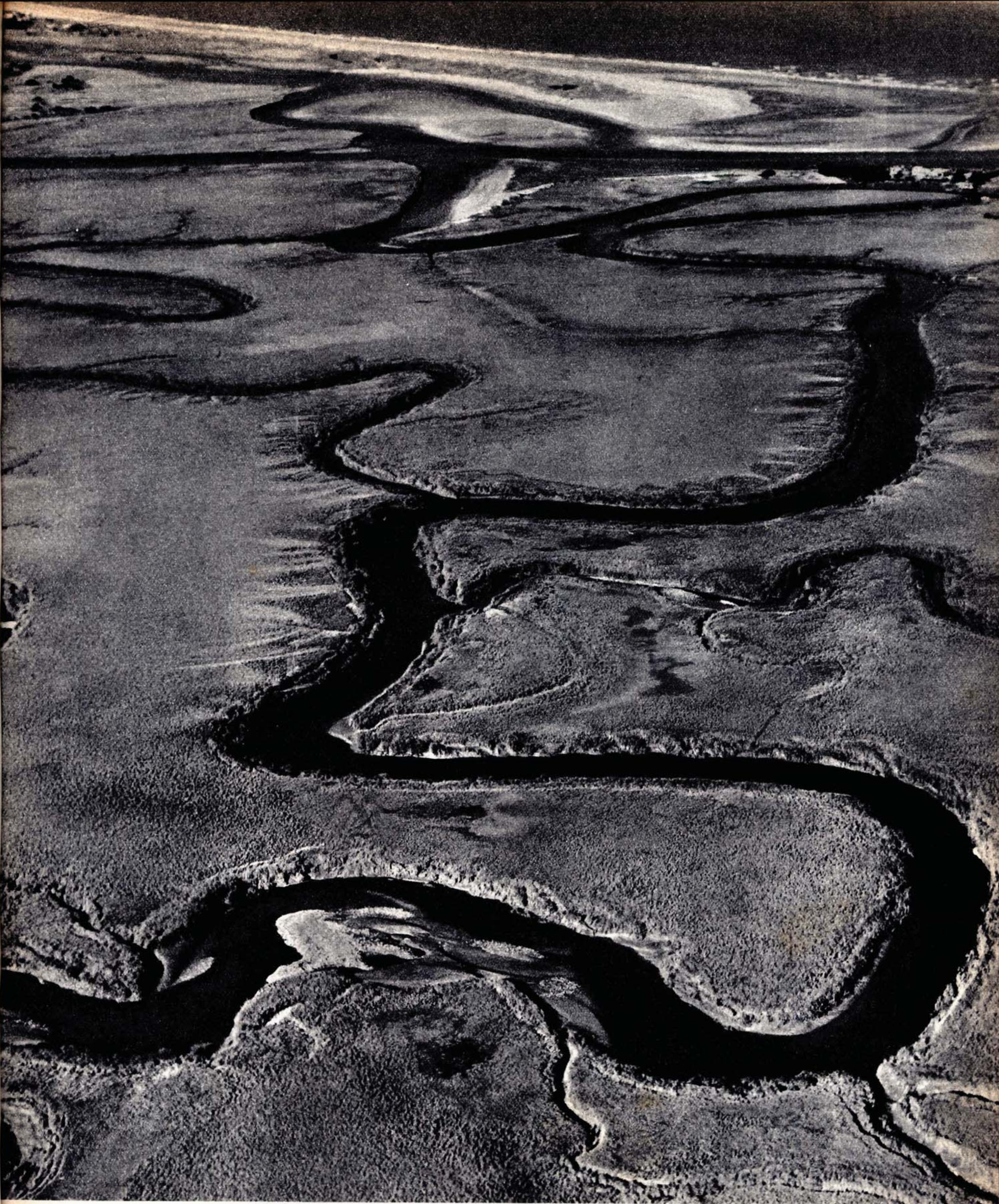
Le maree e le correnti sono utili all'uomo in diversi modi, ma le onde sono sempre state sue nemiche. Di tutti i movimenti delle acque nessuno ha un maggior potere di distruzione o suscita più terrore delle onde, sia che esse si innalzino con le bianche creste sul mare aperto, sia che si abbattano sulle rive battute dal vento. Per la maggior parte delle persone la parola «onda» sta ad indicare ogni gonfiarsi ed elevarsi del mare. Attualmente si distinguono tre tipi di onde, che differiscono per la forma e per le circostanze che le producono. La prima è l'onda generata da un vento leggero che sfiora l'acqua. La seconda è l'onda che proviene dalla zona di una tempesta e viaggia attraverso le acque calme per effetto del



LA BASSA MAREA a Mont St. Michel, la storica abbazia fortificata al largo della Bretagna, porta alla luce due volte al giorno un'immensa distesa di sabbia e fango. Si tratta di una tra le più grandi maree che si conoscano sulla Terra.

L'ALTA MAREA ha di nuovo ricondotto le acque a circondare i bastioni dell'abbazia. Questa fotografia è stata scattata a sei ore di distanza dalla precedente. Spesso è capitato a molti d'essere travolti dall'avanzata improvvisa delle acque.





UNA PALUDE GENERATA DALLE MAREE presso Brunswick, in Georgia. Ogni giorno, con alta marea, l'acqua del mare accorre a riempire i canali e poi si ritira. Sulle coste basse come questa il ritmico sollevarsi e abbassarsi

delle acque finisce spesso col creare nuove terre. Anni fa questa zona era completamente ricoperta dal mare, poi la sabbia trascinata dalla risacca costruì una barriera dietro la quale i sedimenti si accumularono formando la palude.



SULLE RIVE PIATTE, come questa in Florida, l'opera costruttrice del mare è in pieno sviluppo: il flusso lento delle onde fa sì che sempre nuova sabbia vada ad accumularsi lungo la riva. Possono così formarsi chilometri di nuove terre.

suo stesso impulso. La terza, infine, è quella che raggiunge la terra e vi si infrange.

Le acque reagiscono anche ai più tenui movimenti dell'aria. Uno zefiro che proceda a una velocità anche inferiore a un chilometro l'ora è sufficiente a dare inizio a un'oscillazione della superficie che rapidamente si trasforma in una serie di increspature. Quando la brezza raggiunge i tre chilometri l'ora le increspature si trasformano in onde che si ingrossano progressivamente, fin quando la corrente dell'aria continua a premere sul loro dorso e a spingerle in avanti. La grandezza che esse possono assumere dipende da tre fattori: la velocità del vento, la sua durata e l'estensione dell'acqua sulla quale esso può viaggiare senza incontrare ostacoli. Per esempio, una burrasca che proceda alla velocità di 60 chilometri orari attraverso una baia larga solo 20 chilometri non potrebbe provocare onde alte più di due metri. Lo stesso vento, soffiando lungo un'estensione d'acqua di 100 chilometri, può sollevare onde alte fino a quattro metri. E se l'estensione dell'acqua è di 500 chilometri, le onde diventerebbero alte più di sei metri e mezzo. Nel Mediterraneo, dove le estensioni marine sono limitate, anche le burrasche più violente non possono produrre onde superiori ai cinque metri. Ma negli oceani una burrasca della velocità di 100 chilometri orari che duri per due giorni lungo un'estensione di 1.500 chilometri di acque aperte può sviluppare onde di 12 metri, che è press'a poco l'altezza massima osservata.

I venti animati da una velocità maggiore, come ad esempio i tifoni, trasformano la superficie dell'oceano in un pauroso ammasso turbolento ma non sollevano onde molto alte perché sfiorano appena la superficie delle acque e cambiano direzione continuamente. E il vento costante, continuo, che suscita le ondate più alte. Di tanto in tanto i marinai riferiscono di aver visto mostruose, gigantesche piramidi d'acqua alte dai 25 ai 30 metri, ma si tratta di fenomeni isolati, dovuti alla casuale collisione e fusione di due o più gruppi di onde.

Una volta messa in movimento, un'onda continua a correre attraverso

2 - IL MONDO IN CUI VIVIAMO

il mare, anche se esso è completamente calmo e piatto, per giorni e giorni e per migliaia di chilometri. A mano a mano che va avanti, la sua altezza (dalla base alla cresta) diminuisce, mentre la sua larghezza (da una cresta alla successiva) aumenta. Anche la sua velocità aumenta gradatamente, tanto che a un certo punto può arrivare a superare quella del vento che le dette la spinta iniziale. Le grandi ondate, che talvolta sono state sollevate da un terremoto sottomarino o da una frana, in certi casi hanno percorso più di 150 chilometri ed hanno raggiunto velocità di circa 800 chilometri l'ora.

Contrariamente a quanto si crede comunemente, quella che si muove sul mare non è la massa d'acqua che costituisce l'onda ma solo la forma dell'onda. L'avanzare di un'ondata può essere paragonato all'oscillare di un campo di grano sotto la lieve spinta di un vento. Le spighe del grano si piegano secondo una sequenza ritmica, ma rimangono ferme al loro posto. Tuttavia il paragone non è ancora abbastanza esatto, perché ogni singola particella d'acqua si muove in avanti soltanto nella proporzione dell'uno o del due per cento della velocità della forma dell'onda.

Ogni particella o goccia d'acqua appartenente a un'onda percorre un'orbita circolare, come se viaggiasse all'interno di una ruota che gira nella direzione dell'avanzata dell'onda. L'ampiezza dell'orbita è, per le particelle della superficie, uguale all'altezza dell'onda. Più si va verso il fondo e più l'orbita diminuisce, il che vuol dire che l'azione dell'onda diventa minore con l'accrescersi della profondità. Quando si raggiungono i 170 metri di profondità il mare si trova in uno stato di relativa calma, anche se alla superficie le acque sono in preda al più selvaggio tumulto. Quando l'onda arriva ai bordi della terra la sua forma cambia: la sua altezza si riduce alla metà della sua lunghezza. Allora le orbite delle particelle d'acqua da circolari diventano ellittiche, l'onda si incurva e va a infrangersi contro la terra.

L'energia contenuta in un'onda che si infrange è tremenda. Le registrazioni effettuate con i dinamometri hanno dimostrato che talvolta un'onda si spezza con una forza eguale alla pressione di 20 e più tonnellate per metro quadrato. Pertanto le onde che s'abbattono su una zona costiera durante una tempesta riescono a volte ad aprire brecce nei valli marini costruiti in cemento armato e posseggono una forza capace di scavare enormi grotte nelle pareti delle rupi che si levano sul mare.

In molti fenomeni della natura la creazione e la distruzione si bilanciano. Questo è particolarmente vero per il mare. Il flusso delle onde può corrodere una riva e può anche ricostruirla. I confini dei continenti e delle isole, come li vediamo disegnati sulle carte geografiche, debbono essere considerati di carattere temporaneo: ogni promontorio, ogni spiaggia, ogni insenatura della terra è in fase di edificazione o di distruzione. In genere le grandi onde sollevate dalle tempeste, che riversano tonnellate di acqua sulle rive, sono quelle che distruggono. Le onde moderate sono costruttrici: esse spingono lentamente le loro acque sulla terra e lentamente le ritraggono trasportando innumerevoli granelli di sabbia prima verso la terra, poi verso il mare, poi ancora verso il declivio della riva: qui finalmente, essendosi ormai quasi esaurita la loro forza, li depositano ritirandosi lentamente.

I geologi conoscono, oggi, molti capitoli dell'interminabile storia dell'architettura marina. Uno è il capitolo che si svolge lungo le « linee costiere d'emersione », dove un sollevamento della terra o un abbassamento del mare hanno portato alla luce una parte della piattaforma continentale. In queste zone la riva è piatta e presenta un lieve pendio, come la piattaforma stessa, e l'azione del mare tende a creare nuovi promontori e a formare barriere di sabbia. Molti chilometri di nuova terra possono essere costruiti in questo modo. Le famose spiagge degli Stati Uniti sud-orientali sono costruzioni tipiche del mare su una costa emersa. Ma lungo le « coste sommerse », come quelle della Manica e della Scozia, dove una parte del continente è affondata o il mare si è innalzato fino a inondare le valli terrestri, si verificano processi diversi. Qui il mare svolge un'azione di intaglio, tende a piallare le penisole, le montagne, le isole. A volte, in mezzo a una baia, le onde costruiscono spiagge con i detriti delle rocce che hanno corrose. Ma alla fine, quando il loro lavoro è stato portato a termine, la costa presenta una parete diritta di roccia marina, come è facile osservare a Dover o a Calais.

Durante questo lungo processo, i ceselli del mare in movimento possono intagliare la roccia con una grande varietà di strane, grottesche ed a volte bellissime forme: grotte marine, archi, canali e monoliti a forma di colonne. Spesso il lavoro di scultura delle onde è rapido in maniera sorprendente; ciò accade quando ciascun frammento di roccia che cede viene assorbito dal mare e trasformato in una specie di ariete per percuotere la terra. In molte parti del mondo le rocce costiere si logorano a una media che va dai 5 ai 10 metri l'anno. Ma per ogni rupe che s'abbatte sotto il martello del mare, in un'altra parte del mondo sorge una spiaggia modellata dall'opera lenta delle onde che vi trascinano la sabbia, o si forma un nuovo delta sabbioso coi sedimenti trascinati dalle correnti, o emerge una nuova scogliera di corallo nelle acque chiare di una laguna tropicale, o appare una nuova isola per l'improvviso irrompere alla superficie di un vulcano sottomarino. E per questo che i confini tra il mare e la terra sono effimeri e nessuna costa terrestre è mai la stessa per due giorni di seguito. Ogni onda che s'abbatte sulle rive toglie un frammento di roccia da una parte e deposita un grano di sabbia da un'altra.

Tuttavia anche questi mutamenti, che l'uomo è in grado di osservare



IL MARE HA COSTRUITO queste distese di calcare che costituiscono il Grande Banco di Bahama. Per un numero incalcolabile d'anni il moto delle onde ha accumulato gusci e scheletri di minuscoli organismi marini, creando depositi che

si sono solidificati in rocce sedimentarie. Il Grande Banco è stato fotografato durante l'alta marea: le increspature sono dovute all'azione delle correnti. È ricoperto di sabbia e fango. I canali sono profondi da tre a cinque metri.



UN ARCO SCAVATO dal morso delle acque sulla roccia. Lentamente, per effetto dell'erosione, esso continuerà ad assottigliarsi, fino a trasformarsi in un macigno circondato dal mare. Su questa costa del Galles l'azione delle onde è distruttrice.



L'ACQUA HA INTAGLIATO la roccia formando una serie di gradini presso la Punta di Buckquoy, nelle isole Orkney, in Scozia. In alcune località delle isole britanniche la costa viene corrosa alla media di circa cinque metri ogni anno.



COLONNE DI GRANITO sono sorte dall'opera di scavo che l'acqua, qui, ha compiuto nella roccia in senso verticale. Questo è Land's End, il punto più settentrionale dell'Inghilterra. Le colonne sono destinate a crollare nel mare.

dalla sua breve scala temporale, sono insignificanti se confrontati con quelli ben più vasti che si sono verificati nel passato e che continueranno ancora a ripetersi, fino alla fine dei tempi. Oltre ai costanti progressi e regressi locali, limitati alle coste, le acque dell'oceano hanno compiuto, nel corso della storia geologica, numerose avanzate e ritirate che hanno coinvolto l'intero mondo e che si sono susseguite secondo una sequenza ritmica. Più volte, ripetutamente, i continenti sono stati sommersi da mari poco profondi. Circa 250 milioni d'anni or sono, durante l'epoca geologica conosciuta col nome di Periodo Carbonifero, gran parte degli Stati Uniti centrali erano un'immensa palude e 350 milioni d'anni fa, nel Periodo Ordoviciano, la più grande inondazione di tutti i tempi ridusse l'America del Nord a un gruppo di isole. Tra tali epoche vi sono stati periodi in cui le masse terrestri si levarono alte al di sopra dei mari e l'Alaska e la Siberia erano unite da un ponte attraverso lo stretto di Bering e le Indie orientali facevano parte del continente asiatico. Molte delle grandi masse d'acqua che si trovano ai bordi o all'interno dei continenti (il Mare del Nord, il Baltico, la Baia di Hudson e parte del Mare della Cina) non sono altro che invasori temporanei, i quali usurpano per un periodo relativamente breve le zone basse dei declivi continentali.

Quali forze provocano queste maestose inondazioni, questi immensi movimenti del mare che si ripetono secondo un ritmo lentissimo? I geologi ritengono che le risposte possibili siano due: 1) i cambiamenti che si verificano nella quantità delle acque marine; 2) i cambiamenti che si verificano nella forma e nella profondità dei bacini oceanici. È noto, ad esempio, che ancora oggi l'acqua emerge dall'interno della Terra attraverso l'azione vulcanica; ogni volta che si verifica l'eruzione di un vulcano sottomarino viene scaricata nel mare una certa quantità di acqua « giovane ». Ma si tratta di quantità inadeguate a spiegare le grandi fluttuazioni che si sono avute nel passato. Naturalmente i ghiacciai hanno avuto una parte importante in questi mutamenti di livello delle acque oceaniche. Ogni goccia di pioggia che cade sulla terra e si ghiaccia è una goccia d'acqua perduta per il mare. Durante l'ultimo milione di anni le periodiche età glaciali, nel corso delle quali i ghiacciai si ispessivano e avanzavano attraverso la terra, sono state accompagnate dal decrescere dei livelli del mare. Ma tra un'epoca glaciale e l'altra ci sono stati periodi più caldi, durante i quali i ghiacci si sono sciolti e le acque hanno di nuovo ricoperto la terra. Questo alternarsi di età fredde e calde ha lasciato le proprie tracce nelle rocce erose dalle onde, nelle rupi situate all'altezza del livello attuale delle acque, nelle incavature glaciali e nelle valli fluviali poste sui bordi sommersi dei continenti ed oramai cancellate. Oggi che i grandi ammassi di ghiaccio della Groenlandia e dell'Antartide (resti « fossili » dell'ultimo periodo glaciale) si liquefano lentamente, il livello dell'oceano sta di nuovo aumentando a una media di circa 20 centimetri per ogni secolo. Se tutti i ghiacciai esistenti dovessero sciogliersi, il livello del mare salirebbe dai 20 ai 50 metri oltre quello attuale e circa un quarto delle terre sarebbe sommerso.

Ma neppure questo sollevarsi delle acque per 50 metri può spiegare le straordinarie inondazioni dei Periodi Ordoviciano e Cretaceo, quando il mare si sollevò (o la terra si abbassò) probabilmente di 180 metri e sommerse circa la metà del suolo terrestre. E ancora meno esso ci può spiegare il chilometro e mezzo e più di acqua che sovrasta i « Guyot », i monti sottomarini dalla cima piatta che un tempo conobbero l'aria e poi cedettero all'azione delle acque. Il periodico scambio di acque tra il mare e i ghiacciai non può dare da solo una spiegazione esauriente. Perciò molti studiosi ritengono che i contorni essenziali del pavimento oceanico siano stati, di periodo in periodo, deformati da forze sconosciute. I cataclismi vulcanici, il sorgere di nuove catene montane come le isole Hawaii, potrebbero aver spostato migliaia di chilometri di metri cubi di acqua. O forse i fuochi primordiali, che giacciono nel cuore profondo del pianeta, hanno creato alterne correnti o altre pressioni subcrostali, costringendo il pavimento oceanico a pulsare nel corso delle età con ritmici intervalli, ora pompando le acque verso i continenti ed ora risucchiandole verso il fondo.

È lecito chiedersi, a questo punto, se verrà un tempo in cui tutte le terre del globo saranno sommerse dal « sorgente mondo delle acque profonde e tenebrose ». Qui entra in gioco il bilanciarsi delle forze naturali. Infatti i processi antagonisti di crescita delle montagne e di erosione, di sollevamenti e abbassamenti crostali, che si sono alternati nel corso della storia geologica, in un certo senso sono auto-regolati. Più le cime della terra si levano in alto e più è rapida l'erosione che le livella, affidando al mare i loro detriti. Più la terra è bassa, più è lenta l'opera dell'erosione. Ed è anche chiaro che la sottile e sensibile crosta terrestre trasferisce continuamente i propri carichi; a mano a mano che le masse continentali diventano più sottili e leggere, altre terre si levano. Ogni livellarsi dei continenti, ogni invasione delle acque, sono inevitabilmente seguiti dall'innalzarsi di nuovi continenti e da una ritirata del mare.

Finché queste forze si bilanceranno, finché sorgeranno nuove montagne e i vulcani sputeranno nuove masse di rocce fuse e le piattaforme continentali saranno sottoposte a pressioni mutevoli, ci sarà terra al di sopra delle acque e l'uomo avrà un posto dove vivere. Questo è forse l'ultimo miracolo del mare, come l'autore dell'*Ecclesiaste* ci insegna quando afferma: « Tutti i fiumi scorrono nel mare, ma il mare non è mai pieno ».

(2 - Continua)

Lincoln Barnett

An aerial photograph of a river valley. The river flows from the bottom left towards the right, curving slightly. The valley is filled with fields and forests. The trees are in various shades of green, yellow, and orange, indicating autumn. In the background, there are rolling hills and mountains under a clear blue sky. The overall scene is a beautiful landscape view.

3 - IL MONDO IN CUI VIVIAMO

Il volto della Terra

Il globo senza pace

L'uomo considera la natura come un terreno di conquista da asservire ai propri fini materiali e guarda con orgoglio ai mutamenti che ha saputo apportarvi. Le sue città rappresentano immense incrostazioni di pietra che sempre più si espandono verso le verdi campagne e le inaridiscono. Le ferrovie e le strade d'asfalto da lui costruite attraversano le pianure e trasformano l'aspetto dei valichi montani. Le sue dighe maestose bloccano interi fiumi e creano nuovi, profondi laghi.

Mentre, per far fronte alle proprie esigenze, l'uomo apporta queste piccole modifiche al mondo in cui vive, difficilmente si rende conto che la natura intorno a lui è sottoposta a mutamenti molto più vasti per effetto di forze che sfuggono al suo controllo e che agiscono con un ritmo troppo lento perché egli possa avvedersene. Un tempo si riteneva che l'attuale aspetto della Terra fosse esistito da sempre: un'illusione dovuta alla brevità non solo della memoria umana, ma della stessa storia nostra. Le grandi montagne, le valli, le pianure, sono molto più antiche della storia ma non sono esistite sempre e non esisteranno per sempre, fino alla fine dei tempi. Ogni collina, ogni altura, ogni roccia viene lentamente cancellata dalla pioggia, dal gelo, dal vento e dal ghiaccio. Col tempo, le montagne più possenti saranno livellate e spazzate nel mare.

Questo non significa che un giorno la superficie della Terra finirà con l'apparire piatta, perfettamente livellata. Per ogni montagna cancellata un'altra ne nasce. La faccia della Terra cambia e si rinnova continuamente: vista nella lunga prospettiva del tempo geologico appare mobile e incostante, esattamente come un ammasso di nuvole osservato dalla breve prospettiva temporale dell'uomo. Eppure i continenti e gli oceani, i cui confini principali furono tracciati nel periodo dell'infanzia del nostro pianeta, mantengono una posizione reciproca immutabile: continuamente abbandonano e riconquistano le zone poste sotto il dominio del loro instabile rivale. E come i confini continentali sono soggetti a continui cambiamenti, ora arrendendosi al mare ed ora invadendolo, così il profilo verticale della Terra si innalza e si abbassa attraverso lunghi cicli di crescita e di disgregazione.

Ogni centimetro della Terra è sottoposto a immense forze antagonistiche di costruzione e di distruzione, di spinta verso l'alto e verso il basso. Le forze che spingono verso l'alto nascono nell'interno del pianeta e costringono periodicamente le rocce crostali a piegarsi e a sollevarsi, creando le catene di montagne. Dal lato opposto, le inesauribili forze dell'atmosfera provocano un'incessante erosione delle alture terrestri e, per mezzo del vento e del fluire delle acque, ne trasportano la sostanza nelle vallate e nel mare. L'azione combinata di queste forze interne ed esterne di creazione e di demolizione ha dato forma, da tempo immemorabile, alla faccia del pianeta. Sono questi gli architetti di ogni scenario naturale, grande o piccolo, che l'uomo vede oggi sulla Terra.

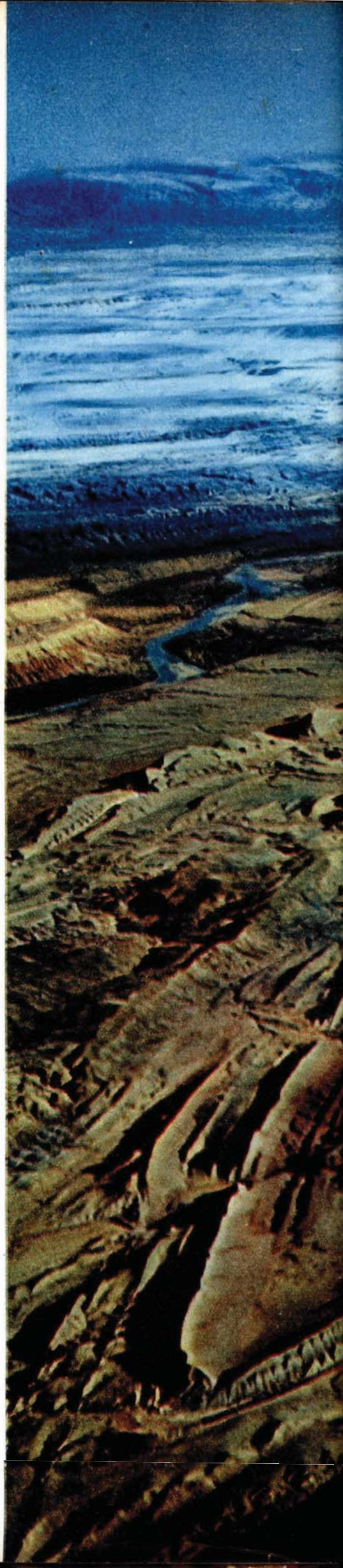
In alcune zone del pianeta le forze di costruzione sembrano avere momentaneamente il sopravvento. Qui la Terra non ha pace, è scossa da terremoti, perforata dai crateri dei vulcani attivi che di tanto in tanto eruttano masse di lava e di cenere, erigendo nuove montagne che possono cambiare l'orizzonte in pochi mesi o anni. Qui è probabile che, con un ritmo molto più lento, stiano formandosi altre montagne, alcune per il piegarsi della crosta terrestre, altre per il fratturarsi di questa crosta con il conseguente sollevamento di

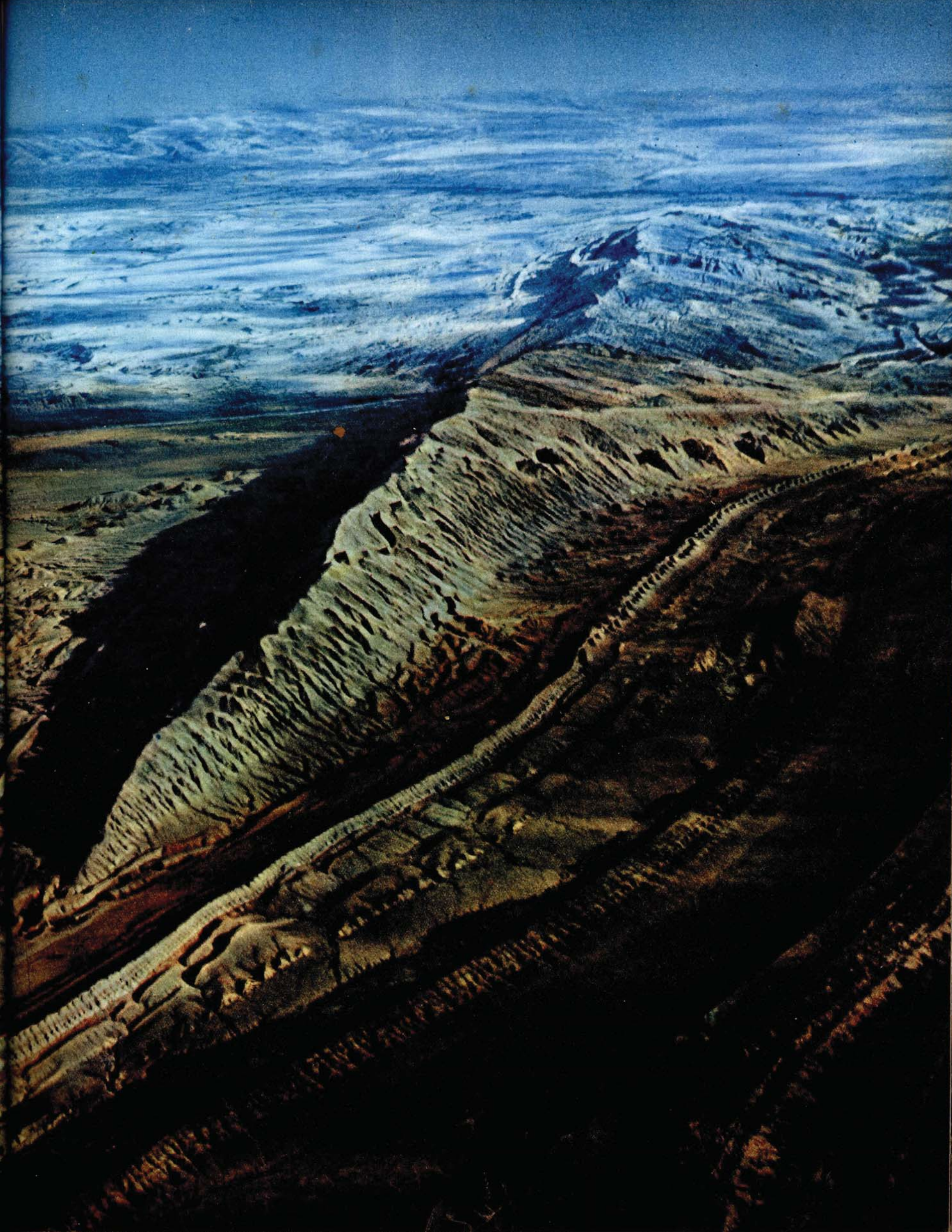
intersezioni della superficie rocciosa. Dappertutto, in queste zone, le rocce appaiono di recente formazione, contorte e deformate, e le montagne si levano a picco, alte e con le cime affilate.

Dove, invece, hanno il predominio le forze di distruzione, il paesaggio rivela un diverso equilibrio. La pioggia, le correnti, i ghiacci, con la loro azione prolungata nel tempo, tagliano e sradicano le cime e i promontori del pianeta creando pianure, praterie, steppe e radure, alcune delle quali saranno forse circondate da basse colline rotonde o da catene di rocce sedimentarie, altre saranno delimitate da larghe valli attraversate da lenti fiumi dritti verso il mare.

Solo due secoli fa gli scienziati cominciarono seriamente a indagare sulle forze che disegnano la complessa ed enigmatica fisionomia della Terra. Dapprima caddero nell'errore di attribuire alla natura impulsi e capricci analoghi a quelli che contraddistinguono l'uomo. Si riteneva che un canyon profondo o una gola rocciosa dovessero essere necessariamente il risultato di un antico terremoto, una fessura prodotta dal violento dividersi della crosta terrestre; si credeva che le selvagge cime montane con i loro precipizi e le fantastiche guglie levate nel cielo fossero i relitti mostruosi di una spaventosa catastrofe che un tempo aveva scosso la Terra. Simili deduzioni sono comprensibili, poiché gli eventi più memorabili sono quelli cui s'accompagna la violenza. E poiché la civiltà dell'uomo ha avuto i suoi sviluppi fondamentali nel bacino del Mediterraneo, che è una regione soggetta ai terremoti e all'attività vulcanica, i primi scienziati della Terra sono stati inevitabilmente «cataclismisti» e «catastrofisti». Persino un uomo acuto come Baron Cuvier (1769-1832), fondatore della scienza della paleontologia, vide nell'esistenza delle montagne a piega e nelle altre deformazioni geologiche una conferma delle teorie «catastrofiste» e asserì che circa un migliaio di anni prima doveva essersi determinato un gigantesco sollevamento che aveva devastato il volto della Terra. «La dislocazione e il sovvertimento dei vecchi strati», egli scrisse, «dimostrano senza alcun dubbio che le cause per cui essi assunsero la posizione attuale furono improvvise e violente... Innumerevoli cose viventi furono spazzate dal mondo... intere razze furono annientate... I segni di questi grandi e terribili avvenimenti sono chiaramente visibili a coloro che sappiano leggere la documentazione delle rocce.» Quando però i geologi si misero a studiare le rocce dei burroni e delle valli montane, cominciarono a scoprire un ordine nel caos apparente della scena terrestre e s'accorsero che era possibile, in fondo, leggere il profilo della Terra e spiegare per quali forze in un luogo erano sorte gigantesche montagne e in un altro luogo s'erano distese, fino all'orizzonte, sterminate pianure e praterie. A mano a mano che gli studi progredivano, ci si rendeva conto che ogni forma esistente sulla Terra è il risultato di un quadro maestoso di forze opposte che coinvolgono l'intera sfera planetaria. Appariva chiaro che le caratteristiche del volto terrestre avrebbero potuto essere spiegate se si fosse tenuto conto di una serie di processi combinati che non solo hanno agito nel passato ma manifestano la loro azione anche nel presente. Si capì che le valli dei fiumi non erano state aperte da violenti parossismi della crosta terrestre, ma erano state scavate lentamente dallo scorrere delle acque per lunghissimi periodi di tempo. Nel presente si scopriva la chiave del passato e, insieme, del futuro.

LA TERRA SI È SOLLEVATA per effetto della pressione interna e ha dato origine al Monte Sheep, nello Wyoming. Milioni d'anni fa i sedimenti di un antico mare si sollevarono fino a formare una cupola massiccia, molto più estesa del monte che si scorge ora. A poco a poco, assalita dal gelo, dal vento e dalla pioggia, la cima di questa cupola si dissolse e venne alla luce la parte interna della montagna, simile a un'immensa spina dorsale messa a nudo.







UN VULCANO SPENTO è il Monte Hood, che si leva sul "Lago Perduto" nell'Oregon. Si tratta di un cono vulcanico composito, poiché la sua nascita è dovuta all'alternarsi del flusso della lava con le violente eruzioni di ceneri e di altri materiali.



UN BLOCCO DI SOLLEVAMENTO nei pressi di Las Vegas, nel Nevada. Fu originato dal fratturarsi delle rocce di superficie e dal sollevarsi di una piccola parte della crosta terrestre. Noto appare l'opera compiuta dall'erosione.

La terraferma si muove

I processi di formazione delle montagne si presentavano più difficili da interpretare di quelli delle vallate, soprattutto a causa dell'errata concezione comune che considerava la crosta della Terra come statica e rigida. Ma la Terra non è in alcun modo statica o rigida. La rotazione che essa compie intorno al proprio asse verticale la ingrossa all'equatore e la schiaccia ai poli, creando una differenza di 43 chilometri tra il diametro polare e quello equatoriale. Inoltre sappiamo che sulla crosta della Terra si verificano fenomeni analoghi alle maree: come si sa, il passaggio della Luna e del Sole sugli oceani solleva le acque per effetto della forza di attrazione; alla stessa sollecitazione gravitazionale risponde anche la crosta della Terra, che si solleva con un lento movimento di circa 20 centimetri all'equatore. Molto più estesi di queste « maree » quotidiane sono, naturalmente, i movimenti che disegnano la fisionomia della crosta del pianeta: alcuni sono improvvisi, altri lenti. Probabilmente sono poche le



UN CONO DI CENERI fotografato nel Parco Nazionale Vulcanico di Lassen, in California: fu creato dalla violenta eruzione di lava e di gas dalle fessure vulcaniche. La sua origine viene fatta risalire a un migliaio di anni fa. I contorni rego-

zone del mondo che non siano state trasformate ripetute volte. In tutto il globo si scorgono i segni che la crosta della Terra è qualcosa di mobile, governata da forze potenti e soggetta a immense perturbazioni che mutano i confini dei continenti e costruiscono grandi edifici di rocce.

I più evidenti movimenti crostali sono i terremoti, che in passato hanno vivacemente colpito l'immaginazione dell'uomo e ne hanno suscitato il terrore. Oggigiorno gli strati superiori della crosta terrestre sono scossi costantemente dalla pressione esercitata dal traffico delle grandi città, dalle cascate d'acqua e anche dalle maree oceaniche. La terraferma è un'illusione. Ma a parte queste scosse minori, migliaia di terremoti violenti e distruttivi sono ancora vivi nella memoria dell'uomo. Con maggiore frequenza essi hanno origine in zone ben definite della Terra, soprattutto nell'Oceano Pacifico: tuttavia nessuna regione ne è completamente esente. Le fratture o gli spostamenti che d'un tratto si verificano lungo le zone di minor resistenza della roccia crostale - zone che i geologi chiamano « faglie » - sono spesso causa di un mutamento del paesaggio che si effettua in pochi istanti. Nel 1906 un movimento orizzontale del suolo intorno alla



lari sono caratteristici di questo tipo di montagne. Quando la lava satura di gas venne espulsa con estrema violenza dall'interno della Terra, si frammentò raffreddandosi rapidamente e ricadde intorno all'apertura vulcanica in modo da formare

un cono più o meno simmetrico. Questi tipi di montagne sono relativamente refrattari all'erosione dell'acqua, poiché la loro superficie è costituita da ceneri porose che assorbono rapidamente anche le più grandi quantità di pioggia.

faglia di Sant'Andrea non solo provocò la distruzione della città di San Francisco ma fece sentire i suoi effetti entro un raggio di 400 chilometri e spezzò in due molte strade. Le faglie possono dare anche origine a movimenti verticali della crosta: durante il grande terremoto che devastò l'Alaska nel 1899 una sezione della costa fu sollevata di un metro e mezzo.

I terremoti rappresentano il cedere improvviso delle rocce a forze che si sono accumulate per un lungo periodo di tempo: un improvviso scaricarsi della tensione, simile allo spezzarsi di un bastone incurvato. Ma a volte le forze che agiscono sulla crosta esercitano la loro pressione con tanta cautela e per così lunghi periodi di tempo che la roccia non si spezza, ma si piega e si incurva. Quando si verifica un evento del genere la Terra si innalza lentamente fino a formare delle cupole o si abbassa creando bacini e vallate.

Uno dei più profondi misteri della geofisica è la fonte dalla quale scaturiscono le enormi forze che deformano il volto della Terra, spezzandone il letto di rocce e sollevando catene di montagne. Una teoria classica spiega

l'incurvarsi della crosta come conseguenza del raffreddarsi e contrarsi del nucleo caldo della Terra. Oggi gli scienziati ritengono che questa risposta non sia del tutto esauriente e, a dire la verità, una spiegazione soddisfacente del processo di crescita delle montagne non è stata ancora trovata. Forse uno spiraglio di luce può provenire dall'aver accertato che la densità delle rocce delle montagne è inferiore a quella della roccia che si trova al di sotto di esse. È quindi possibile considerare una montagna non come un terribile peso che grava sulla crosta della Terra ma piuttosto come un iceberg la cui sostanza più leggera, che si innalza e si estende sulla superficie, in effetti « galleggia » sulla più pesante roccia posta alla sua base. La crosta terrestre sembra perciò mantenere un equilibrio, lungo tutto il globo, tra le zone sopraelevate e quelle depresse; si tratta dello stato che i geologi chiamano *isostasia* (dal greco: « stato di uguaglianza »). Mentre le montagne vengono piallate dall'erosione e i loro detriti finiscono nel mare, lentamente sorgono nuove alture. La Terra riassetta i temporanei stati di squilibrio sulla sua crosta mediante il lento e plastico flusso della roccia che giace nel suo fondo.



LE FORZE DI SOLLEVAMENTO, che hanno origine nell'interno della Terra, modellano il volto del nostro pianeta costringendo le rocce cristalline a spezzarsi o a piegarsi e creando così gli altipiani, le colline e le catene di montagne. In questa tavola è raffigurato un terreno immaginario sul quale prendono rilievo le diverse forme prodotte dai processi costruttivi della Terra. I tre principali tipi

di montagne - i blocchi di sollevamento, i vulcani e le montagne a piega - appaiono da sinistra a destra nel loro aspetto originario, cioè come li vedremmo se non esistessero le forze demolitrici dell'alterazione prodotta dal clima e dell'erosione. In primo piano, a sinistra, si scorgono sezioni di rocce cristalline che hanno subito una spinta verso l'alto formando blocchi di sollevamento. Dietro questi, a sinistra,

Come sorgono le montagne

Un profano potrà notare che le montagne presentano spesso alcune differenze estetiche, ma non sarà certo in grado di andare al di là di questa impressione immediata: il « mantello » del suolo e la vegetazione, che ricopre molte zone della Terra, nascondono ai suoi occhi la struttura geologica degli strati sottostanti. A un geologo, invece, generalmente basta osservare le deformazioni e le irregolarità di una roccia per determinare in linea di massima, senza ricorrere all'esame degli strati inferiori, attraverso quali processi si sia formata.

Vi sono tre categorie principali di montagne: le montagne vulcaniche, i blocchi di sollevamento e le montagne a piega. Il primo tipo è il più facile da identificare. Si tratta di enormi ammassi conici di lava e di cenere raffreddatesi. Oggi la Terra ha più di 500 vulcani attivi, mentre diverse migliaia sono spenti o dormienti. Alcuni hanno la grandezza di un terrapieno, altri sono vere e proprie vette, come il Vesuvio, l'Etna e il Fujiama. Ci sono vulcani spenti ancora riconoscibili per la loro cima caratteristica ed altri che, pur essendo scomparsi, hanno lasciato in varie forme le tracce del loro passato. Il lago di Bolsena è ad esempio ciò che rimane di un an-

tico vulcano. Le rocce solitarie che si levano nei deserti dell'Arizona e del Nuovo Messico costituiscono i mantelli di lava o le gole di antichi vulcani i cui versanti sono stati erosi. In molti punti della Terra si scorgono dorsali di rocce ignee (che un tempo, cioè, erano fuse) di solito disposti a raggiera: si tratta dei resti di fessure eruttive, situate nei fianchi di vulcani scomparsi, dalle quali un tempo la lava si scaricò e si raffreddò. In alcuni casi la lava penetrò orizzontalmente tra strati formati da altre rocce, costituendo fra loro una specie di lenzuolo detto « soglia ». Piccole colline e montagne si sono formate, anche, per effetto del magma (la roccia fusa dell'interno della Terra) salito alla superficie e penetrato fra gli strati della roccia originaria, dove ha formato dei dischi a forma di lenti convesse verso l'alto, dal fondo piatto e dalla superficie ricurva: tali formazioni sono note col nome di « laccoliti ». Altre rocce intrusive sono le « batoliti », che esistono in maggior quantità e sono spesso composte di roccia granitica.

La maggior parte delle montagne della Terra è stata originata, naturalmente, non dall'azione vulcanica ma dal sollevarsi o abbassarsi della crosta terrestre. Questo processo è accompagnato, in molti casi, da una frattura delle rocce in conseguenza della quale si producono interruzioni



è visibile un vulcano inattivo. Al centro è raffigurato invece un vulcano attivo, in sezione verticale: il fumo e la lava vengono espulsi dal cono centrale e dalle due aperture sussidiarie. A destra del vulcano c'è una piccola cupola, o laccolite, formata dall'intrusione di una massa di roccia a forma di lente tra due strati di rocce sedimentarie. Lo spacco che attraversa la tavola rivela in che modo gli strati

della crosta sono stati sollevati e costretti a piegarsi dall'intrusione di rocce, che un tempo erano fuse, dette batoliti. A destra, in primo piano, la crosta s'è incurvata in modo da dare origine a una catena di montagne a piega. Dietro queste montagne e al centro della tavola, sullo sfondo, si vedono due grossi blocchi di sollevamento dalla facciata ripidissima e dal dorso in lieve pendio.

che possono andare dalla piccola fessura alle grandi faglie di centinaia di chilometri, lungo le quali possono verificarsi movimenti e dislocazioni dei vari strati. Gli spostamenti verticali a volte erigono balze o « scarpate di faglia » di 30 metri d'altezza durante un singolo parossismo. Quando le faglie si producono nello stesso posto per lunghi periodi di tempo, possono sorgere immense scarpate e anche intere catene montane. Le montagne sorte mediante questo processo vengono chiamate blocchi di sollevamento. Nel grande bacino del Nevada il prodursi delle faglie su grandissima scala ha spezzato la terra in un caos di giganteschi blocchi e bacini. La Sierra Nevada della California rappresenta un unico immenso blocco lungo 640 chilometri e largo 96. Il suo versante occidentale, dal lento declivio, rappresenta la superficie superiore della massa che si è sopraelevata; il versante orientale, sollevatosi attraverso ripetuti spostamenti avvenuti lungo innumerevoli secoli, è una gigantesca scarpata di faglia che si eleva per quasi quattro chilometri sul deserto sottostante. Geograficamente parlando, le vette della Sierra sono montagne giovani e da alcune prove bisogna dedurre che sono tuttora in fase di crescita.

Molte delle grandi catene che esistono nel mondo - le Alpi, le Ande, le Montagne Rocciose - non sono semplicemente blocchi di sollevamento bensì « montagne a piega », formate da rocce che si sono incurvate e spezzate

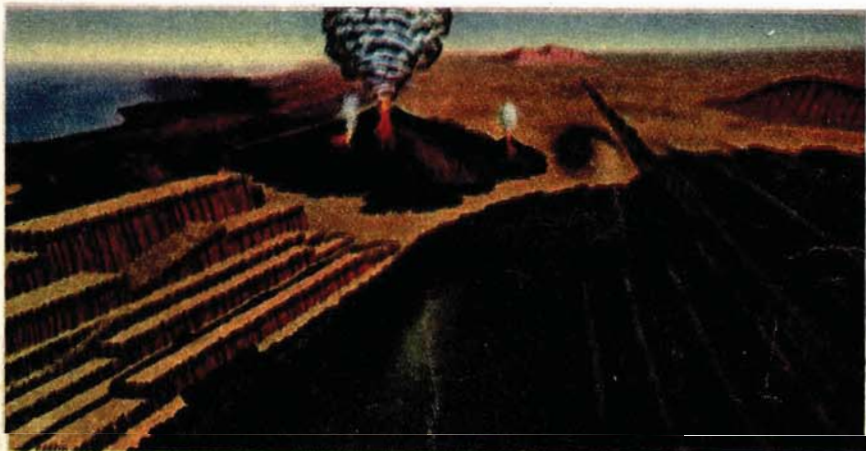
e sono poi ricadute in ordinati solchi e rialzi, simili alle scanalature di un asse da bucato o alle rughe delle onde marine. Una caratteristica sorprendente delle montagne a piega è la presenza molto frequente sulle loro cime di fossili marini, che stanno a dimostrare come alcune delle più alte vette del mondo siano emerse dal pavimento di antichi mari scomparsi.

In verità, i geologi ritengono che una condizione preliminare e necessaria per la nascita di queste catene di montagne a piega debba essere stata l'esistenza di un geosinclinale, cioè di una piega di strati di rocce sedimentarie a forma concava verso l'alto, un vero e proprio bacino dove i sedimenti si sono posati secolo dopo secolo, strato dopo strato, raggiungendo lo spessore di migliaia di metri. Sotto questo immane peso, la crosta della Terra in un primo tempo si è curvata, incavandosi, e poi, per la spinta di immense pressioni laterali, si è piegata spingendo le masse dei sedimenti in parte verso l'interno del globo e in parte verso l'alto. Gli enormi spessori degli strati sedimentari sui monti Appalachi (in alcuni luoghi raggiungono i 9-10 chilometri) stanno a indicare che i grandi mari interni che una volta si stendevano da Terranova al Golfo del Messico furono centri di raccolta dei sedimenti e, dopo essere sprofondati lentamente per quasi 300 milioni d'anni, alla fine dettero origine al grande sollevamento dal quale nacquero gli Appalachi.



LE FORZE D'EROSIONE hanno origine nell'atmosfera e tendono a livellare costantemente il volto della Terra disintegrando le rocce esposte e trasportando materiali dagli altipiani verso le valli e il mare. Ecco lo stesso paesaggio della tavola precedente come apparirebbe dopo aver subito l'azione delle forze erosive della pioggia, delle acque correnti, del vento e del ghiaccio che per anni innu-

merevoli hanno attaccato le forme create dai processi interni della Terra. I blocchi di sollevamento a sinistra, in primo piano, appaiono ora disgregati ad opera del clima e attraversati da correnti che hanno scavato gole a forma di V. Nei punti più elevati i ghiacciai intagliano profondamente il massiccio, alle cui spalle il vulcano ch'era prima dormiente è ora entrato in attività. Il vulcano che un tempo era at-



IL PAESAGGIO PRIMA DELL'EROSIONE MOSTRATA NELLA TAVOLA IN ALTO

Come si consumano le montagne

Forse l'anomalia più strana, tra le alture terrestri, è rappresentata dalle montagne d'erosione, le quali sono state intagliate, su quelli che un tempo erano mastodontici massicci, dallo scorrere dell'acqua, dal vento e dal gelo. Nel *Far West* degli Stati Uniti esistono molti residui montani di questo genere, resistenti sopravvivenze di più vaste ma meno durature masse di terra.

I geologi credono che, col tempo, il grande massiccio del Colorado scomparirà e resteranno soltanto strane cime erte su una pianura che si stenderà migliaia di metri al di sotto dell'attuale livello del rilievo: gli uomini le chiameranno montagne. Esse, però, scompariranno a loro volta, poiché non c'è altura sulla Terra che non sia soggetta all'erosione e non sia destinata ad essere completamente spianata. Nell'infinito quadro delle forze che lottano fra di loro per mutare la fisionomia della Terra, l'erosione rappresenta il distruttore lento, instancabile, inesorabile.



tivo, invece, adesso appare spento, ridotto dall'erosione a un piccolo cumulo di lava, costituito da un "collo" dal quale partono numerosi "dorsi" a raggiera. Più a destra si scorge una "caldara" piena d'acqua, simile a quella che forma il Lago di Bolsena. In primo piano, al centro, l'erosione ha portato alla luce gli strati interni della crosta. Sempre in primo piano, a destra, la catena di montagne a piega ap-

pare ora profondamente incisa dalle acque, che hanno scavato lunghe vallate. In fondo, al centro, un ghiacciaio continentale si sta ritirando lasciando alle proprie spalle le morene come tracce del proprio passaggio. In secondo piano a destra il blocco di sollevamento è stato intagliato dalle acque e dai ghiacci che hanno originato immense gole trasformando così la primitiva fisionomia della roccia.

Per i geologi la parola erosione indica essenzialmente il trasporto di particelle di roccia dagli altipiani ai bassopiani. Un preludio necessario all'erosione è la disaggregazione dovuta al clima, ossia il processo attraverso il quale il letto roccioso della Terra si scompone e alla fine si converte in suolo. L'agente principale di questa disaggregazione è l'atmosfera, l'invisibile massa di gas che circonda la sfera terrestre. Penetrando nelle fessure che lasciano scoperta la roccia, i diversi ingredienti dell'atmosfera (ossigeno, anidride carbonica e vapore acqueo) entrano in combinazione chimica con i vari elementi delle rocce e ne provocano lo sgretolamento. L'acqua priva le rocce dei loro componenti solubili; gli acidi prodotti dalle radici della vegetazione affrettano il processo. La decomposizione chimica è spesso accelerata da fattori meccanici, come ad esempio il rompersi delle rocce per la spinta delle radici delle piante.

Nei climi freddi e temperati l'agente più importante della disintegrazione meccanica è il gelo. L'acqua, quando si ghiaccia, aumenta il proprio volume nella misura di circa il 9 per cento. Durante il caldo del giorno essa penetra nelle fessure e nei crepacci della roccia e durante la notte si trasforma in ghiaccio, esercitando in questo modo, per effetto

della sua forza di dilatazione, pressioni sorprendenti, capaci non solamente di spaccare grandi pietre ma anche di staccare grandi lastre dai fianchi delle rupi.

Non appena i frammenti di rocce sono stati disaggregati ad opera del clima, gli agenti dell'erosione cominciano a trasportarli. La forza determinante, in questo processo, è la gravità. Alture e colline vengono lentamente, impercettibilmente piallate. Talvolta questo movimento diventa visibile, come nel caso delle improvvise frane, della caduta di rocce, del brusco collasso di intere rupi. Spesso si creano precipizi in breve tempo, quando una parte del fianco di una collina si muove più rapidamente del resto e si spezza in varie sezioni. Per quanto stabile possa apparire un pendio, per quanto fitta possa essere la sua copertura protettiva di piante e di alberi, esso non potrà sottrarsi alla legge comune: dappertutto il mantello del suolo di tutti i pendii, su tutti i continenti della Terra, si muove incessantemente verso il basso, trascinando con sé la maggior parte delle piante che lo ricoprono. Il suolo della Terra può essere raffigurato come un liquido vischioso che, anche su un lieve declivio, tende sempre a scorrere verso il basso per effetto della forza di gravità.



L'acqua modella e distrugge

L'acqua è la grande livellatrice. Ogni goccia di pioggia che cade sul suolo è un elemento d'erosione in più; essa agisce come una minuscola bomba ed apre un piccolo cratere sul posto dove urta. Sebbene le gocce della pioggia siano state esaltate dai poeti e benedette dagli uomini nei periodi di siccità, si sa ora che l'erosione provocata dalla pioggia rappresenta il primo passo nella distruzione della Terra; è la pioggia che scalpella le cime delle colline e disintegra le particelle del suolo che vengono poi trascinate lontano dalle correnti. Sulle masse terrestri del nostro globo cadono annualmente circa 700 millimetri di pioggia, che vanno dai 50 millimetri della « Valle della Morte » in California agli 11.500 millimetri dei versanti dell'Himalaya. Parte di quest'acqua torna nell'atmosfera per effetto dell'evaporazione, parte si infiltra nel terreno, ma quasi 40.000 chilometri cubi d'acqua scorrono ogni anno dalla terra verso il mare.

Su ogni versante i rigagnoli iniziali, formati dal concentrarsi, nello scorrere, delle acque piovane, si uniscono costituendo ruscelli, poi torrenti, poi fiumi, finché si forma una vasta rete di corsi d'acqua che scor-

rono verso il mare attraverso canali che si sono scavati con le proprie forze. Il lavoro compiuto da un corso d'acqua può essere impercettibile, per l'uomo: eppure l'erosione prodotta dalle correnti è la più consistente che esista. L'efficacia con la quale l'acqua livella il terreno è superiore a quella di tutte le altre forze d'erosione messe insieme. La potenza erosiva di una corrente dipende sia dalla quantità d'acqua che essa trascina sia dalla sua velocità. È vero che, scorrendo, l'acqua porta con sé terreno e frammenti di roccia, ma non è solo per quest'azione che scava le grandi vallate. Ogni corrente trascina con sé un carico di sedimenti il quale, urtando contro il letto roccioso, ne taglia le sponde e lo scava maggiormente in profondità: perciò la forza distruttiva dell'acqua aumenta con la sua velocità. Se la velocità di una corrente raddoppia, il suo potere abrasivo può aumentare di quattro volte e la sua capacità di trasportare frammenti di roccia può aumentare in proporzione ancora maggiore. In determinate condizioni, alcuni grandi fiumi e torrenti possono non semplicemente raddoppiare ma addirittura aumentare da dieci a venti volte la propria velocità.

Quando una corrente forma una cascata si sviluppa un'immensa quantità d'energia. Le acque delle cascate del Niagara, ad esempio, cadono

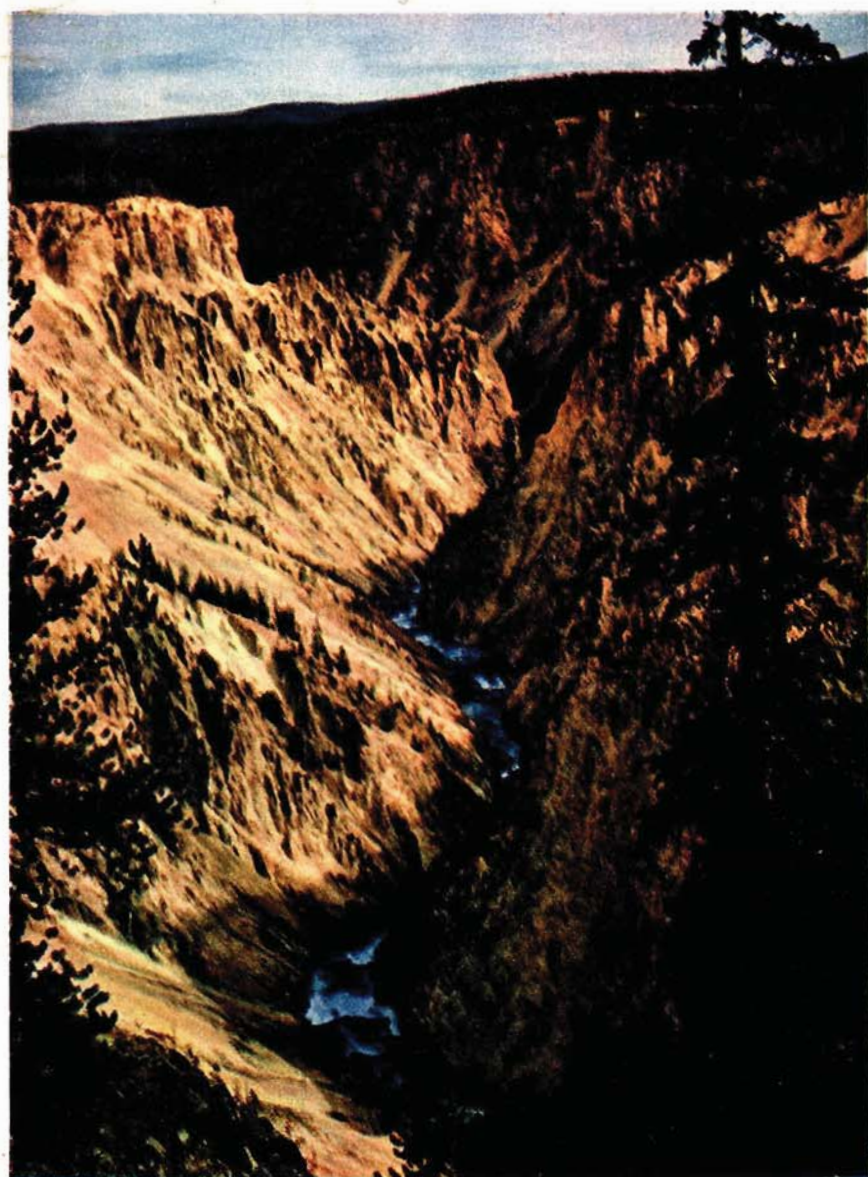


UN VENTAGLIO ALLUVIONALE (qui sopra) è stato formato dai sedimenti trascinati a valle dalla violenza dei corsi d'acqua montani gonfiati dalle piogge.

GUGLIE DI ROCCIA (a sinistra) scolpite dalle piogge e dal fluire delle acque su antichi strati di calcare. L'acqua penetra facilmente nel calcare, che non è una roccia compatta, e ne allarga gli spacchi e le fessure. Il calcare diviene facilmente solubile quando l'acqua contiene anidride carbonica,

dall'orlo nel bacino sottostante a una velocità di 80 chilometri l'ora, tagliando continuamente le rupi superiori ed allargando e approfondendo il bacino. Di tanto in tanto una roccia cede. Si è calcolato che la cresta originaria è stata tagliata finora di undici chilometri a una media di quasi un metro all'anno.

Finché i giovani torrenti cadono dritti a valle, le loro prime incisioni danno luogo a vallate a forma di V. Ma col tempo le pareti di ogni burrone si arrendono all'alterazione provocata dall'atmosfera e si logorano in massa. A poco a poco la gola di un fiume si allarga e si approfondisce, fino a diventare una tranquilla valle dove le acque scorrono lentamente verso il mare. Il periodo richiesto per una simile trasformazione è tremendamente lungo. È stato stimato ad esempio, che il pendio del fiume Mississippi si è abbassato di trenta centimetri per ogni periodo di sette o novemila anni. Ciò significa che da quando l'uomo compì la sua prima apparizione sulla Terra, un milione di anni or sono, è stata corrosa una media di 50 metri di roccia dall'intera superficie del bacino del Mississippi. Il più giovane e più rapido fiume Colorado ha scavato il *Grand Canyon*, profondo un chilometro e mezzo e largo, in cima, 12 chilometri, press'a poco nello stesso periodo di tempo.



UNA VALLE A FORMA DI V, scavata dall'impetuosa scorrere del fiume Yellowstone nello Wyoming. È un esempio perfetto di erosione dovuta a un corso d'acqua. Il fiume ha impiegato circa 150.000 anni per raggiungere la sua attuale profondità.



UNA ROCCIA EROSA DAL VENTO. La pietra arenaria indebolita da infiltrazioni d'acqua è stata demolita granello per granello: in un punto quest'opera lenta ma costante è arrivata addirittura a perforare la roccia da parte a parte.

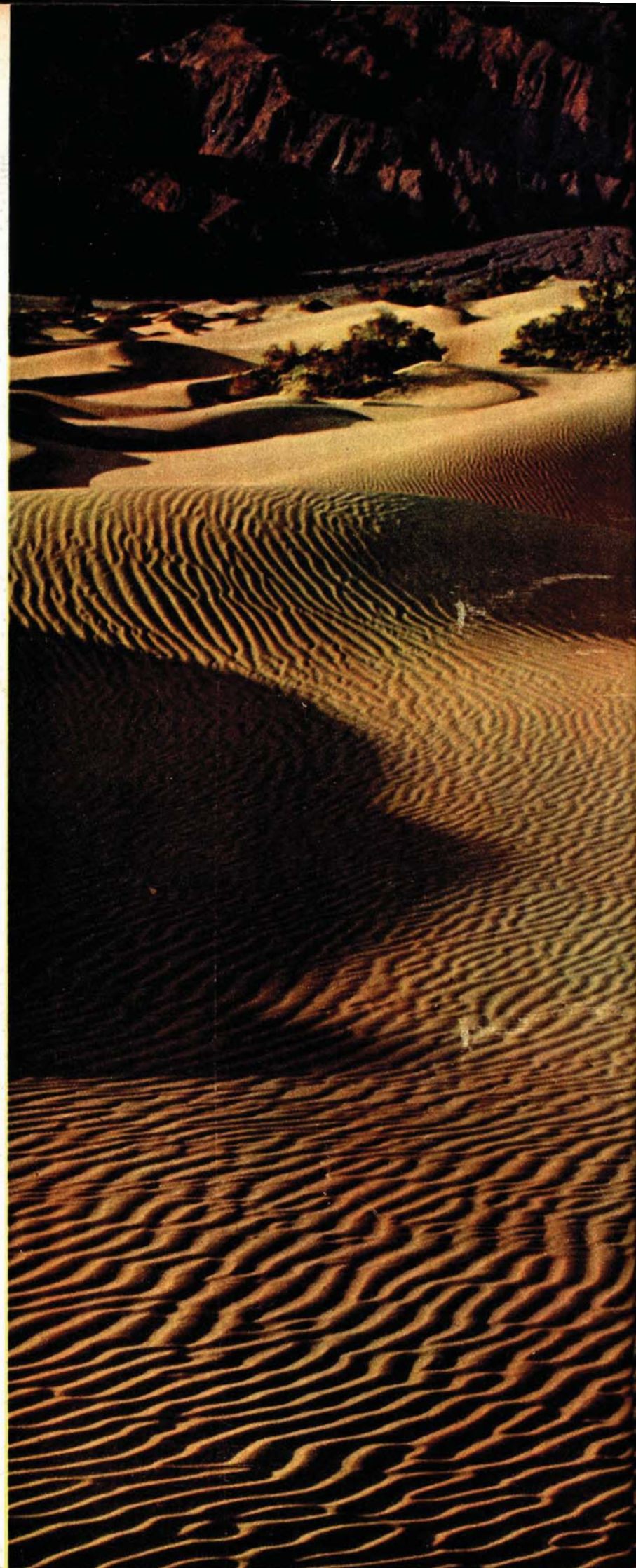
L'azione del vento

L'acqua, naturalmente, non è la sola forza livellatrice che operi nella natura. Nelle regioni aride il vento è un notevole e costante agente di erosione. Dove il mantello del suolo è arido e la vegetazione scarsa, come nelle regioni desertiche, il vento può completamente spazzare il suolo di tutti i materiali liberi, mettendo allo scoperto il letto roccioso sottostante. Contrariamente a quanto si crede di solito, la maggior parte dei deserti della Terra sono formati più di roccia che di sabbia: roccia portata alla luce dall'azione del vento e disgregata ad opera del clima. In alcuni punti della « Valle della Morte », in California, il vento incessante ha virtualmente spazzato tutta la sabbia, lasciando scoperto un pavimento di piccole pietre strettamente unite insieme: un « pavimento desertico ».

Trasportando le particelle libere della roccia che ha subito la disgregazione ad opera del clima, il vento diventa in effetti una macchina demolitrice che agisce servendosi della sabbia. Come l'azione erosiva delle acque viene aumentata dal carico di sedimenti che esse trascinano, così l'azione erosiva del vento viene aumentata dal carico di particelle di sabbia che esso trasporta. Un forte vento, carico di simili particelle, che soffi costantemente contro una roccia verticale, può arrivare a intagliarne le balze dando luogo a rocce a forma di fungo, di bilancia, di piedestallo e via dicendo. In alcune zone del mondo, particolarmente nel *Far West* americano e nell'Africa settentrionale, il vento ha scavato vaste depressioni, che si stendono per diversi chilometri quadrati e sono profonde decine di metri. È noto che certe tempeste di sabbia possono arrivare a spezzare, per la loro violenza, i pali telegrafici e i vetri delle finestre.



IL SUOLO EROSO DAL VENTO produce strane forme di vegetazione nella « Valle della Morte » in California. Qui è stato spazzato tutto il terreno dalle radici degli arbusti, i cui viticci assetati si protendono ora a cercare il suolo.

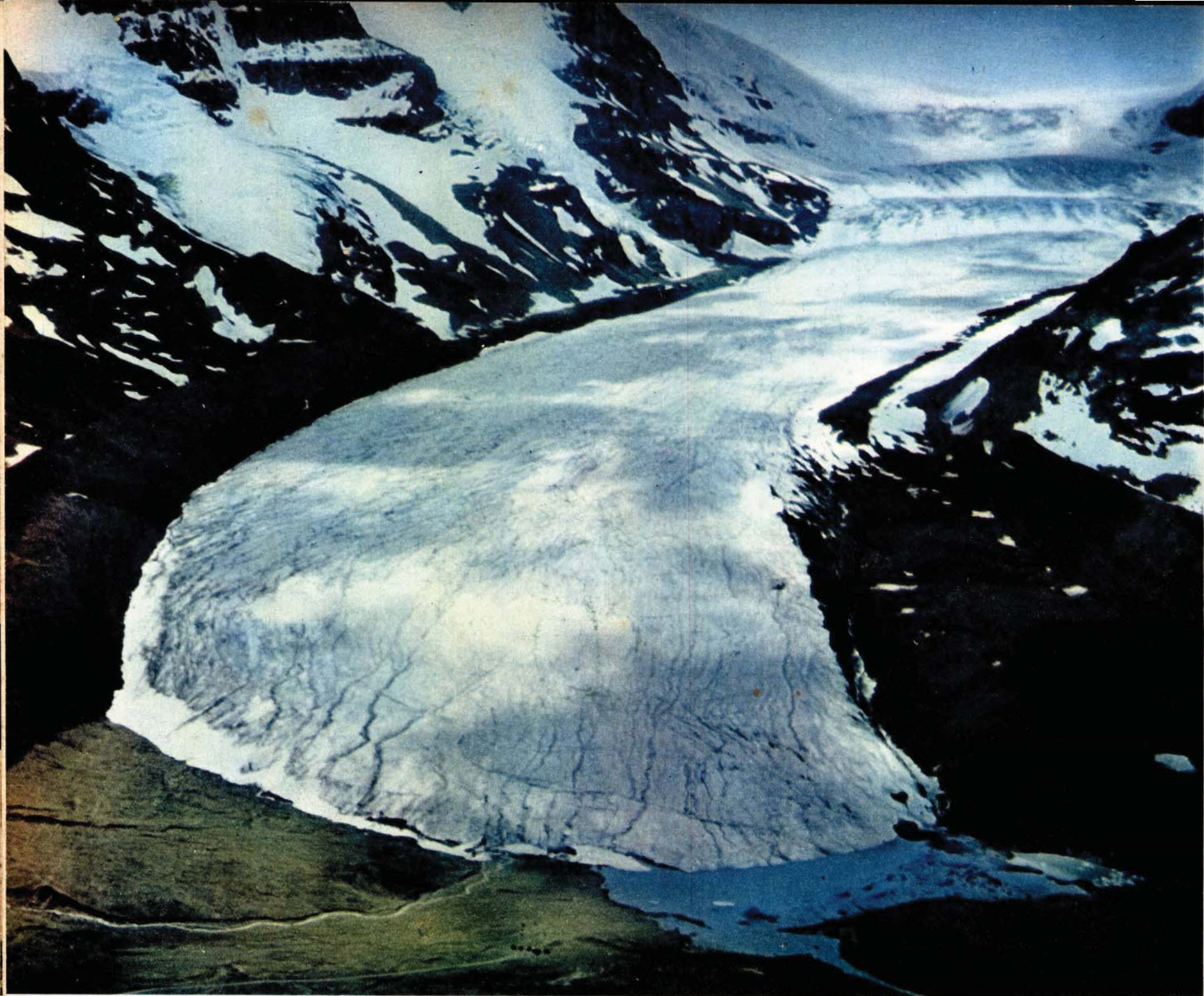


LE DUNE DI SABBIA nella « Valle della Morte », in California, vengono modellate dal vento. La sabbia ha origine dalle rocce granitiche dei monti Cottonwood, che circondano la Valle. I frammenti della roccia disgregata ad opera del clima



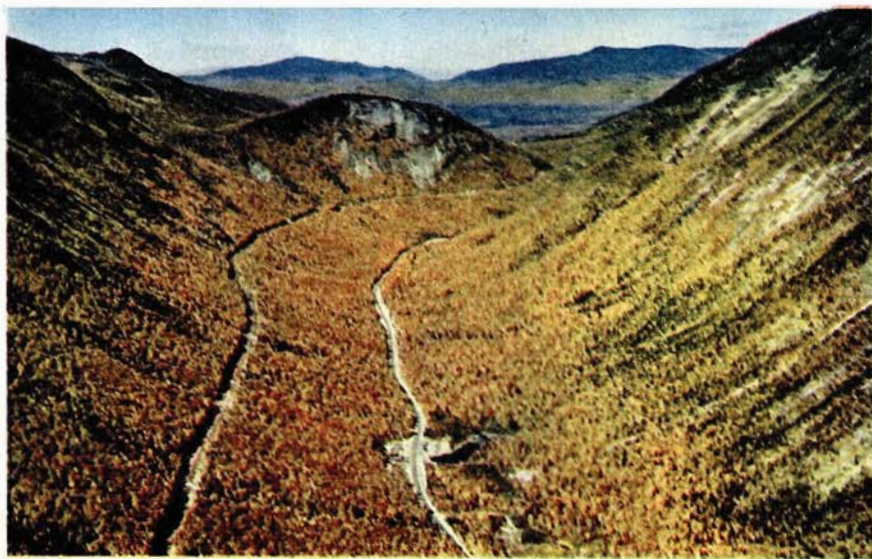
vengono trascinati lungo i fianchi delle montagne dalla pioggia e dalle acque correnti e vanno a formare ai piedi dei monti giganteschi ventagli alluvionali costituiti da detriti di vario genere (in fondo a sinistra). Il sedimento, reso secco dal sole caldo,

viene disseminato dal vento lungo il pavimento della Valle. Perciò il deserto sabbioso può essere considerato come un'area di deposito della molteplice azione del vento, che qui trova, si può dire, il suo campo incontrastato di dominio.



UN GHIACCIAIO VALLIVO striscia lungo i fianchi del Monte Athabaska, nel Canada. L'azione erosiva di un ghiacciaio in movimento è stata paragonata al lavoro combinato di un aratro, di una lima e di una slitta. Il materiale detritico

che esso trasporta, costretto dalla grande pressione, esercita uno sfregamento sul letto della lingua ghiacciata, prima scavandolo profondamente e poi levigandolo e arrotondandolo. Le acque ai piedi del ghiacciaio sono la sorgente del fiume Athabaska.



UNA VALLE A FORMA DI U rivela la sua caratteristica origine glaciale. Le pareti levigate e il fondo arrotondato indicano che un tempo questa zona, percorsa ora da una strada e da una ferrovia, costituiva il letto di un ghiacciaio.

L'azione dei ghiacciai

Sebbene agiscano in zone limitate, i ghiacciai rappresentano la forza d'erosione più potente tra quelle che agiscono sulle alture terrestri. Con le loro enormi masse trasformano radicalmente l'aspetto di intere catene di montagne. I ghiacciai esistono dovunque vi sia neve eterna, poiché inizialmente sono formati dalla neve che si accumula, si comprime e diventa compatta fino a formare lingue di ghiaccio. Quando un campo nevoso, posto sul versante di una montagna, raggiunge un notevole spessore, comincia a scivolare verso il basso, trascinato dal suo stesso peso. Il ghiaccio è un solido cristallino, ma ha la proprietà di scorrere come una sostanza plastica.

Quando un ghiacciaio comincia a scorrere, abbandonando quella parte della montagna dove s'era accumulata la prima neve, apre alle proprie spalle un crepaccio che d'inverno si riempie di neve fresca e d'estate raccoglie le acque del disgelo. Con l'annuale ripetersi di questo processo, il ghiacciaio a volte scava un «circo» alla propria sommità: esso di solito è tanto profondo che, in seguito a cambiamenti climatici, si trasforma alla fine nel bacino di un lago. Spesso una stessa vetta è circondata da diversi «circhi» ed allora acquista lo strano aspetto frastagliato che caratterizza il Cervino.

L'azione erosiva di un ghiacciaio in movimento è stata paragonata al



UN PAESAGGIO GLACIALE sulle Montagne Rocciose canadesi. Le rocce portano i segni del passaggio, avvenuto in altre età, di enormi masse di ghiaccio in movimento. I due laghi sono elementi caratteristici di questi paesaggi: il "circo"

scavato profondamente da un antico ghiacciaio si è riempito d'acqua quando questo si è liquefatto, trasformandosi in un lago. La roccia che si vede ammassata in primo piano è stata sgretolata dall'azione erosiva esercitata dal gelo.

lavoro combinato di un aratro, di una lima e di una slitta. Scorrendo lungo una valle, esso ara il suolo, spingendolo in avanti e verso i due lati. Intanto dagli orli superiori i frammenti della roccia spezzata dal gelo cadono lungo le pareti della valle e finiscono sul largo schienale del ghiacciaio. A volte questi detriti diventano parte integrante della massa di ghiaccio che, mentre scorre, li macina schiacciandoli contro la roccia e contro il pavimento della valle: così il grande fiume di ghiaccio taglia, spezzetta, lima, livella. E diventa violento: i suoi fianchi insofferenti si sfregano contro le sporgenze e le balze e a poco a poco le eliminano. Alla fine le valli glaciali acquistano un profilo caratteristico. Mentre quelle scavate dalle correnti d'acqua hanno la forma di una V, quelle dei ghiacciai trasformano la V in una U limando i fianchi e il fondo, al punto che molto spesso le pareti della valle appaiono levigate.

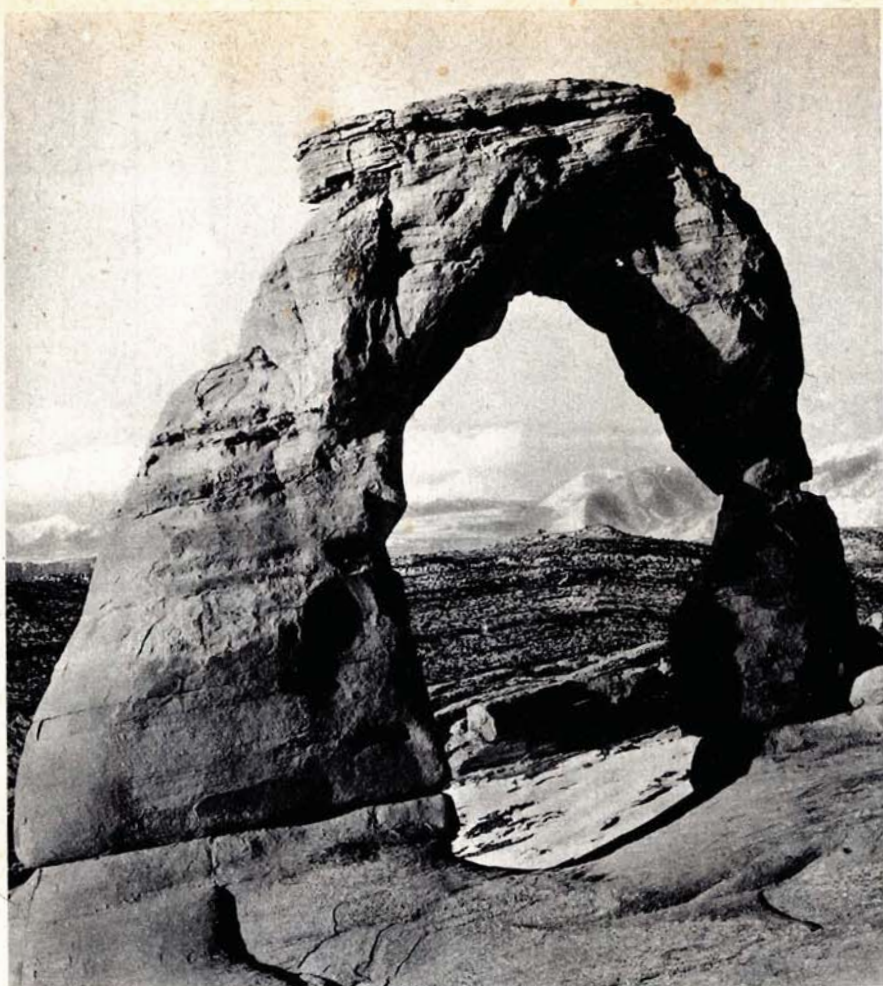
Naturalmente il lavoro di intaglio che compiono oggi i ghiacciai alpini è irrisorio se paragonato con quello svolto dalle grandi coltri di ghiaccio che coprirono, un tempo, più di un quarto delle terre emerse del pianeta. Stendendosi per milioni di chilometri quadrati, con uno spessore di decine di metri, queste stupende masse di ghiaccio ricoprirono le montagne e le valli e con successive avanzate e ritirate trasformarono il volto della Terra in una colossale squama. Le montagne di New York e della Nuova Inghilterra - i monti Adirondacks, le *Green Mountains* e le *White Mountains* - erano interamente ricoperte dal ghiaccio, così come le alture della Scozia e dell'Irlanda. Schiacciate sotto questo enorme peso, al momento in cui

emersero esse non presentarono la fisionomia che caratterizza le valli glaciali: non possedevano versanti dalle sporgenze a lama di coltello né vette piramidali né « circhi », ma piuttosto cime piatte e fianchi arrotondati. L'opera delle grandi lastre di ghiaccio non è di scultura ma di cruda abrasione: esse tagliano a sghembo intere masse montane.

La coltre di ghiaccio, oltre a compiere questo lavoro di rimodellamento delle alture terrestri, creò migliaia di laghi in Europa, nell'America del Nord e nell'Asia settentrionale. Essa allargò e approfondì i bacini rocciosi dei Grandi Laghi e li riempì quando si sciolse in acqua. Inoltre deviò i fiumi Ohio e Mississippi verso i loro letti attuali.

Quando i ghiacciai si liquefecero, lasciarono depositi di sabbia, ciottoli e melma sotto forma di rilievi cui si dà il nome di morene. I depositi possono anche assumere la forma di piccole colline a forma di cucchiari rovesciati, cui si dà il nome di *drumlins*.

L'influenza delle grandi distese di ghiaccio della preistoria sul mondo che circonda l'uomo non è ancora cessata: ne rimangono le vestigia ancor oggi nelle masse glaciali che ricoprono la Groenlandia e l'Antartide, tendendo sempre più a restringersi. I venti milioni di chilometri cubi di ghiaccio che si trovano nelle calotte polari si liquefanno lentamente, consegnando ai mari le acque che racchiudono. Perciò gli oceani aumentano costantemente il loro livello. Se il fenomeno continuerà, molte zone basse delle aree continentali saranno inondate, come è già accaduto a più riprese nei tempi passati.



UN ARCO SCOLPITO nella roccia dall'azione del vento e dell'acqua: si trova nello Stato di Utah, in America, ed è stato nominato "Arco Delicato". Si leva imponente verso il cielo come un simbolico monumento del mondo in cui viviamo.

Creazione e distruzione

Conoscendo i processi attraverso i quali nascono e sorgono le montagne e le vallate, i geologi ritengono possibile ricostruire l'evoluzione subita da ogni zona della Terra e prevederne il probabile futuro. Così essi parlano delle varie regioni della Terra con i termini che si adoperano per le creature viventi e le definiscono «giovani», «mature» o «vecchie». Vista nella lunga prospettiva della storia geologica, per esempio, la metà orientale degli Stati Uniti è vecchia e logora; il West americano, invece, è una zona giovane, in fase di trasformazione.

Nella parte orientale dell'America le forze distruttive sono predominanti rispetto a quelle costruttive. L'ultimo sollevamento crostale di rilievo, che dette origine agli Appalachi e alle montagne Laurenziane del Canada, avvenne 200 o 250 milioni d'anni or sono. Oggi la Nuova Inghilterra è una regione di bassi promontori, di alture arrotondate e appiattite da millenni di pioggia, di ghiaccio e di gelo. Le antiche vallate della Nuova Inghilterra e degli Stati del medio Atlantico, a differenza dei profondi *canyons* e delle gole a forma di V del West, sono ora ampie ed estese, percorse non da rapide e selvagge correnti ma da fiumi lenti, serpentine. In molti posti i bassopiani presentano una spessa coperta di suolo ricco, arabile che, geologicamente parlando, è una caratteristica delle aree antiche. Infatti è solo sui dolci declivi degli antichi paesaggi, ammorbiditi dal tempo e protetti dalla vegetazione contro il potere distruttivo della forza di gravità, che il suolo può resistere all'erosione e accumulare anno per anno, secolo per secolo, un mantello fertile.

Nel West americano le forze d'erosione lavorano non meno instancabilmente che nell'Est, ma le forze interne della Terra sono molto più attive. Vaste zone degli Stati del West sono ricoperte di lava di ceneri e di altri detriti provenienti da una recente attività vulcanica. L'altopiano della Columbia, nel Nord-ovest, rappresenta una delle più grandi costruzioni vulcaniche della Terra, un immenso campo di lava che ricopre un'area di oltre 500.000 chilometri quadrati e che talvolta raggiunge lo spessore di un chilometro e mezzo. Il Lassen Peak, in California, è un vulcano dormiente che può ricominciare a eruttare in qualsiasi momento. Tutte le montagne del Far West sono alte e giovani, formate da rocce aride, ricoperte da pochissimo suolo. Le loro cime sono scabre, affilate; il vento e la pioggia non sono ancora riusciti ad addolcirle e arrotondarle.

In particolare, il West sembra essere una regione di grandi irrequietudini crostali. Lungo grandi piani di faglia avvengono continui spostamenti che producono terremoti e sollevamenti delle rocce della superficie. Non molto tempo fa gli scienziati del Servizio costiero e geodetico degli Stati Uniti hanno scoperto che, dal tempo del terremoto di San Francisco, nel 1906, si stanno verificando, lungo l'immensa faglia di Sant'Andrea, sensibili storcimenti. I movimenti orizzontali sono i più evidenti: attualmente la massa terrestre che si trova lungo il lato occidentale della faglia si sta muovendo verso Nord-ovest a una media di cinque centimetri l'anno. È quindi da ritenere che un giorno possa spalancarsi una enorme fessura che produrrebbe un grande terremoto, forse più violento di quello avvenuto mezzo secolo fa.

I sismologi stanno ora sperimentando nuovi strumenti, il cui scopo è di misurare i grandi spostamenti della crosta terrestre, quelli che si verificano a lunga scadenza. Si spera così di poter arrivare a prevedere i terremoti. L'aprirsi di fessure lungo altre faglie ha provocato, negli anni passati, frequenti e forti terremoti in California. Uno dei più recenti è stato quello della Contea di Kern, nel 1952, che ha avuto la stessa violenza del terremoto di San Francisco, sebbene i suoi effetti siano stati meno disastrosi.

Così gli impercettibili movimenti crostali, il sollevarsi di vaste regioni, le depressioni, i corrugamenti, lentamente alterano il volto della Terra. La zona delle colline Baldwin, sulla pianura di Los Angeles, è stata incurvata a una media di 90 centimetri per ogni secolo. I campi petroliferi di Buena Vista, nella Valle di San Joaquin, si sollevano a una media di 120 centimetri ogni secolo. Sembrano sollevamenti di scarso rilievo, eppure in un periodo relativamente breve del tempo geologico potrebbero trasformare completamente il volto della California. Se questo sollevamento dovesse continuare per 25.000 anni (senza tener conto dell'erosione) la pianura di Alamosa diventerebbe un altipiano a circa 100 metri sul livello del mare e le colline di Buena Vista guadagnerebbero in altezza 300 metri. Se il sollevamento continuasse per 200.000 anni (solo un quinto dell'esistenza terrestre dell'uomo) le colline di Buena Vista diventerebbero alte come la Catena delle Cascade. Infine, se il sollevamento continuasse per due milioni di anni (un periodo non eccessivo se si pensa che l'Himalaya, le Alpi e le Montagne Rocciose hanno impiegato, per nascere, quasi lo stesso tempo), gli altipiani californiani raggiungerebbero l'altezza del Monte Everest.

In ogni luogo della Terra si scorgono i segni dell'instabilità della crosta terrestre. Gli studi compiuti dal Servizio costiero e geodetico degli Stati Uniti hanno dimostrato che lungo i 1.600 chilometri che vanno dal Massachusetts alla Florida la costa viene sommersa a una media di 6 millimetri l'anno. Ci sono ragioni per ritenere che questo mutamento nelle relazioni tra la terra e il mare sia dovuto non soltanto a un aumento del livello del mare ma anche a movimenti basilari del blocco continentale. In tutto il mondo il sorgere di montagne e di altipiani è compensato dal lento abbassarsi di zone costiere e di bacini interni. L'intera Francia, per esempio, va lentamente inclinandosi a Nord: mentre si solleva a Sud, affonda lungo la costa della Manica. Se questo movimento continuerà, le acque dell'Atlantico finiranno con l'inondare grandi zone della Francia, dal confine belga a Brest. Anche le coste baltiche della Svezia si sollevano a una media di un centimetro e mezzo l'anno. Se questa media di sollevamento si manterrà costante per 10.000 anni finirà con lo scacciare tutte le acque dal Baltico, trasformando il pavimento di questo mare in un'estensione di terraferma.

I movimenti attivi di sollevamento crostale sono locali, cioè si verificano ora in un posto ed ora in un altro. Invece i processi di erosione sono continui e si verificano in tutto il mondo. Nel passato le masse terrestri del nostro globo avrebbero potuto essere ridotte al livello del mare dall'opera di cesello della pioggia, dai cunei del gelo, dal respiro distruttore del vento e dal massiccio aratro dei ghiacciai. Se non fossero state contrastate, queste forze avrebbero riversato nel mare tutta la terra già da molti millenni. Ma le irrequietudini della crosta terrestre stanno a dimostrarci che le forze interne responsabili della riedificazione della terra sono attive oggi come lo furono nel passato geologico. Le medie attuali dei movimenti crostali, se prolungate nel tempo, saranno sufficienti a produrre montagne della stessa altezza di quelle che vediamo oggi. Nuove alture si leveranno, nuovi massicci montani si staglieranno nel cielo. E da ogni vetta nasceranno nuovi torrenti, che cominceranno daccapo il loro lavoro di distruzione.

Solo recentemente gli scienziati sono arrivati a comprendere questa opposizione tra le forze naturali di distruzione e quelle di costruzione. Così hanno potuto accertare che nulla sulla Terra è eterno: nessuna montagna, nessun fiume, nessun continente, nessun mare. Il flusso della natura, quale si è ora delineato agli occhi della scienza, era già stato intuito da alcuni poeti e filosofi delle età passate. Duemilacinquecento anni or sono il filosofo greco Eraclito disse: «Non c'è nulla di durevole, nel mondo, ad eccezione del mutamento».

(3 - Continua)

Lincoln Barnett

La cupola d'aria



LA LUCE DELL'AURORA BOREALE ha molti punti d'analogia con la luce prodotta dai tubi al neon. In ambedue i casi viene emessa dagli atomi o dalle molecole di gas rarefatti, eccitati dall'urto di particelle elettrizzate. L'aurora boreale appare molto frequentemente nelle latitudini della Siberia, della Norve-

gia e del Canada settentrionale (nella baia di Hudson la si è potuta osservare persino per 240 notti in un anno). Le particelle elettrizzate che danno origine al suggestivo fenomeno sono emesse dal Sole e vengono deviate verso il Polo Nord e il Polo Sud dal nostro pianeta che si comporta come un enorme magnete.

L'oceano atmosferico

Per la sua conoscenza del mondo fisico, raggiunta in maniera così faticosa, l'uomo è solito considerare se stesso come un essere auto-sufficiente, che possiede il dominio della superficie del proprio pianeta. Praticamente non riesce a immaginarsi nella condizione che lo caratterizzò originariamente, quando era qualcosa di simile a un pesce, una creatura che abitava in fondo al mare, condannata senza rimedio se l'avessero sottratta al mezzo vitale nel quale si trovava immersa.

Eppure, anche oggi, l'uomo vive sul fondo di un mare profondo migliaia di chilometri, sul pavimento del grande oceano d'aria che circonda il pianeta: qui la sua vita è precaria quanto quella di un organismo marino nel suo elemento naturale, l'acqua. Privatelo, anche solo per breve tempo, del proprio elemento ed egli morirà tra atroci spasimi, esattamente come una trota sottratta alla sua argentea corrente. Sollevatelo di pochi chilometri dal fondo in cui si trova ed egli morirà violentemente, per effetto della sua pressione interna, appunto come un pesce abissale tolto dalle sue tenebrose profondità. L'uomo non può dire, in un senso strettamente scientifico, di vivere sulla superficie del proprio mondo: piuttosto egli si trova tra due diversi strati del mondo.

La Terra può essere descritta non come un singolo globo ma come una serie di sfere concentriche. La litosfera (dal greco *lithos* che significa pietra) è la corteccia di roccia dura che circonda il pianeta. Essa è coperta per tre quarti della propria superficie dall'idrosfera, ossia dalle distese oceaniche d'acqua la cui profondità media è di circa tre chilometri e mezzo. Una terza sfera, più ampia, cui è stato dato il nome di biosfera, costituisce un dominio intermedio, sottile come la superficie di una bolla di sapone, all'interno del quale tutte le cose viventi hanno trovato un equilibrio tra le loro necessità organiche e le forze fisiche che le circondano. Esistono animali nelle oscure profondità dell'oceano, fino a dieci chilometri; sono state trovate spore vaganti nell'aria rarefatta, a un'altezza di 10 chilometri. Ma l'uomo e la maggior parte della vita terrestre risiedono in una fascia ancora più ristretta, tra il livello più basso dell'aria e i piani superiori del mare. Intorno a queste tre sfere c'è un involucro mobile, impalpabile, trasparente, dello spessore di centinaia di chilometri: è l'atmosfera, dalla quale in ultima istanza dipende ogni forma di vita.

Senza l'atmosfera non potrebbero esistere né animali, né piante, né uccelli, né pesci, né alberi, né erbe. È l'aria che governa tutto ciò che circonda la Terra, il carattere del mondo come l'uomo lo percepisce. Senza l'atmosfera non ci sarebbero il clima, il vento, le nuvole, la pioggia. Non ci sarebbero cieli di zaffiro, tramonti di fuoco, o « aurore dalle rose dita ». Non ci sarebbe fuoco, perché il bruciare consiste nell'unione dell'ossigeno con la cosa che brucia. Non ci sarebbe rumore, perché ciò che l'uomo chiama rumore è semplicemente la vibrazione delle onde dell'aria contro i timpani delle sue orecchie. La vegetazione non potrebbe crescere e gli uccelli non potrebbero volare.

Tra le altre proprietà, l'atmosfera ha anche quella di costituire una volta protettiva che ripara la Terra dall'intollerabile violenza del Sole assorbendo gran parte delle pericolose radiazioni che esso emette. Di notte, come il tetto di vetro di una serra gigantesca, l'atmosfera imprigiona il caldo del giorno e ne ostacola la dispersione nello spazio. Se non ci fosse l'atmosfera, la temperatura massima della Terra salirebbe

di giorno fin quasi a quella della Luna, cioè a 110° C. e scenderebbe di notte a un minimo di 184° sotto zero. Infine, come un grande riparo trasparente, l'atmosfera cattura, e praticamente distrugge con l'attrito, i 100 milioni di meteoriti che cadono ogni giorno nel campo di gravitazione della Terra dagli spazi siderali e che, se avessero raggiunto il suolo, avrebbero trasformato, attraverso le epoche del tempo geologico, la faccia del pianeta in una serie di voragini e di buche a somiglianza della superficie della Luna, cui appunto manca l'atmosfera.

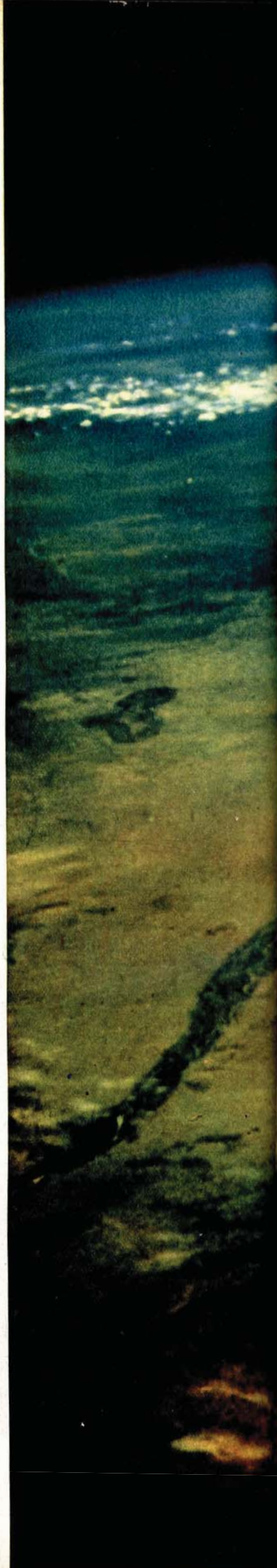
Eppure per gran parte della sua storia l'uomo ha ignorato di dipendere dall'aria o perlomeno ne ha ignorato l'esistenza come forma di materia. Per secoli ha ritenuto che la materia avesse solo due stati: il solido e il liquido. Il concetto dello stato gassoso, che è predominante nella maggior parte della materia che compone l'Universo, non rientrava nella sua comprensione. Ma, riconosciuta la presenza dell'aria, solo nei secoli XVIII e XIX, in seguito ad alcuni fondamentali sviluppi, l'uomo riuscì a scoprire che essa è un miscuglio di gas e che tutti gli elementi della natura possono esistere tanto allo stato gassoso quanto allo stato liquido e solido.

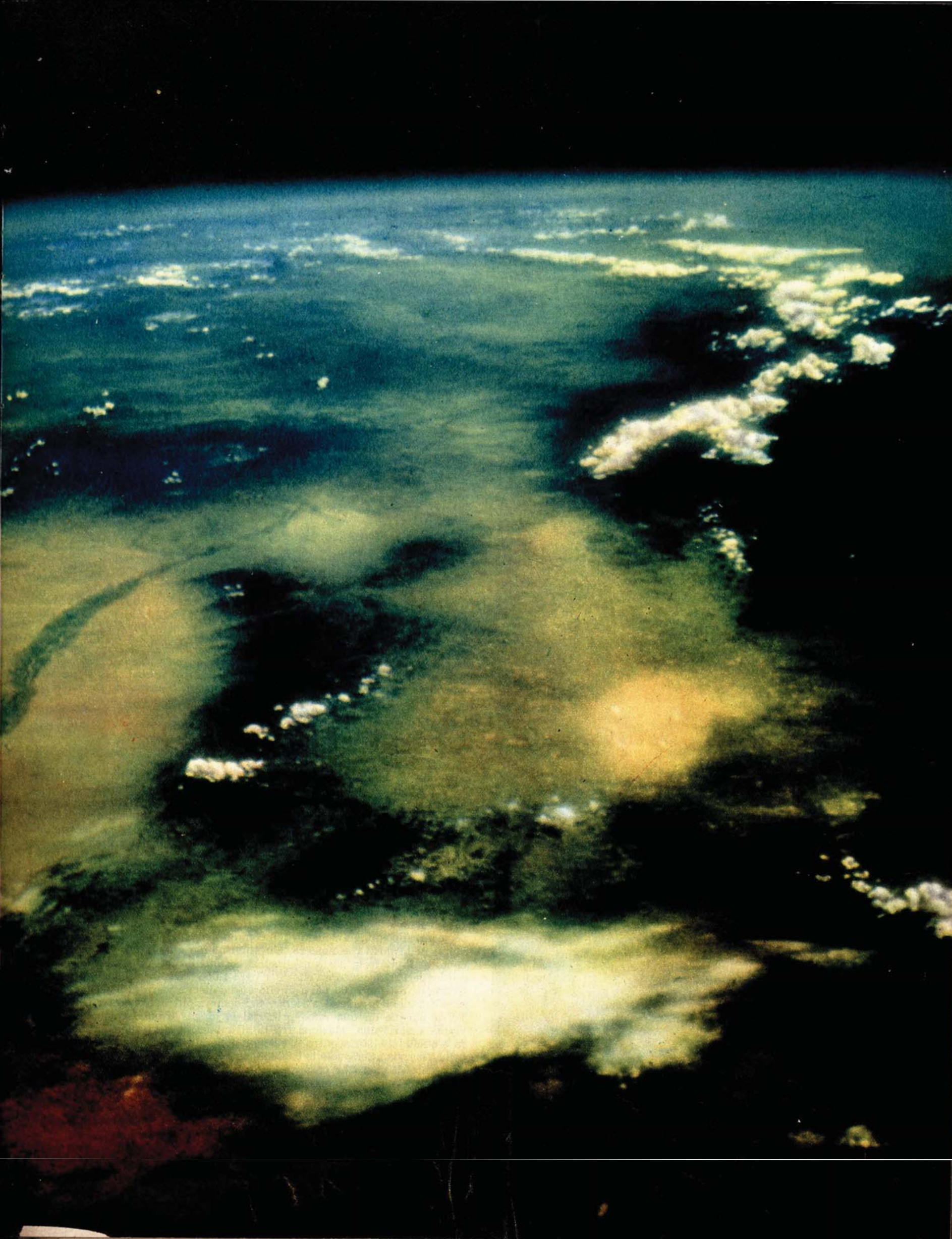
La difficoltà di individuare l'aria come sostanza materiale era determinata non solo dal fatto che essa è invisibile ma soprattutto dalla sua estrema compressibilità. I solidi hanno una forma e un volume costanti. I liquidi non hanno forma ma conservano sempre lo stesso volume. Un gas, invece, è così mobile, così compressibile, che il suo peso dipende dal suo stato temporaneo di densità, per cui è possibile che due litri dello stesso gas pesino meno di uno. Un importante passo in avanti per la comprensione della natura dell'aria e del comportamento dei gas fu la formulazione, nel 1662, del famoso principio di Robert Boyle, il quale stabilisce che, a temperatura costante, il volume di un gas varia inversamente alla pressione. Per esempio, raddoppiando la pressione su un gas se ne riduce il volume alla metà. Cominciata nel XVIII secolo, la conoscenza dell'atmosfera ebbe una rapida evoluzione. L'anidride carbonica fu identificata nel 1754, l'azoto nel 1772 e l'ossigeno un anno dopo. Così la scienza rivelò all'uomo la sua attuale condizione: un animale pulsante immerso nel grande involucro di una nuvola di gas o, come lo concepì il chimico francese Lavoisier, una specie di macchina animata che impiega ossigeno come combustibile ed emette anidride carbonica alla fine del processo di combustione.

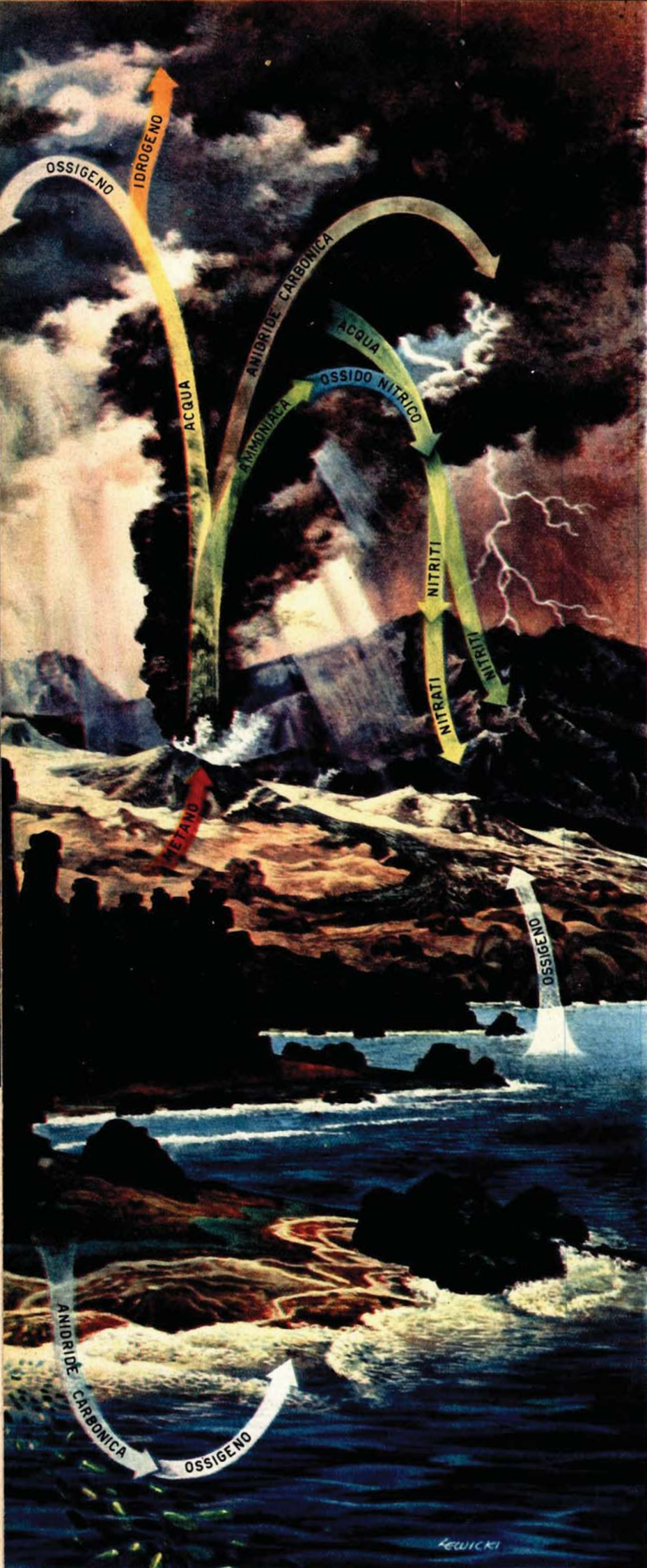
Il mezzo attraverso il quale l'uomo si muove è un miscuglio di gas diversi, ma quelli che predominano per quantità ed importanza sono cinque: l'azoto, che rappresenta il 78 per cento dell'aria asciutta; l'ossigeno, che è il 21 per cento; l'argone che è quasi l'uno per cento; il vapore acqueo (un composto di idrogeno e ossigeno) che va dallo 0,01% al 4% e l'anidride carbonica che è circa lo 0,03 per cento. Il peso di questo enorme ammasso di gas è stupefacente, sebbene l'uomo non se ne accorga per l'esistenza nel suo corpo di una pressione, dovuta all'aria ed ai vari liquidi, che controbilancia quella esterna. La pressione esercitata su di lui e sull'intera Terra è di circa 1033 grammi per centimetro quadrato. Complessivamente il peso dell'atmosfera su tutta la Terra è di 5.104.000.000.000.000 di tonnellate, vale a dire l'equivalente di una lastra di granito lunga 1600 chilometri, larga 3200 chilometri e dello spessore di 800 metri.

A 120 CHILOMETRI D'ALTEZZA è arrivato il razzo che ha reso possibile ottenere questa fotografia di una vasta sezione del nostro pianeta. La sottile pellicola d'aria nel cui ambito si svolge la vita terrestre appare come uno

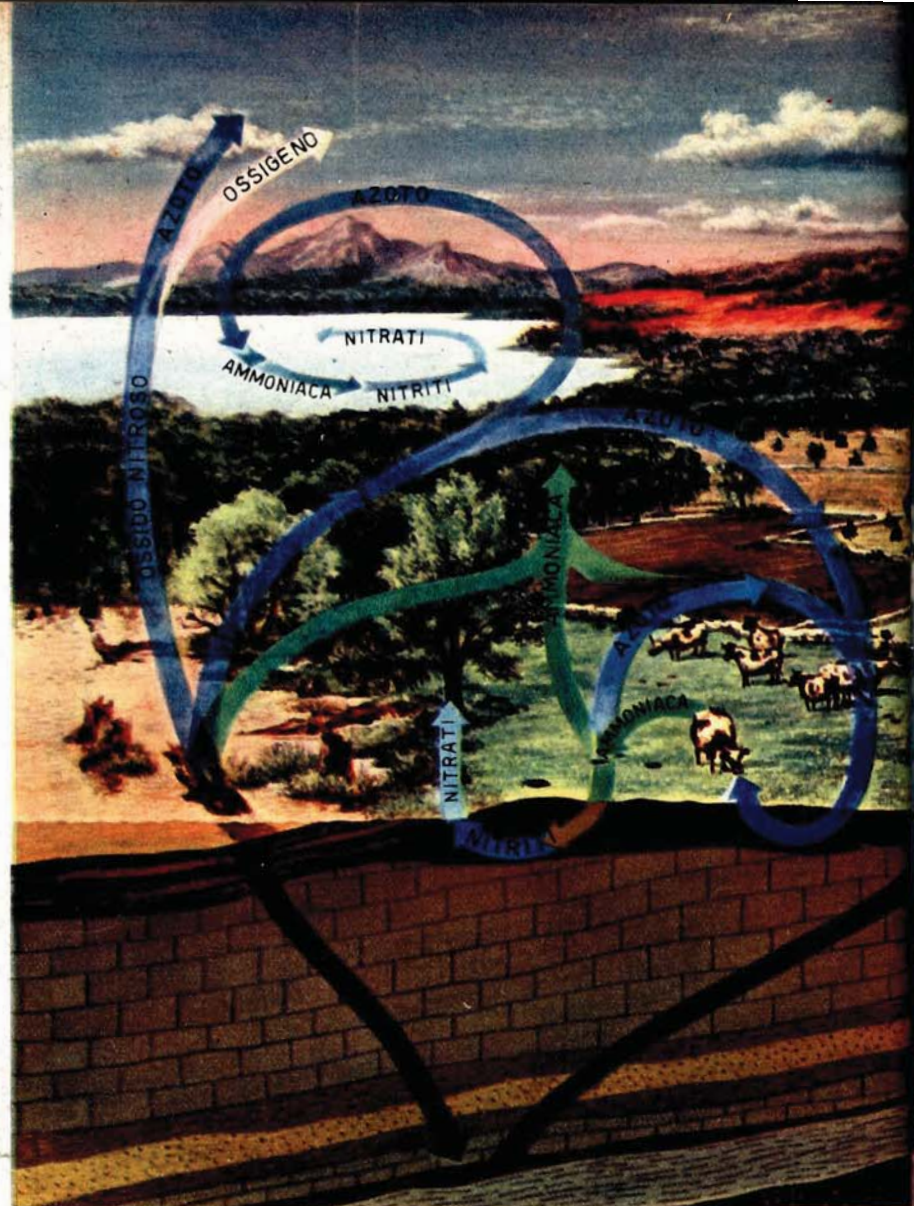
strato opaco, cosparso di nuvole, posto sul fondo dei limpidi strati superiori dell'atmosfera. Il "cielo" è nero, poiché la volta azzurra si estende soltanto fino a un'altezza di 20 chilometri. A sinistra è visibile la valle del Rio Grande.







L'ARIA FU CREATA più di un miliardo di anni fa. Dal metano e dagli altri gas contenuti nell'interno del globo ebbero origine l'anidride carbonica, il vapore acqueo e l'ammoniaca che i vulcani emisero alla superficie. Dal vapore acqueo si liberarono l'ossigeno e l'idrogeno. L'ammoniaca formò i composti dell'azoto. Gran parte dell'ossigeno fu forse prodotta dalle prime piante, le alghe degli oceani.

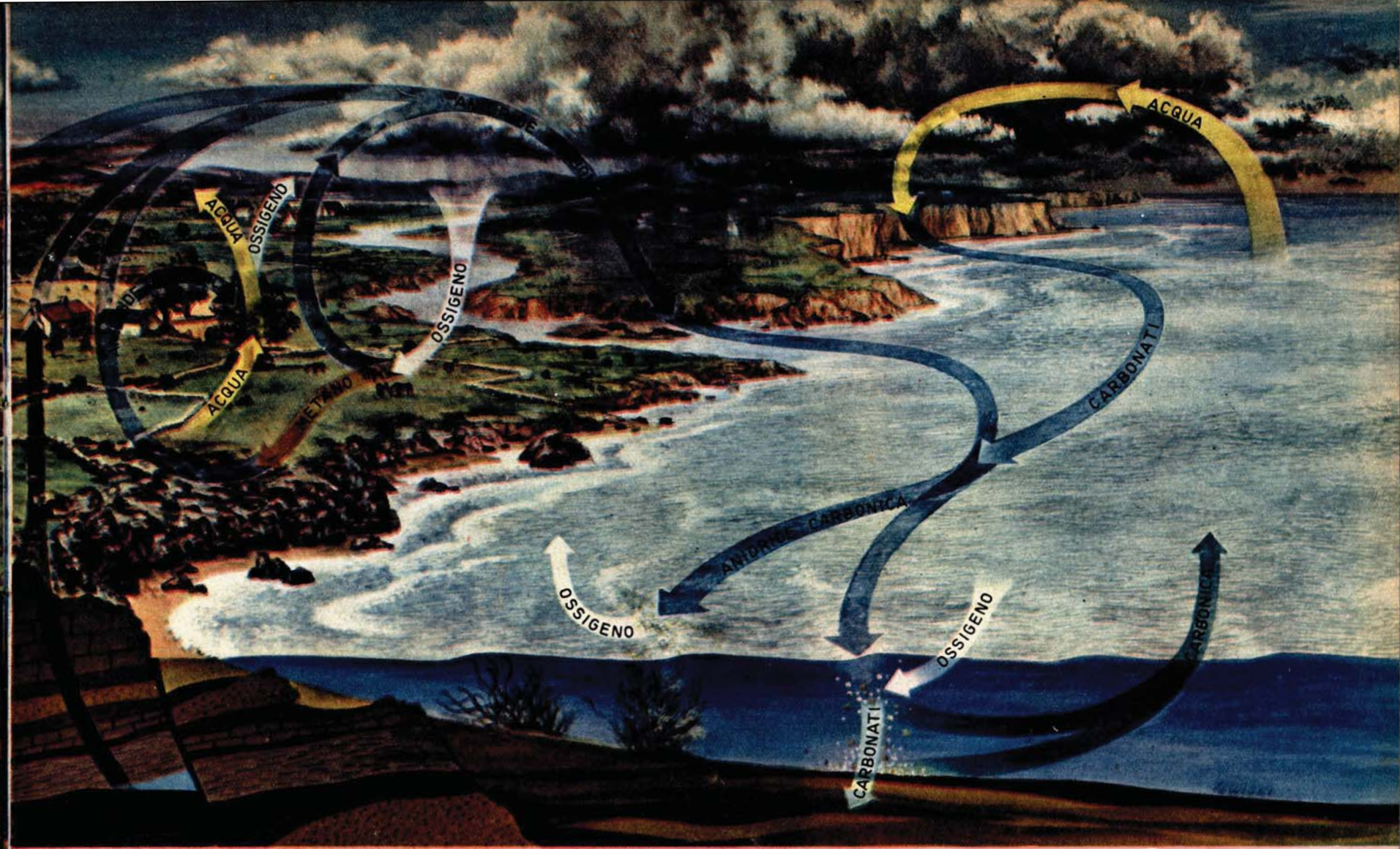


L'ARIA È POPOLATA di creature viventi che utilizzano i suoi gas principali (azoto, ossigeno, anidride carbonica) e poi li restituiscono al suolo e all'atmosfera. Nella palude (a sinistra nella tavola) le piante in decomposizione liberano ammoniaca ed azoto. Quest'ultimo viene assorbito da batteri e da radici che lo convertono in composti nel suolo. Gli animali mangiano le piante e poi restituiscono al suolo alcune quantità di azoto sotto forma di composti contenuti nelle escrezioni. Da questi compo-

L'origine dell'aria

Di dove è venuta l'atmosfera della Terra? Se l'uomo è unico nell'Universo, è probabile che anche la dolce, fresca aria che lo circonda, sia unica. Fra tutti i pianeti che l'uomo riesce a scorgere, solo Marte sembra avere un'atmosfera che ha qualcosa di simile alla nostra, contenente una grande quantità di vapore acqueo e probabilmente tracce di ossigeno. Nessuno di questi due gas è stato scoperto nella spessa nube di polvere che circonda il pianeta Venere. I veli atmosferici che si scorgono intorno a Giove e Saturno sembrano essere in gran parte composti da idrogeno, elio e un miscuglio di metano e ammoniaca. Mercurio, come la Luna, non ha affatto atmosfera. Ma se andiamo al di là del sistema solare di cui facciamo parte, dobbiamo constatare che l'atmosfera della Terra costituisce un'anomalia cosmica: gli elementi dai quali è composta in gran parte sono rari nell'Universo e, per contrapposto, gli elementi più comuni nell'Universo sono relativamente scarsi nella nostra atmosfera. Gli studi hanno dimostrato che la maggior parte della materia posta negli spazi cosmici è costituita dai due elementi più leggeri, l'idrogeno e l'elio. Per ogni 1.000 parti di idrogeno, nell'intero Universo, esistono 100 parti di elio e solo dieci o venti al massimo di tutti gli altri elementi messi assieme. Se, come molti astronomi ritengono, la Terra nacque da una nube primordiale di gas e pulviscolo cosmici, dovrebbe esserci una relazione tra la distribuzione degli elementi sulla Terra e quella che si riscontra nel Sole e nelle altre stelle. Invece l'atmosfera della Terra contiene solo lo 0,00005 per cento di idrogeno libero e lo 0,0005 per cento di elio. Che cosa ne è stato di tutto l'idrogeno e l'elio, che dovrebbero essere stati presenti, un tempo, in quantità enormi? E qual è l'origine dei gas tanto importanti che circondano la Terra e la sua bellezza e la sua vita?

La risposta a questi enigmi, secondo le moderne teorie, è che l'attuale cupola d'aria rappresenti un'atmosfera secondaria, accumulatasi lentamente attraverso millenni di tempo geologico. Durante il periodo in cui il pianeta si formò dalla nube di gas cosmici, il suo campo di gravitazione fu probabilmente troppo debole per poter trattenere gas così leggeri e mobili come l'idrogeno e l'elio. Oppure, se l'idrogeno e l'elio sono esistiti nell'atmosfera originaria del pianeta, potrebbero essere evaporati per effetto della



sti tornano a liberarsi azoto e ammoniaca. I batteri trasformano l'ammoniaca in nitriti e nitrati. Un ciclo analogo dall'ammoniaca al nitrato avviene nel lago che si scorge in fondo a sinistra. Al centro della tavola, i combustibili bruciati dall'uomo e la foresta in fiamme producono anidride carbonica. Gli alberi assorbono questo gas e liberano ossigeno, mentre i cavalli inspirano ossigeno, espirano anidride carbonica e attraverso le loro escrezioni espellono metano che, per l'azione dei batteri del

suolo, produce nuova anidride carbonica. A destra, la pioggia trasporta anidride carbonica e carbonati dalla terra verso il mare: qui le piante assorbono l'anidride e liberano ossigeno, mentre i minuscoli animali marini si servono dei carbonati per costruire le parti dure dei loro corpi. Essi inspirano ossigeno ed espirano anidride carbonica. Quando muoiono e si decompongono, le correnti d'acqua trasportano alla superficie l'anidride carbonica che da essi ha origine.

radiazione solare quando il Sole si condensò in una sfera ardente. Tuttavia, alcune quantità di questi gas sarebbero rimaste nell'interno della Terra, imprigionate in combinazioni chimiche. Per milioni di anni, se questa ipotesi è giusta, tali quantità di idrogeno e d'elio bollirono spingendosi verso l'alto, finché riuscirono a evadere dall'interno infuocato del pianeta, liberandosi attraverso i vulcani e le altre aperture. Così galleggiarono sulla crosta della giovane Terra che s'andava raffreddando e a mano a mano che nutrirono e arricchirono l'aria ancora scarsa, il cielo oscuro divenne più luminoso e assunse il colore azzurro.

Tuttavia rimane un'omissione fondamentale: l'ossigeno libero. Questo elemento vitale non fu emesso dai vulcani. Gli scienziati ritengono, pertanto, che il suo ingresso nell'atmosfera si sia verificato attraverso un processo lento, immensamente lungo, che per epoche indefinite accompagnò l'evoluzione della vita delle piante. Le piante sono infatti le principali fabbricatrici di ossigeno della Terra. Esse liberano l'ossigeno durante il giorno, ma durante la notte lo catturano di nuovo. Probabilmente, però, una certa quantità di ossigeno esisteva già prima che si evoltesse una vera vita delle piante. La tesi più accettabile è che un minimo d'ossigeno - quanto bastava, aggiunto all'aria, per nutrire la maggior parte delle piante primitive - si sia formato nell'atmosfera superiore dal vapore acqueo (H_2O) per effetto di scariche elettriche e delle radiazioni solari. Pare che le prime piante siano state le alghe verdi traslucide chiamate *Corycia* e i cui fossili risalgono a 1.400 milioni d'anni or sono. Queste ed altre specie di alghe potrebbero essere state le prime produttrici in massa di ossigeno libero sulla Terra. E mentre la quantità di ossigeno contenuta nell'atmosfera andava lentamente aumentando, si sviluppavano piante sempre più complesse. Esse naturalmente acceleravano il processo di formazione dell'ossigeno. Ma accelerare un simile processo per milioni di anni significa portare inevitabilmente a un enorme aumento degli animali consumatori d'ossigeno, in modo da mantenere un equilibrio tra la produzione e il consumo.

La composizione dell'atmosfera rimane, oggi, essenzialmente la stessa del periodo Cambriano, cioè di mezzo miliardo d'anni fa. Eppure essa cambia continuamente. I gas mobili che la compongono vengono costantemente assorbiti dal suolo, dalle rocce e dalle cose viventi, oppure si perdono negli spazi siderali. Così la provvista di anidride carbonica dell'atmosfera viene

rinnovata ogni 4-8 anni, quella d'ossigeno ogni 3000 anni, quella di azoto ogni 100 milioni d'anni.

Il ciclo di consumo e di rinnovamento dei gas atmosferici rivela un miracolo d'equilibrio cui contribuiscono il suolo, l'aria, gli animali e le piante, poiché tutte le cose viventi sono costituite, in larga misura, dagli elementi dell'aria: l'ossigeno, l'acqua, il carbonio e l'azoto. L'ossigeno libero viene dalle piante, l'anidride carbonica è continuamente rinnovata dagli animali e da diversi altri processi. Per esempio, quando le piante cadono vittime di un'azione batterica, liberano anidride carbonica. Quando l'uomo brucia un combustibile, l'anidride carbonica evade dai camini delle fabbriche e delle case e torna nell'atmosfera. Inoltre la disgregazione delle rocce e del suolo prodotta dall'atmosfera crea sedimenti ricchi di anidride carbonica che vengono trascinati nel mare, dove concorrono a rinnovare la grande scorta di anidride carbonica prodotta dal consumarsi e dal perire delle piante e degli animali della vita marina. Il mare è la grande riserva d'anidride carbonica della Terra: ne possiede, in soluzione, una quantità 50 volte superiore a quella che si trova nell'atmosfera.

L'intricato sistema di scambi tra il suolo, l'aria e gli esseri viventi è posto ancora meglio in evidenza dal ciclo dell'azoto. Il più abbondante dei gas atmosferici è chimicamente piuttosto inerte, cioè non si combina facilmente con altri elementi. Poiché tutte le piante e gli animali hanno bisogno di azoto, l'inerzia chimica di questo gas avrebbe potuto essere fonte, per il genere umano, di indicibili miserie e sofferenze. Ma l'uomo ha avuto come propri alleati certi batteri « fissatori di azoto » i quali catturano questo gas dall'aria e lo convertono in utili composti nel suolo. Nonostante i suoi grandi progressi, la scienza non è ancora riuscita a imparare il segreto e ad eguagliare l'efficienza di questi batteri fissatori di azoto. I nitrati che essi fabbricano nel suolo forniscono cibo alle piante, che a loro volta forniscono cibo agli animali, che a loro volta restituiscono al suolo alcune quantità di azoto sotto forma di urina e di altre escrezioni e, quando muoiono, sotto forma di tessuti morti. Allora entrano in azione altri batteri: quelli della putrefazione, che decompongono gli organismi morti; quelli della nitrificazione, che trasformano la restante ammoniaca in nitrati di minerali; e quelli della denitrificazione, che liberano l'azoto e lo restituiscono all'aria per completare il ciclo dal quale dipende ogni forma di vita della Terra.

Anatomia dell'aria

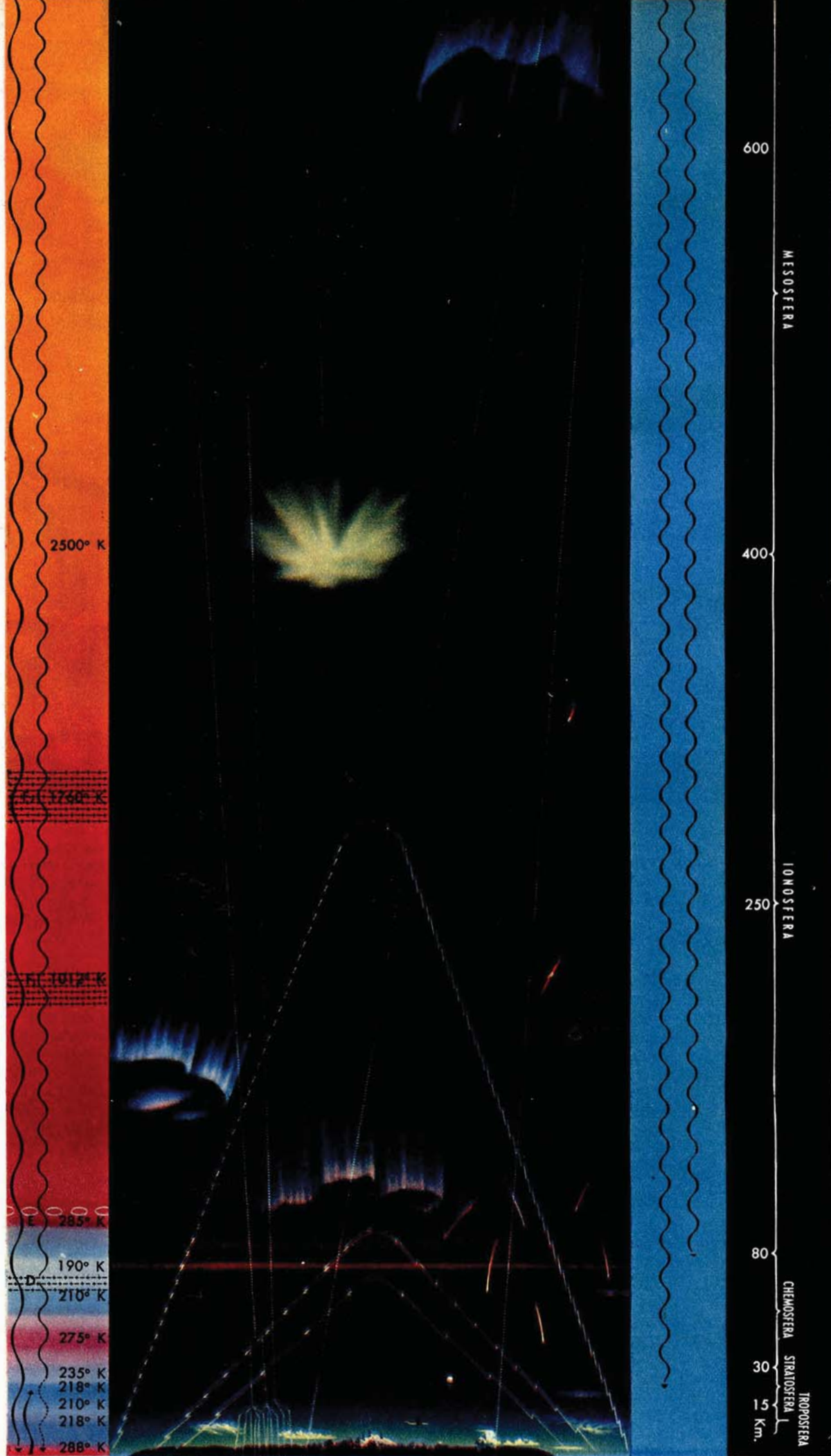
L'aria è un miscuglio complesso che cambia continuamente. I suoi ingredienti variano da un luogo all'altro e da un giorno all'altro. Oltre ai gas dai quali dipende la vita, essa contiene una piccola quantità di gas rari come l'elio, lo xeno, il neon; e alcuni gas velenosi come il metano, l'ammoniaca, l'ossido di carbonio e il gas esilarante. Nel regno delle alte nuvole a noi così familiari l'atmosfera contiene anche una certa quantità di materia che le è estranea: polline, polvere, batteri, fuliggine, spore, ceneri vulcaniche, particelle di sale provenienti dal mare e polvere degli spazi siderali (ogni giorno cadono verso la Terra 2.000 tonnellate di « polvere di stelle »).

La composizione dell'aria rimane più o meno costante dal livello del mare alle maggiori altezze. La sua densità, invece, diminuisce rapidamente con l'altezza. A 10 chilometri, per esempio, l'aria è così rarefatta da non permetterci di respirare. A 20 chilometri l'ossigeno è così scarso che una candela non potrebbe bruciare. Più aumenta l'altezza e più le molecole di ogni gas diminuiscono e si dispongono a maggiore distanza fra loro. Per ogni milione di molecole esistente al livello del mare ce n'è una sola a 100 chilometri d'altezza. E mentre al livello del mare una molecola non può muoversi per più di un milionesimo e mezzo di centimetro senza scontrarsi con un'altra, a un'altezza di 100 chilometri può viaggiare per quasi due centimetri e mezzo senza entrare in collisione con un'altra molecola.

A un certo punto, situato a diverse centinaia di chilometri al di sopra della Terra, le particelle di gas si liberano nello spazio alla velocità determinata dalla loro ultima collisione. Alcune, attratte dalla gravità, tornano nell'oceano d'aria sotto di loro; altre seguono orbite ellittiche e viaggiano come satelliti attorno alla Terra; altre, e in particolare l'idrogeno e l'elio, evadono per sempre dal campo della gravitazione terrestre.

Forse la più grande sorpresa, riservataci dallo studio dell'atmosfera, è che la temperatura non diminuisce uniformemente con l'aumentare dell'altezza, come sembrerebbe suggerire l'esperienza dell'uomo sulla Terra. La temperatura ha strane fluttuazioni quando si raggiungono i livelli superiori dell'aria. Essa diminuisce gradualmente fino a un'altezza di 10-12 chilometri per la ragione che gli strati inferiori dell'atmosfera sono riscaldati dal calore irradiato dalla Terra. Nella stratosfera la diminuzione praticamente si arresta e la temperatura rimane pressoché costante fino ai 30 chilometri circa d'altezza, dove decresce di nuovo per discendere fino a -62°C . (o 210°K . secondo la scala di Kelvin con la quale gli scienziati misurano la temperatura dei gas). Poi la temperatura comincia ad aumentare con l'accumularsi di certi costituenti, come l'ozono, che assorbono il calore direttamente dal Sole. A circa 80 chilometri discende di nuovo, a causa della scomparsa dell'ozono, a un minimo di -81°C . (190°K). Tuttavia risale ancora, rapidamente, e giovandosi della ionizzazione delle particelle nell'atmosfera superiore e del loro assorbimento dei raggi ultravioletti, raggiunge i 2200°C . all'altezza di 400 chilometri.

Ma queste fantastiche temperature non potrebbero essere percepite dai sensi umani, perché ciò che noi chiamiamo caldo è semplicemente l'energia del movimento atomico o molecolare. Il senso di calore che sentiamo in un giorno d'estate è prodotto dal bombardamento di innumerevoli particelle d'aria la cui velocità determina le nostre relative sensazioni di caldo o di freddo. Ma negli strati superiori dell'aria non ci sono abbastanza particelle da farci avvertire il bombardamento cui è sottoposta la pelle. Così dagli 80 chilometri in su l'uomo o qualsiasi altra creatura vivente che si trovasse nello spazio senza la copertura protettiva dell'atmosfera arrostiterebbe mortalmente da una parte e gelerebbe dall'altra.



L'EDIFICIO DELL'ARIA, visto in sezione, presenta alla base la troposfera, che contiene circa il 75 per cento del peso complessivo dell'atmosfera. Ci si può fare un'idea delle sue dimensioni confrontandone l'altezza con quella del monte Everest (al centro). Subito dopo si passa nella stratosfera, caratterizzata da una calma quasi assoluta, che contrasta con i venti e le tempeste che agitano la troposfera. Continuando a salire, gradualmente l'aria si rarefa, finché scompare quasi del tutto nella mesosfera. Le variazioni della temperatura sono indicate in gradi Kelvin e dalle gradazioni dei colori nella banda a sinistra. Le radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole creano diversi strati ionizzati che si indicano con le lettere D, E, F, ed F₂. Al centro della tavola sono raffigurate varie forme d'aurora boreali, onde radio riflesse dai vari strati ionizzati (linee paraboliche a zigzag), meteore (situate all'altezza in cui divengono visibili) e piogge di raggi cosmici (linee punteggiate).

Arcobaleni e aurore boreali

La maggior parte degli spettacoli che l'uomo osserva intorno a sé, trovandoli bellissimi, dipendono in ultima analisi dall'atmosfera. Ogni scenario della natura che tocca profondamente il nostro spirito estetico è determinato dall'unione della luce con l'aria. Il cielo blu e il mare azzurro, le nuvole bianche, i crepuscoli grigi, gli arcobaleni, il chiarore dei lampi, nascono dalla tavolozza dell'aria che ci circonda.

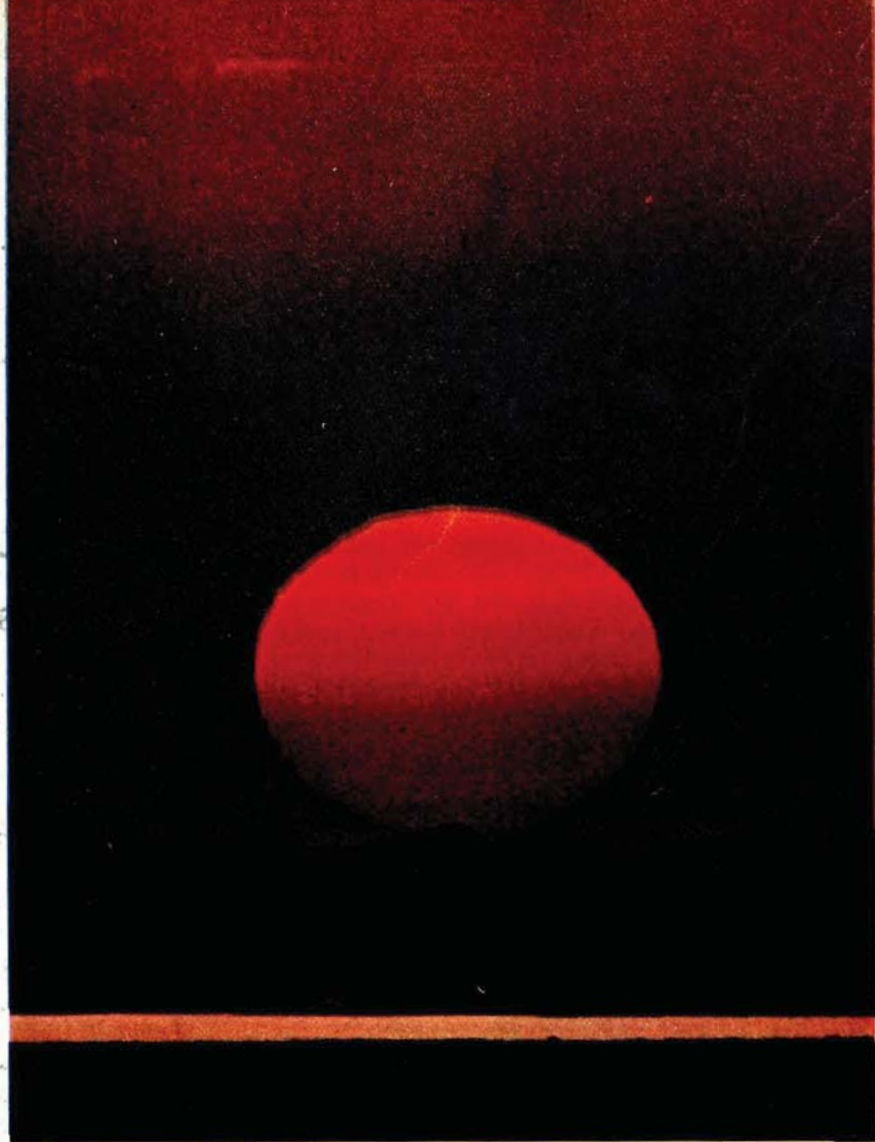
L'atmosfera intercetta le radiazioni solari, le quali contengono tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile. Ora accade che le molecole dell'aria hanno la proprietà di intercettare le onde corte del blu, di deviarle nel loro cammino verso la Terra e di disseminarle attraverso il cielo. La « volta » azzurra, perciò, non è una cupola cristallina, ma un sottile tessuto fatto di luce blu e di aria, la cui altezza è di soli 20 chilometri. Più in alto il « cielo » diviene di colore violetto e a circa 30 chilometri da Terra diventa nero ed emergono le stelle.

I colori rossi dell'alba e del tramonto si formano mediante un analogo processo. Al mattino e alla sera il Sole si trova all'orizzonte e i suoi raggi debbono attraversare un numero di chilometri dell'atmosfera terrestre maggiore che a mezzogiorno. Le molecole d'aria hanno modo così di filtrare in misura più considerevole i colori che hanno una lunghezza d'onda minore. Di conseguenza predominano le lunghezze d'onda maggiori (il vermiglio, il rosso, il rosa) nei raggi obliqui che baciano la Terra per pochi momenti prima del tramonto e dopo l'alba: il mondo allora appare dipinto di rosso.

Anche l'arcobaleno e le aureole sono prodotti dall'azione che esercitano i componenti dell'atmosfera sulla luce, la quale viene dispersa o sottoposta a rifrazione dalle gocce di pioggia, dai sottili cristalli di ghiaccio o dalle nubi.

Fra tutti gli spettacoli che offre l'atmosfera, quello che maggiormente ha turbato l'uomo fino a incutergli paura è l'aurora boreale, fantomatica bandiera di luce colorata che appare in certe notti nelle forme più diverse, ora a saliscendi che vanno dall'orizzonte allo zenit, ora proiettata a raggiata come la luce dei riflettori, ora diffusa in forma di velo luminoso, ora simile a fiamme che danzano e pulsano come emesse da un misterioso fuoco cosmico.

Pare che le aurore boreali debbano essere collegate con fenomeni esplosivi che si verificano nell'atmosfera del Sole, la quale libera enormi getti di protoni (nuclei di idrogeno) e di elettroni che si diffondono nello spazio e si dirigono verso la Terra alla velocità di 5.000 chilometri al secondo. L'incontro di questa grande corrente di particelle elettrificate con il campo magnetico della Terra fa sì che alcune delle particelle solari siano deviate verso i poli magnetici del pianeta. Le aurore boreali infatti, appaiono sempre sia nel cielo del Nord che in quello del Sud. A un livello che sta tra i 100 e i 1000 chilometri dalla Terra, le particelle solari urtano gli atomi e le molecole dell'aria superiore e li ionizzano e li eccitano, rendendoli incandescenti. I colori dell'aurora boreale sono determinati dalle lunghezze d'onda emesse dagli atomi e dalle molecole che partecipano a questo processo.



IL SOLE AL TRAMONTO diventa rosso perché i suoi raggi obliqui attraversano chilometri e chilometri dello strato inferiore dell'aria, che è anche il più denso e perciò lascia passare soltanto le lunghezze d'onda maggiori, tendenti al rosso.

GLI ARCOBALENI (in basso) hanno origine dal passaggio della luce del sole attraverso le gocce di pioggia cadenti. Ogni goccia si comporta come un minuscolo prisma, per cui ciascun raggio bianco viene scomposto nei diversi colori che costituiscono lo spettro solare. Gli arcobaleni secondari, come quello che si vede a destra, sono prodotti dalla doppia riflessione dei raggi da parte delle gocce.



La girandola dei venti

La più notevole, fra le proprietà dell'aria, è la mobilità. Prima ancora di conoscerne la composizione e l'importanza nei confronti della vita, l'uomo si è servito dell'aria come mezzo di propulsione per le navi che veleggiavano sul mare ed ha tremato per la violenza degli uragani e delle tempeste invernali. Il Vecchio Testamento parla di Geova che cammina maestosamente sulle « ali del vento » e lo dipinge mentre parla a Giobbe « tra i turbini del vento ».

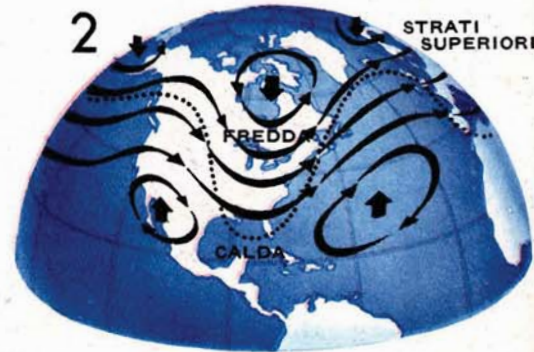
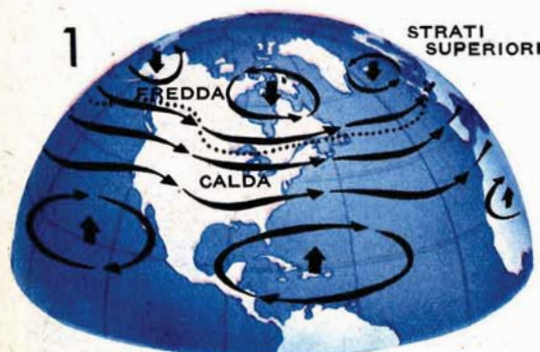
Per natura i gas sono le più mobili tra le sostanze materiali, perché le loro molecole sono libere e senza vincoli: non sono strettamente delimitate come nei solidi né concatenate come nei liquidi. Nell'atmosfera questa mobilità si manifesta tanto nei venti locali quanto nei più vasti sistemi di movimenti d'aria che sembrano governare i fenomeni climatici del globo. La dinamica di questi movimenti ci è poco conosciuta, ma le teorie moderne sono concordi nel ritenere che i più grandi venti della Terra siano mossi da due forze gigantesche: il calore del Sole e la rotazione del globo intorno al proprio asse. Nel corso di questo processo, il Sole agisce come un motore e la rotazione della Terra come un meccanismo di timonaggio. Se la Terra non ruotasse e la sola forza in azione fosse il Sole, i grandi venti nascerebbero in un punto direttamente riscaldato dal Sole e si irraggierebbero in tutte le direzioni. Ma poiché la Terra ruota, un flusso d'aria che, ad esempio, si diriga dalle regioni calde alle più fredde subisce una deviazione verso Est. Infatti l'atmosfera non è un guscio rigido che ruota sincronicamente con la Terra. Al contrario, il pianeta ha soltanto una presa lieve ed imperfetta sul suo mantello di aria.

Come risultato del combinarsi di queste forze, l'aria calda dei Tropici si mescola continuamente con l'aria fredda proveniente dai Poli, contribuendo così a moderare il clima e a prevenire eccessi di temperatura nella maggior parte del mondo. In ogni emisfero le masse d'aria calda e fredda si incontrano a circa 40° di latitudine, dove formano una vasta frontiera, mobile e irregolare, segnata da profonde pieghe e ondulazioni, che spesso si allungano per 6.000 chilometri e avanzano e si ritirano alternativamente verso Nord e verso Sud, sempre però seguendo una grande orbita, da Ovest ad Est, intorno ai Poli. Oggi si ritiene che le condizioni climatiche della Terra siano connesse in massima parte con i movimenti di questi vortici circumpolari. Recenti studi sui vortici del Nord (su quelli del Sud si conosce poco) hanno permesso di stabilire che essi si espandono e si contraggono ripetutamente, scagliando ondate d'aria fredda a Sud, verso l'Equatore, e succhiando aria calda in direzione Nord, verso il Polo. Contemporaneamente si formano zone di alta e di bassa pressione, le quali a loro volta influenzano i sistemi di venti che agiscono al livello del mare. (Questi ultimi subiscono anche l'influsso delle differenze di temperatura esistenti tra la terra e il mare, tra le montagne e le vallate.)

Quasi al limite del vortice circumpolare settentrionale e ad un'altezza che va dai 10 ai 15 chilometri esiste una fascia di grandi venti, i più veloci della Terra, che soffiano da Ovest ad Est con raffiche che possono raggiungere i 480 chilometri orari. Questa fascia costituisce la corrente di getto. D'estate, quando il vortice circumpolare si contrae, essa oscilla fra i 40° e i 50° Lat. N.; d'inverno invece vaga verso il Sud fino a latitudini di 25°-35° N. La corrente di getto è sottoposta non solo alle fluttuazioni stagionali ma anche a mutamenti ciclici. Rimane però un problema ancora non risolto, per la meteorologia, stabilire se queste fluttuazioni siano la causa delle variazioni climatiche sulla Terra o ne rappresentino soltanto il riflesso.

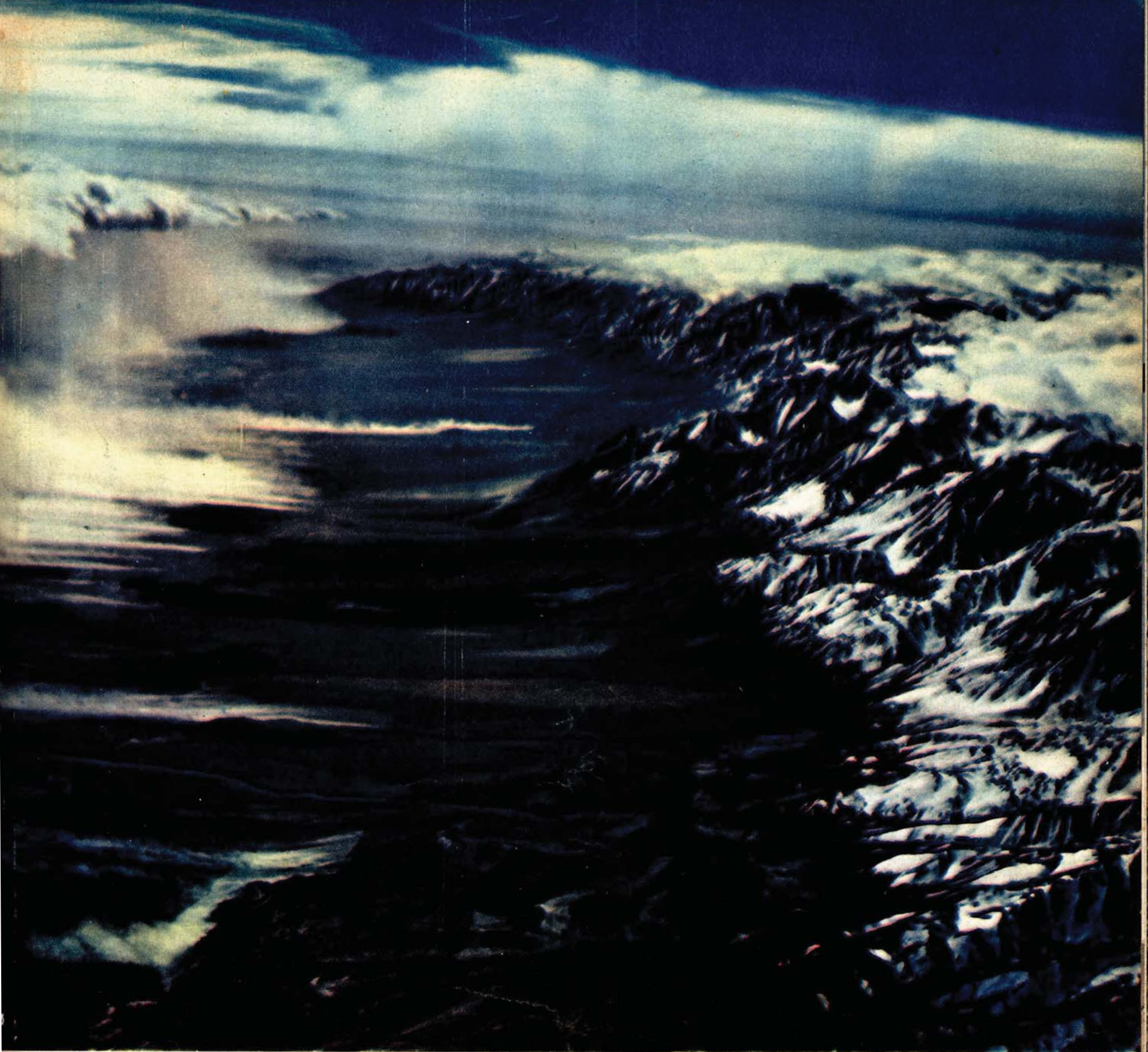


LE CORRENTI D'ARIA ascendenti e discendenti offrono un quadro spettacolare lungo il versante orientale della Sierra Nevada. L'aria relativamente calda e umida che proviene dall'Oceano Pacifico (lo si immagina a destra, al di fuori della fo-



I GRANDI VENTI DELLA TERRA soffiano secondo un ciclo ordinato che influenza i fenomeni climatici su tutto il globo. In questa serie di diagrammi vengono illustrate le fasi principali di questo ciclo, secondo il seguente criterio: le condizioni esistenti nell'atmosfera dai 3000 agli 8000 metri vengono messe in relazione con i venti e le caratteristiche climatiche che si riscontrano alla superficie della Terra. Il primo emisfero mostra come, nel punto d'incontro delle masse

d'aria calda che si muovono verso il Polo con le masse d'aria fredda che avanzano verso l'Equatore, si formi un confine irregolare, che è il vortice circumpolare. Nello stesso tempo si formano zone d'alta pressione (freccie rivolte verso l'alto) dove i venti soffiano nel senso delle lancette dell'orologio e zone di bassa pressione (freccie rivolte verso il basso) dove i venti soffiano in senso contrario. Il secondo emisfero mostra come questi movimenti siano in relazione a zone di alta e bassa



tografia) si raffredda sempre di più, a mano a mano che sale lungo i fianchi del massiccio, fino a creare una cappa di nuvole che sovrasta le vette più alte (a destra nella foto). Una volta raggiunto l'orlo orientale del massiccio, l'aria si tuffa

nella vallata, la percorre con estrema violenza con vortici di polvere e, dopo 8 o 15 chilometri, si solleva di nuovo dando origine a una enorme corrente ascendente, sovrastata a sua volta da un'estesa cappa di nuvole (a sinistra nella foto).



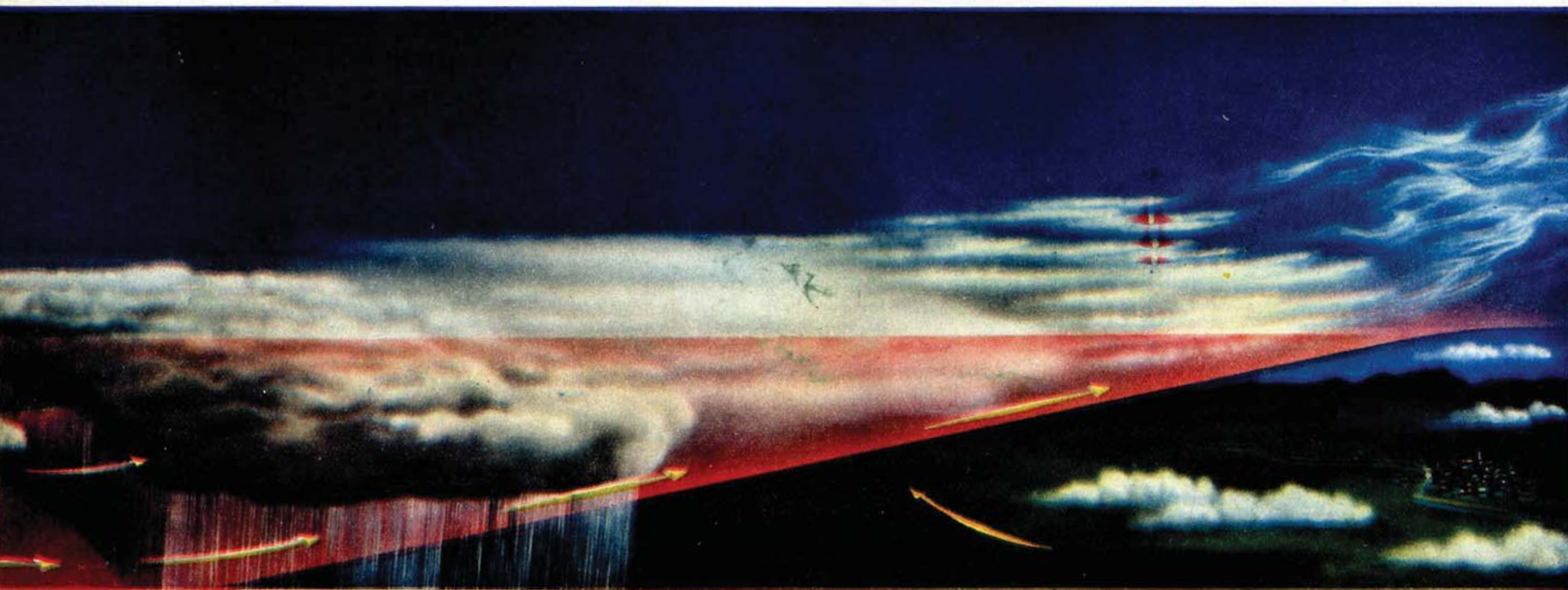
pressione al livello del mare. In queste zone compaiono i maggiori sistemi di venti della superficie terrestre, come gli Alisei e gli Extratropicali. Nella seconda fase (terzo emisfero) le fluttuazioni del vortice circumpolare si accentuano: l'aria fredda forma un cuneo verso il Sud e di conseguenza al livello del mare (quarto emisfero) le zone d'alta e bassa pressione assumono un allineamento da Nord a Sud, distorto il normale sistema di venti. Nella terza fase (quinto emisfero) le fluttuazioni

si accentuano al punto da originare grandi vortici circolari, entro ciascuno dei quali vengono a trovarsi isolate le masse d'aria calda e fredda. Al livello del mare (sesto emisfero) le zone d'aria calda vengono così a trovarsi intrappolate a Nord, mentre quelle d'aria fredda sono isolate a Sud. Si formano allora zone di alta e bassa pressione estremamente accentuate. Quando le masse d'aria calda e fredda sono arrivate a fondersi del tutto, il ciclo ricomincia daccapo.



UN FRONTE FREDDO si è formato sul mare per l'arrivo di una massa d'aria fredda che, provenendo dalla terraferma, ha raggiunto l'aria calda e l'ha spostata violentemente. Il bordo della massa fredda (che si distingue per il suo

colore blu) si comporta come un'enorme lama, che taglia dal di sotto la massa calda e la solleva verso l'alto, dove essa si condensa in formazioni di cumulonembi. Le frecce gialle indicano le violente correnti d'aria che agitano le nuvole.



UN FRONTE CALDO si ha quando una massa d'aria calda (color rosa) ne raggiunge una più fredda e scivola al di sopra di essa. A mano a mano che sale, la massa calda si condensa in formazioni di nembi, nuvole apportatrici di forti

piogge. Perciò il "fronte caldo" è caratterizzato da un tempo triste, piovoso, che spesso viene annunciato dai cirri, le nuvole sparse che si vedono a destra nella tavola. Il vento che precede il temporale (freccia in basso a destra) spira contro il "fronte".

Perché varia il tempo

L'atmosfera deve essere considerata, perciò, un oceano d'aria inquieto, percorso da continue scosse, come un mare turbato da rapide correnti, increspato da ondate tremende, che influenzano il carattere del clima terrestre. Ad esempio, quando l'aria si solleva fino a formare una vetta, come la cresta di una grande ondata, è molto probabile che ad essa corrisponda, in un punto della Terra sottostante, una zona di alta pressione. Quando invece l'aria si abbassa sino a formare una vallata, come l'intervallo che corre tra un'onda e l'altra, quasi certamente il barometro dell'uomo registra una zona di bassa pressione.

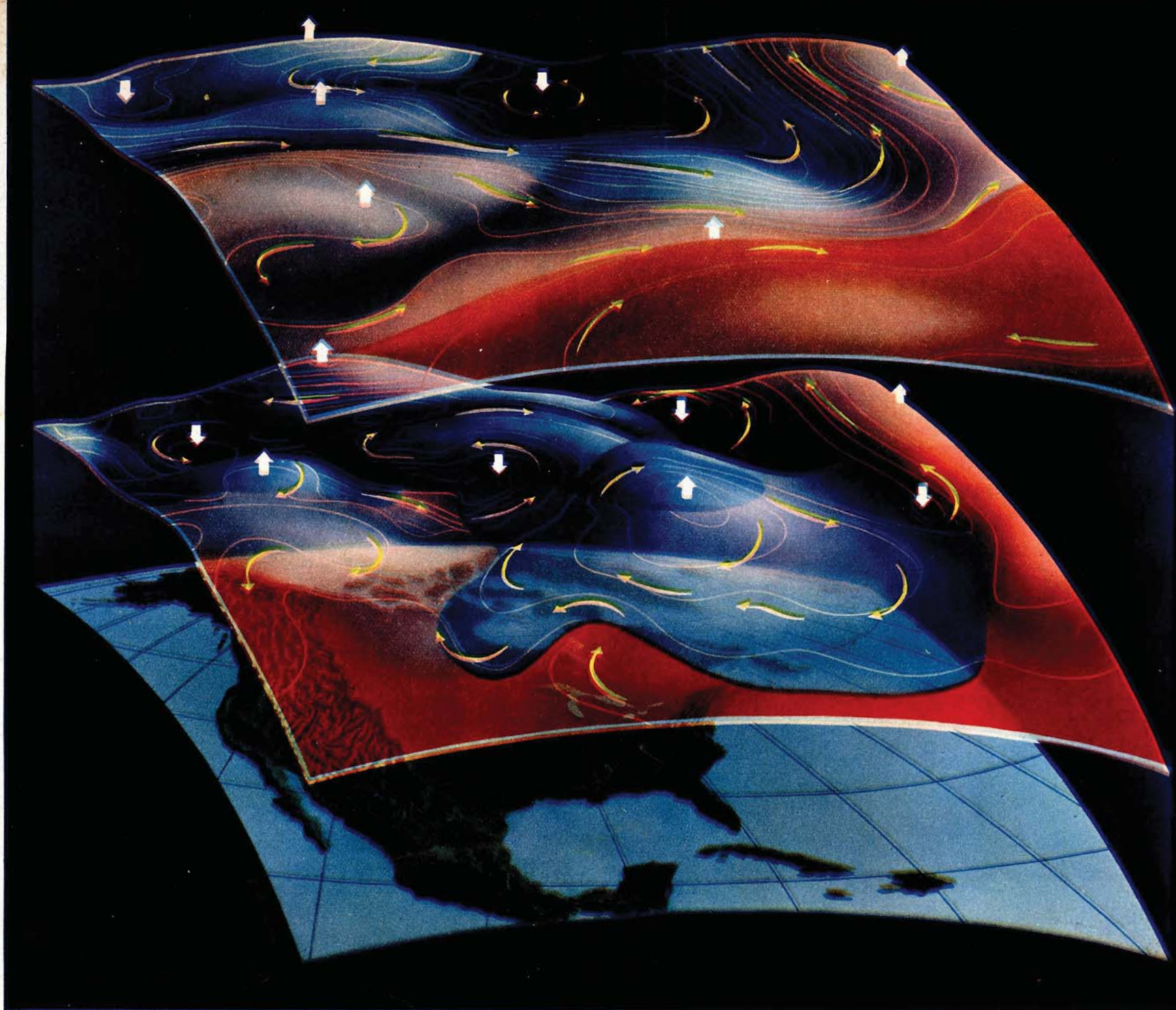
Un'«alta» può essere raffigurata come una massa d'aria (una collina o una montagna d'aria) che si eleva sulle masse che la circondano e, poiché contiene più aria di queste, esercita una pressione sia alla sua base che ai lati. In questo caso si formano vortici di vento che abbandonano la zona di alta pressione. Allora l'aria che si trova in alto sprofonda, per andare a colmare il vuoto creatosi, e si comprime e si riscalda. Perciò il clima determinato dalle alte pressioni è generalmente caratterizzato da cielo limpido, sole splendente e aria asciutta. Da parte opposta una «bassa» rappresenta una depressione, una vallata nell'atmosfera, posta al di sotto delle masse d'aria circostanti: essa esercita sulla Terra una pressione minore in quanto contiene meno aria.

Il clima delle zone a bassa pressione è perciò caratterizzato generalmente da temporali, poiché i venti accorrono nelle «basse» e l'aria, sollevan-

dosi di conseguenza ad altezze fredde, si condensa in nebbia o in pioggia.

Oggi sappiamo che l'apparizione delle «alte» e «basse» sulla Terra si collega con i cicli del vortice circumpolare e con la corrente di getto dell'aria superiore. I meteorologi, però, ritengono che la topografia della Terra, le contrastanti temperature del suolo e del mare e il mutare delle stagioni possano a loro volta influenzare le oscillazioni del vortice circumpolare. È soprattutto la stabilità architettónica della Terra a far sì che alcune tra le maggiori regioni di alta e bassa pressione si manifestino in determinate parti del mondo e ricorrano di anno in anno. Nei pressi dell'Equatore, per esempio, si estende una zona di aria calda, che si solleva, e di bassa pressione, conosciuta come regione delle calme equatoriali. Due altre zone di bassa pressione si trovano a 60° Lat. N. e S. Entro ciascuna di esse esistono regioni minori dove l'azione delle masse d'aria è particolarmente forte. Così hanno origine le alte pressioni Siberiana, Canadese, Nord-Atlantica (o di Bermuda), Sud-Atlantica, del Pacifico del Nord, del Pacifico del Sud, e Australiana; e le basse pressioni Islandese e Aleutina. Nessuna di queste zone è però permanente, poiché tutte sono soggette a mutamenti stagionali ed alle variazioni del vortice circumpolare. Ad esempio, durante i mesi caldi il continente asiatico si trasforma in una vera e propria trappola di calore: di conseguenza, nel corso dell'estate, l'alta pressione che d'inverno grava sulla Siberia si trasforma in una bassa pressione verso cui concorrono i venti monsonici provenienti dal mare.

La distribuzione delle alte e basse pressioni intorno al globo viene collegata con tre zone principali di clima cattivo: la «convergenza equato-



L'ATMOSFERA IN MOVIMENTO crea intorno alla Terra vere e proprie montagne e vallate d'aria. I due piani trasparenti mostrano le alte pressioni (freccie bianche rivolte in alto) e le basse pressioni (freccie bianche rivolte in basso) al-

la superficie e a 6.000 metri d'altezza. L'aria calda è contraddistinta dal colore rosso, quella fredda dal blu. Le frecce gialle indicano la direzione del vento. Come è facile notare, alla superficie le ondulazioni dell'aria sono più marcate.

riale», il «fronte del Polo Nord» e il «fronte del Polo Sud». La «convergenza equatoriale» è creata dalla collisione dei venti Alisei di Nord-Est dell'emisfero settentrionale con gli Alisei di Sud-Est dell'emisfero meridionale. Questi due grandi sistemi di venti trascinano masse di aria calda e umida che, convergendo nella regione delle calme equatoriali, si innalzano ad altezze dove regna il freddo e perciò si condensano e si trasformano in pioggia. Raramente la «convergenza equatoriale» si sposta, nelle sue fluttuazioni quotidiane, per più di 300 chilometri. Però nei mesi estivi, quando le terre continentali si riscaldano, essa si spinge verso l'interno a grandissime altezze e a volte arriva persino a sfiorare i confini delle altre due zone di tempeste, i «fronti» del Polo Nord e del Polo Sud.

I «fronti» sono i confini, le frontiere avanzate di masse d'aria calda o fredda in movimento. (La «convergenza equatoriale» non è un «fronte» perché le sue masse d'aria in conflitto hanno virtualmente la stessa temperatura.) I «fronti» polari, che oscillano avanti e indietro lungo molti gradi delle latitudini medie, segnano l'incontro dell'aria fredda proveniente dalle alte pressioni polari con il caldo soffio dei venti Extratropicali provenienti dai Tropici. L'aria fredda, avvinghiandosi alla superficie della Terra, si insinua sotto l'aria calda e a volte spinge profondi cunei irregolari verso le latitudini minori. Intanto l'aria calda sale in alto, si raffredda e si condensa in nuvole, in nebbia e in pioggia.

Il «fronte» non si presenta mai come una superficie piana ma piuttosto come un pendio irregolare che al livello del mare si spinge verso l'Equatore e nei suoi strati superiori si stende verso il Polo. A causa della continua lotta tra l'aria calda e l'aria fredda il «fronte» tende a piegarsi, a deviare: in un punto si ritira, in un altro si spinge verso l'Equatore con

lunghe diramazioni d'aria fredda. Spesso da queste perturbazioni, che danno al «fronte» un aspetto distorto, hanno origine le tempeste. È qui infatti che si formano le zone di bassa pressione, le quali variano di giorno in giorno ma si muovono inesorabilmente verso l'oriente, dove si trova il loro cimitero meteorologico, rappresentato dalle basse pressioni semi-permanenti dell'Islanda e delle Aleutine.

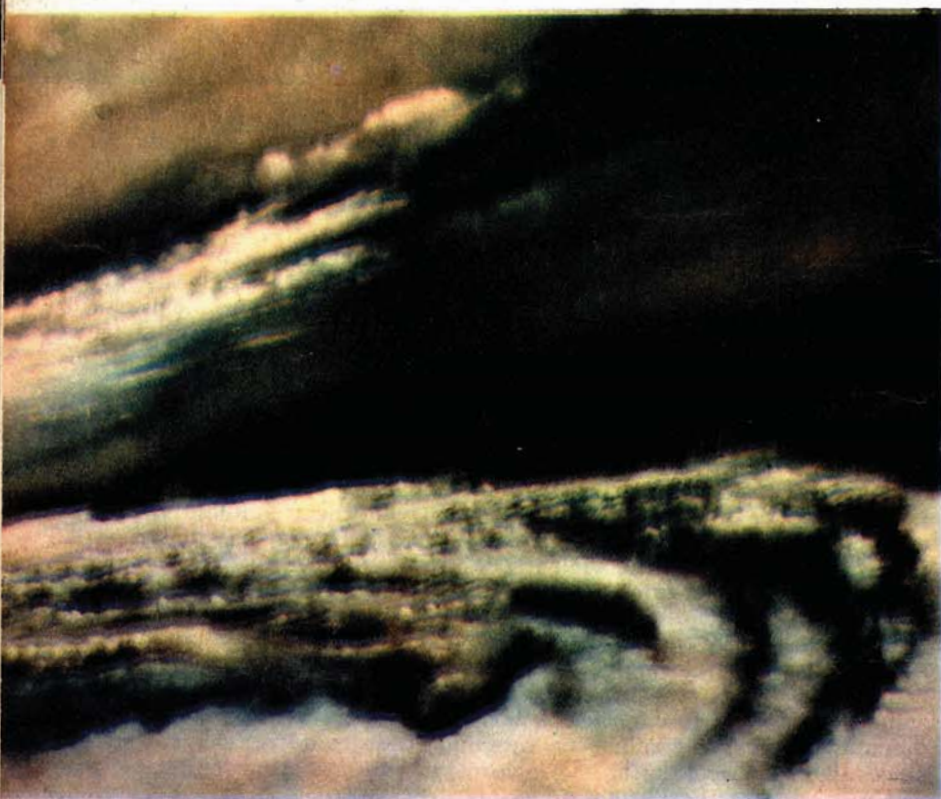
I vari «fronti» locali, che giornalmente determinano le condizioni del tempo in tutto il mondo, dipendono dal modo in cui si muovono le frontiere dei grandi «fronti» polari. I meteorologi distinguono quattro specie di «fronti»: freddo, caldo, occluso e stazionario. Un «fronte freddo» si verifica quando una massa veloce d'aria fredda ne raggiunge una calda e la spinge improvvisamente verso l'alto. Spesso, in questo caso, si verifica un temporale con raffiche violente di vento; però la perturbazione è di solito breve e localizzata e, quando si conclude, lascia un cielo limpido, dove le nuvole sono state rapidamente «spazzate». Un «fronte caldo» si ha, al contrario, quando una massa d'aria calda ne raggiunge una più fredda e lentamente comincia a scivolare al di sopra di essa, dando origine a un tempo triste, piovoso, che persiste per giorni e giorni e può coprire zone molto estese, perfino intere nazioni. Un «fronte occluso» si verifica quando un «fronte freddo» ne raggiunge uno caldo e subito lo solleva staccandolo dal suolo, così che la loro linea di contatto viene a trovarsi in alto. Allora si verificano sia le perturbazioni del «fronte» caldo che del freddo. Infine può accadere che un «fronte» caldo o freddo se ne stia semplicemente calmo: in questo caso prende il nome di «fronte stazionario» e il tempo rimane stabile fino al momento in cui il «fronte» non si muova.



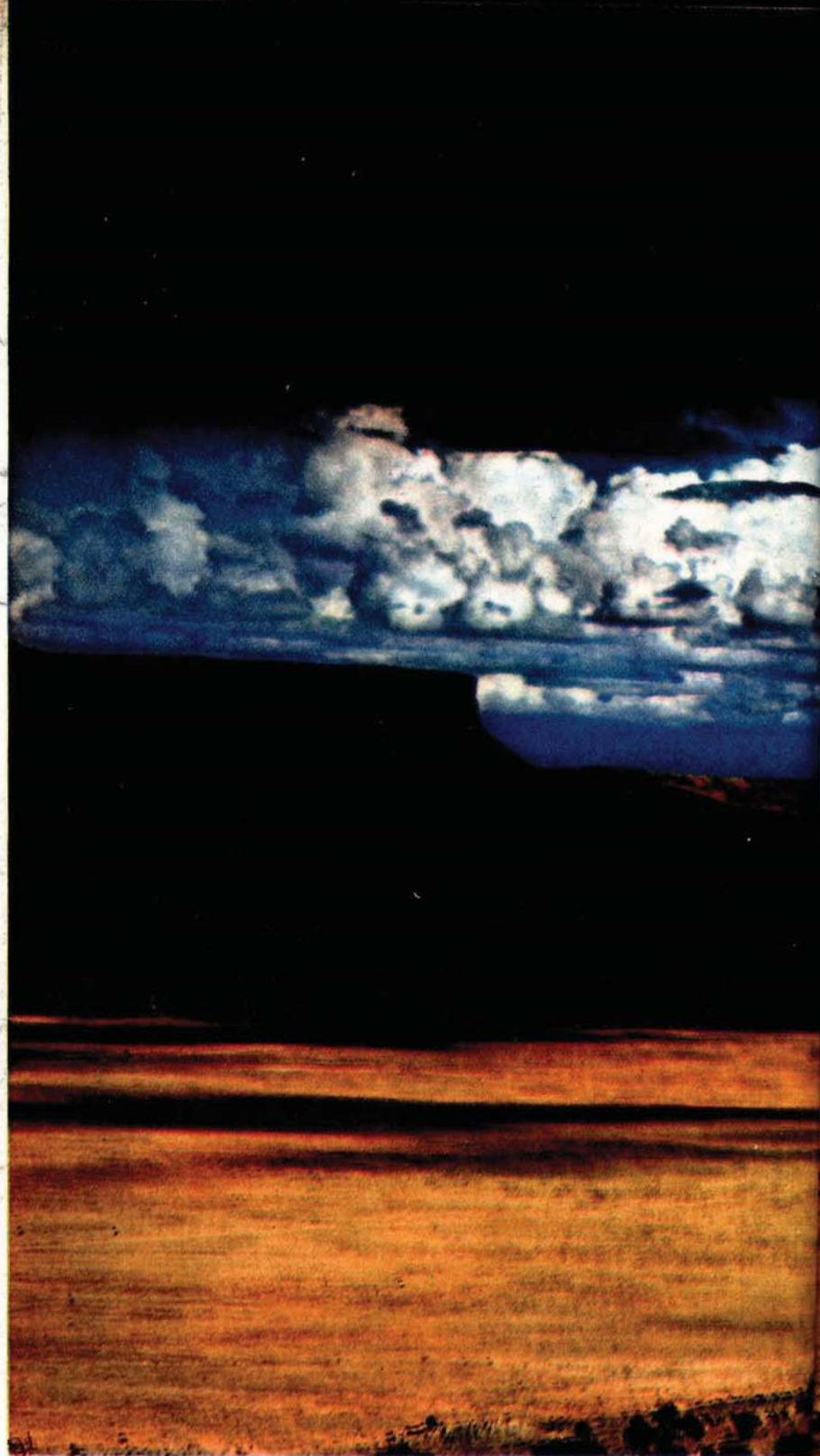
UN ROVESCIO PRIMAVERILE scaturisce dai cumuli che si sono ammassati sulla Terra in un giorno umido. Nuvole come queste rappresentano un tipo intermedio tra quelle che caratterizzano il cielo "a pecorelle" e i minacciosi cumulo-nembi.



I CUMULO-NEMBI si formano quando l'aria, innalzandosi, solleva i cumuli a grandi altezze, dando luogo a giganteschi ammassi nuvolosi che viaggiano a 5000-8000 metri dal suolo. Nella parte superiore assumono l'aspetto di incudini.



L'INTERNO DI UN TIFONE è costituito da un denso ammasso di nuvole che ruotano ad alta velocità intorno a un "occhio" centrale, che rappresenta una zona di calma perfetta. La foto è stata scattata da un aereo dell'Aviazione americana.



UN TEMPORALE si scatena quando violente correnti d'aria, sia ascendenti che discendenti, danno origine a tensioni elettriche tra le varie parti di una nuvola e creano le condizioni per la caduta della pioggia. Una nube temporalesca tipica

Perché piove

Nelle zone di bassa pressione, quali sono ad esempio i vortici del mare atmosferico dove s'incontrano l'aria calda e la fredda, hanno origine tutte le tempeste della Terra, dalla breve raffica passeggera ai più selvaggi temporali che l'uomo conosca: gli uragani dei mari tropicali.

L'uragano ha un inizio tranquillo. Nella regione delle calme equatoriali, dove il Sole ha continuato a risplendere per giorni e giorni su un mare pigro e senza vento, l'aria calda comincia a sollevarsi in un punto. Mentre essa sale verso l'alto, viene rimpiazzata da aria nuova che accorre e s'aggiunge alla rotazione del vortice. Intanto si formano spessi strati di nuvole, la pioggia torrenziale comincia a cadere, i lampi attraversano l'aria che s'è oscurata e il vento vortica intorno a un «occhio» centrale con velocità che raggiungono i 250 chilometri orari. A un certo punto la grande tempesta si muoverà lungo il mare e durerà una quindicina di giorni, il tempo necessario perché le sue immense energie si esauriscano.

Non meno spettacolari di queste furibonde convulsioni cicloniche, anche se più familiari alla maggioranza degli uomini, sono i comuni temporali. Anch'essi, come tutte le perturbazioni atmosferiche, nascono dall'azione combinata del Sole e dell'acqua e, per uno strano paradosso, da quelle che potremmo considerare le più graziose fra le nuvole: i bianchi cumuli



divisa in tre zone: inferiore, centrale e superiore. Quella centrale è la più attiva e predomina la carica negativa. La zona superiore tende alla carica positiva e l'inferiore è pressochè neutra. Quando la carica negativa aumenta in misura eccessiva

si produce una scarica all'interno della nuvola oppure dalla nuvola verso Terra. Le molecole d'aria, ionizzate ed eccitate dal passaggio della scarica, danno origine ai lampi. La durata di un fulmine è di qualche milionesimo di secondo.

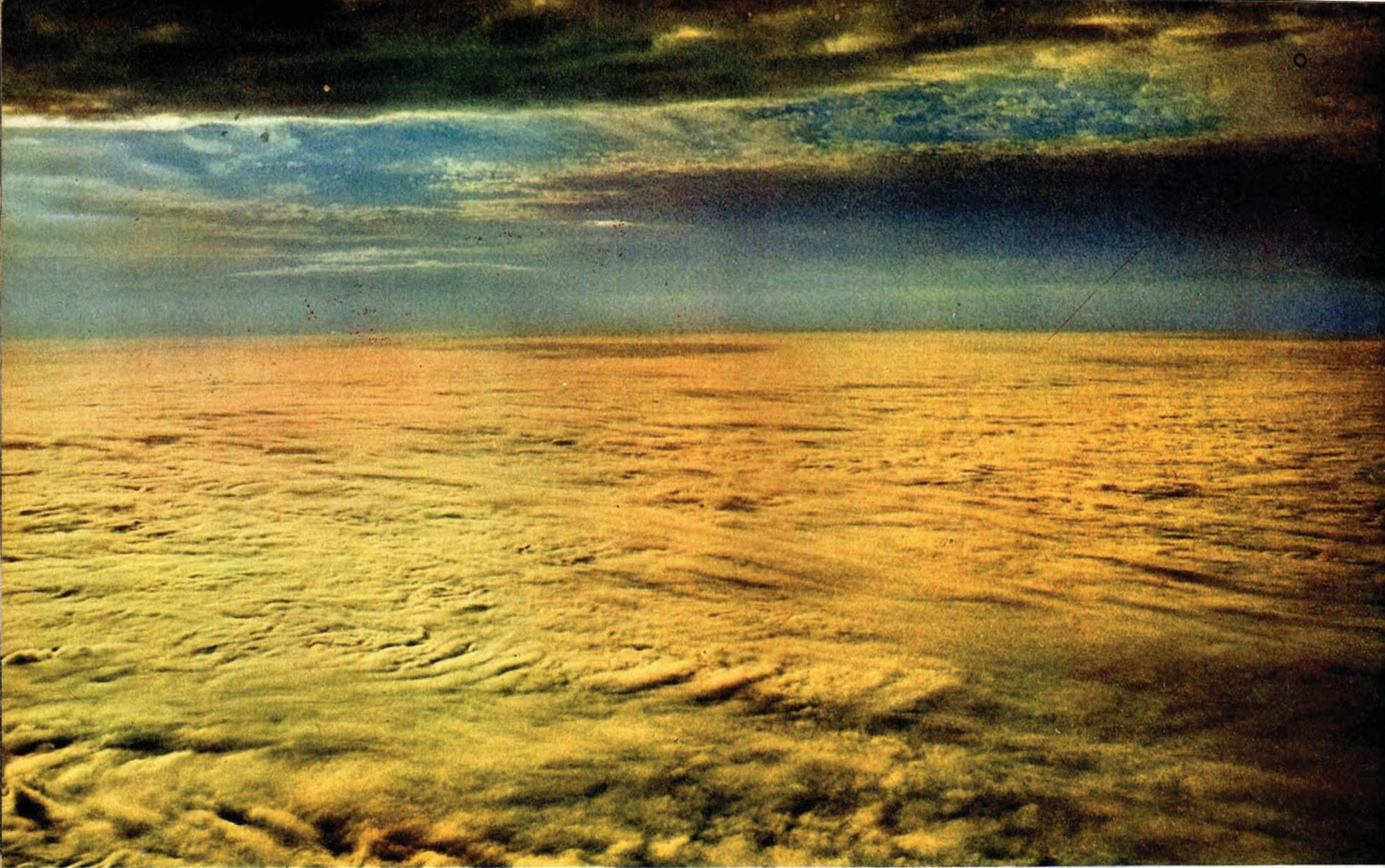
che, nei giorni assolati d'estate, si stendono come un velo lungo il cielo.

In determinate condizioni di temperatura, di umidità e di velocità del vento i cumuli danno vita a formazioni che vengono chiamate cumulonembi: si tratta di giganteschi ammassi di nuvole che viaggiano nel cielo a 5000-8000 metri d'altezza. A guardarli sembrano quasi palpabili, simili a docili greggi che migrano attraverso l'aria. In realtà rappresentano cellule dinamiche di energia turbolenta e nel loro interno s'agitano forze nascoste. La loro massa imponente è sconvolta da ogni parte da violente correnti d'aria che spingono verso l'alto e verso il basso, costringendo le gocce d'acqua a sollevarsi e a ricadere, per cui esse, sempre all'interno delle nuvole, a seconda dell'altezza cui vengono spinte e della temperatura che incontrano, ora si condensano in neve o in grandine, ora si trasformano di nuovo in vapore invisibile ed ora si sciolgono in pioggia.

I processi attraverso i quali una nuvola dà origine alla pioggia sono ancora oscuri: i meccanismi che entrano in azione sembrano essere numerosi e a quanto pare variano a seconda della temperatura delle nuvole. In quelle che formano gli strati superiori è probabile che il vapore acqueo si congeli in sottili cristalli di ghiaccio, il cui volume continua ad aumentare finché diventano tanto pesanti da precipitare. Allora raggiungono livelli più caldi, si liquefano e si trasformano in pioggia. Negli strati inferiori è probabile che le gocce di pioggia si formino, invece, mediante la semplice fusione di goccioline minuscole. Ma pare che ci siano anche altri

fattori che entrano in gioco. Secondo una teoria, le gocce si formano quando il vapore acqueo si condensa intorno a nuclei microscopici, rappresentati dalla polvere o da minuscole particelle di sale. Secondo un'altra teoria è l'elettricità che gioca un ruolo di primo piano nella formazione della pioggia. Finché la pioggia non comincia a cadere, una nuvola non ha campo elettrico perché, se è vero che ogni goccia porta una carica elettrica, è anche vero che essa è circondata da una guaina di molecole ionizzate, che posseggono una carica opposta. Naturalmente le due cariche si neutralizzano e bisogna pensare che una nuvola sia in grado di liberare la pioggia solo quando si verifica l'intervento di alcuni agenti che rompono quest'equilibrio elettrostatico. Uno di questi agenti potrebbe essere una ventata improvvisa, tale da spazzare gli ioni neutralizzanti verso la parte superiore della nuvola, permettendo così alle gocce di fondersi, di cadere e di unirsi ad altre gocce durante la caduta.

A volte la carica negativa posta in una nuvola aumenta in misura eccessiva ed ha bisogno di trovare uno sfogo: allora si verifica una scarica all'interno della nuvola oppure dalla nuvola verso Terra. Lo scambio di elettricità tra la nuvola e il suolo assume la forma di numerosi e rapidi impulsi nei due sensi, i più forti dei quali sono di solito quelli che vanno dalla Terra alla nuvola. Perciò, quasi sempre, i lampi più luminosi che scorgiamo sono quelli che si dirigono verso il cielo. I bagliori sono prodotti dalle molecole d'aria ionizzate ed eccitate dal passaggio della scarica.



GLI STRATI (foto in alto) si stendono nella luce dorata del mattino come un mare sconfinato. Si chiamano "strati" le nuvole dall'aspetto pianeggiante che hanno origine da una massa d'aria calda in movimento su una superficie fredda.

I CIRRI (foto in basso) si arrossano illuminati dal Sole che tramonta. Tra le formazioni di nuvole a noi familiari, questi filamenti sottili, simili a fiocchi di lana, raggiungono l'altezza maggiore: fino a dodici chilometri dal suolo.



Come nascono le nuvole

Le nuvole più appariscenti, che ci colpiscono di più, appartengono alle fosche formazioni temporalesche. Ma esse non debbono farci dimenticare che l'azzurro oceano dell'aria è costantemente chiazzato, punteggiato, velato di grigio o pennellato di bianco da una varietà di disegni di vapore sempre mutevoli, che si alterano a seconda della geografia e delle stagioni e racchiudono gran parte della bellezza del cielo. Tanto i cirri dalla forma di piume quanto i cumuli estivi simili a fiocchi fluttuanti di cotone sono tessuti, come tutte le nuvole, con la medesima diaphana sostanza: il vapore acqueo reso visibile che aleggia nell'aria a un'altezza determinata dai venti, dalla temperatura e dal Sole.

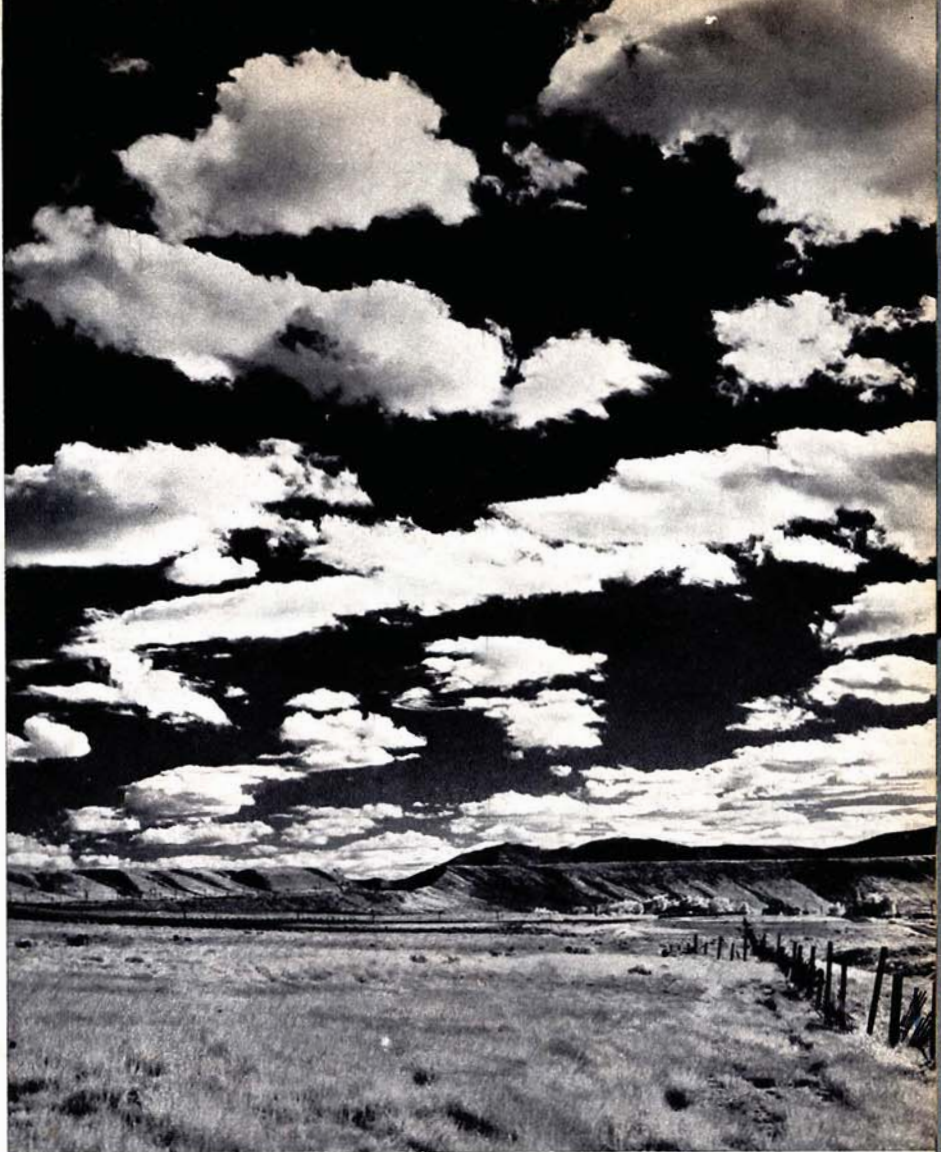
Se tutto il vapore acqueo contenuto nell'atmosfera si raccogliesse in un'unica, improvvisa precipitazione, stenderebbe sul nostro globo uno strato d'acqua non più alto di 25 millimetri. Eppure questo gas rappresenta uno dei componenti fondamentali dell'aria, senza del quale sulla Terra non esisterebbe la vita così come noi la conosciamo e non avverrebbero mutamenti di clima. Se non ci fosse il vapore acqueo il nostro pianeta soffocherebbe sotto enormi ammassi di nuvole di polvere gonfiate dal vento e conoscerebbe punte di temperatura molto più rigide. Il movimento del vapore acqueo, sia in senso verticale che orizzontale, costituisce infatti uno dei mezzi più importanti per il trasferimento del calore terrestre. Ad esempio, due volte l'anno attraverso l'Equatore passano 10.000.000.000.000 di tonnellate d'aria che, trasferendosi dall'emisfero dell'estate a quello dell'inverno, trasportano miliardi di tonnellate di vapore acqueo che concorrono a rendere meno accentuate le differenze tra le zone calde e le fredde. Inoltre il vapore acqueo ha la capacità di assorbire radiazioni, in particolare quelle a onde lunghe provenienti dalla superficie della Terra, e perciò ha un ruolo di primo piano nel mantenere la temperatura entro i limiti richiesti dalla vita terrestre. Di tutte le radiazioni che partono dalla superficie del pianeta, solo il 15 per cento si perde negli spazi siderali. Il resto viene intrappolato dall'atmosfera, soprattutto per l'azione del vapore acqueo.

Nei giorni sereni, quando il cielo è limpido, il vapore acqueo non è visibile. La sua presenza diventa manifesta soltanto quando assume la forma di pioggia, di nebbia o di neve, o quando ricopre i rami degli alberi con una lucente corazzina di ghiaccio o quando adorna l'erba con la rugiada del mattino e crea migliaia di gemme che sembrano sospese ad una ragnatela. A volte si condensa in gocce sottili, così minuscole che ne occorrerebbero milioni per riempire un cucchiaino da caffè, e avvolge la Terra in un manto perlaceo, translucido, che gli uomini chiamano nebbia. Altre volte si mostra nel cielo sotto forma di nuvole.

Il vapore acqueo passa dallo stato invisibile a quello visibile principalmente per effetto della temperatura. L'aria calda, infatti, può contenere, rispetto alla fredda, una maggiore quantità d'acqua sotto forma di vapore trasparente. Quando l'aria satura di vapore diventa abbastanza fredda avviene la condensazione. È un processo che si può verificare in diversi modi. Per esempio, quando il Sole è tramontato, la Terra perde il calore del giorno: allora gli strati inferiori dell'aria si raffreddano e danno origine alla rugiada e alla nebbia, che appaiono in fondo alle valli, sulle pianure paludose e nelle lande. Altre volte è il vento che, convogliando aria calda sulle superfici fredde, provoca la formazione di nebbia e di nuvole basse. Così avviene d'inverno, quando le umide brezze che vengono dal mare si muovono lungo un gelido paesaggio terrestre e danno origine alle nebbie caratteristiche di molte regioni costiere. D'estate si verifica spesso il contrario: l'aria calda della Terra si spinge al largo, sulle acque fredde, ed allora il mare si copre di nebbia, come accade al largo delle coste di Terranova, del Labrador e della Manica. È lo stesso fenomeno che possiamo osservare, naturalmente su scala più ridotta, quando in un giorno umido d'estate versiamo, in un bicchiere, acqua ghiacciata o una qualsiasi bibita fredda e lo vediamo trasudare.

Un meccanismo diverso, che dà origine alla formazione di nuvole, è costituito dall'aria che si solleva e si raffredda. Esso si chiama convezione. È così che nascono tanto gli uragani più spaventosi quanto i soffici cumuli delle tranquille nubi estive. Se le correnti d'aria fossero visibili, noi potremmo scorgere, osservando il paesaggio in un caldo pomeriggio di luglio, innumerevoli colonne d'aria riscaldate dal Sole sollevarsi dal suolo, ciascuna reggendo sulla propria cima una nuvola bianca, un cumulo. Perciò ogni nuvola rappresenta il punto d'arrivo visibile di una colonna d'aria ascendente. L'altezza alla quale si forma la nuvola indica il livello della temperatura che consente al vapore acqueo invisibile di condensarsi in gocce visibili. Quasi uguale è il processo che si verifica quando l'aria calda, muovendosi in direzione orizzontale, è spinta dal vento a salire lungo il fianco di una montagna. A mano a mano che si solleva essa si raffredda. E a mano a mano che si raffredda, naturalmente si condensa. È questa la ragione per cui molte grandi montagne della Terra mostrano sulla loro cima, nei giorni di vento, un cappuccio costituito da una nuvola bianca.

I CIRRO-CUMULI raggiungono di solito l'altezza di 6.000 metri. Come tutte le nuvole superiori sono composti il più delle volte non di gocce d'acqua ma di cristalli di ghiaccio. Spesso indicano l'avvicinarsi di un "fronte caldo".



I CUMULI che scorgiamo nel cielo quando il tempo è buono rappresentano le cime di altrettante colonne d'aria sollevatesi dal suolo riscaldato dal Sole fino a raggiungere i 1000-3000 metri d'altezza, dove avviene la condensazione.





NUVOLE A FORMA DI LENTI appaiono sulle montagne quando le correnti d'aria umida sono costrette a sollevarsi e quindi si raffreddano e si condensano. Questa foto è stata scattata a Taos, nel Nuovo Messico: il vento sta soffiando da

sinistra a destra. La nuvola comincia a condensarsi a sinistra, cioè dal lato dal quale spira il vento, e raggiunge lo spessore massimo sulla cima della montagna. A questo punto l'aria si dirige verso il basso e modella la nuvola a forma di lente.



UNA NUVOLA A FORMA DI BANDIERA sulla cima del monte Baker. Tali nuvole appaiono di solito sulle montagne più alte della Terra e sono dovute all'improvviso raffreddarsi dell'aria che si è sollevata rapidamente fino alla vetta.



UNA NUVOLA BIZZARRA ha avuto origine da vortici d'aria irregolari che hanno succhiato una piccola parte di un più vasto ammasso nuvoloso. Queste strutture casuali sono molto instabili e di solito finiscono con l'evaporare rapidamente.

Il solenne corteo delle nuvole che a vele spiegate attraversano il cielo e mutano forma e colore con il mutare della posizione del Sole e si ammassano e si dissolvono secondo i capricci del vento ha dato al genere umano, con maggiore evidenza di qualsiasi altro spettacolo della natura, il senso dell'evanescenza e provvisorietà della bellezza, della vita, degli avvenimenti quotidiani.

Gli elementi fondamentali che costituiscono il mondo - il sole, il mare, le montagne - sono sempre apparsi all'uomo come un palcoscenico eterno sul quale si proiettano rapidamente i cicli passeggeri della vita e gli aspetti incostanti del clima. Limitato dalla sua visione temporale, non sempre l'essere umano riesce a individuare i mutamenti più vasti e più lenti che si verificano nel mondo fisico che lo circonda, come il sollevarsi e abbassarsi del livello degli oceani e il sorgere e decadere delle montagne. Egli tende ad assegnare una certa stabilità al clima, pur avvertendo le quotidiane fluttuazioni del tempo. Infatti i fenomeni meteorologici che si verificano giorno per giorno rappresentano singoli stati di una serie il cui complesso costituisce il clima, che è dato dall'andamento medio del tempo in una località. Ma nella grande prospettiva dell'intera storia terrestre le variazioni del clima attraverso i secoli ci appaiono eccentriche come le variazioni giornaliere del tempo. Il Brasile non ha sempre avuto il clima caldo di oggi, il Sahara non è stato sempre arido e l'Inghilterra di Alfredo il Grande non aveva le stesse caratteristiche meteorologiche di oggi.

Il clima generale della Terra è, ai giorni nostri, molto più rigido di quanto sia stato per gran parte dell'ultimo mezzo miliardo d'anni. Esso è caratterizzato da punte estreme di caldo e di freddo che, viste nella prospettiva del tempo geologico, rappresentano un'eccezione. Infatti la Terra ha avuto un clima sostanzialmente uniforme, con differenze di temperatura relativamente piccole, per gran parte della propria esistenza. Le regioni polari non avevano ghiacci, erano temperate e fertili; gli animali le piante potevano vivere in zone che oggi sono loro proibite; gli oceani ricoprivano gran parte delle attuali masse continentali e grandi correnti calde correvano da un Polo all'altro. Questa condizione climatica benigna, che ha caratterizzato la maggior parte dell'esistenza della Terra, è il clima normale del nostro pianeta. Gli interludi, rappresentati da severi ma brevi mutamenti climatici, vengono considerati dai geologi e dai climatologi come « anormali » e rappresentano meno di un quinto dell'intera storia geologica. L'ultimo di questi periodi ha avuto inizio circa un milione di anni fa ed ha toccato il suo culmine più recente circa 10.000 anni or sono, quando la grande coltre di ghiaccio ha cominciato a ritirarsi da una linea che tocca le tre città americane di Syracuse, Milwaukee e Des Moines. I climatologi non sono concordi nello stabilire se oggi viviamo nella fase conclusiva di un'età glaciale o semplicemente in una fase di momentanea ritirata dei ghiacci posta nell'ambito di una più grande era glaciale. Con certezza si può dire, però, che l'intera storia del genere umano si è svolta in tempi « anormali ». L'uomo non ha mai conosciuto il clima « normale » del proprio pianeta.

Nell'ultimo milione di anni le masse di ghiaccio hanno avanzato e si sono ritirate per almeno quattro volte. Con loro ha avanzato e si è ritirata la multiforme vita animale e vegetale, simile a un'armata che manovra lungo un fronte mutevole in una lotta titanica per l'esistenza. In ogni punto della Terra la marcia dei ghiacciai ha influenzato il clima locale e le condizioni di vita. Ciascuna invasione dei ghiacci ha spinto verso Sud la fascia delle piogge, convertendo i deserti dell'Africa, dell'Arabia e dell'Asia in terre fertili e in savane. Ma dopo ogni ritirata dei ghiacci, queste terre sono ridivenute aride.

(4 - Continua)

Lincoln Barnett

Il mattino della vita

Il pianeta Terra languì sterile e senza vita sotto la cupola dell'aria per una metà, quasi, della sua lunga storia. Gli oceani si sollevavano e s'abbassavano per l'attrazione della Luna e del Sole, si increspavano al respiro dei venti, ma nelle loro acque non si muoveva alcuna cosa vivente. I continenti si stendevano squalidi e rocciosi, privi di verde, simili ai paesaggi senz'aria della Luna.

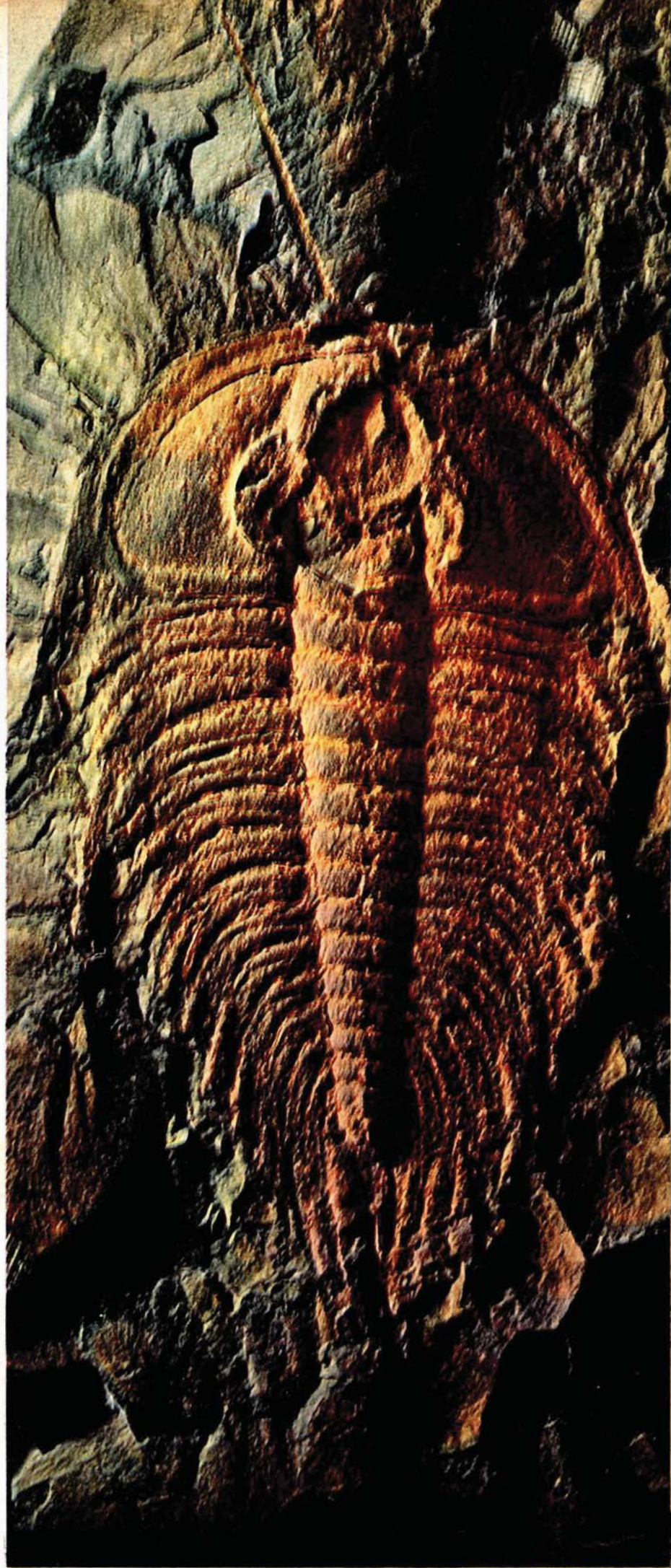
Ma in un momento indeterminato (alcuni dicono due miliardi di anni fa, altri un miliardo e mezzo) l'entità chiamata vita fece la sua miracolosa apparizione nelle profondità marine. Quale forma prese? Da quale concatenarsi di circostanze fisiche fu determinata la sua apparizione? La scienza non può specificarlo, come pure non è in grado di rispondere con certezza alla domanda «Che cosa è la vita?». Essa può dire soltanto che, per una ragione che ignoriamo, certe molecole giganti acquistarono la capacità di riprodursi. Da quest'inizio così oscuro presero l'avvio i meravigliosi processi delle cose viventi e si svilupparono le innumerevoli schiere di creature che volando, nuotando, strisciando, camminando, si sono mosse sulla faccia del pianeta nelle varie epoche e le incalcolabili generazioni di arbusti e di alberi, di erbe e di muschi, di felci e di fiori, che, avvinghiati alla crosta rocciosa della Terra, l'hanno ingentilita, avvolgendola in un mantello punteggiato di verde.

Fino alla metà del secolo XVIII, l'uomo occidentale ha creduto che la creazione di tutte le cose viventi fosse avvenuta dopo la comparsa del genere umano. È vero che la presenza dei fossili era stata osservata fin dai tempi dei greci antichi ma il valore che veniva loro attribuito era di capricci isolati della natura. La maggior parte delle cose viventi scomparire completamente, dopo la morte, e si trasforma in polvere senza lasciare tracce. La conservazione dei fossili, perciò, è un evento raro. Eppure ne sono stati trovati milioni e s'è capito che la vita animale sulla Terra deve essersi moltiplicata attraverso innumerevoli età passate. Le scoperte più sconcertanti furono quelle che portarono alla luce i resti di strane creature, mai viste prima dall'uomo.

Nel 1859 Darwin pubblicò *L'origine della specie*, formulando la sua classica teoria dell'evoluzione. Egli aveva notato che l'uomo, allevando animali e piante, spesso ne alterava profondamente la struttura e le abitudini, fino a far loro assumere le caratteristiche da lui desiderate. Dal cavallo selvatico aveva ricavato il cavallo da tiro e quello da corsa; aveva sviluppato numerose varietà di grano, di cani, di pollame, di frumento. Una volta consolidatisi, i nuovi rami avevano perpetuato se stessi nelle proprie discendenze. Darwin si pose la domanda: questi eventi possono accadere anche in natura? Può un singolo gruppo di animali subire tanti cambiamenti, per milioni d'anni, da non presentare alla fine più nessuna rassomiglianza con i progenitori? La sua risposta fu affermativa e, a sostegno di questa tesi, portò numerosi fatti e deduzioni che rappresentano l'essenza della teoria dell'evoluzione.

Osservando il regno animale nel suo complesso, Darwin notò che tutti gli organismi danno vita a più di un discendente. Ci dovrebbe essere, perciò, un aumento costante della popolazione di tutte le specie. Come mai, allora, i mari non sono letteralmente ingorgati dai pesci, se è vero che uno solo di essi può arrivare a deporre 100.000 uova in una volta? Come mai gli elefanti sono così scarsi, se da una sola coppia di questa specie (che pure si riproduce lentamente) potrebbero avere origine milioni di discendenti, nello spazio di pochi secoli, a patto che tutti sopravvivano? È evidente che molte discendenze debbono trovare la morte nella lotta per l'esistenza.

Darwin dimostrò che la lotta è sempre più feroce all'interno di una specie che tra una specie e l'altra. E poiché in ogni specie esistono notevoli diversità di attributi tra i singoli membri, è logico ritenere che gli individui dotati di caratteri più favorevoli abbiano maggiori possibilità di sopravvivere nella battaglia per l'esistenza. Essi trasmettono poi, al momento di riprodursi, le loro dotazioni speciali alla propria discendenza. Pertanto le specie sono entità plastiche che impercettibilmente, e attraverso lunghi periodi di tempo, si trasformano mediante un processo di selezione naturale. Allora diventa possibile, guardando le cose dall'immenso angolo visuale del tempo geologico, immaginare come un piccolo mammifero simile a un lemure possa essersi trasformato nell'uomo.



UN FOSSILE DI 500 MILIONI DI ANNI FA ci rivela distintamente la forma di una trilobite lunga 20 centimetri, un animale dal guscio duro che popolò le calde acque dei mari primordiali. Le trilobiti, ora estinte, furono i giganti della loro epoca. Circa il 60 per cento dei fossili rinvenuti nel primo capitolo del libro delle rocce è costituito da trilobiti, che per un periodo di tempo 75 volte più lungo dell'intera esistenza del genere umano furono le forme dominanti di vita sulla Terra.

Le leggi dell'ereditarietà

Il filo della vita è passato attraverso i corridoi sconfinati del tempo geologico subendo continue variazioni, ma senza mai spezzarsi. L'essenza della vita è la continuità. Solo la vita può trasfondere altra vita e ogni organismo vivente ha ricevuto i propri attributi da un organismo a lui simile.

I processi mediante i quali la vita si rinnova costituiscono forse i più squisiti e misteriosi della natura. Un secolo fa, nel tempo in cui Darwin stava sviluppando la teoria dell'evoluzione, si conosceva assai poco sul conto di questi processi e a un certo momento apparve chiaro che tutto l'edificio della teoria dell'evoluzione avrebbe potuto crollare dinanzi alla necessità di spiegare i meccanismi dell'ereditarietà. Le fondamenta della casa costruita da Darwin poterono dirsi solide soltanto nel 1900, quando cominciò ad affermarsi una nuova scienza, la genetica, che per la prima volta riuscì a dare una spiegazione del modo in cui le diverse specie di piante e di animali trasmettono le proprie caratteristiche alle successive generazioni.

L'enigma dell'ereditarietà era rimasto senza soluzione fino a quando le risposte a tanti problemi furono cercate nelle grosse strutture degli esseri viventi. Ma allorché i biologi rivolsero la propria attenzione alle unità basilari della materia vivente, alle cellule, cominciarono ad affacciarsi le spiegazioni giuste. La forma e le funzioni delle cellule variano enormemente; le loro dimensioni sono quasi sempre microscopiche. Alcuni esseri viventi, come le amebe e i batteri, sono costituiti da una sola cellula. Il corpo di un essere umano adulto ne contiene, invece, migliaia di miliardi. Nel nucleo di ogni cellula si trova una massa di strutture aggrovigliate, simili a filamenti, cui si dà il nome di cromosomi. Il loro numero varia da una specie all'altra, ma è sempre costante nella stessa specie. Così le cellule dell'uomo hanno 48 cromosomi, quelle della salamandra 24 e quelle di certi gamberi 200.

I cromosomi regolano le eredità individuali, poiché in ciascuno di essi si trovano racchiuse, molte volte come piselli nel loro guscio, entità ancora più piccole, chiamate geni, dove risiedono gli effettivi fattori ereditari che, combinandosi insieme, modellano la nuova creatura e la destinano ad essere una copia fedele dei genitori: ad essere, per esempio, un uomo o un'antilope e, se uomo, a possedere gli occhi di un certo colore e i capelli di un determinato tipo. I geni sono le unità più piccole di tutta la materia vivente e non è possibile scorgergli neppure col microscopio più potente. Il controllo che essi esercitano sull'ereditarietà e sullo sviluppo è però provato da migliaia di esperimenti.

Quando una cellula vivente si divide, anche i suoi cromosomi si dividono, per cui nell'organismo totale ogni cellula contiene esattamente gli stessi due gruppi di cromosomi dei genitori. C'è tuttavia un'eccezione a questa regola. Nel caso delle cellule germinali, destinate alla riproduzione, avviene una forma speciale di divisione che a ciascun seme o a ciascun ovulo assegna un solo gruppo di cromosomi, che può essere quello dell'uno o dell'altro genitore, oppure una mescolanza di ambedue. Spesso, durante il processo di divisione, avvengono scambi di geni tra i cromosomi e così il numero delle possibili combinazioni delle unità genetiche aumenta in misura astronomica. Se, come è stato associato, un solo cromosoma può contenere fino a 1000 geni, un essere come l'uomo che possiede 48 cromosomi ha all'incirca 48.000 geni, che rappresentano il complesso integrarsi di tratti ancestrali, avvenuto attraverso innumerevoli generazioni. Ed è evidente che, quando il seme e l'ovulo si fondono, le variazioni che si possono realizzare nella distribuzione dei geni sono pressoché infinite. La riproduzione sessuale rende dunque possibile uno scambio di fattori ereditari così fantastico e imprevedibile che non possiamo certo meravigliarci se nessuna prole è la copia perfetta dei genitori e se, fra due miliardi e mezzo di esseri umani, non ce ne sono due (a parte i gemelli identici) che siano l'esatto duplicato l'uno dell'altro.

C'è anche un altro processo, continuamente operante, che concorre a produrre nuovi geni e introduce quindi nuove caratteristiche in una stirpe. Si tratta del fenomeno della mutazione. Può accadere che un gene subisca una misteriosa alterazione, rendendosi strumento di effetti insoliti e a volte dannosi. Tutti gli esseri posseggono questi geni mutanti. Quando l'ambiente circostante provoca una mutazione vantaggiosa, l'essere che la rivela si trova favorito nella lotta per la sopravvivenza. Perciò la selezione naturale modifica le diverse generazioni di ogni specie e, a mano a mano che esse si succedono, le adatta alle mutevoli condizioni dell'esistenza. Sono appunto questi fattori sottili ma costanti che hanno prodotto il panorama sempre cangiante della vita sulla Terra. « Se una singola cellula, in condizioni adatte, diventa un uomo nello spazio di pochi anni » scrisse Herbert Spencer, « è evidente che non si ha difficoltà a capire come una cellula, nel corso di innumerevoli milioni di anni, possa aver dato origine al genere umano ».

Ecco le fasi attraverso le quali una singola cellula germinale si divide e suddivide fino a generarne quattro (in fondo alla tavola). All'inizio, sei cromosomi sono aggrovigliati nel nucleo: i rossi appartengono a un genitore e i gialli all'altro (1). I cromosomi si accorciano, si ispessiscono e si appaiano (2). Poi ciascuno ne produce un altro uguale a se stesso raddoppiandosi (3).

Restando a lungo appaiati, alcuni cromosomi si scambiano reciprocamente dei "geni" (4) dando luogo a nuove combinazioni. La prima divisione (5) ha inizio mentre la membrana nucleare si dissolve: i cromosomi cominciano a scindersi longitudinalmente. La cellula cresce in lunghezza (6) e i due gruppi di cromosomi si separano mentre avviene la scissione del corpo nucleare.

Le due nuove cellule (7 e 8) contengono ciascuna tre coppie di cromosomi. Fino a questo punto il processo di divisione delle cellule germinali è analogo a quello di tutte le altre. Le cellule destinate alla riproduzione hanno però la proprietà unica di dividersi ancora una volta (9 e 10) creando cellule germinali con cromosomi singoli, non accoppiati (11, 12, 13 e 14). Esse differiscono l'una dall'altra e costituiscono le cellule maschili o femminili destinate a combinarsi per produrre nuovi individui.

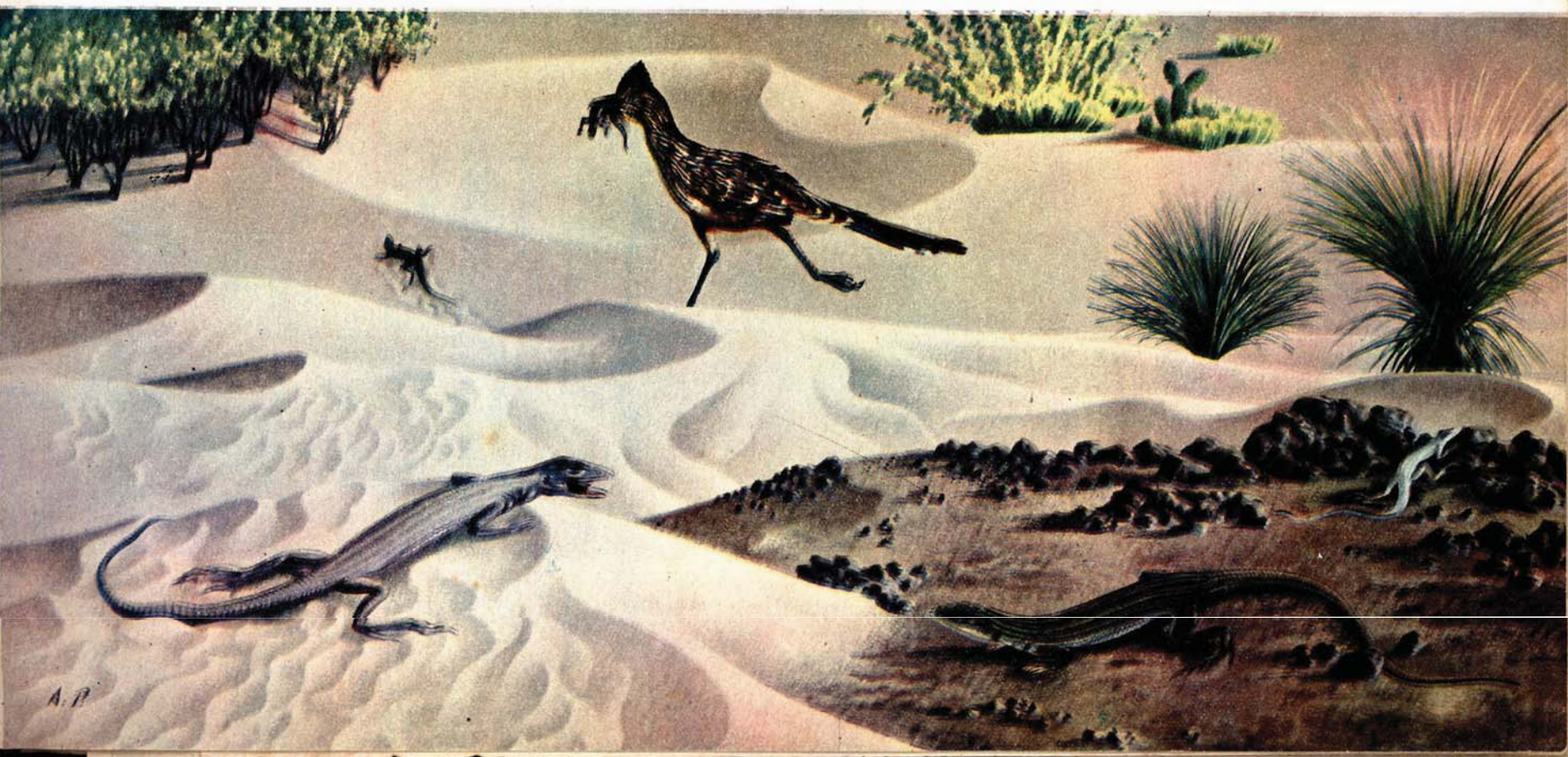


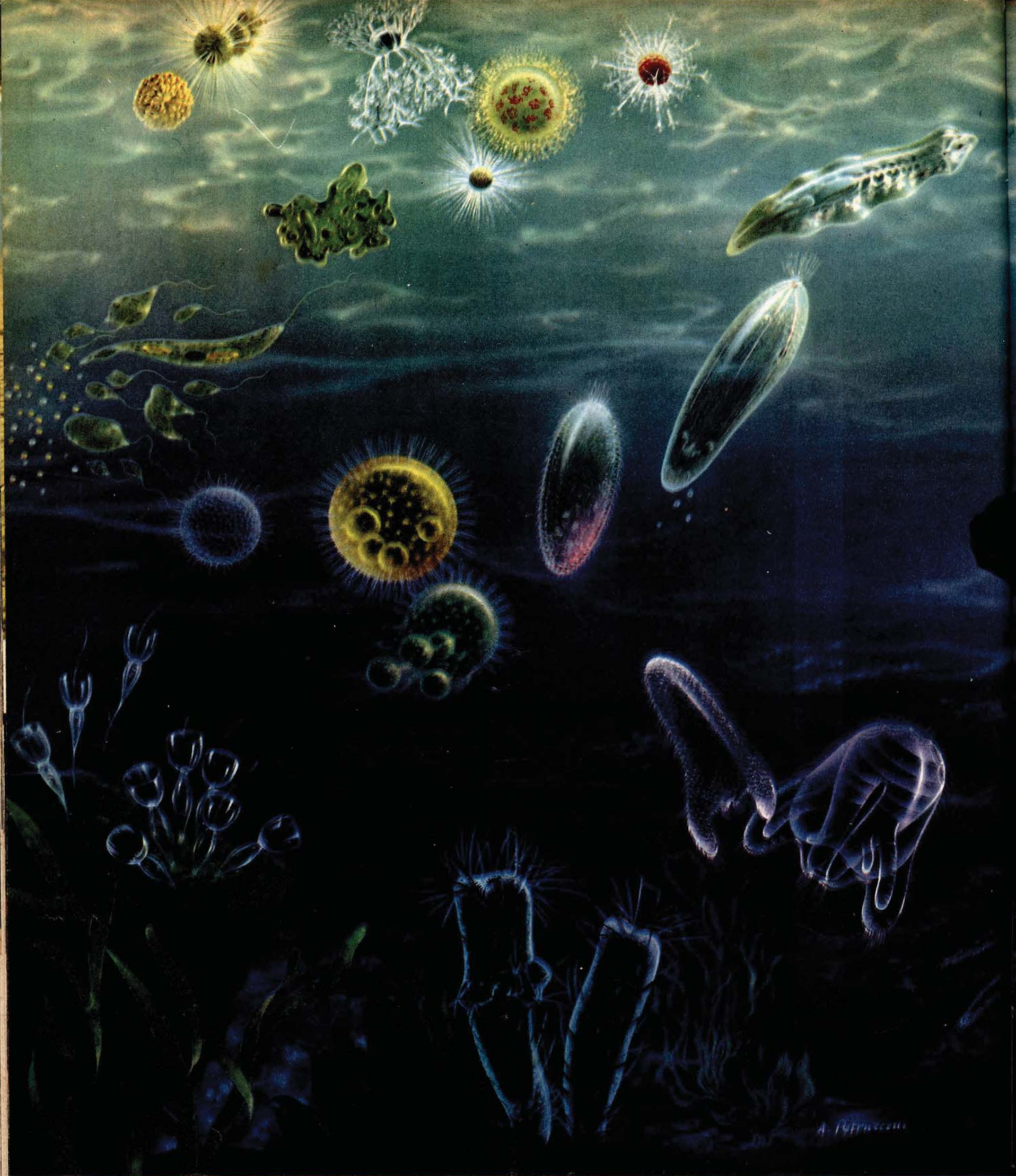
EVOLUZIONE PER ISOLAMENTO

Molti fattori possono contribuire a produrre variazioni tra le specie e a crearne di nuove. Uno è l'isolamento. Un notevole esempio dei suoi effetti è offerto dagli uccelli del Paradiso della Nuova Guinea, che vivono su montagne alte circa 1800 metri e separate da profonde vallate. Il gruppo originario fu probabilmente simile alla Nigra. Poiché essi non vivono al di sotto dei 1800 metri e non volano da una montagna all'altra, i loro ambienti sono divenuti isole dove ogni popolazione si è sviluppata secondo risorse genetiche proprie. Così isolati, si sono evoluti nelle cinque distinte specie che vengono illustrate nella tavola in alto.

EVOLUZIONE PER ADATTAMENTO

Le nuove specie si evolvono anche attraverso la selezione naturale e l'adattamento. Gli individui meglio adattati al loro ambiente sopravvivono e si perpetuano. Nel deserto di "Withe Sands" esistono piccole lucertole alle quali dà la caccia un uccello corridore. È probabile che originariamente le lucertole siano state tutte dello stesso colore. Alcune vivevano tra le sabbie delle dune e altre sul deserto di roccia. Col tempo, le mutazioni produssero colori diversi della pelle. Le lucertole con la migliore colorazione protettiva sopravvissero secondo due tipi: con pelle grigia sulla sabbia e con pelle scura sul deserto di roccia.





GRUPPO DI FLAGELLATI
 CIANOFLAGELLATI
 ALGHE

GRUPPO DI PROTOZOI
 VOLVOX

PLANULE
 SPUGNE

VERME PIATTO SENZA INTESTINO
 MEDUSE ANCESTRALI

VERME PIATTO



VERME SEGMENTATO
ECHINODERMA ANCESTRALE
MEDUSE

ANNELIDE
MOLLUSCO ANCESTRALE
POLIPI

Le prime creature

Il libro delle età, inciso nella crosta terrestre, è costituito, per almeno tre quarti, da pagine bianche. Le rocce più antiche ci parlano di montagne d'altre ere che si sono sollevate e abbassate, di mari primordiali che hanno avanzato e si sono ritirati, ma rimangono mute per quanto riguarda la vita. Le prime creature viventi che abbiano lasciato tracce evidenti nei resti fossili risalgono al periodo detto Cambriano, ossia a 500 milioni di anni fa.

Esiste la certezza, tuttavia, che l'evoluzione ebbe inizio in un tempo molto più lontano, al principio della meravigliosa era Pre-Cambriana, un miliardo e mezzo di anni fa. Molte rocce di questa era contengono tracce di carbonio di probabile origine organica. Alla fine del Pre-Cambriano, la vita era già altamente sviluppata e negli organismi avevano fatto la loro apparizione certe complesse differenziazioni anatomiche come il sistema nervoso, il tubo digerente, le cavità del corpo e gli organi sensoriali, la cui esistenza è quindi anteriore ai tempi in cui i fossili appaiono regolarmente registrati nelle rocce. Perché, allora, non esistono praticamente tracce degli esseri esistiti durante il primo miliardo e mezzo di anni di vita sulla Terra? Secondo i biologi, gli animali apparsi nel Cambriano si svilupparono lentamente da creature più semplici, i cui corpi molli non possedevano né ossa né scheletri e quindi non potevano lasciare impronte nei sedimenti del tempo.

La scienza può fare solo congetture sul modo in cui la vita fu creata per la prima volta. Teoricamente è possibile che in un lontano giorno, nell'alba dei tempi, quando le rocce non si erano ancora solidificate e l'aria e gli oceani erano scossi da una turbolenza chimica, certi composti organici che si trovavano nel mare caldo siano stati sintetizzati dalla radiazione solare, dalle scariche dei fulmini o da agenti catalizzatori che ignoriamo, in una molecola complessa (strutturalmente affine alle molecole delle proteine, che rappresentano il materiale costitutivo di tutta la vita) in grado di generare unità simili a se stessa. È probabile che queste molecole primordiali si siano combinate, con il passare del tempo, in modo da formare un organismo analogo a un batterio. Di qui, in un modo che non conosciamo, si evolsero entità più complesse che acquisirono l'arte della fotosintesi, cioè la capacità di utilizzare l'energia solare. Questi organismi potrebbero essere state le alghe azzurro-verdi, i cui residui calcarei sono stati rinvenuti nelle più antiche rocce del periodo Pre-Cambriano. Esse probabilmente furono i primi autentici membri del mondo delle piante.

I batteri e le alghe azzurro-verdi rappresentarono i primi passi dell'evoluzione. La creatura che viene considerata generalmente l'antenato comune di tutte le cose viventi è una microscopica sferetta gelatinosa, metà pianta e metà animale, cui si dà il nome di flagellato. Nei primi tempi della storia terrestre i flagellati, in seguito a una serie di mutazioni, debbono aver popolato gli oceani di piante unicellulari e di animali ugualmente unicellulari, detti protozoi. Questi ultimi presentarono caratteri nuovi importanti, poiché nel corso del loro sviluppo realizzarono la maggior parte dei meccanismi che contraddistinguono gli esseri viventi: la riproduzione sessuale, la digestione, la locomozione. L'abisso tra la molecola primordiale di proteina e i protozoi fu vasto almeno quanto l'abisso che esiste tra i protozoi e l'uomo e forse ha richiesto lo stesso periodo di tempo.

Un altro capitolo oscuro nella storia della vita è il modo in cui, da questi inizi nebulosi, si evolsero creature più complesse. I biologi possono procedere solo per ipotesi e cercare di dedurre l'aspetto dei primi organismi viventi e di individuarne le forme svanite attraverso l'esame degli stadi larvali e adulti di creature minuscole e spesso trasparenti, che ancora oggi vivono nelle acque della Terra. Probabilmente l'abisso tra gli animali unicellulari e i primi organismi organizzati pluricellulari fu coperto da colonie di flagellati, costituite da molte centinaia di protozoi riuniti insieme in una massa gelatinosa. Il più organizzato di questi protozoi è un flagellato cavo, a forma di sfera, chiamato *Volvox*. Esso è particolarmente significativo anche per un altro aspetto: perché muore. I protozoi non muoiono per cause naturali, ma si dividono e suddividono all'infinito. Con il *Volvox* entrò nel mondo il fenomeno della morte e, con la morte, l'individualità.

In uno stadio successivo della scala evolutiva vennero probabilmente le spugne, liberi aggregati di cellule quasi indipendenti; le planule, che ora esistono soltanto come uno stadio dello sviluppo embrionale; le meduse e i polipi, prime creature a possedere una vera bocca e uno stomaco; i vermi piatti, senza intestino ma con il primo sistema nervoso e il primo cervello; i vermi segmentati e i molluschi, con le prime vere cavità del corpo; e i primi anellidi, antenati dei vermi terrestri, dei granchi, dei ragni e delle schiere che popolano il mondo degli insetti. Verso la fine dell'era Pre-Cambriana apparve una creatura piccola ma importante, simile a un verme: l'echinoderma ancestrale, dal quale si diramano due ceppi. Il primo, più diretto ma relativamente meno importante, comprende le stelle e i ricci di mare e altri animali dello stesso tipo; il secondo, probabilmente collaterale, era destinato a originare i vertebrati, gli eredi della Terra.

I mari si popolano

Durante i periodi Cambriano, Ordoviciano e Siluriano, cioè per quasi 175 milioni d'anni, la vita del pianeta non si mosse dai caldi mari primordiali. Le terre si stendevano aride e desolate da un mare all'altro, le loro rocce erano nude, non presentavano che una sottile pellicola di alghe lungo le rive. Le acque erano alte e il clima benigno. Su tutti i continenti le acque si erano insinuate su vaste zone, creando mari interni poco profondi. Le forme di vita si moltiplicavano col passare delle età e s'andavano ad aggiungere alla popolazione Pre-Cambriana sulle sabbie senza sole del fondo marino.

In confronto alla meravigliosa era Pre-Cambriana, il periodo Cambriano (da 500 a 425 milioni d'anni fa) fu relativamente breve. Tuttavia nel suo corso la vita si sviluppò con una varietà stupefacente. Forse lo sviluppo più importante che si ebbe in questo periodo fu l'avvento delle parti dure: gusci protettivi, le rivestiture ossee e la pelle. Infatti è a questo punto che cominciano le continue registrazioni dei fossili.

I progressi furono irregolari, come in ogni età. All'inizio del Cambriano (*tavola in alto*) un tipo inferiore di spugna, la pleo-spugna, conseguì un successo enorme, anche se di breve durata, e si diffuse sul fondo marino: le sue forme aggrovigliate costruirono barriere da un polo all'altro lungo le piattaforme continentali. Poi, verso la metà del Cambriano, quelle spugne morirono. Nessuno sa dire perché. Un altro gruppo di fondamentale importanza furono i brachiopodi, che rappresentano quasi un terzo di tutti i fossili cambriani. Molti altri gruppi ebbero una diffusione più modesta: i molluschi (i cui primi rappresentanti furono i gasteropodi) che sono arrivati fino a noi e appaiono tuttora in aumento; gli anellidi o vermi segmentati; gli echinodermi, rappresentati dai carpidi e dagli edrioasteroidi, ora estinti; e le graptoliti, animali coloniali che scomparvero 200 milioni di anni più tardi. Il gruppo più importante, che nel periodo Cambriano conseguì il successo maggiore, fu quello degli artropodi. Già agli inizi del periodo essi popolavano i mari con una grande varietà di creature simili a piccoli granchi (la *Marella*, l'*Hymenocaris*, la *Tuzoia*). Ma fra tutti gli artropodi cambriani i più prolifici furono le trilobiti, che per certi rispetti somigliavano ai granchi e per altri alle aragoste. La maggior parte non superavano gli otto centimetri di lunghezza. La trilobite gigante, l'animale più grande dell'intera fauna cambriana, raggiungeva a stento i 45 centimetri.

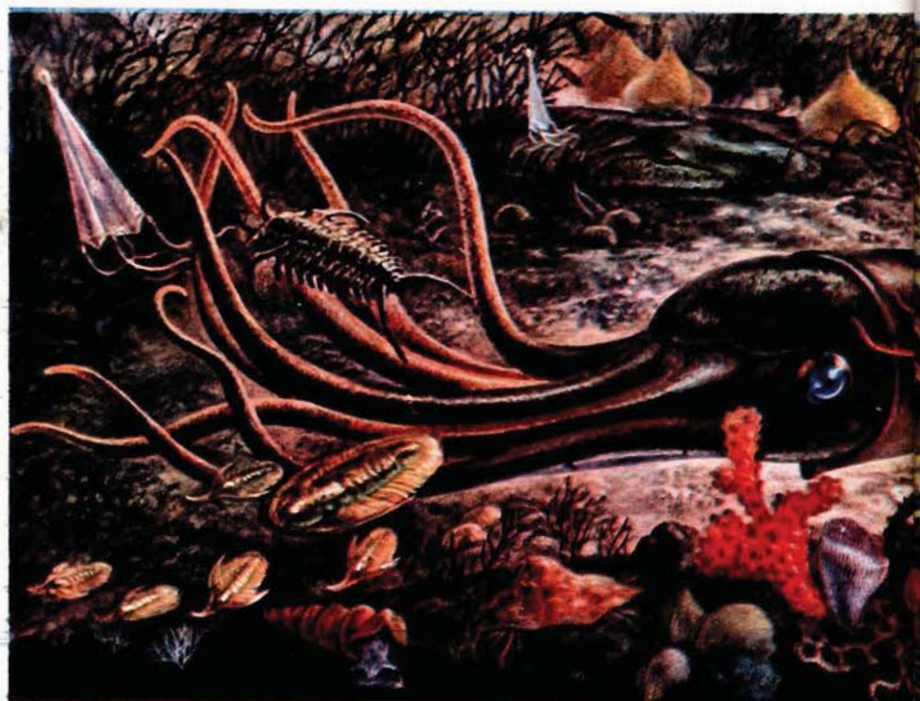
Nel periodo Ordoviciano (*tavola al centro*) che andò da 425 a 360 milioni d'anni fa, il clima si mantenne mite e le acque marine sommersero vaste zone della Terra, provocando le più grandi inondazioni di tutti i tempi. Nei caldi mari ordoviciani nacquero numerosi invertebrati che a poco a poco si svilupparono in grandezza, moltiplicarono le loro forme e resero più complesse le proprie corazze difensive. Prima che il periodo finisse, i membri dei più importanti gruppi di animali, ad eccezione dei vermi inferiori, erano riusciti a provvedersi di un guscio. Intanto comparvero i primi coralli che costruirono città di scheletri, arricchendo il paesaggio del fondo marino. Le graptoliti rappresentarono gli ornamenti di queste città: alcune si aggrappavano alle rocce e alle alghe, altre si lasciavano trascinare dai flutti. A loro volta i briozoi, altro gruppo di animali coloniali, costruirono complessi edifici che si diramavano biforcandosi come le corna di un'alce. Apparvero i primi molluschi bivalvi con i loro nemici tradizionali, le asterie o stelle di mare. Le trilobiti esistevano ancora, ma avevano ceduto l'egemonia dei mari ai nautiloidi, un ordine di molluschi apparentato con le attuali seppie e polipi. Essi erano rivestiti da un guscio lungo perfino 4 metri e mezzo.

Dall'Ordoviciano si passò senza scosse al periodo Siluriano (360-325 milioni di anni fa). In tutte le acque del globo i brachiopodi, i briozoi, i coralli, i crinoidi, le spugne, i bivalvi e i gasteropodi continuarono a prosperare non solo seguendo gli antichi rami, ma formandone anche dei nuovi (*tavola in fondo*). Le graptoliti e le trilobiti declinarono; i nautiloidi continuarono a moltiplicare le loro forme. Ma la dinastia più potente delle acque siluriane fu rappresentata dagli scorpioni marini, la cui lunghezza andava da pochi centimetri fino ai due metri e mezzo raggiunti talvolta da alcune forme giganti.

Secondo l'opinione dei paleontologi, i primi pesci vertebrati ebbero origine nei laghi e nei fiumi e solo più tardi discesero fino al mare. Inizialmente non avevano mascelle, erano animali corazzati che s'aggravano con la bocca costantemente aperta e catturavano organismi microscopici nelle acque e nel limo. Vi apparteneva l'ordine degli *Anaspidi*, che furono probabilmente gli antenati delle attuali lamprede. Un altro ordine, costituito dagli eterostraci, si avvicinava forse maggiormente al ramo principale dal quale si evolsero i pesci. Verso la fine del Siluriano apparvero i primi veri pesci forniti di mascelle, rappresentati da un unico tipo, gli acantodi, che sebbene fossero lunghi soltanto pochi centimetri somigliavano ai pescecani ed erano probabilmente predatori. Con il loro avvento l'evoluzione dei pesci entrò in pieno sviluppo. Intanto, mentre il periodo Siluriano si avviava verso la fine, il dramma della vita scivolò dalle acque sulla terra.



MARRELLA SPUGNA TRILOBITE
TRILOBITE HYMENOCARIS
BURGESSIA TRILOBITE
TRILOBITE TRILOBITE
PLEOSPUGNA
BRACHIOPODO
PLEOSPUGNE



CONULARIDE TRILOBITE
TRILOBITE
TRILOBITI GASTEROPODO
CONULARIDE TRILOBITE GIGANTE
NAUTILOIDE GIGANTE
BRIOZOI
OPHIOCISTIOIDE BIVALVI



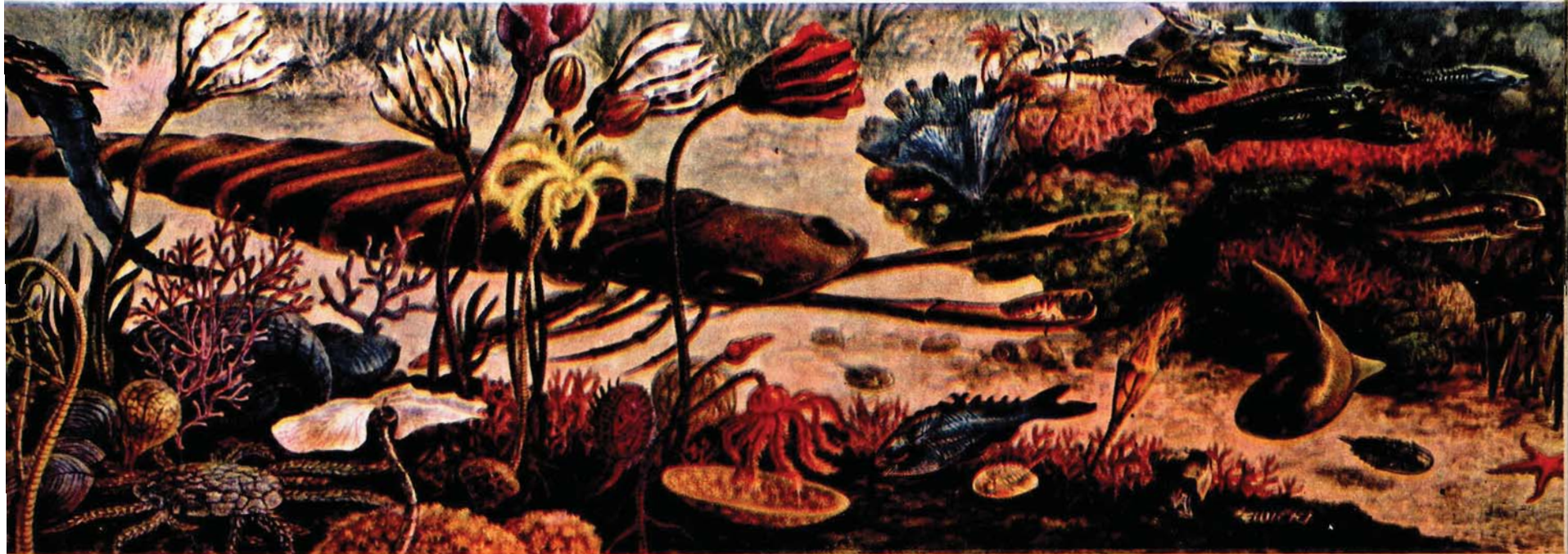
ARCHAEOSTRACODI
SCORPIONE MARINO GRAPTOLITE
TRILOBITI NAUTILOIDE A SPIRALE
OPHIOCISTIOIDE TRILOBITE BIVALVI
SCORPIONE MARINO
CRINOIDE
SPUGNE TRILOBITE
VERME SEGMENTATO TABULATO



TUZOIA	MEDUSA	SPUGNE	TRILOBITE				SIDNEYIA	TRILOBITE	TRILOBITE
PLEOSPUGNE	TRILOBITE		CISTOIDE	TRILOBITE GIGANTE	CHE MANGIA LE	SIDNEYIA	GRAPTOLITE		CHOIA
ANNELIDE	GRAPTOLITE	CISTOIDE	VERME A FRECCIA	GRAPTOLITE	'SPUGNE SILICEE		BRACHIOPODI	GASTEROPODO	CARPOIDE
AYSHEAIA	GASTEROPODO		BRACHIOPODI	SPUGNE SILICEE	CARPOIDE		EDRIOASTEROIDE	GASTEROPODO	SPUGNA SILICEA



CRINOIDE	CISTOIDE	GRAPTOLITE		CYSTOIDEI	CRINOIDE		SCORPIONE MARINO	TABULATO
CISTOIDE			GASTEROPODO GIGANTE	SPUGNA		GRAPTOLITE	NAUTILOIDI	TRILOBITI
OSTRACODI	SPUGNA	EDRIOASTEROIDI	STELLA DI MARE	TRILOBITE	BIVALVI	OSTRACODI	TABULATO	CRINOIDE
GRAPTOLITE	BRACHIOPODO	BRACHIOPODI	OFIURA	STELLA DI MARE	GRAPTOLITE	GASTEROPODO	STELLA MARINA	CISTOIDE
								GASTEROPODO
								BRIOZOI
								CORALLI



CRINOIDE		CRINOIDI		CRINOIDE		CRINOIDI	ETEROSTRACI	ETEROSTRACI
BRIOZOI	SCORPIONE MARINO GIGANTE	BRIOZOI		SPUGNA	CRINOIDE	ANASPIDI	ANASPIDI	ACANTODI
SPUGNA	BRACHIOPODO GIGANTE	CRINOIDE	CISTOIDE	SPUGNA	SPUGNA	TRILLOBITE	BLASTOIDE	CELOLEPIDE
OPHIOCISTOIDE		CORALLI					GASTEROPODO	TRILOBITE



TAENIOCRADA

NEMATOPHYTON PSILOPHYTON
HORNEOPHYTON RHYNIA
SCIADOPHYTON

DREPANOPHYCUS

PROTOLEPIDODENDRON
SCORPIONE MIRIAPODO ASTEROXYLON

DUISBERGIA PSEUDOSPOROCHNUS
DUISBERGIA
HYENIA

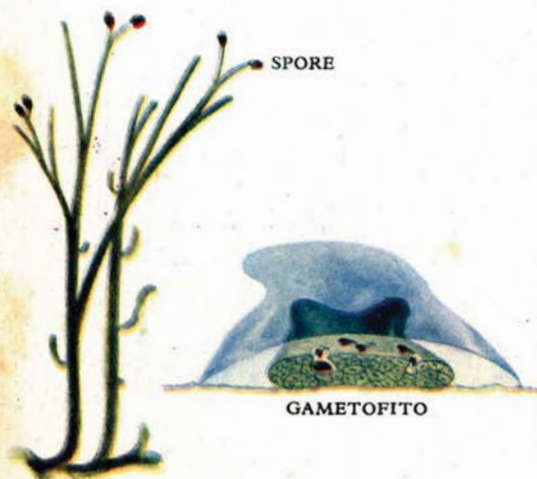
La Terra si riveste di verde

Alla fine del periodo Siluriano, le forze interne che a ritmo ricorrente trasformano la fisionomia del pianeta provocarono un sollevamento della crosta terrestre. Sorsero nuove catene di montagne e le acque dei mari interni si ritirarono lentamente nei bacini oceanici, lasciando dietro di sé spessi depositi di sale e strati ricchi di sedimenti organici.

Per quasi un miliardo d'anni le piante marine avevano continuato a vegetare nei mari primordiali senza mai cambiare forma. Ma poi, nello spazio di 50 milioni d'anni, dopo il sollevamento crostale avvenuto alla fine del Siluriano e durante tutto il periodo Devoniano (325-280 milioni d'anni fa) si evolsero in maniera stupefacente e da semplici alghe si svilupparono in imponenti conifere, in felci che tappezzarono i bassipiani, in piante fornite di foglie, che trasfigurarono le nude colline. Probabilmente le alghe si diffusero, in un primo tempo, nelle paludi create dalle maree e poi, quando le acque si ritirarono, riuscirono a sopravvivere all'aria. Da allora cominciò la loro avanzata verso terre più alte e più

aride. E mentre, per poter spargere nell'aria le proprie spore, crescevano in altezza, spingevano diramazioni sempre più profonde all'interno della terra, alla ricerca dell'acqua. Il loro problema principale fu quello della riproduzione. Come attualmente avviene per le felci, le loro spore non producevano direttamente piante identiche alle progenitrici ma davano origine a sottili foglietti a forma di cuore, detti gametofiti, i quali aderivano intimamente alla terra umida e fabbricavano le cellule maschili e gli ovuli dalla cui unione nascevano finalmente le piante portatrici di spore, simili alle progenitrici. Tuttavia i gametofiti avevano bisogno dell'acqua, senza la quale le cellule maschili non avrebbero potuto fertilizzare gli ovuli. Questa dipendenza dall'acqua costrinse le prime piante a limitare il proprio dominio ai bassipiani umidi, finché non si ebbe l'evoluzione dei semi veri e propri.

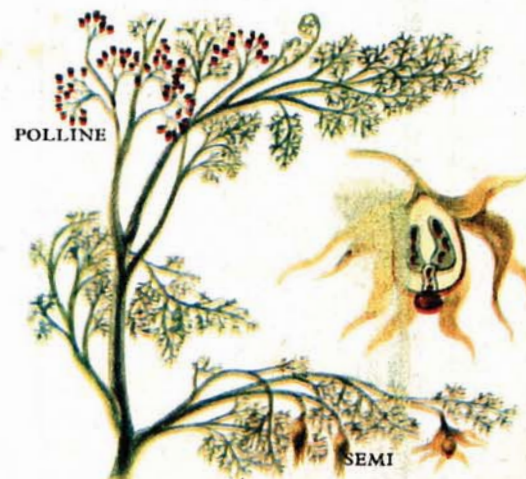
Uno dei primi esperimenti terrestri fu il *Nematophyton*, una pianta simile a un'alga gigante: il suo tronco pieno di tubi servì probabilmente da condotto per l'acqua. Le prime autentiche piante terrestri formarono un complesso cui si dà il nome di psilofitali e che comprende i generi *Taeniocrada*, *Sciadophyton*, *Horneophyton*, *Rhynia*, *Psilophyton*, *Asteroxylon*,



LE PRIME PIANTE TERRESTRI si riproducevano mediante i gametofiti, sottili foglietti che, originati dalle spore della pianta, fabbricavano le cellule maschili e gli ovuli da cui nasceva la nuova pianta.



I GAMETOFITI si specializzarono in modo da produrre solo cellule maschili o femminili. Di conseguenza le piante cominciarono a sviluppare spore maschili e femminili, che si fertilizzavano nel suolo umido.



LO SVILUPPO DEL SEME permise la riproduzione senza l'aiuto dell'acqua. La spora femminile contenuta nel seme, generava gli ovuli che venivano fecondati dall'arrivo della spora maschile, il polline.



PSEUDOSPOROCHNUS

ASTEROCALAMITES ANEUROPHYTON
PESCI POLMONATI

ARCHAEOSIGILLARIA
ENIGMOPHYTON ARCHAEOPTERYX
PSEUDOBORNIA EUSTHENOPTERON
ICHTHYOSTEGA

CALLIXYLON
FELCE
RAGNO

PROTOPTERIDIUM BARRANDEINA

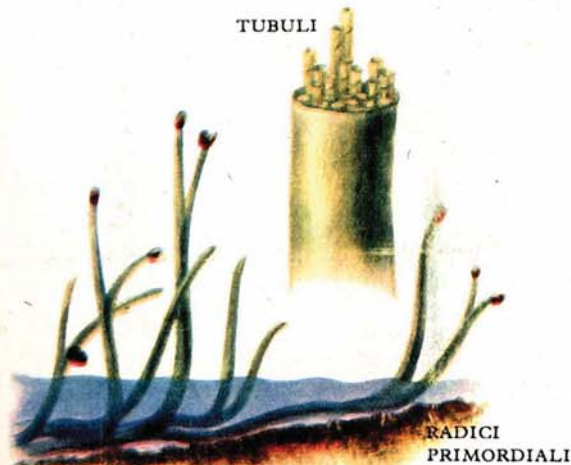
Duisbergia e *Pseudosporochnus*. Alcune, come la *Taenioocrada* e la *Rynia*, erano primitive, senza vere foglie né radici.

Poco dopo apparvero altri ceppi, destinati verosimilmente a dare origine ai gruppi più importanti delle piante odierne. Essi furono gli equiseti, detti code cavalline (*Hyenia*, *Pseudobornia*, *Asterocalamites*); le felci (*Protopteridium*, *Archaeopteris*, *Aneurophyton*); le licopodiali (*Drepanophyus*, *Protolpidodendron*, *Archaeosigillaria*) che più tardi divennero gli alberi più rigogliosi della Terra e che oggi gli uomini bruciano sotto forma di carbone; e finalmente, alla fine del periodo Devoniano, le cordaiti, il cui rappresentante più splendido, il *Callixylon*, raggiunse spesso un'altezza di 15-18 metri e fu il precursore delle odierne conifere.

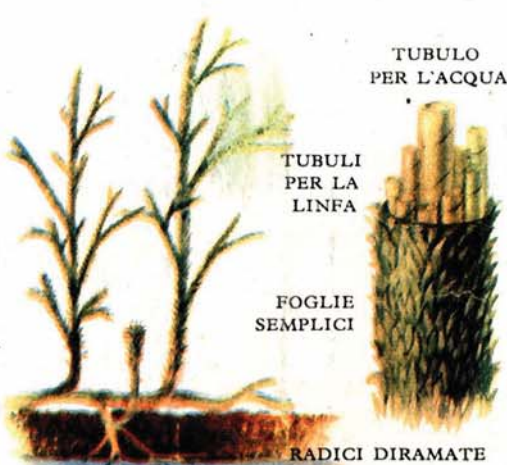
Il verde mantello di cui la Terra s'era ricoperta durante il periodo Devoniano aveva creato un nuovo ambiente di esistenza. Fin quando i continenti erano rimasti nudi e aridi, la vita animale aveva dovuto necessariamente svilupparsi nel mare. Ma adesso che s'erano formate nuove fonti di cibo, alcuni animali abbandonarono la mortale competizione che si svolgeva nel fondo marino e si avventurarono sulle distese terrestri disabitate. I primi ad assumere l'iniziativa furono alcuni membri del

gruppo degli artropodi (scorpioni, millepiedi e ragni) discesi probabilmente dallo scorpione marino migrato nelle acque dolci. (Nella tavola in alto e in quelle delle pagine seguenti i nomi degli animali sono stampati in tondo e quelli delle piante in corsivo.)

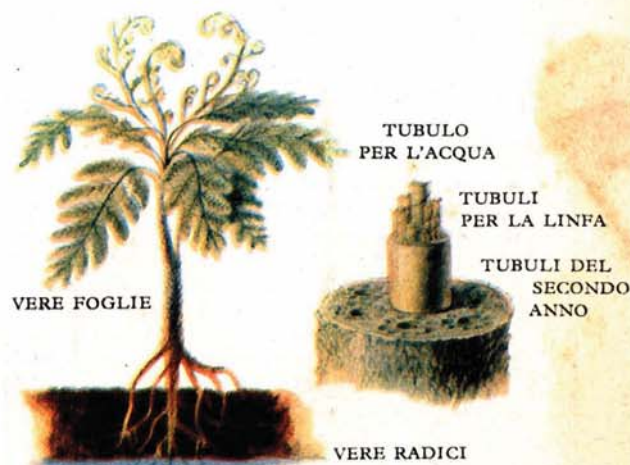
Verso la fine del Devoniano almeno due gruppi di pesci svilupparono un sistema respiratorio che permetteva loro di assorbire ossigeno attraverso le pareti delle loro vesciche natatorie: in breve, furono in grado di respirare. Un gruppo di questi abitatori di acque dolci (alimentate dalle piogge, e quindi soggette ad essiccazioni stagionali) fu quello dei pesci polmonati che impararono a vegetare in letargo entro le distese di fango prosciugato e acquistarono la capacità di respirare aria. Più attivi furono i loro cugini crossoptérigi (un gruppo cui appartiene l'*Eusthenopteron*); lo straordinario sviluppo acquistato dalle loro pinne muscolari fa pensare che, nei periodi di siccità, essi si portassero da uno stagno all'altro trascinandosi lungo i letti inariditi dei fiumi. Da questi primi pesci che respiravano aria occorre solo un breve passo per arrivare al primo anfibio, l'*Ichthyostega*, che aveva la coda di un pesce ma le cui pinne non erano più pinne, bensì qualcosa di simile alle zampe.



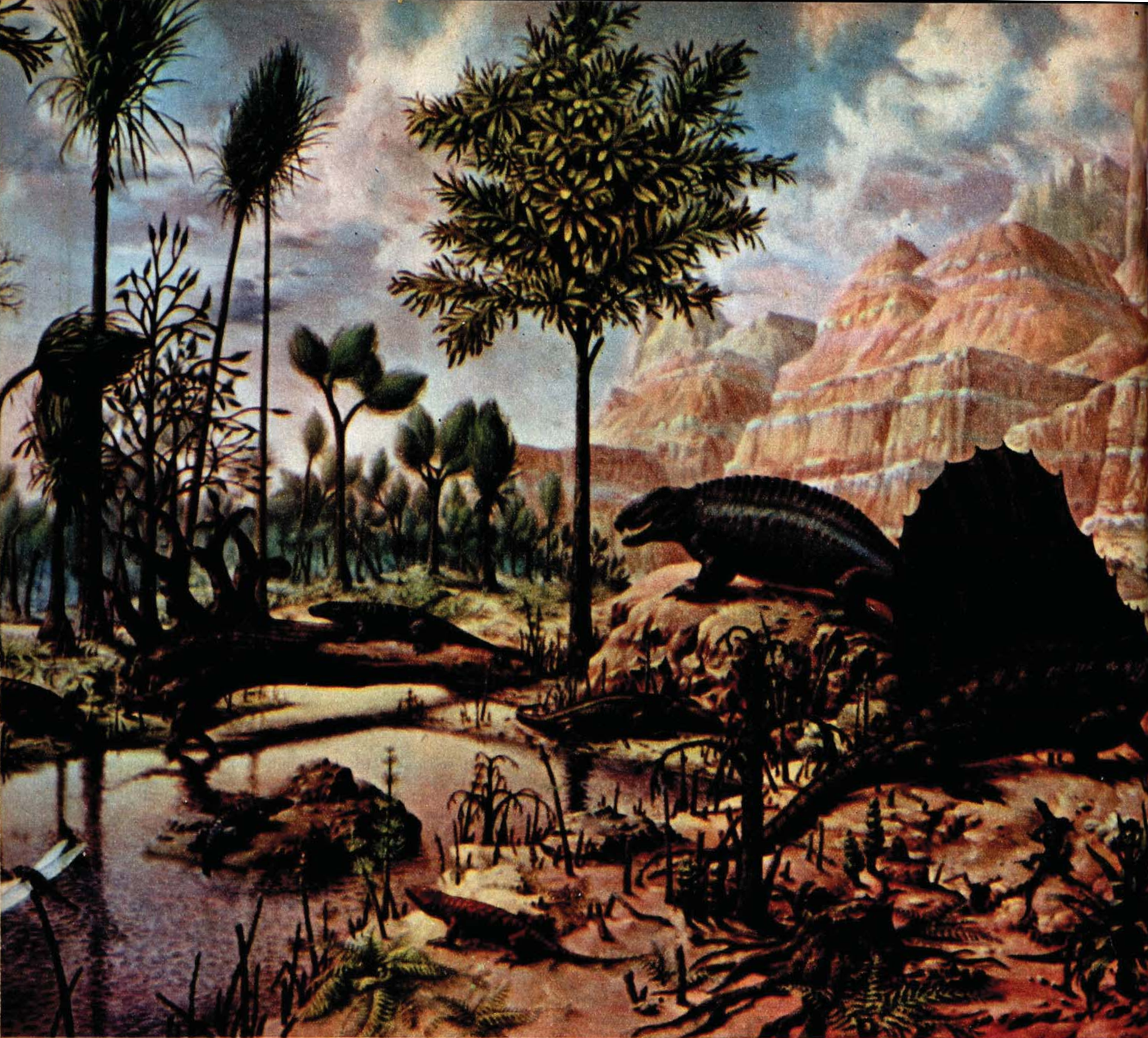
GLI STELI SENZA FOGLIE, che si allungavano sotto le acque delle paludi o si sollevavano per spargere le proprie spore, caratterizzarono le prime piante. I loro tubuli rozzi funzionavano da pompe per l'acqua.



FOGLIE SEMPLICI, che servivano ad assorbire la luce del sole, apparvero sugli steli delle piante sviluppatesi su terreni asciutti. Le radici si diramarono a cercare acqua e la linfa circolava attraverso i tubi.



LE VERE FOGLIE si formarono dalla fusione dei tessuti delle foglie semplici. Le piante non strisciarono più ma si protesero verso il sole, mentre le vere radici affondarono nel suolo. I tubuli negli steli aumentarono.



SIGILLARIA
ERYOPS
LIBELLULA GIGANTE

LEPIDODENDRON
SEYMOURIA

LIMNOSCELIS
CALAMITES

VARANOSAURO

CORDAITES
OPHIACODON

SPHENACODON

DIMETRODON
ARAEOSCELIS

Dagli anfibi ai rettili

I primi anfibi s'aggrapparono timidamente al loro piccolo spazio vitale, nelle lagune e lungo i corsi d'acqua che attraversavano tenebrose foreste. Per lungo tempo, forse per cinquanta milioni di anni, la natura sembrò favorirli. Su gran parte del globo il clima era umido e benigno. Le paludi ricoprivano immense zone delle terre emerse e nelle loro acque stagnanti si generavano licopodi, code cavalline e felci d'ogni genere.

Da questo mondo paludoso di 250 milioni d'anni fa sono giunti fino a noi alcuni lasciti molto importanti. I ricchi giacimenti di carbone e di petrolio che esistono sulla Terra hanno avuto origine in maggior parte dalle folte vegetazioni che prosperavano lungo le lagune e nelle paludi dei bassipiani, dalla Groenlandia all'Antartide. Gli alberi che in questo periodo si svilupparono più rigogliosamente appartenevano a tre generi principali: le *Sigillaria*, che sulla cima presentavano uno strano pennacchio formato da ciuffi di fogliame; i *Lepidodendron*, che con i loro tronchi conici slanciati raggiunsero a volte persino l'altezza di 40 metri; e le *Cordaiti*, che precorsero le odierne conifere. In questo ambiente naturale

così beneficamente umido che contraddistinse il periodo Carbonifero (280-230 milioni d'anni fa) iniziarono la loro esistenza gli insetti che, straordinariamente prolifici, costituirono una folta avanguardia delle 800.000 specie che infestano oggi il dominio dell'uomo. Alcuni dettero vita a forme giganti, come la *Meganeura*, una specie di libellula la cui lunghezza d'ali arrivava ai 75 centimetri.

La vicenda più importante di quest'epoca calda fu però quella che ebbe per protagonisti i pigri anfibi: infatti, fu dal loro primo tentativo di muovere passi nella melma paleozoica che prese avvio la grande processione della vita terrestre e si evolsero i rettili, gli uccelli, i mammiferi. Come accadde per molte dinastie destinate a riportare il successo, gli anfibi non ebbero un trionfo rapido. Nella lotta per il cibo avevano rivali i pesci, dai quali avevano avuto origine. Per depositare le uova tornavano sempre all'acqua, anche quelli che avevano meglio imparato a vivere sulla terra. Erano grassi, si muovevano lentamente. Tuttavia prosperarono e alcuni raggiunsero da tre a cinque metri di lunghezza. In particolare ce ne fu uno, l'aggressivo *Eryops*, che imparò a trascorrere sulla terra asciutta la maggior parte della propria vita.

Questo adattamento rappresentò una svolta cruciale, poiché col subentrare del periodo Permiano (230-205 milioni d'anni fa) si



WALCHIA LEPIDODENDRON ARAUCARIOXYLON ANTICA CICADEA PLATEOSAURI CYNOGNATO PODOKESAURO
 EDAPHOSAURO VOLTZIA SALTOPOSUCO MACROTAENIOPTERIS WIELANDIELLA

ebbero mutamenti radicali che cominciarono a modificare e a trasformare la faccia del pianeta. Sorsero maestose catene di montagne primordiali, gli Appalachi, le Alpi e gli Urali. Le acque interne si ritirarono dai continenti, le paludi evaporarono, i ghiacciai si espansero sulle terre e il clima conobbe i gradi più bassi di temperatura di tutti i tempi, ad eccezione dell'attuale. I flessibili e vigorosi alberi delle paludi si arresero alle rigide conifere, alle cicadacee e alle cicadoidee. In queste nuove condizioni, il ceppo degli anfibi degenerò e molti tornarono definitivamente alle acque. Altri, però, avevano imparato un nuovo modo di vita: facendo a meno dello stadio di transizione dal girino all'animale adulto, che caratterizza la maggior parte degli anfibi, avevano cominciato a deporre le proprie uova sulla terra asciutta. In una parola, erano diventati rettili. Un piccolo animale, chiamato *Seymouria*, fu probabilmente il primo rettile (o l'ultimo anfibio del suo ceppo).

Più completamente rettile fu il *Limnoscelis*, un rappresentante tipico del gruppo dal quale si evolsero tutte le forme più alte della fauna terrestre. Nonostante le vicissitudini del periodo Permiano, la famiglia del *Limnoscelis*, dal sangue freddo, si accrebbe diffondendosi. Non essendo più costretti a dipendere dalle acque, potevano errare dove volevano. Un primo, vigoroso ramo, rappresen-

tato dai pelicosauri, generò gli antenati dei mammiferi. I primi pelicosauri, il *Varanosaurus* e l'*Ophiacodon*, erano mangiatori di pesci, come molti degli anfibi loro progenitori. Più tardi, però, il ceppo si adattò ad altre diete. Lo *Sphenacodon* fu probabilmente carnivoro. Il *Dimetrodon* e l'*Edaphosaurus*, giganti dotati di creste dorsali spinose, furono rispettivamente carnivoro ed erbivoro.

Con la fine del periodo Permiano si concluse il tempo geologico conosciuto col nome di Era Paleozoica, la cui durata fu di 300 milioni d'anni, ed ebbe inizio l'Era Mesozoica, che si protrasse per 130 milioni d'anni. Durante i primi due periodi dell'Era Mesozoica, il Triassico (205-165 milioni d'anni fa) e il Giurassico (165-135 milioni d'anni fa) il clima divenne a poco a poco meno rigido. Nel mondo delle piante ci fu l'avvento delle vere conifere (*Walcchia*, *Araucarioxylon*, *Voltzia*, *Araucarites*) che sulle colline e sulle pianure s'andarono ad aggiungere alle cicadacee (*Palaecocyras*, *Macrotaeniopteris*) e alle cicadoidee (*Wielandiella*, *Cycadella*, *Cycadeoidea*, *Williamsonia*). Nel regno animale i rettili si andarono differenziando rapidamente e dettero vita ai numerosi rami del loro fiorente albero genealogico. Prime a svilupparsi furono le testuggini che in breve tempo raggiunsero il loro attuale stadio evolutivo. Un altro ramo dette origine ai serpenti e alle lucertole



SIGILLAR
ERYOPS
LIBELLUL

WILLIAMSONIA

CYCADELLA

CAMPTOSAURIO
COMPSOGNATO

ALLOSAURO

ARAUCARITES

CYCADEOIDEA ARCHAEOPTERYX

ALLOSAURO

d'oggi. Da un terzo ramo, generato da un quadrupede molto attivo, il *Cynognathus*, nelle cui vene corse forse il primo sangue caldo, vennero più tardi i primi mammiferi.

Il ramo principale dei rettili, tuttavia, derivò da un ordine più piccolo ma molto più agile e veloce, i cui membri erano riusciti a sollevarsi sulle zampe posteriori. Le loro estremità anteriori erano divenute armi d'offesa, capaci di ghermire. Le zampe erano nervose e ben fornite di muscoli, adatte alla corsa rapida. La bocca era provvista di denti molto aguzzi, a forma d'ago. Uno di questi animali, il *Saltoposuchus*, agile e predatore, la cui lunghezza non superava i 10 centimetri, fu l'antenato non solo degli uccelli e dei coccodrilli odierni ma, più direttamente, dei più grandi e più terrificanti animali di terraferma di tutti i tempi: i dinosauri (dal greco *deinos sauros* che significa « lucertole terribili »).

I dinosauri dominarono la Terra durante i periodi Giurassico e Cretaceo, 75 milioni d'anni fa. Nelle pianure sempre più calde e più umide dei continenti ospitali poterono moltiplicarsi liberamente. Alcuni raggiunsero dimensioni enormi, altri divennero vegetariani, altri ancora predatori rapaci. Alcuni camminavano su due zampe, altri erano tornati a posarsi sulle quattro zampe. Essi si divisero in due ordini principali: i sauriscidi e gli ornitiscidi.

Questi ultimi furono per la maggior parte erbivori inoffensivi come il *Camptosaurus*, i cui denti piatti, non appuntiti, erano nascosti da un becco simile a quello degli uccelli e il cui cervello aveva dimensioni insignificanti. I sauriscidi ebbero il predominio fin dall'inizio: i loro rappresentanti erbivori divennero gli animali più grandi che siano mai esistiti, quelli carnivori i più terribili. Tra i più antichi sauriscidi giganti ricordiamo i vegetariani chiamati i plateosauri, che misuravano sei metri dalla testa all'estremità della coda. Per contro, i primi predatori furono piccoli, come il *Podokesaurus* e il *Compsognatus*: agili e veloci, probabilmente si procuravano il cibo rubando le uova enormi, dal guscio coriaceo, che depositavano i loro parenti più grossi e più tardi. Ma col passare dei millenni, anche i sauriscidi carnivori produssero giganti.

Il primo di questi mostri voraci fu l'Allosauro (*Allosaurus*), autentico flagello delle pianure e delle foreste della fine del periodo Giurassico. Era lungo più di nove metri, armato di file di denti spaventosi, a forma di coltello, e di artigli prensili. Percorreva gli immensi territori antichi alla ricerca di prede vive e fu il tiranno incontrastato della propria età. Nessun animale gli si poteva opporre. Forse uno solo non era preso del panico al massiccio avvicinarsi del mostro: era l'*Archaeopteryx*, il primo uccello.



WILLIAMSONIA
MATONIDIUM

STEGOSAURO
ARCHAEOPTERYX

RANFORINCO

BRONTOSAURO

NEOCALAMITES IMUS

L'età d'oro dei dinosauri

Sebbene all'inizio dell'Era Mesozoica fossero già apparse numerose e grottesche forme di animali giganti, la vera e propria età d'oro dei dinosauri si ebbe in un'epoca successiva. Alla fine dei periodi Giurassico e Cretaceo i mari caldi si sollevarono di nuovo e sommersero gran parte dell'Europa e quasi metà dell'America settentrionale. I coralli si spinsero tremila chilometri più a Nord dei loro attuali avamposti. In Groenlandia poterono svilupparsi i fichi e gli alberi del pane, in Alaska le palme. Il clima più caldo permise ai dinosauri dal sangue freddo di espandersi verso il Nord e, quindi, di prosperare dappertutto.

Nelle paludi e nelle acque stagnanti, tra le code cavalline e le felci, i sauriscidi erbivori divennero i più grandi animali che abbiano mai camminato sulla Terra. Per sopportare il proprio peso enorme, essi erano tornati a posarsi sulle quattro zampe, divenute possenti pilastri di monolitica solidità. Per sottrarsi alla forte attrazione che la gravità esercitava sulla loro mole maestosa, si abituarono a trascorrere gran parte della propria vita semisommersi nei laghi poco profondi o rotolandosi nel fango dei pantani.

L'archetipo di questi giganti, abitanti dei bassipiani, fu il Brontosaurus (*Brontosaurus*, dal greco *bronto sauros* che significa « luccertola del tuono »). Il suo corpo prodigioso pesava 30 tonnellate e misurava oltre venti metri dalle narici all'estremità della coda appuntita. La testa, piccolissima, sembrava un semplice rigonfiamento posto in cima al lungo collo serpentino e disponeva di una bocca molto stretta munita di numerosi ma deboli denti a forma di cucchiaino. Il cervello era di proporzioni insignificanti e il suo solo compito, probabilmente, consisteva nel far lavorare le mascelle e nel registrare le confuse impressioni che i sensi limitati del Brontosaurus riuscivano a percepire. Le zampe posteriori erano invece controllate da un ganglio molto grande, situato verso la base della corda spinale e di dimensioni enormemente maggiori del cervello: di qui nacque l'aforisma che i dinosauri ragionassero meglio a posteriori.

Mentre i sauriscidi delle paludi davano vita ai più grandi fra tutti i dinosauri, apparve la dinastia degli ornitoriscidi, che furono tra gli animali più bizzarri che il capriccio della natura abbia mai disegnati. Lo *Stegosaurus* (*Stegosaurus*) pesava 10 tonnellate ed era lungo più di sei metri: gobbo, con le zampe straordinariamente mal appaiate, camminava con fatica, in modo rozzo, portando la sua



SIGILLARI
ERYOPS
LIBELLUL

CODE CAVALLINE

PALMA

PINO ANTICO
ANATOSAURO

SASSOFRASSI

LAURO

ANKYLOSAURO

assurda testa appuntita quasi a contatto del suolo. Per quasi tutta la lunghezza del dorso correvano pesanti piastre triangolari che formavano una specie di parapetto apparentemente inutile. Le possenti zampe posteriori erano controllate, come quelle del Brontosauro, da un ganglio sacrale 20 volte più grande del cervello.

Per un certo tempo, all'inizio del periodo Cretaceo (135-75 milioni di anni fa) il clima divenne nuovamente rigido. La vita nelle paludi diminuì e un gran numero di dinosauri erbivori dovettero adattarsi a vivere sugli altipiani e sulle pianure aperte. Come conseguenza, gli ultimi ornitoriscidi quadrupedi furono costretti a perfezionare il loro equipaggiamento difensivo e almeno due di essi si trasformarono in vere e proprie fortezze ambulanti, inattaccabili da tutte le armi che non fossero quelle dei carnivori più grossi. A queste forze corazzate che percorsero le pianure del periodo Cretaceo appartenne l'*Ankylosaurus*, un dinosauro di media grandezza che esteriormente doveva ricordare l'odierno Armadillo: tutto il suo corpo era ricoperto da piastre corazzate molto spesse, armate di punte e fornite di borchie; la coda era la sua sola arma offensiva, e terminava con un osso duro che funzionava come una mazza. Il massimo dell'armamento difensivo fu però raggiunto da una famiglia di dinosauri provvisti di corna, i *Triceratops*, che

misurarono fino a sei metri di lunghezza e, nella parte posteriore, due e mezzo d'altezza. Il *Triceratops*, come dice il nome, possedeva tre corna che sporgevano da una specie di collare osseo frangiato che gli proteggeva la parte posteriore del cranio lungo due metri.

Anche gli ornitoriscidi bipedi subirono strani adattamenti e produssero vari tipi di dinosauri semiacquatici, detti dinosauri « dal becco ad anatra ». Alcuni, verso la fine del periodo Cretaceo, si trasformarono in giganti lunghi quasi otto metri, come l'*Anatosaurus*, che aveva il cranio piatto e un becco spatoliforme molto adatto per brucare piante acquatiche e per rimestare nel fango in cerca di radici, e forse anche di molluschi. La dentatura di cui erano forniti questi animali appariva altamente specializzata. Nella bocca cornea dell'*Anatosaurus* c'erano non meno di 2000 denti, disposti in file contrapposte in modo da formare quasi due solidi pavimenti in mezzo ai quali il cibo veniva ridotto in poltiglia, come schiacciato tra le macine di un mulino. Un altro esempio di specializzazione evolutiva ci è dato da un sauriscide, lo *Struthiomimus*, che come dice il nome era un dinosauro « a forma di struzzo » in possesso di gambe lunghe e sottili, fatte evidentemente per la corsa veloce.

Lo sviluppo dei dinosauri giunse all'apogeo con l'apparizione del



GINKGO PTERANODON CORNIOLI QUERCIA PALME SALICI
TIRANNOSAURO PALMIZIO TRICERATOPO STRUTHIOMIMUS
MAGNOLIE TRICERATOPO CÀRICI

Il tirannosauro (*Tirannosaurus rex*), il carnivoro più grande e spaventoso che abbia mai terrorizzato le estensioni terrestri. Maestro distruttore, dotato di una forza e di una potenza gigantesche, il Tirannosauro misurava 15 metri dal naso alla coda, mentre la sua testa terribile si ergeva a sei metri dal suolo. Le zampe posteriori possedevano una muscolatura superba, che andava dalle grosse cosce ai piedi forniti di tre dita, con artigli posenti e spietati. Ma l'arma d'attacco principale era la bocca, spalancata in modo incredibile e armata di file di denti a forma di sciabola, lunghi 15 centimetri. Sebbene non temesse nessuno degli animali terrestri, il Tirannosauro ebbe un regno relativamente breve. Apparso sulla scena del mondo verso la fine del periodo Cretaceo, scomparve con tutti gli altri dinosauri quando, improvvisamente e misteriosamente, suonò per essi la campana a morto.

In quest'epoca d'evoluzione esplosiva, durante la quale i dinosauri dominarono la terraferma, alcuni animali appartenenti anch'essi alla dinastia dei rettili invasero altri ambienti. Un gruppo prese possesso dell'aria, evolvendosi secondo due rami principali. L'*Archaeopteryx*, il primo uccello, rappresentava soltanto un breve passo in avanti, rispetto ai rettili suoi antenati: era provvisto di denti e possedeva ancora una lunga coda. Però era fornito anche

di piume e forse fu proprio questa innovazione a permettergli di sopravvivere, in modo da dare l'avvio all'odierna dinastia degli uccelli. Da un gruppo collegato ebbero origine i pterosauri, arditi rettili volanti dalle mascelle allungate, ben fornite di denti: con le loro ali membranose attraversarono i cieli dei periodi Giurassico e Cretaceo. Uno dei primi pterosauri fu il *Rhamphorhynchus*, poco più grande di un corvo. La loro evoluzione fu però rapida e si svolse parallelamente a quella dei dinosauri terrestri. Infatti alla fine del Cretaceo il *Pteranodon*, un autentico veleggiatore vivente, aveva raggiunto un'apertura d'ali di otto metri e mezzo.

Un evento che superò per importanza gli stessi avvenimenti verificatisi nel mondo animale fu l'arrivo sulla Terra delle prime piante a fiori o angiosperme. Nessuno sa dire di dove vennero. Il fatto certo è che, agli inizi del periodo Cretaceo, queste piante cominciarono a competere con l'antica flora in maniera aggressiva e, favorite dalle api e dagli altri insetti, verso la fine del periodo avevano già conquistato il predominio. Mentre esse si diffondevano sugli altipiani e nelle paludi, l'ultimo dei grandi dinosauri calpesta distrattamente, con i suoi piedi artigliati, cespugli che ci sono familiari, come le magnolie, i cornioli, i sassofrassi, e attraversava boschetti di querce ancestrali, di lauri e di salici.

I rettili tornano al mare

Nell'intimo di tutte le creature terrestri sopravvivono certi richiami istintivi e fisiologici che li legano alle acque, dalle quali inizialmente sorse la vita. Nessuna esistenza è possibile senza l'acqua: gli elementi del mare giacciono in gran parte delle cellule stesse. Raramente s'è avuta una classe di animali terrestri che, prima o poi, non abbia restituito all'oceano alcuni dei propri membri. Le balene, i trichechi, le foche, i marsuini, sono animali che respirano aria e i cui antenati, per oscure ragioni, tornarono al mare. Gli uccelli acquatici prosperano da un polo all'altro con la stessa

vitalità degli uccelli terrestri. Tra i rettili, alcune specie isolate cominciarono a tornare alla vita acquatica non molto tempo dopo che i loro immediati progenitori avevano compiuto il grande passaggio dall'esistenza anfibia a quella terrestre.

Mentre la grande dinastia dei dinosauri conquistava lentamente il dominio assoluto della terraferma, alcuni gruppi di rettili stabilivano un'eguale egemonia nelle acque dei mari mesozoici. Su tutti primeggiarono gli ittiosauri, i plesiosauri, i mosasauri e le testuggini marine giganti. Essi furono particolarmente rigogliosi negli immensi mari interni che, durante il periodo Cretaceo, ricoprirono gran parte delle pianure centrali d'Europa e dell'America del Nord. I loro resti fossili sono stati rinvenuti in

CRONOSAURO

ELASMOSAURO

ITTIOSAURO CON PROLE

PORTEO
BRANCO DI AIPICHTHYS
BELEMNITI

PTERANODON
ELASMOSAURO



notevoli quantità nei giacimenti calcareo-marnosi del Kansas occidentale. Nelle stesse antiche acque, in pericolosa coesistenza, vissero alcuni straordinari animali come il *Porthus*, un gigante lungo 4 metri parente dell'aringa e del tarponne, e l'*Hesperornis*, un uccello acquatico primitivo, senza ali, somigliante superficialmente allo smergo.

Di questi remoti mostri marini, soltanto le testuggini giganti, come l'*Archelon*, sono giunte fino a noi. Il perché esse siano state destinate a sopravvivere sia in terra che in mare costituisce uno dei misteri dell'evoluzione. Intanto, a somiglianza dei dinosauri loro cugini, i rettili marini prima di scomparire raggiunsero dimensioni fantastiche.

Gli ittiosauri, che in alcuni casi raggiunsero la lunghezza di otto metri,

furono tra i primi rettili tornati al mare. Capaci di rapide nuotate e di prodigiosi salti nell'aria, si adattarono alla vita dell'oceano meglio di ogni altro rettile marino: le loro estremità s'erano rimpicciolite e avevano assunto l'aspetto di pinne, mentre le code s'erano allargate e biforcute. A differenza della maggioranza degli altri rettili, essi non erano ovipari e davano alla luce una prole già completamente formata. Tuttavia, nonostante questo adattamento acquatico, gli ittiosauri furono i primi, tra i rettili marini, a scomparire dalla faccia della Terra.

I plesiosauri, che raggiunsero persino i 15 metri di lunghezza, furono i più grandi tra i rettili marini. Un primo tipo includeva il *Kronosaurus* e il *Brachauchenius*, che avevano il cranio allungato e il collo corto; un

BRANCO DI BENTHESIKYMES	PTERANODON	ICHTHYORNIS	PTERANODON	ICHTHYORNIS	
BRACHAUCHENIUS	TILOSAURO		ELASMOSAURO	HESPERORNIS	HESPERORNIS
	BRANCO DI HOPLOPTERYX		BRANCO DI EURYPOLIS	ARCHELON	SQUALO



secondo tipo era rappresentato dall'*Elasmosaurus*, che aveva invece il cranio piccolo e il collo lungo. I plesiosauri si servivano, per nuotare, di enormi pinne simili a quelle della testuggine. Erano predatori feroci ed abili, nonostante la loro goffa lentezza: facevano oscillare la loro testa da un lato all'altro, per un'ampiezza di quasi 12 metri, e catturavano i pesci con i lunghi denti acuminati.

Gli ittiosauri e i plesiosauri condivisero il dominio degli oceani con un gruppo di rettili marini, i mosasauri, che forse furono i più rapaci di tutti, veri e propri pirati dell'era Mesozoica. Il *Tylosaurus*, che prosperò nelle pescose acque del Kansas e giunse fino alla lunghezza di sette metri e mezzo, fu uno dei più feroci. Questa sorta di gigantesche lucertole erano gli ultimi arrivati, tra i rettili marini: apparse verso la fine del Cretaceo, svanirono improvvisamente, così com'erano venute.

L'estinzione dei dinosauri terrestri, dei rettili che nuotavano nel mare e dei rettili che volavano nell'aria, rappresenta uno degli enigmi più profondi dell'evoluzione. Perché esseri così diversi, così grandi e possenti, così ben adattati alle rispettive sfere d'esistenza, svanirono quasi simultaneamente? E perché di questa grande dinastia furono scelti a sopravvivere solo pochi rami: le testuggini, i coccodrilli, i serpenti e poche lucertole minori?

Secondo una teoria classica, la risposta deve essere ricercata nel clima. Per gran parte dell'era Mesozoica il pianeta ebbe un clima caldo e i mutamenti stagionali furono minimi, intorno al globo. Alla fine dell'era Mesozoica, invece, si sollevarono catene di montagne, le paludi e le lagune si prosciugarono, i mari interni si ritirarono ed emersero grandi ponti terrestri. Le correnti calde dell'oceano non poterono più circolare liberamente da un polo all'altro e il sistema dei venti si trasformò. Le benefiche temperature costanti cedettero il passo alle estati troppo calde e agli inverni gelidi. Tuttavia non bisogna dimenticare che già nel passato i rettili erano sopravvissuti a severi mutamenti climatici. Si può anche ammettere che i dinosauri delle paludi si siano arresi al freddo e alla siccità, ma rimane un mistero il perché i rettili acquatici non emigrarono nelle acque equatoriali a perpetuare le loro famiglie.

Molti teorici ritengono che un altro fattore importante per l'estinzione dei dinosauri sia stata l'evoluzione della vita delle piante. Fu infatti nel periodo Cretaceo che le piante e le foreste dai legni duri prosperarono su tutta la Terra e soppiantarono le ginkgoe, le cicadacee e le numerose conifere del periodo precedente. Probabilmente il loro rapido successo portò all'affamamento dei dinosauri erbivori, che non riuscirono ad adattarsi in breve tempo a un cambiamento di dieta. E una volta affamati gli erbivori, venivano di conseguenza affamati anche i carnivori. Ma questa teoria, se da una parte potrebbe servire a spiegare la scomparsa dei rettili terrestri, dall'altra parte non ci illumina in nessun modo sull'estinzione dei mostri marini.

Il solo motivo che potrebbe spiegare la fine di tutti i rettili giganti è

quello espresso dalla teoria della « senescenza razziale ». Secondo questa ipotesi i dinosauri, i rettili acquatici e i rettili volanti morirono perché si erano specializzati eccessivamente e avevano acquisito forme esagerate e bizzarre, le quali opponevano resistenza alle modificazioni necessarie per sopravvivere. Ad esempio, nel caso dello *Stegosaurus* e del *Triceratops*, lo sviluppo delle ossa e delle piastre corazzate aveva oltrepassato di gran lunga i limiti dell'utilità e imponeva agli animali un peso intollerabile. Tuttavia il concetto di senescenza razziale può essere difficilmente applicato all'estinzione di animali equipaggiati superbamente come il *Tyrannosaurus* e il *Tylosaurus*. Ancora meno esso è in grado di spiegarci come mai le testuggini, dopo aver praticamente completato il loro sviluppo evolutivo, abbiano continuato a vivere per altri 100 milioni d'anni. Può darsi che siano sopravvissute per un mero caso o forse a causa della loro estrema primitività e della mancanza di specializzazione.

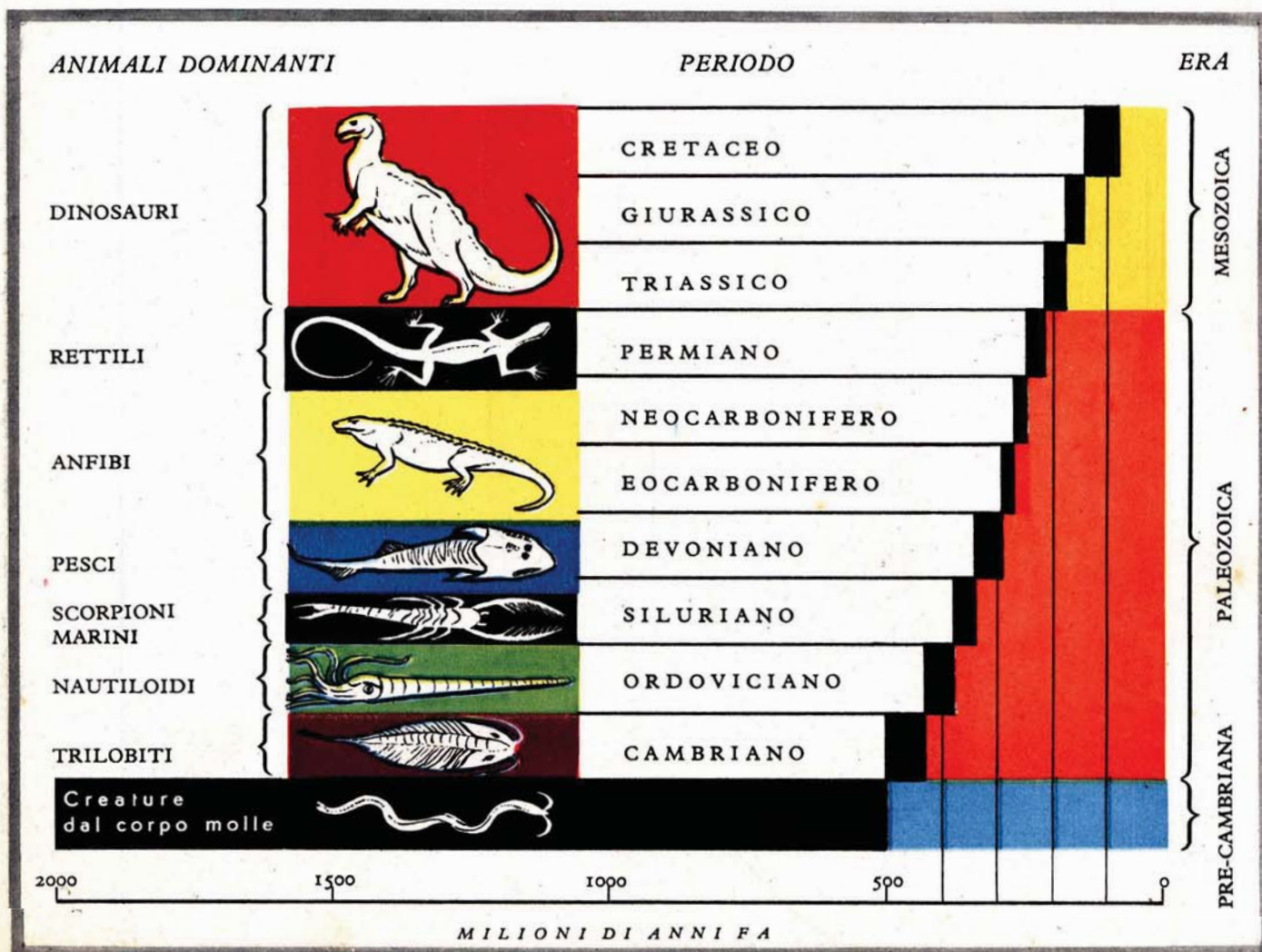
Infine è stata avanzata l'idea che, responsabili dell'estinzione dei rettili giganti, siano stati i mammiferi, i quali apparvero alla fine del Triassico e vissero oscuramente, all'ombra dei dinosauri, per quasi 90 milioni d'anni. Verso la fine del Cretaceo essi cominciarono ad espandersi rapidamente. Sebbene piccoli, erano molto attivi e predatori. Non si può escludere che possano essersi cibati delle enormi uova che i dinosauri deponevano e poi abbandonavano a se stesse, esposte agli imprevisti del clima e delle circostanze. Ma che i mammiferi abbiano contribuito in maniera sensibile o meno alla distruzione dei dinosauri è una questione che probabilmente non saremo mai in grado di risolvere, perché i fatti della storia evolutiva fanno anche pensare che la loro ascesa sia stata il risultato, piuttosto che la causa, della caduta dei grandi rettili.

A proposito degli ordini di animali che hanno subito l'estinzione si è soliti parlare di esperimenti non riusciti della natura. È vero che i dinosauri, i quali avevano cominciato la propria esistenza come creature piccole ed agili, divennero tanto grossi e pesanti che cominciarono a decadere e furono condannati a scomparire. Tuttavia è anche vero che essi dominarono la Terra per più di 100 milioni d'anni, cioè per un periodo di tempo almeno cento volte maggiore dell'intera esistenza del genere umano: perciò dobbiamo considerarli tra i vertebrati di maggior successo che siano mai esistiti.

Quando essi svanirono, la sovranità della Terra passò a una classe di animali dal corpo molto più piccolo, ma dotati della vitalità psichica e fisica necessaria per far fronte alle esigenze del mondo che cambiava. Il mistero di questa transizione fondamentale non potrà mai essere risolto pienamente. La scienza è in grado di scorgere soltanto alcuni barlumi di luce fra le tenebre dell'abisso del tempo. Forse ci può essere di ausilio l'eco delle parole di Paolo: « Dio ha scelto le cose deboli del mondo per confondere le cose potenti ».

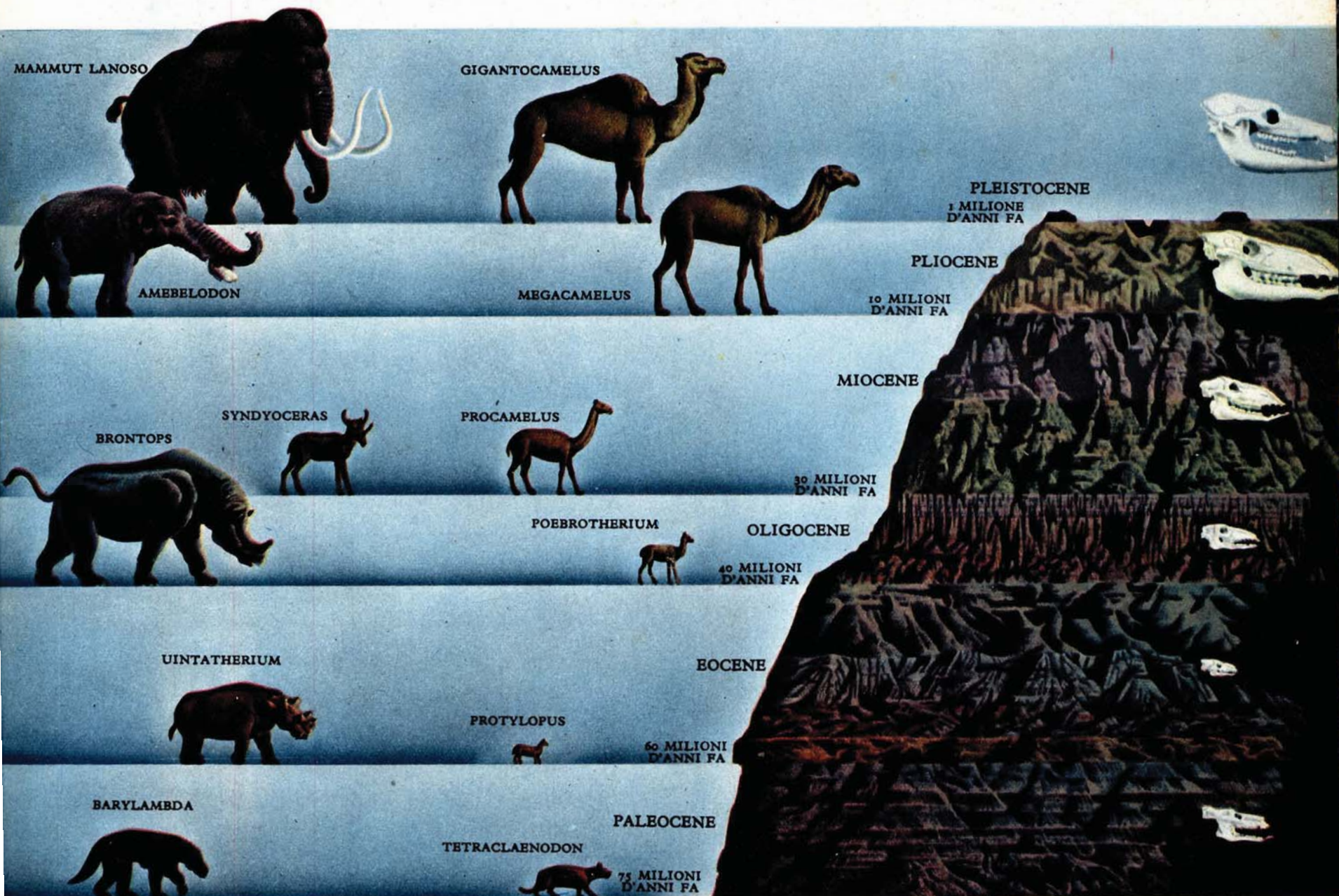
(5 - Continua)

Lincoln Barnett



LA SUCCESSIONE delle ere geologiche è indicata in questo grafico a partire da due miliardi di anni fa, cioè dall'era Pre-Cambriana (o Archeozoica) fino al periodo Cretaceo, che ebbe termine 75 milioni di anni or sono. Le rocce appartenenti a ciascun periodo contengono fossili di animali vissuti in quel tempo. Molti periodi prendono il nome dalla località in cui furono fatte le prime scoperte di fossili ad essi relative: Cambria e Silure nel Galles, Devon nel Devonshire (Inghilterra), Perm in Russia.

L'era dei mammiferi



L'ERA CENOZOICA è illustrata in questa tavola nei suoi vari periodi. A sinistra sono raffigurate le specie animali dominanti di ciascun periodo. Al centro è illustrata l'evoluzione del cammello, ricostruita attraverso i crani (a destra) rinvenuti nei diversi strati di roccia. Da un erbivoro primitivo del Paleocene si evolsero

le forme che portarono al cammello gigante del Pleistocene. Derivati dai rettili terapsidi alla fine del periodo Triassico, i mammiferi entrarono nel pieno del loro sviluppo solo nel Cretaceo. L'estinzione dei dinosauri li rese poi padroni dell'intera faccia della Terra e dette l'avvio all'era dei mammiferi, detta Cenozoica.

Durante i cento milioni d'anni dell'era Mesozoica che videro il dominio dei dinosauri sulla Terra, alcuni animali piccoli e timorosi abitavano furtivamente tra le ombre delle paludi e spesso si rifugiavano nelle foreste, sugli alti rami degli alberi dai tronchi flessibili. Umili e di modeste dimensioni, erano però dotati di caratteri unici e rappresentavano una nuova classe di animali, i mammiferi, vertebrati dal sangue caldo che davano alla luce una prole già formata e la nutrivano col latte durante l'infanzia. Essi non sono stati mai numerosi (fino a noi ne sono arrivate 3500 specie, contro le 8600 specie di uccelli e le 800.000 di insetti) ma oggi rappresentano la fauna terrestre più grande ed intelligente. Superati e capeggiati dall'*Homo sapiens*, che tra loro è il protagonista più creativo e distruttivo nello stesso tempo, sono oggi la forma dominante di vita sul pianeta Terra.

Osservando le innumerevoli e meravigliose cose viventi che popolano le terre e le acque del mondo, l'uomo s'è accorto non senza inquietudine che tra lui e le altre creature esistono da una parte profonde differenze spirituali e dall'altra una certa parentela. Così, dal momento in cui ha avuto il possesso della ragione, ha sempre e ripetutamente definito se stesso come protagonista e, insieme, spettatore del grande corteo della vita. I greci consideravano l'uomo un animale ragionevole, unico per le facoltà intellettuali che lo ponevano al di sopra degli ordini inferiori. Dal punto di vista cristiano l'uomo è spirito e carne. Per il moderno naturalista è *Homo faber*, un animale che fabbrica arnesi. Per lo psicologo è un ani-

male dotato della parola, capace di avvertire il senso della colpa. Ma per l'evoluzionista l'uomo è essenzialmente un mammifero dotato di un cervello molto grande.

Quest'organo specializzato, sede dell'attributo umano peculiare, la ragione, è un'eredità dell'antico passato, nato dalle richieste categoriche che la lotta per l'esistenza impose ai remoti antenati dell'uomo durante la tirannia dei dinosauri. A differenza dei rettili, che abbandonavano al caso la loro prole, i mammiferi si prendevano cura dei figli durante la loro infanzia e li sottoponevano a un periodo d'educazione e d'esperienza. Coloro che erano forniti di una maggiore capacità d'apprendere, ebbero modo d'acquisire i caratteri necessari per poter meglio affrontare la lotta per l'esistenza. Ecco perché, mediante la selezione naturale, il cervello dei mammiferi si sviluppò rapidamente, specie negli emisferi cerebrali dove risiedono i centri della memoria e dell'intelligenza. Inoltre, a differenza dei dinosauri, i mammiferi erano dotati di una temperatura del corpo equilibrata, soggetta a meccanismi di controllo, per cui potevano resistere più facilmente alle variazioni climatiche e sostenere sforzi fisici per più lunghi periodi di tempo. E fu appunto l'attività, diretta dall'intelligenza, a costituire la pietra di paragone del loro successo.

Il periodo di tempo caratterizzato dal dominio dei mammiferi sulla Terra si chiama era Cenozoica. Essa si divide in sette periodi che cominciano con il Paleocene, iniziato 75 milioni d'anni fa, e arrivano fino all'attuale, il periodo nel quale viviamo oggi.



PSITTACOTHERIUM
PLESIADAPIS

BOA

TAENIOLABIS

PLANETETHERIUM

ALLIGATORE PLANETETHERIUM
PRODIACODON TESTUGGINE

I mammiferi scendono dagli alberi

Da quando le prime creature marine erano emerse dalle acque devoniane per fare la loro prima apparizione sui margini della terraferma, il nostro pianeta non aveva mai presentato un aspetto così squallido come all'inizio del Paleocene. Della potente dinastia dei rettili sopravvivevano soltanto pochi rami minori: gli alligatori, le testuggini, i boa. Da parte loro i mammiferi, ch'erano riusciti ad assicurarsi un'esistenza all'ombra dei dinosauri, erano tutti piccoli e vivevano appartati. Ancora una volta la Terra era in attesa che si ripetesse il motivo ricorrente dell'evoluzione: lo svilupparsi di animali grandi dai piccoli e di forme specializzate da quelle primitive. I mari poco profondi, che avevano sommerso le grandi pianure,

si ritirarono. Il clima si mantenne mite. Le piante tropicali (i fichi, gli alberi del pane, i palmizi) si diffusero sui bassipiani caldi e umidi che, in seguito al ritirarsi delle acque interne, erano divenuti due volte più larghi: qui si avventurarono le prime, esigue avanguardie dei mammiferi, ormai liberi per la morte dei dinosauri di discendere dagli alberi, dove la maggioranza era vissuta finora, per cercare nuovi modi di vita.

Tra queste avanguardie c'erano piccoli mangiatori d'insetti, insignificanti per le loro dimensioni ma molto importanti dal punto di vista della storia dell'evoluzione, poiché costituirono il gruppo fondamentale dal quale erano destinati a evolversi più tardi tutti i veri mammiferi attuali. Il loro prototipo era il *Prodiacodon*, un riccio primitivo. Membri più specializzati dello stesso gruppo furono il *Planetetherium*, un animale veleggiatore, e il *Palaeoryctes*, simile al toporagno. A loro bisogna aggiun-



LOXOLOPHU
PALAEORYCTES

PANTOLAMBDA
TETRACLAENODON

BARYLAMBA
THYLACODON MIOCLAENUS

gere gli erbivori, il *Psittacotherium* e due sopravvissuti dell'era Mesozoica, il *Taeniolabis* dall'aspetto assai poco avvenente e destinato a scomparire nel periodo successivo, e il *Thylacodon*, un marsupiale la cui progenie continua oggi nell'opossum.

Lungo i millenni del Paleocene, da questo gruppo originario si staccarono numerosi rami di grande importanza futura. Notevoli soprattutto furono i primati, piccoli animali arborei, notturni, come il *Plesiadapis*, che aveva una folta pelliccia e una lunga coda. Uno dei primi carnivori fu il *Loxolophus*, una piccola creatura simile al tasso, i cui denti affilati e cuspidati indicano con certezza che aveva appena cominciato ad abbandonare le abitudini insettivore dei propri progenitori per divenire un carnivoro. Il gruppo degli erbivori, rappresentato dal *Tetraclaenodon* e dal *Mioclaenus*, piccoli animali dalla testa di cavallo e dal corpo di gatto,

fu probabilmente l'antenato degli odierni ungulati (animali con gli zoccoli), sebbene disponesse ancora di artigli adatti alla vita sugli alberi. Verso la fine del Paleocene apparvero erbivori con autentici zoccoli, chiamati Amblipodi, che significa «dai piedi lenti», e comprendenti tra gli altri il *Pantolambda*, grande come una pecora, e il *Barylamba*, di dimensioni maggiori, che a volte raggiunse una lunghezza di due metri e mezzo. Tuttavia, come molti ordini specializzati rapidamente per un particolare modo di vita, gli Amblipodi erano destinati ad estinguersi.

Sebbene gli immediati progenitori degli odierni rami di mammiferi siano apparsi soltanto in un periodo successivo, alla fine del Paleocene la Terra era di nuovo brulicante di vita. I bassipiani e le pianure ospitali apparivano popolati da forme in pieno sviluppo, destinate a generare infine gli animali più vigorosi che abbiano mai camminato sulla Terra.



Durante i 20 milioni d'anni dell'Eocene, la natura favorì l'evolversi dei vari rami di mammiferi. Il clima si mantenne mite. Una coltre di verde sub-tropicale si stese su tutti i bassipiani.

Nel Nuovo Mondo si verificò un fenomeno singolare: a un certo momento, nella prima parte dell'Eocene, le acque si sollevarono interrompendo le comunicazioni tra il Nord e il Sud America. Isolati nell'emisfero australe, molti ordini di mammiferi primitivi vi prosperarono, mentre i loro affini, rimasti nella parte settentrionale, morirono. Tra questi ultimi,

In quello stesso continente fu invece notevole lo sviluppo dei roditori. Durante l'Eocene ebbero modo di proliferare piccole forme di scoiattoli,



TRITEMNODON
MESONYX

DIATRYMA

EOHIPPIUS

EOBASILEUS

METACHEIROMYS

UINTATHERIUM

HYRACHYUS

come il *Paramys*. Alla fine del periodo essi si erano già suddivisi in tutti quei molteplici tipi che hanno fatto, dei roditori, i mammiferi più adattabili del mondo contemporaneo. Parallelamente continuarono a specializzarsi i discendenti dei carnivori primitivi del Paleocene: comparvero l'*Oxyaena*, simile a un gatto, il *Mesonyx*, simile a un cane, e il *Tritemnodon*, simile a una donnola. Anche gli ungulati del Paleocene si specializzarono, ma con minor successo, dando origine a creature poco efficienti come il *Phenacodus* e il *Coryphodon*, dall'andatura molto lenta. Ancora più grotteschi furono gli uintateri, loro lontani parenti, che si ingrossarono e dettero origine a due goffi giganti, l'*Eobasileus* e l'*Uintatherium*, delle dimensioni dell'odierno rinoceronte, scomparsi ambedue verso la fine dell'Eocene.

È possibile che l'estinzione degli erbivori primitivi sia stata determinata dall'avvento dei moderni ungulati. L'*Eohippus*, il primo cavallo, era

alto come un fox-terrier ma già appariva meglio riuscito dei suoi lenti precursori, sia per le gambe sottili che per la dentatura. Con l'*Eohippus* apparve il suo cugino *Paleosyops*, un titanoteride simile a un cavallo, i cui discendenti dovevano diventare, nel periodo successivo, i più grandi animali della Terra. Aspetto di cavallo aveva anche l'*Hyrachyus*, un antenato degli attuali rinoceronti.

I mammiferi dell'Eocene videro ergersi davanti a loro un gigante proveniente da un'altra classe: il *Diatryma*, un enorme uccello corridore, alto due metri, con due zampe massicce e una testa dotata di un becco possente. La presenza del *Diatryma*, in un mondo di mammiferi piccoli ed inesperti, ci avverte che in questo momento della storia evolutiva la faccia della Terra fu probabilmente un campo di battaglia sul quale i mammiferi e gli uccelli, due dinastie in pieno sviluppo, erano impegnati in una lotta incerta per la conquista della sovranità.



DICERATHERIUM
PROMERYCOCHOERUS

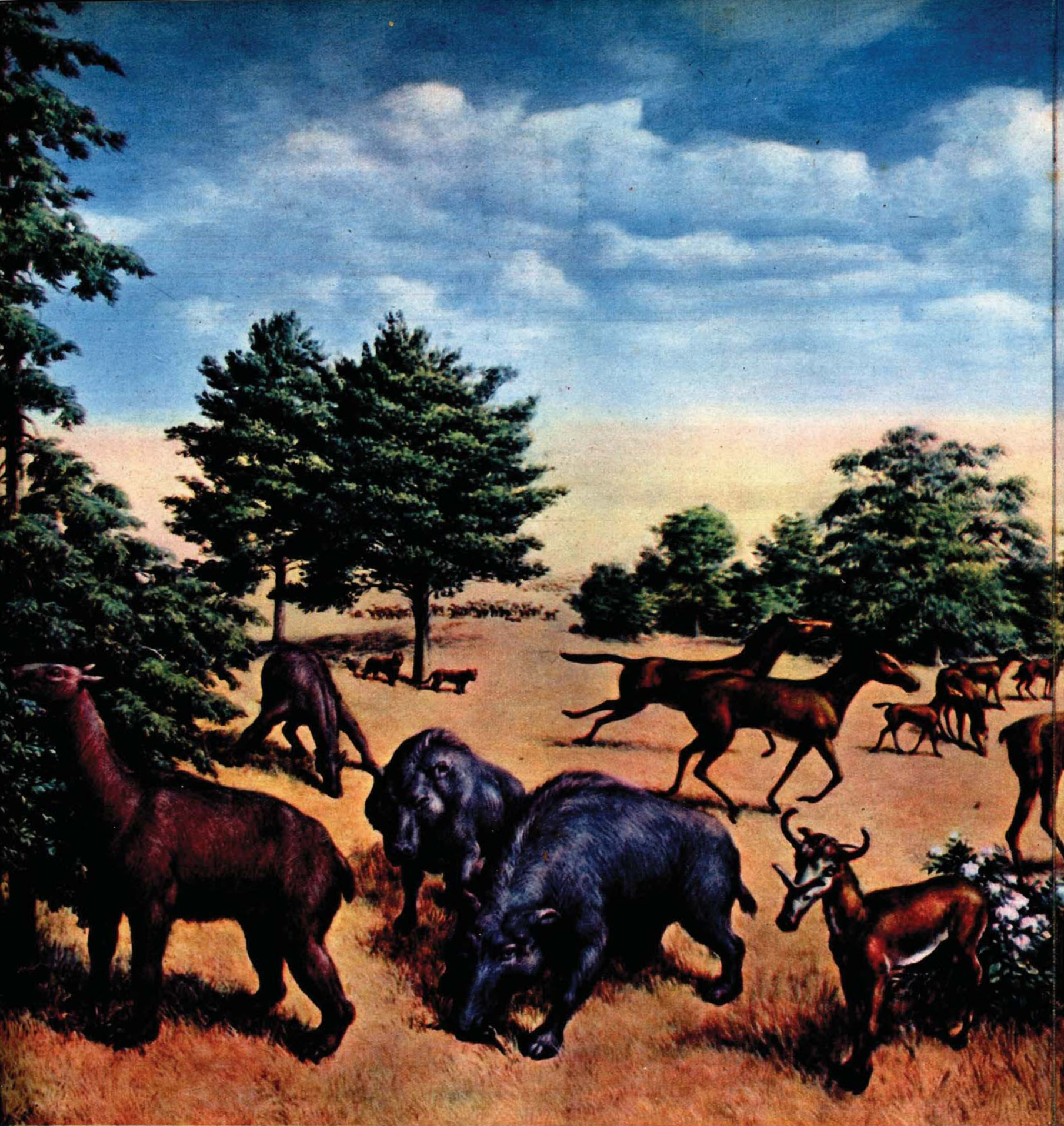
MERYCOCHOERUS

Gli abitanti delle pianure

Il fenomeno più importante del Miocene e, nello stesso tempo, una delle pietre miliari di maggiore importanza nella storia della vita, fu l'improvviso slancio delle erbe che, dopo aver sonnecchiato all'ombra delle vecchie foreste tropicali, d'un tratto reagirono al clima sempre più arido e freddo della nuova epoca ed occuparono vaste zone della Terra, creando le praterie, le pianure e le savane del mondo moderno. Dai loro steli, originariamente rozzi e stopposi, si evolsero col tempo il foraggio e i cereali, destinati a divenire l'alimento basilare dell'uomo e degli animali domestici. E mentre sulle pianure le erbe si sviluppavano rigogliose, i mammiferi si raccoglievano a pascolare in greggi sempre più grandi. Molti, che fino

allora erano rimasti tra le ombre delle verdi foreste, si avventurarono sulle pianure assolate.

In queste condizioni favorevoli, ambedue i rami degli ungulati ebbero modo di espandersi rapidamente. Il *Merychippus*, il cavallo del Miocene, si avvicinò alla svolta finale del suo corso evolutivo: aveva ormai raggiunto la statura del *pony* odierno e presentava proporzioni che lo rendevano agile e grazioso. Le sue dita esterne s'erano rimpicciolite; il dito medio si era trasformato nello zoccolo funzionale dei cavalli attuali. I denti svilupparono una corona più alta e più solida, capace di polverizzare l'erba delle praterie. Alla fine del Miocene il *Merychippus* s'era completamente adattato a vivere nelle aperte radure. I suoi cugini dalle dita dispari, i rinoceronti e i calicoteri, invece, ebbero minor successo. Per un certo tempo, il *Diceratherium*, un rinoceronte piccolo ma prolifico del Miocene, sembrò prosperare: nell'epoca successiva però scomparve insieme con altri



MOROPUS

MOROPUS

MACHAIRODUS

DINOHYUS

BRANCO DI MERYCHIPPUS

SYNDYOCERAS

suoi congeneri. Più rapida ancora fu l'estinzione del *Moropus*, un calicoteride simile a una strana caricatura di un cavallo: aveva denti primitivi e gambe mal appaiate, che terminavano non con gli zoccoli ma con artigli.

Gradualmente gli ungulati paridigitati conquistarono la prevalenza numerica nei confronti dei loro rivali dalle dita dispari. Tre generi di ruminanti, membri di una famiglia ora estinta nota col nome di oreodonti, ebbero una breve e stravagante fioritura, quindi morirono. I primi due, il *Promerychoerus* e il *Merychoerus*, erano anfibi. Il terzo, chiamato *Merychius*, viveva nelle pianure. Il complesso dei suidi produsse il *Dinohyus*, un gigante alto un metro e ottanta, press'a poco delle dimensioni di un ippopotamo, che fu il più grande di tutti i suidiformi non anfibi. I cammelli si svilupparono secondo due tipi: il *Procamelus*, non più grande di

una pecora ma dall'aspetto a noi familiare, così da poter essere considerato un prototipo in miniatura della specie odierna; e l'*Alticamelus*, uno strano super-cammello dal collo lungo come quello di una giraffa, adattato a una dieta arborea. Anche i ruminanti cerviformi tentarono numerosi esperimenti. Il ramo cui aveva dato inizio il *Protoceras* nel periodo precedente, fu continuato nel Miocene dal *Syndyoceras*, un animale estremamente specializzato, dal muso lungo, fornito di due paia di corna: le prime due spuntavano dalle orecchie e le altre erano situate a metà del muso. Un tipo di maggior successo fu il *Merycodus*, il cui piccolo cranio sosteneva una coppia di corna con leggiadre diramazioni. Esso ha dato origine alla famiglia di antilopi americane conosciute col nome di marre. Un antenato miocenico del vero cervo nonché delle giraffe fu il grazioso *Cranioceras*.



PROCAMELUS

MERYCHYUS

ALTICAMELUS

GOMPHOTHERIUM

CRANIOCERAS
MERYCODUS

Come già era avvenuto in altri periodi, il moltiplicarsi degli erbivori andò a vantaggio dei carnivori che li predavano. Ai confini delle foreste e nelle profondità dei boschi, la famiglia delle donnole si differenziò secondo molti rami: le donnole stesse, le martore, i volveroni, le lontre, le puzzole. Apparvero i tassi e gli orsi, discendenti dei cani primordiali. E sulle grandi pianure, come oggi nelle savane dell'Africa, grossi felini, i *Machairodus*, se ne stavano quieti tra le ombre di un boschetto o strisciavano sul ventre per seguire, nel folto delle lunghe erbe ricurve, le orme delle loro prede.

Durante il Miocene medio si diffuse nel mondo uno strano animale: il *Gomphotherium*, un mastodonte venuto dall'Egitto. La sua tribù s'era sviluppata vicino al Mediterraneo e nella valle del Nilo già sul finire dell'Eocene. Il *Gomphotherium* aveva avuto ori-

gine da un primitivo sottogruppo degli ungulati ed era aumentato gradualmente di statura, mentre di pari passo s'allungavano le zanne e la proboscide. Poi, verso la fine dell'Oligocene, spinti da un misterioso impulso migratorio, questi mastodonti compirono il loro esodo dall'Egitto e si spinsero verso l'Est, in uno dei più grandi pellegrinaggi che si conoscano nella storia degli esseri viventi. Secolo per secolo, millennio per millennio, lasciando chiare tracce del loro passaggio attraverso l'Asia meridionale, si spinsero verso il Pacifico, per poi dirigersi a Nord, verso il Mare Artico. Giunti allo Stretto di Bering, trovarono un ponte terrestre emerso temporaneamente: lo attraversarono e giunsero in America.

Alla fine del Miocene il clima della Terra cominciò a divenire impercettibilmente più freddo. Lontano, al Nord, stavano formandosi le calotte glaciali.



TELEOCERAS
EPIGAULUS

BRANCO DI PROCAMELUS
AMEBELODON
AGRIOTHERIUM

SPHENOPHALOS

SYNTHETOCERAS
PLIOHIPPIUS

AMPHICYON

PLIOHIPPIUS
CONIGLIO

I giganti e i ghiacci

Il Pliocene, durato fino a un milione d'anni fa, rappresentò l'autunno dell'era Cenozoica, l'ultimo periodo di clima mite prima dell'invasione dal Settentrione delle spietate cappe di ghiaccio. I morsi del vento divennero a poco a poco più freddi. Sulle grandi praterie, le erbe alte si arresero agli erbaggi più corti e resistenti. Le antiche foreste tropicali si trasferirono al Sud e l'avanzata dei pini lungo i versanti delle montagne si fece più sicura.

Per gran parte del Pliocene la vita conservò la ricchezza e la varietà che l'avevano caratterizzata nel passato e i mammiferi continuarono ad evolversi, aumentando le loro dimensioni. Gli stessi

roditori divennero più grandi e fra tutti fu notevole l'*Epigaulus*, che non solo fu un gigante in una famiglia di pigmei, ma fu anche il solo membro della propria razza ad essere dotato di corna. All'altra estremità della scala, tra i mammiferi di proporzioni maggiori, acquistò importanza il *Teleoceras*, un enorme rinoceronte anfibio che, migrato dall'Asia durante il Miocene, si diffuse fino in America e soppiantò il suo cugino *Diceratherium*. I mastodonti delle nuove generazioni si erano bene assuefatti alle mutate condizioni, dando origine a vari generi, tra i quali l'*Amebelodon*, le cui zanne a forma di pala, costituite da due lunghi incisivi che sporgevano dalla mascella inferiore, erano perfettamente adatte a pascolare radici nei terreni morbidi. Anche il ramo canino-ursino tentò il gigantismo: l'*Agriotherium* fu un orso enorme, alto un



MASTODONTE
CASTOROIDE

TERATORNIS

MAMMUT LANOSO

TERATORNIS
BUE MUSCHIATO

metro e venti; l'*Amphicyon*, un grosso cane, dominò senza dubbio tutti gli altri suoi congeneri carnivori che vissero sulle pianure del Pliocene. Tra gli animali con gli zoccoli apparvero lo *Sphenophalos*, un'antilope vigorosa, e il *Synthetoceras*, che si trova all'apice della linea di sviluppo dei *Protoceras*, ed è forse il tipo di animale col quale il capriccio della natura s'è maggiormente avvicinato all'Unicorno di cui parlano le favole. Intanto il cavallo, in piena evoluzione, imboccava il sentiero che l'avrebbe portato al *Pliohippus*, progenitore immediato e ormai già pienamente sviluppato dell'*Equus*, il genere di cui l'uomo si serve oggi.

Il passaggio dal Pliocene al Pleistocene rappresentò una delle più grandi crisi nella storia della vita. Le immense coltri di ghiaccio che ricoprivano la Groenlandia, la Siberia e l'Europa settentrio-

nale cominciarono a ispessirsi rapidamente. E mentre le nevi di innumerevoli inverni si accumulavano e divenivano più compatte, il livello degli oceani prese a discendere. L'Istmo di Panama emerse dalle profondità marine e il ponte di terra dello Stretto di Bering si prosciugò completamente. Attraverso queste grandi vie di comunicazione transoceaniche passarono in numero sempre crescente gli animali di tre continenti che si mescolarono, s'incrociarono, ingaggiarono una lotta micidiale per sopravvivere. Tra le conseguenze immediate vi fu lo sterminio degli erbivori arcaici e dei marsupiali che, sin dal Paleocene, erano rimasti felicemente isolati nell'America del Sud.

Durante i primi 100.000 anni del Pleistocene, le cappe di ghiaccio si spinsero verso il Sud, ricoprendo quasi un terzo della super-



BISON CRASSICORNIS
CANIS DIRUS

TIGRE DAI DENTI A SCIABOLA

EQUUS

MEGATHERIUM
BOREOSTRACON

MYLODON

ficie terrestre. Poi si ritirarono e prevalsero di nuovo i climi temperati. Per quattro volte i ghiacciai continentali avanzarono dal Nord e per altrettante volte si ritirarono. (L'ultima grande ritirata entrò nella sua fase culminante 10.000 anni or sono e continua ancora oggi). Mentre la faccia della Terra veniva modificata dal passaggio delle masse di ghiaccio che scavavano vallate e creavano nuovi fiumi e laghi, gli animali reagivano con straordinaria vitalità alle nuove condizioni e alcuni di essi assunsero proporzioni enormi, quali non furono mai più raggiunte da mammiferi terrestri. Notevoli fra gli animali di questo periodo furono i *Castoroides*, castori della grandezza di un orsacchiotto; il *Canis dirus*, un lupo lungo quasi due metri; lo *Smilodon*, la tigre dai denti a sciabola, più grossa di qualsiasi tigre odierna, che osava attaccare persino i gigan-

teschi mastodonti e le cui enormi mascelle, capaci di un'apertura di 90 gradi, erano armate di zanne lunghe 15 centimetri che servivano a dilaniare le vittime; il *Teratornis*, un divoratore di carogne, cugino dell'attuale condor, che, con un'apertura d'ali di tre metri e mezzo, fu il più grande uccello volatore di tutta la storia animale. Anche tra gli ungulati vi furono vari giganti: il *Bison crassicornis* e il resistente bue muschiato, che vive ancora oggi nell'Artide. Il cavallo raggiunse l'apice del proprio sviluppo evolutivo con l'apparizione dell'*Equus*, il quale, in America, si estinse alla fine del periodo per farvi ritorno soltanto quattro secoli fa, quando ve lo introdussero i conquistadores spagnoli dall'Europa.

I mammiferi più possenti del Pleistocene furono i mastodonti e i mammut. Di questi ultimi esistettero almeno quattro specie, a

IL MONDO IN CUI VIVIAMO

una delle quali appartenne il mammut lanoso, alto più di tre metri, vissuto tra i ghiacciai e le tundre delle regioni settentrionali in numero così grande che metà della scorta mondiale di avorio proviene dalle sue zanne resistentissime. Sempre nello stesso periodo troviamo tre mostri: il *Boreostracon*, un gigante proveniente dal ramo degli armadilli, ricoperto da elmo e corazza di placche ossee dal naso alla coda; e i gravigradi giganti *Mylodon* e *Megatherium*. Quest'ultimo, uno dei più grandi mammiferi che siano mai esistiti, pesava più di un elefante attuale e quando si sollevava sulle gambe posteriori arrivava con la testa a sei metri dal suolo.

Per motivi che è difficile individuare, questi giganti del Pleistocene (i mammut, i mastodonti, i gravigradi e le tigri dai denti a sciabola) morirono rapidamente, come già prima era accaduto ai dinosauri. Al ritorno della primavera, dopo un inverno durato un milione di anni, essi svanirono come statue di ghiaccio al sole e lasciarono ad animali più piccoli il dominio delle estensioni terrestri. Come già era avvenuto prima, nella mutevole storia della vita sulla Terra, ancora una volta sparirono improvvisamente dalla faccia del pianeta moltitudini di creature viventi: intere specie, generi, famiglie. I più grandi e forti animali dell'era Cenozoica, rappresentanti i gruppi di mammiferi più splendidi che siano mai esistiti, scomparvero dalle zone temperate di ambedue gli emisferi. Solo l'Africa e l'Asia tropicali sfuggirono in una certa misura alle estinzioni in massa.

La grande moria verificatasi tra la fine del Pleistocene e l'inizio del periodo attuale segnò la crisi più distruttiva dell'intera storia dei mammiferi. Per i moderni evoluzionisti essa rappresenta un enigma non meno complesso della grande scomparsa dei rettili avvenuta 75 milioni di anni prima. Anche in questo caso si possono avanzare molteplici spiegazioni: i mutamenti climatici, la lotta per l'esistenza, il mancato adattamento. Tuttavia molti tra gli animali morti alla fine del Pleistocene erano riusciti a sopravvivere a mutamenti altrettanto drastici verificatisi durante il passaggio dai periodi glaciali a quelli interglaciali. La lotta per l'esistenza è sempre stata un fattore operante nel processo della vita: l'estinzione di molte popolazioni locali può essere attribuita, a giusta ragione, al fatto che i loro ambienti vennero invasi da generi rivali. Mentre le ultime cappe di ghiaccio si ritiravano, l'uomo primitivo, il rivale più instancabile di tutti, attraversava lo Stretto di Bering per fare la sua apparizione, dopo che in Europa e in Asia, anche nell'America del Nord. Oggi le sue armi di pietra scheggiata si ritrovano ancora, di tanto in tanto, spezzate nelle ossa di alcuni grandi animali che sopravvissero ai ghiacciai soltanto per cadere vittime della mano spietata dell'uomo.

La rapacità umana ci fornisce, tuttavia, soltanto una spiegazione frammentaria, poiché la scienza della paleontologia ha provato senza possibilità di dubbio che l'estinzione naturale è un fenomeno verificatosi a ritmo ricorrente e su scala mondiale fin dall'alba della vita. Uno dei punti fermi della storia dell'evoluzione è, infatti, che volta per volta alcuni gruppi di animali, dopo un'oscura fase iniziale, sono assurti a un periodo di fulgore per poi arrendersi a loro volta al predominio di un nuovo ramo, ancora in fase di sviluppo e apparentemente non aggressivo. Così il periodo Cambriano fu dominato dalle trilobiti ora estinte, il Siluriano dagli scorpioni marini ugualmente estinti, il Carbonifero dagli anfibi, di cui oggi sopravvivono solo alcuni rami poco appariscenti, e l'intero ciclo dell'era Mesozoica vide prevalere i rettili giganti che poi scomparvero.

Gli evoluzionisti esitano ad attribuire le singole estinzioni a cause specifiche e piuttosto asseriscono che, col trascorrere di grandi periodi di tempo, l'ambiente fisico cambia e certe popolazioni muoiono per qualche ragione che impedisce loro di adattarsi. Il carattere apparentemente simultaneo e improvviso delle grandi estinzioni potrebbe essere anche un'illusione, determinata da lacune nel registro delle rocce o dall'enorme prospettiva del tempo geologico. Perciò la grande moria dei mammiferi nel Pleistocene fu improvvisa soltanto in senso relativo. Parrebbe come se le estinzioni fossero state sporadiche, localizzate in alcuni centri, dai quali a poco a poco si estesero altrove. Molte volte furono parziali, nel senso che alcune faune scomparvero in un luogo rimasero intatte in altri. Le conseguenze di queste estinzioni incomplete sono visibili ancor oggi, nella distribuzione irregolare di molte specie di animali. Il fenomeno ha ingannato a lungo gli zoologi. Oggi, per esempio, i tapiri esistono soltanto nelle due regioni tanto distanti tra loro della Malesia e

dell'America centro-meridionale; un tempo, invece, prosperarono su vaste zone di ambedue gli emisferi. Anche gli elefanti, i rinoceronti, i cammelli, rappresentano le vestigia di popolazioni una volta molto più numerose ed ora ridotte entro i limiti di residenze enormemente più piccole di quelle occupate durante il Pleistocene.

Fin dalle epoche più remote, gli organismi animali hanno dimostrato di possedere una vitalità più possente di tutte le forze distruttive unitesi per metterli in pericolo. Attualmente la parabola della vita sul nostro pianeta è vicina alla massima fioritura rispetto al passato e - fatto ancora più significativo - presenta una varietà maggiore di tutte le epoche venute prima dell'era Cenozoica. Ciò si spiega perché lo schema fondamentale del panorama evolutivo è la divergenza, la tendenza cioè della vita a differenziarsi, a divenire più varia, a sviluppare un numero sempre maggiore di forme e di organismi. Tuttavia la divergenza non è la sola figura che sia stata tracciata sul lungo arazzo della vita terrestre. Ad essa s'accompagnano altri schemi: linee statiche di sviluppo interrotto (come gli opossum, le ostriche, i conigli, le testuggini); forme di evoluzione parallela, per cui gruppi affini percorrono vie indipendenti di sviluppo per giungere a risultati simili (come nel caso dei cervi e delle antilopi); infine forme di evoluzione convergente, dove rami assolutamente estranei uno dall'altro, mutano lentamente fino a divenire l'uno un facsimile dell'altro (come nel caso del rettile ittiosauro e del mammifero delfino). E nemmeno queste sono rare: la natura offre ai suoi giocatori soltanto un numero limitato di ruoli e di ambienti, insieme alle tecniche per viverli e dominarli. Quando una nicchia biologica è temporaneamente vuota, col tempo essa finirà con l'esser riempita.

Nel groviglio delle forze naturali è difficile individuare un unico filo che possa rappresentare una linea fondamentale di progressione, di avanzata verso un fine favorevole. Tuttavia, dal modo in cui si è svolta la saga della vita, pare si possa dedurre che il fattore determinante ai fini della sopravvivenza sia stato l'accrescersi della percezione, vale a dire lo sviluppo di organi del senso sempre più efficienti e complessi e di sistemi nervosi capaci di interpretare sempre meglio le sensazioni e di rispondere ad esse rapidamente. Fin dall'inizio questi caratteri hanno costituito il grande arsenale dei mammiferi. Al loro confronto i dinosauri non erano che semplici automi. E quindi probabile che i mammiferi siano sopravvissuti ed abbiano conquistato l'egemonia sulla Terra non a dispetto ma a causa della loro grande debolezza ed umiltà: perché erano piccoli in un mondo dominato da giganti, nudi in un mondo di piastre corazzate, paurosi e quindi più sensibili e consapevoli in un mondo di bruti senza percezioni, senza sensibilità, senza cervello. E dopo i vari periodi dell'era Cenozoica, in alcuni rami queste doti inestimabili si accrebbero mediante l'elaborazione di sistemi nervosi e di cervelli più sviluppati.

Al vertice dell'attuale progressione evolutiva si trova l'uomo. Consapevole delle sue doti intellettuali e spirituali, egli è stato portato spesso a sottovalutare le altre sue qualità, a vedersi piccolo, senza ali, senza rivestimenti corazzati, fragile, quasi un pigmeo scarsamente veloce in un'arena di specie fisicamente superiori, e ad attribuire ogni conquista alle proprie facoltà razionali. In realtà l'*Homo sapiens* è un gigante nel regno animale. Solo pochi mammiferi sono più grandi, più forti, più veloci di lui. Sulla Terra esistono più di un milione di specie animali: l'uomo è in grado di ucciderle tutte, tranne poche, senza ricorrere alle armi che con tanto ingegno inventa per distruggere se stesso. Tuttavia è vero che la suprema eredità dell'uomo è il cervello, questa massa misteriosa e convoluta di tessuto morbido che gli permette di percepire con acutezza unica il mondo d'intorno e di rispondere ai suoi stimoli con una rapidità e una consapevolezza che lo differenziano da tutte le altre cose viventi. Inoltre il cervello lo investe di un potere che nessun'altra creatura ha mai posseduto: la facoltà di modificare il mondo che lo circonda, di regolare e alterare il corso dell'evoluzione in tutti i molteplici domini della vita, compreso il proprio. Sebbene sia relativamente un nuovo venuto, un *parvenu* sul pianeta Terra, l'uomo è unico nel complesso della natura, dominatore di forze immense e incalcolabili ed arbitro del suo stesso destino. Perché, come osservò succintamente Platone più di 2000 anni fa, «la Mente è sempre la regolatrice dell'Universo».

(6 - Continua)

Lincoln Barnett

Le creature del mare



NEL MONDO DELLE ACQUE, tra fantastiche fioriture di coralli, giardini di alghe e sabbie ondulate, vivono creature magnifiche e mostruose, appartenenti a migliaia di specie. Ecco una cernia che s'aggira con gli occhi stralunati alla

ricerca di una preda, pronta a ghermirla con le possenti mascelle. Fra tutti gli animali marini, i più noti all'uomo sono i pesci, vertebrati dal corpo affusolato, squisitamente adatto al nuoto, forniti di branchie per la respirazione acquatica.



IL CAESIO AUSTRALIANO è un pesce che viaggia a frotte, disponendosi in formazioni ordinate, nelle quali ciascuno obbedisce rigorosamente alle manovre ordinate dai capifila. Straordinaria è la precisione con la quale questi pesci nuotano, si girano, si tuffano, accelerano, sempre all'unisono, ritmicamente, senza mai

neppure urtarsi. Come essi riescano a raggiungere tanta armonia è un mistero della natura. Numerosi sono i pesci che, di solito per scopi protettivi, si muovono in gruppo. Altri invece, come l'aguglia, il barracuda e lo squalo, sono cacciatori solitari, dotati di una maggiore velocità e di armi d'attacco più potenti.

Le regioni dell'oceano

Fin dalla prima volta che s'è avventurato sulla superficie dei mari, l'uomo ha temuto non solo la furia aperta dei venti e delle onde ma, ancora di più, le creature invisibili delle cui schiere la sua fantasia aveva popolato le nascoste profondità. La mitologia e la letteratura di ogni epoca parlano di enormi mostri che vivono negli abissi, di dove salgono di tanto in tanto a catturare le vittime per trascinarle tra grovigli di erbe, nelle caverne in fondo all'oceano.

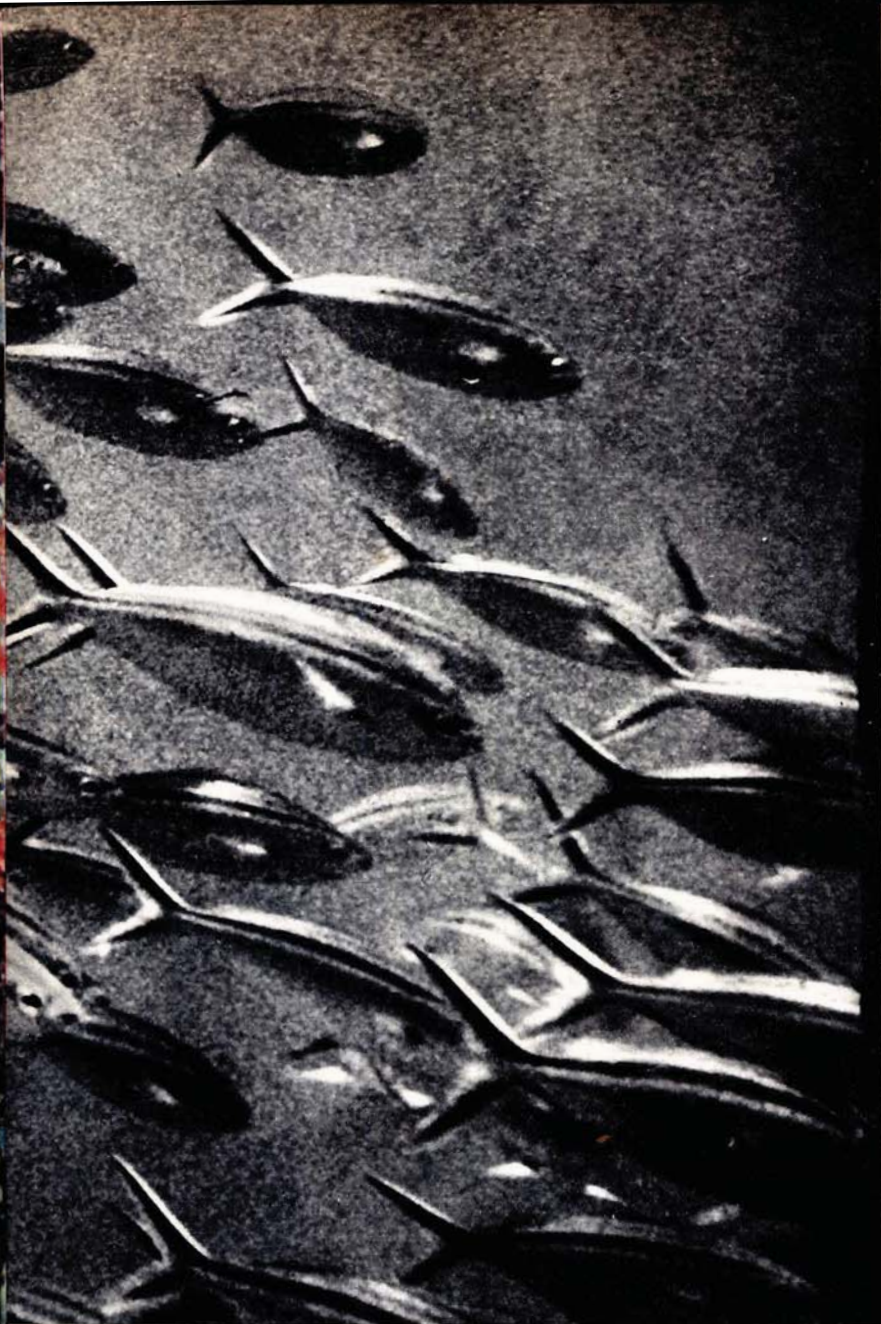
L'immaginazione umana va sempre al di là della natura, ma questa volta ci sono abbastanza elementi da giustificare le fantasie e le paure. Di tutti i reami della vita, il mare è il meno conosciuto, il meno esplorato, il più vasto, il più tenebroso: arriva fino a profondità di quasi dieci chilometri ed è circa 300 volte maggiore dello spazio cubico abitabile delle terre e delle acque dolci messe insieme. In massima parte è il dominio della notte perenne, di un'oscurità che ricorda le parole di Milton: «O tenebre, tenebre, tenebre, nell'acceso mezzogiorno, irrevocabili tenebre...».

È naturale che l'uomo conosca, sulle creature dell'oceano, meno di quanto sappia sugli animali che condividono con lui il possesso della terraferma. Tuttavia le frontiere della biologia marina hanno compiuto notevoli avanzate, negli ultimi anni, e siamo in grado di conoscere non soltanto le popolazioni che vivono nelle acque poco profonde ma anche quelle che abitano al di sotto degli strati superficiali rischiarati dalla luce, nei *canyons* delle scarpe continentali e tra il limo del fondo abissale. E se è vero che Scilla e Leviathan vissero solo nella leggenda, non è meno vero che le più grandi creature mai esistite sulla Terra si combattono ancora nelle profondità oceaniche. Con loro abitano alcune forme tra le più graziose che la mano della natura abbia mai plasmate: argentei sculture simmetriche, dai colori iridescenti come gioielli e a volte splendidi nell'oscurità per una magica luminescenza.

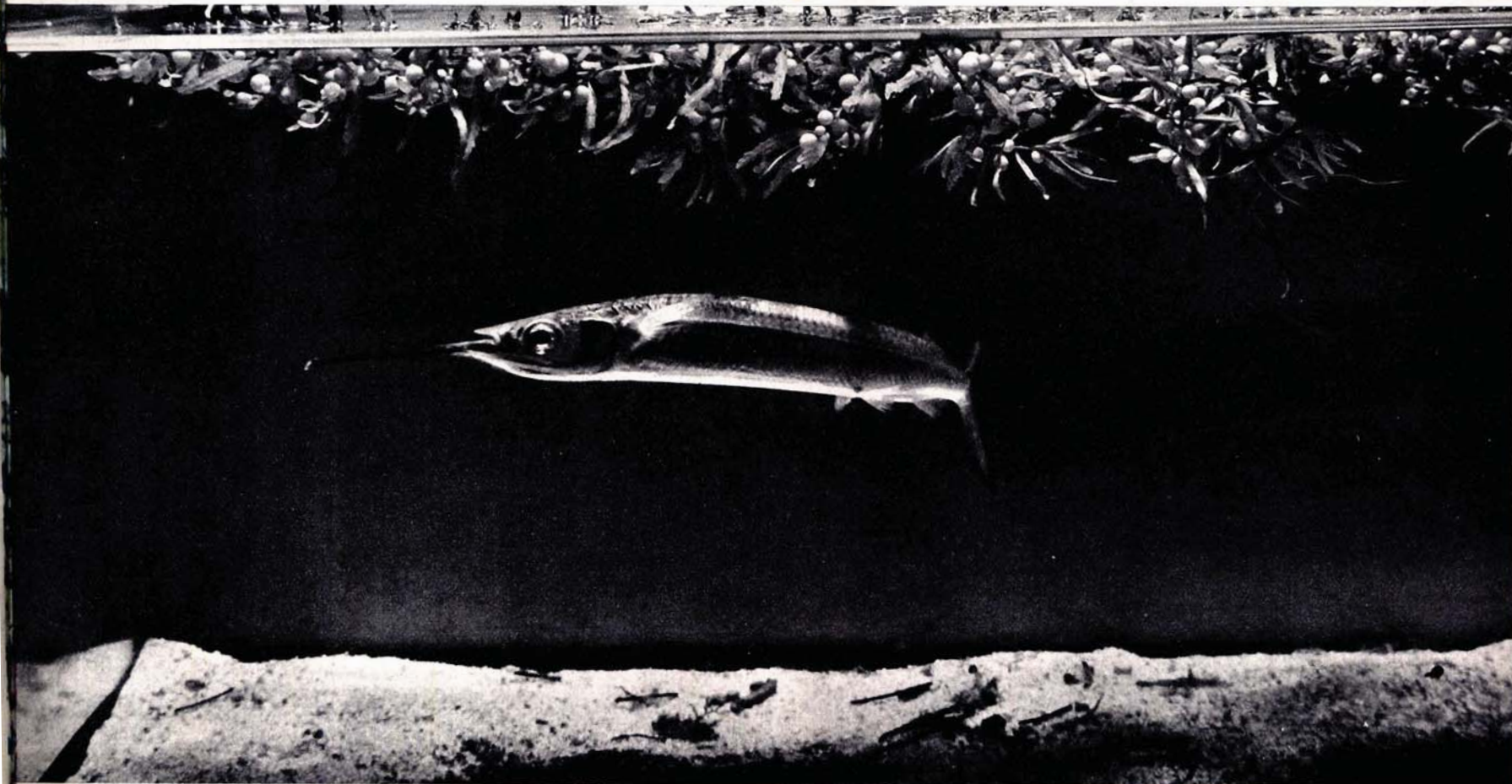
Il mare è la casa ancestrale di tutte le cose viventi (vedi il capitolo *Il mattino della vita*) e perciò le creature che lo abitano sono la raffigura-

zione vivente del panorama della vita, dall'alba dell'esistenza ad oggi. Tutte le principali divisioni (le *phyla*) del regno animale sono rappresentate nel mare, con tutte le classi che le compongono ad eccezione soltanto degli anfibi, degli uccelli, degli insetti e dei ragni autentici. A cominciare dai batteri e dai protozoi fino ad arrivare agli organismi acquatici più evoluti, cioè ai pesci autentici ed ai mammiferi marini, la lunga processione della vita si dispiega nel mare con una chiarezza di particolari che non ha riscontro nelle faune terrestri. Infatti nel mare ci sono molti fossili viventi: animali per i quali le età si sono fermate. Epoca per epoca le meduse, i coralli, le spugne silicee, le stelle di mare, i limuli, i molluschi ed altre forme si sono riprodotti quasi senza essere toccati dal sortilegio del tempo.

Nel momento della storia terrestre in cui i primi animali e le prime piante si arrampicarono dai mari sui margini della terraferma, gli invertebrati erano i padroni della creazione. I protozoi costituiti da una sola cellula proliferavano nelle acque della superficie. Le meduse rilucevano negli strati intermedi. I molluschi e gli artropodi percorrevano il fondo marino senza sole. Pigri, a volte sedentari, molti di questi abitanti delle profondità non avevano né il bisogno né la capacità di nuotare. Così le acque abissali del mare aperto rimasero quasi vuote per milioni di anni. Ma intanto una nuova classe di esseri viventi si andava evolvendo nei laghi e nei fiumi dei continenti: erano i pesci, che probabilmente avevano avuto origine da un gruppo particolare di invertebrati d'acqua dolce e avevano imparato a nuotare, spinti dalla necessità di sfuggire ai nemici e di tenersi in equilibrio nelle veloci correnti. Le loro sagome divennero più affusolate, le pinne più flessibili. Svilupparono mascelle mobili e denti specializzati per catturare prede. Col tempo si divisero in due sotto-classi: i pesci cartilaginei, come gli squali e le razze; e i pesci ossei, vale a dire la dinastia del merluzzo, dell'aringa, del salmone, del tonno, dello sgombrò, del branzino e degli altri pesci autentici odierni che vanno sotto il nome di teleostei. Alla fine del periodo Devoniano e durante il Triassico gli ancestrali pesci vertebrati discesero al mare e il saper nuotare rappresentò per loro un vantaggio rispetto alle lente comunità che si trascinavano



I LIMULI sono granchi che per la loro forma ricordano il ferro di cavallo. Per tenersi a galla si girano sul dorso e si servono della loro corazza come di una barca. Sono tra i più antichi abitanti del mare esistenti.



IL MARE È RICCO di piante, di veri e propri giardini di alghe, dove le sue creature più piccole trovano una fonte di cibo inesauribile. Ecco, nel Mar

dei Caraibi, un Hemirhamphus che nuota sotto una distesa di sargassi. La mascella inferiore serve a strappare le alghe delle quali l'animale si nutre.

IL MONDO IN CUI VIVIAMO

nelle acque salate. Perciò sopravvissero, prosperarono e perfezionarono il loro singolare sistema di locomozione. Oggi i teleostei comprendono più di 20.000 specie e rappresentano i comuni pesci del mare.

Poiché il mare è un ambiente più omogeneo della terra, le sue creature sono in genere più primitive, meno differenziate di quelle trasferitesi sulle aspre e mutevoli estensioni delle aree continentali. In genere non hanno avuto bisogno di specializzarsi, di adattarsi ad ambienti contrastanti come i deserti e le paludi, le giungle e le pianure erbose. Non hanno dovuto neppure sopportare variazioni climatiche estreme. Nei tropici, la temperatura delle acque alla superficie raramente supera i 30°; nelle regioni polari non cade mai troppo al di sotto dei -1°. Su più di tre quarti della superficie oceanica la temperatura ha una variazione stagionale inferiore ai 3°. Al di sotto dei 250 metri non c'è nessun mutamento stagionale. Il mare offre anche altri vantaggi. Le sue popolazioni non potranno mai lamentare la mancanza del componente essenziale di ogni cosa vivente, l'acqua, perché ne sono bagnate sia internamente che esternamente. Esse assorbono direttamente l'acqua nei propri sistemi e vi trovano disciolti i gas indispensabili alla vita (ossigeno ed anidride carbonica) e le quantità di sali e di minerali necessari alla crescita.

Le creature del mare trovano nell'acqua un alleato contro gli impedimenti della forza di gravità. Per tenersi dritti nel loro mezzo, l'aria, gli animali terrestri hanno bisogno di solidi sostegni. Invece gli organismi marini, sebbene vivano in un mezzo molto più denso qual è l'acqua, non avvertono la necessità di gambe possenti e di ossature interne resistenti. Le piante del mare non posseggono tronchi né steli rigidi. Gran parte degli animali marini hanno organi destinati a nuotare, a scavare e a combattere piuttosto che a sorreggerli. Questo è vero anche per le enormi balene, le cui ossa sono spugnose e piene d'olio. Infatti la balena, sebbene sia un mammifero che respira aria, quando viene trasportata sulla riva muore in breve tempo poiché i polmoni restano schiacciati sotto il peso del suo stesso immenso corpo.

Sebbene rappresenti un ambiente omogeneo e non vi siano deserti impossibili da attraversare o montagne invalicabili, anche il mare ha le sue barriere: confini invisibili costituiti dalla temperatura, dalla salinità, dalla pressione e dalla luce. Molte creature marine non posseggono i sistemi regolatori che permettono agli animali terrestri di proteggersi dagli improvvisi ed intensi mutamenti ambientali. Perciò sono estremamente sensibili alle più piccole variazioni che avvengono nel loro mezzo. In certe regioni è la differenza di temperatura che fa da confine alla vita marina. Le acque fredde delle latitudini del Nord e del Sud sono abitate da molti animali identici. In mezzo si stendono i mari tropicali, dove invece vivono specie completamente diverse. Improvvise deviazioni delle correnti oceaniche, tali ad esempio da trascinare masse d'acqua calda nelle regioni occupate da creature d'acqua fredda, possono provocare la distruzione completa di intere popolazioni su vaste zone. Allo stesso modo un improvviso cambiamento nella salinità, che potrebbe essere prodotto da forti piogge stagionali col conseguente scaricarsi dei fiumi in piena nelle acque costiere, può portare alla decimazione dei banchi di ostriche e di altri invertebrati che vivono nei pressi delle rive. Da parte sua la pressione segna confini orizzontali tra i diversi strati del mare. È vero che alcuni pesci rivelano una stupefacente capacità di passare senza danno da un livello di pressione a un altro (le balene, sebbene siano mammiferi che respirano aria, sono in grado di arrivare a 1000 metri di profondità), ma la maggior parte delle creature marine si mantiene entro strati ben definiti, che segnano il confine superiore ed inferiore della sua residenza.

Una barriera ancora più inflessibile è la luce, non perché la vista sia il senso più importante della maggioranza degli organismi marini, ma perché la luce è indispensabile alle piante acquatiche, che costituiscono la riserva fondamentale di cibo marino. Tutte le piante si nutrono convertendo in cibo certe sostanze inorganiche come l'acqua, l'anidride carbonica e alcuni sali e minerali. Il processo che dà luogo a questo fenomeno si chiama fotosintesi e dipende interamente dall'energia del sole. Così, in contrasto con la terraferma, dove la luce del sole arriva dappertutto fuorché nei burroni più profondi e dove tutte le regioni sono ricoperte di piante ad eccezione dei deserti e dei due Poli, l'oceano confina le sue piante negli strati superiori illuminati dalla luce solare: al di sotto dei 100 metri non ne esiste nessuna.

Le montagne nascoste del mare sono più aride dell'Himalaya, le grandi pianure e vallate del fondo marino sono più desolate delle sabbie del Sahara. Non esistono, nelle acque, vegetazioni paragonabili alle folte foreste terrestri. Le piante marine sono primitive, senza radici, senza tronchi, generalmente piccole. Limitato è il numero della loro specie. Ci sono poche piante a semi, come le posidonie e le zostere. Il resto è costituito dalle alghe e da piante unicellulari chiamate diatomee. Quest'ultime, sebbene abbiano dimensioni microscopiche, si riproducono più rapidamente di qualsiasi flora terrestre e spesso il loro numero si raddoppia ogni due giorni. In ogni acro di acqua aperta se ne generano ogni anno diverse tonnellate. A seconda del fiorire delle diatomee, la superficie del mare assume il colore giallo, bruno o verde. Esse prosperano nelle acque fredde, nelle regioni turbolente dove profonde correnti sollevano verso la superficie i ricchi nutrimenti organici del fondo oceanico. I loro immensi pascoli attirano schiere di creature marine. Dove fioriscono le diatomee, fioriscono anche i più grandi luoghi di pesca del mondo: lungo le coste occidentali dell'America settentrionale e meridionale, nel Mare del Nord, al largo del Portogallo, del Giappone e di Terranova.

Così l'immenso mare ininterrotto costituisce un ambiente differenziato, diviso come la terraferma in numerose province e regioni, ciascuna con le sue popolazioni e i suoi modi di vita, separate l'una dall'altra dalle muraglie invisibili della condizione fisica. Dal punto di vista della biologia marina, il mare comprende due grandi domini della natura: l'ambiente pelagico (l'acqua aperta) e l'ambiente bentonico (il fondo). Ciascuno di questi, a sua volta, comprende numerose e distinte categorie. La vita pelagica si divide in plancton (creature galleggianti che hanno scarsa forza di locomozione e si lasciano trascinare dalle correnti) e necton (creature di ogni specie che nuotano liberamente). La vita bentonica esiste dappertutto, dal benthos litoraneo (il fondo in prossimità della riva) al benthos abissale (il pavimento marino in fondo alle scarpate continentali). Sebbene siano costituiti da un mezzo comune e collegati dalle incessanti correnti delle profondità, questi domini della vita rappresentano ciascuno un mondo a sé ed alla loro formazione hanno contribuito circostanze diverse. Non è possibile dare risposte generali, ma occorre darne molte e tutte differenti alle domande che un poeta inglese, Leigh Hunt, rivolse alle creature marine circa un secolo fa:

Esseri squamosi, lisci, bagnati, veloci, dagli occhi sbarrati, che cosa fate? Qual è la vostra vita, voi dallo sguardo impietrito?

Come fate a rendere varie le vostre insulse giornate e le notti?

Come passate le vostre domeniche?

Il regno della notte perenne

Nell'oceano, come sulla terra, ci sono creature che sfuggono la folla e si rifugiano in luoghi solitari. Le città affollate del mare sono rappresentate dai banchi di sabbia vicini alla riva, dove fioriscono giardini di alghe, e dalle lagune alimentate dalle maree. Le sue pianure aperte sono poste al di là delle scarpate continentali. E le sue terre incolte sono le cieche distese di acqua che giacciono nelle tenebre, al di sotto degli strati luminosi; qui i pionieri del mare brancolano in una notte senza fine e conducono la loro lotta per l'esistenza entro i limiti di una frontiera crudele, che li tiene lontani dalla competizione in cui sono impegnate le affollate comunità poste sopra di loro. Molti di questi organismi sono piccoli, poiché non hanno altre fonti di cibo che loro stessi (divorano i propri vicini) e i frammenti delle piante o i resti delle prede dilaniate che affondano dagli strati superiori.

Da quando i mari si sono formati, il sole non è mai penetrato in queste profondità. Dei pesci che le abitano, tuttavia, solo pochi sono ciechi. Tra i 250 e i 500 metri hanno occhi enormemente sviluppati, con una speciale sensibilità per la luce debole. Dal punto di vista dell'evoluzione è importante che gli occhi di molti pesci, sebbene siano generalmente miopi, presentino notevoli somiglianze con quelli dell'uomo. Infatti gli occhi hanno avuto origine nell'acqua. Se anche i pesci abissali hanno conservato la vista, la probabile spiegazione sta nel fatto che le acque profonde, sebbene non siano mai raggiunte dalla luce della luna, del sole o delle stelle, non sono completamente buie. I loro abitanti provvedono per conto proprio a un'illuminazione spettrale. Innumerevoli creature delle profondità appartenenti a centinaia di specie che vanno dai veri pesci ai vermi e ai batteri, presentano forme di luminescenza. Molti, come il *Cyclothone*, presentano lungo i fianchi file di organi luminosi, vere e proprie lampade od oblò che possono accendere o spegnere a loro piacere. Altri posseggono torce che dondolano davanti alle loro bocche, probabilmente per attirare le prede. In alcune creature la luminescenza è generata da batteri che si trovano nel corpo dell'animale, in altre da speciali organi la cui luce è prodotta da una secrezione mucosa che reagisce con l'ossigeno contenuto nel sangue. Non è possibile dire se questa luminescenza abbia scopi difensivi o serva ad attirare un compagno per le nozze o rappresenti un segno di riconoscimento delle specie oppure non sia nient'altro che un accidente chimico. Infatti, tra le creature che posseggono una forte luminescenza, ve ne sono alcune per le quali si è portati a ritenere che una simile proprietà non risponda a scopi pratici, perché non hanno occhi o vivono nascosti, come alcuni molluschi bivalvi e certi vermi che se ne stanno costantemente rintanati.

La difficoltà di penetrare in questo regno della notte perenne ha indotto per molti anni gli scienziati a ritenere che nelle inesplorate profondità marine esistano numerosi fossili viventi, le cui specie risalirebbero alle epoche più remote del tempo terrestre. Ora però si è inclini a credere che la maggioranza di questi strani portatori di lampade delle acque abissali siano organismi marini relativamente nuovi, discendenti da animali che, scacciati dai livelli superiori, si rifugiarono nel mondo delle tenebre, ai cui rigori hanno dovuto adattarsi meglio che potessero.

I COPEPODI, di cui presentiamo nella pagina a destra un esemplare ingrandito 300 volte, sono minuscoli artropodi che vivono tanto nelle acque della superficie quanto nel regno della notte perenne, a grandi profondità, dove in maggioranza le creature marine presentano strane forme di luminescenza e appaiono fornite di lampade che possono accendere e spegnere a loro piacere. Il copepodo multicolore qui fotografato proviene appunto dalle profonde tenebre oceaniche.



I nuotatori del mare aperto

A differenza dagli abitanti del fondo, incatenati al pavimento oceanico, le creature capaci di nuotare liberamente si muovono con estrema agilità in un mondo tridimensionale, dove la mobilità, l'efficienza dei sensi e la colorazione protettiva costituiscono i fattori indispensabili per sopravvivere.

Le acque aperte sono il dominio dei pesci vertebrati, i quali tuttavia condividono la loro sovranità con alcuni invertebrati, come il calamaro gigante, e con i più grandi tra i mammiferi, le balene. I loro rappresentanti più veloci sono l'aguglia, il pesce vela, la corifena e la sua preda preferita il pesce volante, che raggiunge i 55 chilometri orari e, più che volare, salta nell'aria. Quasi altrettanto veloci sono il tonno e la bonita. Gli squali, i più grossi fra tutti i pesci, sono i lupi del mare. Molto affine agli squali è la manta, detta anche diavolo

marino: si tratta di un animale innocuo, che può raggiungere persino i 1500 chili di peso e, come l'istioforo, compie frequenti salti fuori dell'acqua, ricadendovi poi con un tonfo che risuona a distanza di chilometri.

I pesci che vivono alla superficie hanno ricevuto dalla natura, nella loro maggioranza, una colorazione che gli permette di confondersi con il proprio ambiente, relativamente luminoso. Poiché le maggiori lunghezze d'onda della luce solare vengono assorbite nei primi 25 metri d'acqua, i principali colori sottomarini sono il verde, l'azzurro e il violetto, che nelle acque limpide persistono debolmente fino ai 700 metri (è il caso tenuto presente nella tavola qui sotto, dove i vari livelli marini sono raffigurati fino a una profondità di 1500 metri). Le creature pelagiche che abitano i piani superiori del mare tendono all'azzurro nella parte superiore del corpo e all'argento nell'inferiore. Dai 200 ai 500 metri circa vi è una grigia zona crepuscolare dove i pesci assumono un colore argenteo, come lo *Sternoptyx*, il *Diretmus* e l'*Opisthoproctus*. Più sotto, nella zona delle tenebre, i colori degli ani-

mali sono il bruno e il nero, com'è il caso del *Melanocetus* e del *Photostomias*; tuttavia alcuni, come i gamberetti rossi, presentano colori vivi che lasciano sorpresi e per i quali è impossibile fornire una spiegazione. In verità, il poco che si conosce sulle creature che vivono nelle profondità, lo si è dedotto da strani ed occasionali esemplari capitati nelle reti dei biologi marini. Le strane forme che si scorgono nella parte inferiore della nostra illustrazione e che vengono indicate con la loro denominazione scientifica, rappresentano gran parte di ciò che l'uomo ha potuto vedere, finora, della fauna esistente ai livelli inferiori del mare. Ma il fatto che molti pesci delle profondità siano dotati di bocche enormi con lunghi denti aguzzi, lascia pensare che nelle tenebre degli abissi, dove il cibo arriva soltanto casualmente, si svolga una lotta spietata per l'esistenza. Un pesce di queste regioni, il *Chiasmodon*, possiede uno stomaco dilatabile che gli permette di inghiottire prede più grosse di lui. Tuttavia le più grandi battaglie sottomarine si svolgono a circa 400 metri di profondità, tra il capodoglio e la sua antica preda, il calamaro gigante.





SQUALO

TONNI

CAPODOGLIO

CALAMARO GIGANTE

DIRETMUS ARGENTEUS

STERNOPTYX DIAPHANA



DIRETMUS ARGENTEUS

LEPTOCEFALO (LARVA D'ANGUILLA)

REGALECO

PHOTOSTOMIAS GUERNEI

VIPERA DI MARE

PESCI LANTERNA

CHIASMODON NIGER

ANGUILLA AVOCETTA

MELANOCETUS JOHNSONI

OPISTHOPECTUS SOLEATUS

PESCE ACCETTA

LAMPROTOXUS
FLAGELLIBARBA

PLATYBERIX OPALESCENS

GAMBERETTI



COLINO MARINO
ALGA PHYLLARIA DERMATODEA

MITILO

NON TAGLIARE: SOLLEVARE

MITILI
IDRARI ROSEI
SPUGNA ROSSA
CARDII

STELLA DI MARE

BOTRILLI

NASSE
BALANI
MUSCO D'IRLANDA
CAPPALUNGA

ASCIDIE

ANEMONE MARINO
SPUGNA

STELLA DI MARE

MARUZZA
CREPIDULA

BUCCINI

LITORINE

STELLA DI MARE PURPUREA
ALGA CORALLINA
STELLA DI MARE ROSSA



QUERCIA MARINA

GRANCHIO DI ROCCIA

RICCIO VERDE COL NICCHIO

LIMONI DI MARE

PETTINE

CITEREE

GRANCHIO VERDE

ANEMONE MARINO

GRANCHIO EREMITA IN UNA CONCHIGLIA

QUERCIA MARINA

CORALLO MOLLE

RICCIO DI MARE

OLOTURIA

UOVA DI BUCCIA

UOVA DI SQUALO



Gli abitatori del fondo

Tra gli erbosi giardini delle acque poco profonde, nei pressi delle rive, la vita fiorisce come in nessun'altra regione del mare. Qui, sulle pallide sabbie e sulla melma che costituiscono il benthos, vive una moltitudine di creature pigre, lente, in un mondo dove i viaggi si misurano a centimetri. La loro esistenza ha un carattere che le avvicina di più al regno delle piante che ai veloci, rapidi pesci, e molte creature bentoniche somigliano alle piante nell'aspetto esteriore ed hanno anche nomi di piante: anemoni marini, cetrioli di mare, limoni di mare. Tuttavia si tratta di animali, dei membri della vasta dinastia degli invertebrati dal corpo molle, fabbricati dalla natura per vivere sul fondo oceanico.

Molte di queste creature sono fisse (o sessili) come la spugna *Clathria* e le ascidie. Perciò il loro problema principale è di trovare il posto dove attaccarsi o rifugiarsi. Praticamente ci sono organismi striscianti, galleggianti o sedentari su ogni roccia, su ogni zona di sabbia o di limo. Una palafitta di legno può trasformarsi in breve tempo nella residenza di cirripedi, di mitili, di nasse, di taliacei, di spugne, di idrari, alle cui conchiglie vengono ad ancorarsi colonie di gasteropodi. E quando un gasteropodo muore può accadere che un granchio eremita si impossessi della sua conchiglia rimasta vuota e se la trascini in giro come una casa ambulante, sulla cui cima spesso prende posto un anemone desideroso di viaggiare senza far fatica.

Le fondamenta dell'intero edificio della vita bentonica sono le provviste di minerali sciolti nell'acqua di cui è ricco il fondo oceanico. Il calcio è un elemento fondamentale per molti organismi marini e soprattutto per le creature bentoniche che, possedendo corpi molli, sono protette contro i predatori e contro la furia dei marosi da rivestimenti resistenti, i quali forniscono anche un ancoraggio ai muscoli di cui si servono questi animali per scavare e strisciare. I composti di calcio rinforzano le tenaglie dei granchi e concorrono a formare le delicate spirali delle nasse, delle litorine e di altre conchiglie, le spine del riccio di mare e il « rasoio » della cappalonga. Nei tropici, dove il calcio viene assorbito più rapidamente che nelle acque fredde, una specie di mollusco bivalve sviluppa conchiglie di enorme spessore, il cui peso supera spesso i 200 chili.

I minerali del fondo sono importanti anche per la vita delle piante, per i giardini fioriti di quercia marina, di *Kelp* e di musco d'Irlanda che adornano i declivi costieri. Come la maggior parte delle piante, le grandi alghe hanno bisogno di un ancoraggio: anche le masse galleggianti di alghe, che caratterizzano il Mare dei Sargassi, sono costituite spesso da forme sviluppatesi presso le rive e poi trascinate lontano dalla Corrente del Golfo. Poiché non hanno radici, molte alghe si ancorano alle rocce o alla sabbia mediante organi adesivi filamentosi o con dischi piatti, come il colino marino e la *Phyllaria*. Se l'ancoraggio è profondo, esse possono sviluppare steli alti fino a 35 metri, così che il fogliame superiore emerge alla superficie ed è tenuto a galla da speciali vescicole gasose di cui è provvisto. Le alghe più grandi sono le *Kelp*, piante piatte di colore bruno che si ancorano agli scogli in prossimità della riva, poco più avanti della zona dove vanno ad infrangersi i marosi.

KELP

ANEMONE MARINO

PATELLE

GRANCHIO AZZURRO

SPUGNA CLATHRIA DELICATA
SPUGNA DIGITATA

GRANCHIO

LIMULO



LE ASCIDIE vivono sul fondo del mare, il più delle volte raggruppate su una roccia. Sono animali fissi e si nutrono pompando l'acqua mediante le due aperture del loro corpo. Per difendersi, spruzzano acqua con violenza intorno a loro.

Per molte creature del mare, l'acqua nella quale vivono non è solo un'abitazione e un mezzo che permette loro di respirare. È anche una specie di minestra, una succolenta zuppa di pesce costituita da particelle di cibo di ogni genere che bisogna soltanto filtrare e ingerire. Così, mentre i pesci che vivono nel mare aperto consumano le proprie energie in una caccia al cibo che non ha mai fine, molti abitanti del fondo vivono addirittura immersi nel cibo e non debbono far altro che aprire la bocca, nel caso che ne abbiano una.

Poiché la locomozione non è loro necessaria per procurarsi i mezzi di sussistenza, molte creature bentoniche conducono una vita completamente sedentaria e aspettano tranquillamente il cibo che fluttua nelle acque a seconda delle maree e delle correnti. Le spugne e le ascidie si ancorano alle rocce o ad altri oggetti solidi e si cibano pompando l'acqua dentro e fuori attraverso le aperture dei loro corpi. Le ostriche e i bivalvi si servono di un analogo sistema a pompa e trascorrono nei banchi l'intera loro esistenza adulta. Alcuni organismi sono più attivi, nel senso che compiono qualche piccolo sforzo in più. I cirripedi, per esempio, catturano particelle di cibo con le setole delle loro zampe villose, che si stendono a ritmo intermittente e funzionano come le nasse dei pescatori. Le oloturie strisciano sul pavimento marino comportandosi come gli aspirapolvere, mentre i tentacoli fanno da pale e spingono il limo verso la bocca.

(7 - Continua)

Lincoln Barnett

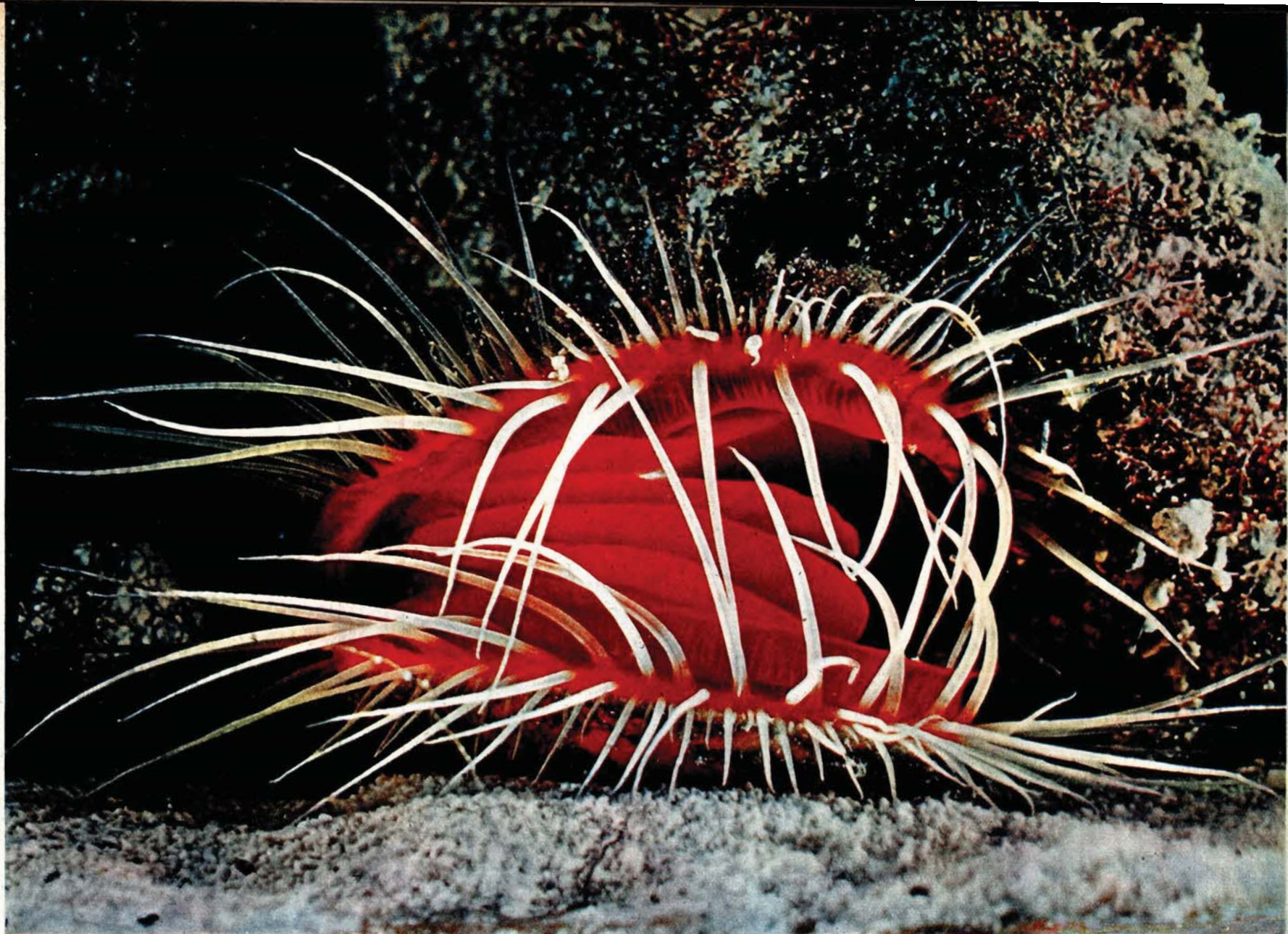


UN ANEMONE MARINO paralizza un piccolo pesce con i suoi tentacoli, provvisti di piccoli "aghi" velenosi. Dopo essere stata immobilizzata, la preda finisce nella bocca dell'anemone, che per l'aspetto e la colorazione vivace somiglia a un fiore.

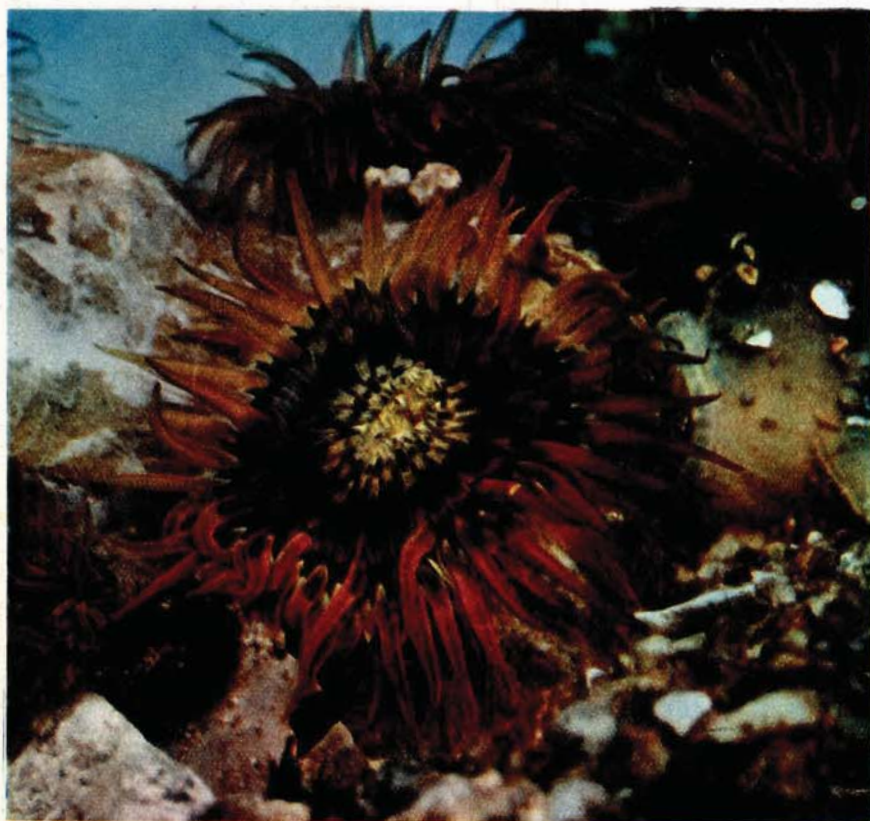
LE OFIURE (a destra) sono animali carnivori che strisciano sul fondo marino e, con la bocca rivolta in basso, cercano molluschi di cui cibarsi. Se si divide in due un'ofiu-
ra, da ciascuna metà si sviluppa un animale completo. Sono frequenti in tutti i mari.







IL PETTINE o conchiglia dei pellegrini è il bivalve più mobile e attivo. Possiede dozzine di minuscoli "occhi" e tentacoli di una straordinaria sensibilità. Ha una conchiglia scanalata, a raggi, ed è molto comune nel Mediterraneo.



NONOSTANTE L'ASPETTO di fiore, l'anemone marino è un animale carnivoro, capace di catturare, uccidere e digerire animali relativamente grandi. Di solito gli anemoni vivono fissi sugli scogli, ma sono anche capaci di una lenta locomozione.



IL RICCIO MARINO ha una bocca armata di cinque "denti" con i quali è in grado di catturare e uccidere piccoli molluschi e di strappare alghe dagli scogli. È particolarmente ghiotto di un'alga che, per la sua forma, è detta lattuga di mare.

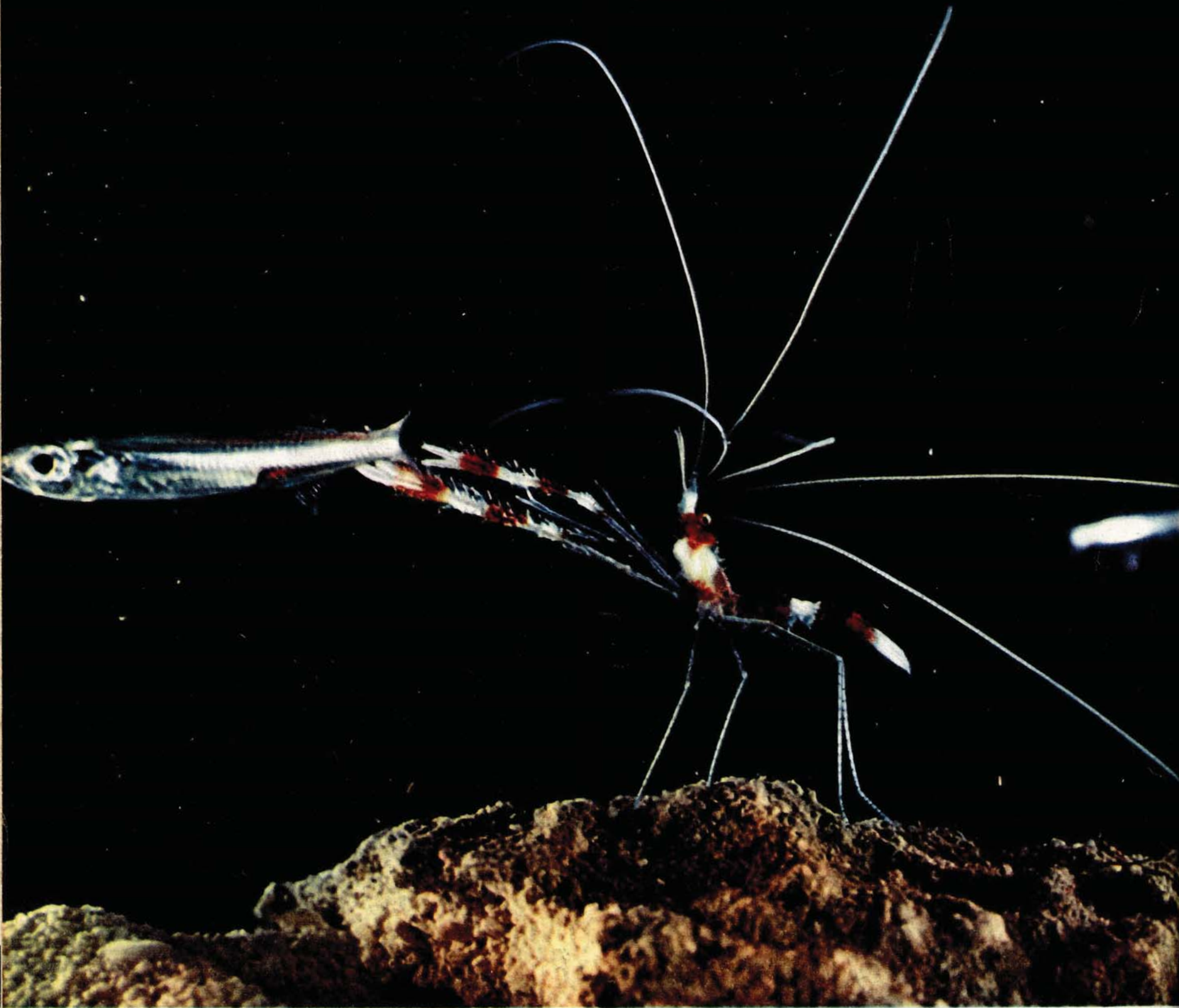
Le creature del mare

(parte seconda)



EOLIDI si chiamano questi molluschi senza conchiglia, appartenenti ai nudibranchi, che si muovono lentamente strisciando su un peduncolo. Si nutrono di idrozoi dei quali mangiano la testa senza che però le vittime soccombano, perché sono

in grado di sviluppare una testa nuova, al posto di quella che hanno perduta. Gli idrozoi sono polipi di dimensioni minuscole, affini ai piccoli animaletti marini che hanno costruito le scogliere coralline nelle calde acque dei mari tropicali.



GLI ANEMONI DI MARE emettono sostanze urticanti, con le quali *paralizzano* la preda. Il pesce donzella ne è però immune e abita addirittura tra i tentacoli dell'anemone, dove attira le prede che poi spartisce con il suo ospite.

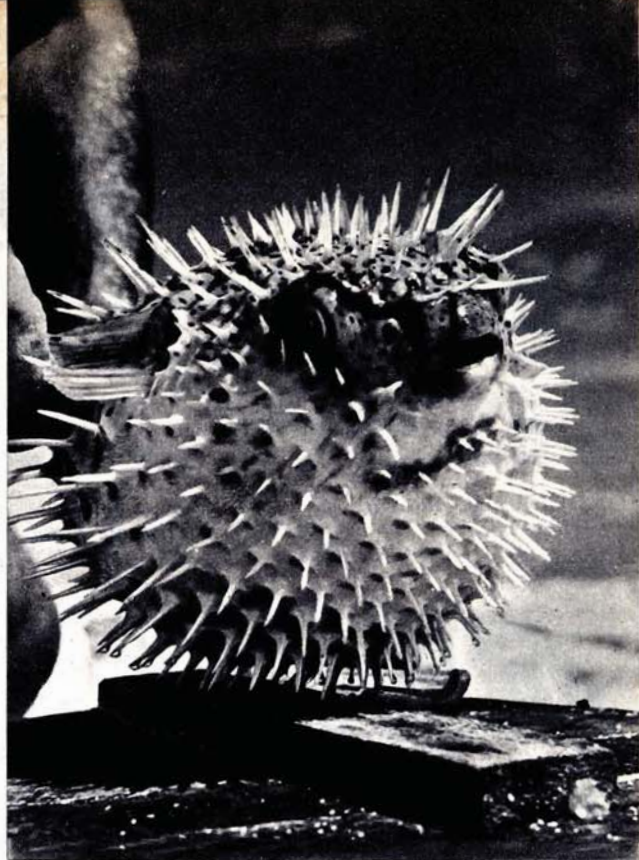


UNA LEPRE MARINA, detta anche *Aplisia*, si difende spargendo "inchiostro" nelle acque. La lepre marina è imparentata con il mollusco dal quale gli antichi fenici ricavavano la famosa "porpora di Tiro". Ha due antenne che sembrano orecchie di lepre.

UN GAMBERELLO lotta contro pesci più grandi di lui. È un vero e proprio pugilatore marino: quando un avversario s'avvicina questa piccola creatura tropicale, lunga meno di tre centimetri e dal corpo quasi trasparente, si erge sulle esili zampe posteriori e agita quelle anteriori, molto più possenti e fornite di pinze, lanciando così al corpo dell'aggressore "dritti" e "montanti" degni di un pugile espertissimo.



UN PESCE AGO si mimetizza tra le alghe al largo della costa Californiana, al punto che è difficile distinguere l'animale dalle piante, poiché la forma e il colore sono uguali.



IL PESCE ISTRICE vive nei mari caldi e può gonfiarsi: allora sul suo corpo, che normalmente appare liscio, si ergono numerosi aculei. Enfiato, galleggia a ventre in su.

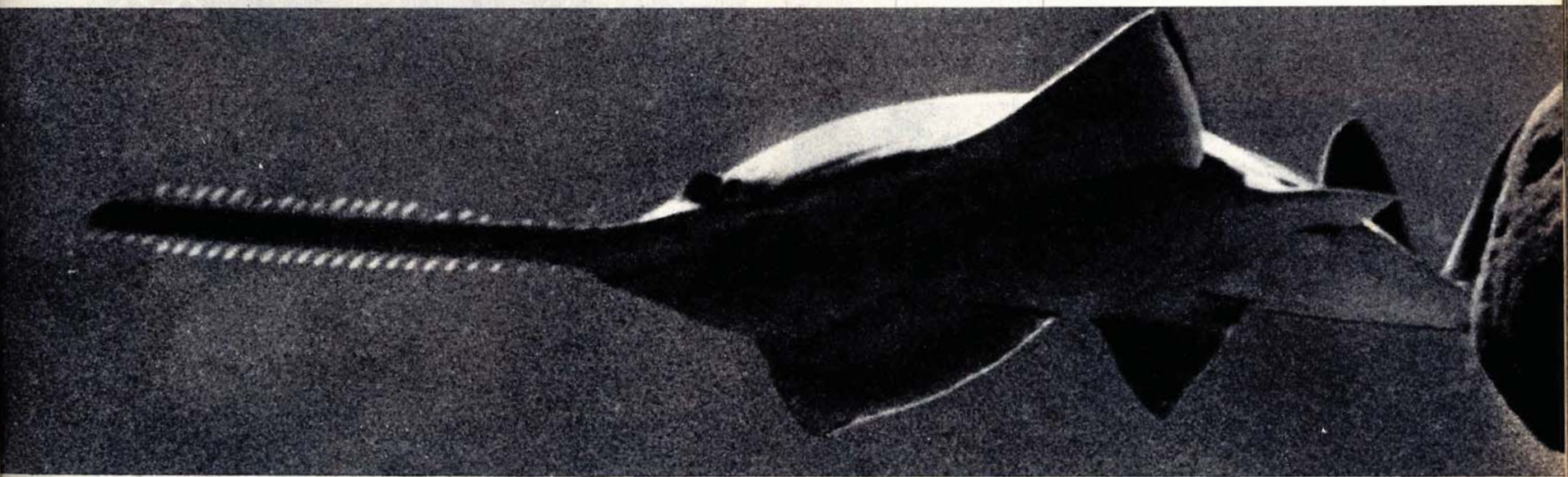
Difesa e mimetismo

Alle creature che vivono nelle sue acque, il mare offre pochi asili paragonabili ai boschi e alle macchie della terra, pochi rifugi e nascondigli, rappresentati da relitti occasionali come frammenti di *kelp* o di sargassi. Così, per sopravvivere in un mondo di predatori spietati, ogni specie ha dovuto sviluppare particolari armi d'attacco e sistemi di difesa. I pesci dotati di maggiore rapidità di movimenti, come il tonno, il barracuda e gli squali, posseggono denti aguzzi, riflessi rapidi, velocità e forza. Altri, lenti e apatici, come le ostriche, i gasteropodi e i pettini, sono dotati di conchiglie o di corazze.

Oltre a questi caratteri, comuni a molti altri animali, le creature marine hanno sviluppato sistemi difensivi loro propri ed altamente specializzati. I calamari, i polpi e certi gamberetti accecano i nemici scaricando « inchiostro » nelle acque intorno a loro. Le meduse e gli anemoni sono dotati di cellule urticanti che contengono dardi cavi e uncinati, i quali iniettano nel corpo dell'aggressore un veleno che lo paralizza. La pastinaca ha la coda fornita di spine vele-

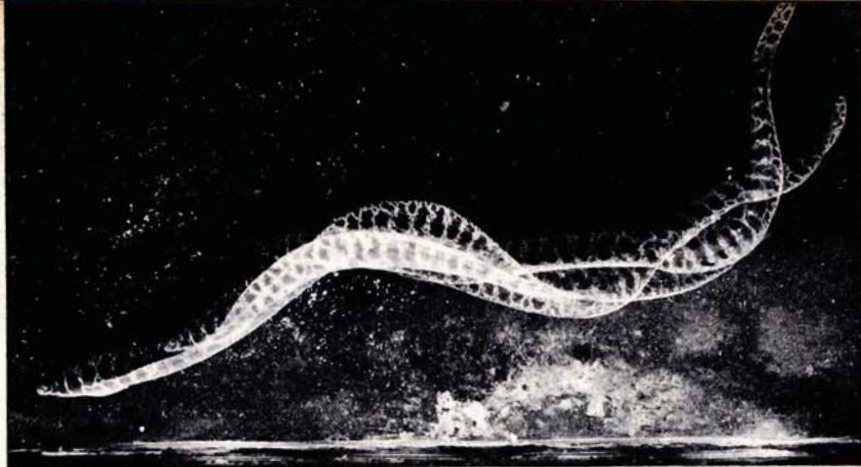
nose. Alcune anguille posseggono organi elettrici capaci di provocare una forte scossa. Le spugne hanno minuscole spicole che si conficcano nel corpo del nemico. Straordinaria è la tattica diversiva di certe oloturie che, nel momento dell'estremo pericolo, espellono i visceri e, dopo aver abbandonato i propri organi interni per distrarre l'avversario, ne sviluppano di nuovi.

Molte creature che vivono sulla sabbia, tra le posidonie o in mezzo alle alghe delle acque costiere, si proteggono prendendo le forme e i colori del proprio ambiente. In nessun altro caso la natura ci fornisce un esempio di mimetismo sviluppato in così alto grado come tra questi animali, che altrimenti sarebbero pressoché indifesi. I pesci piatti e i pesci degli scogli mutano di colore secondo lo sfondo sul quale si muovono. Taluni granchi ricoprono il proprio dorso e le zampe con pezzi di alghe. Il granchio eremita adorna di conchiglie la parte molle del suo corpo, la posteriore. Alcuni ricci marini si lasciano ricoprire dai gasteropodi fino a sembrare loro colonie. Infine vi è il caso di animali piccoli che, per stare al sicuro, s'attaccano ai più grandi: così la rémora s'incolla al corpo degli squali e i cirripedi si rifugiano sulla testa della balena.

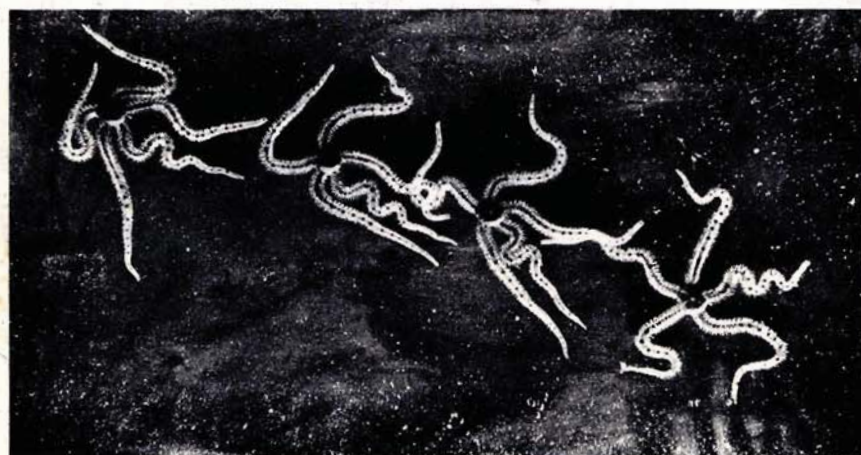


IL PESCE SEGA ha un corpo molto allungato e misura, di solito, sei o sette metri. La sua mascella forma un rostro piatto, molto sviluppato, lungo il quale si allineano due file di denti, il cui numero va da 25 a 29 per ciascuna fila.

Nonostante l'aspetto esteriore, il pesce sega non ha alcuna parentela stretta col pesce spada. Quest'ultimo infatti appartiene ai pesci ossei, mentre il primo è un pesce cartilagineo e vive nelle acque meno profonde dell'Atlantico e del Pacifico.



ONDULANDO tutto il suo corpo, com'è chiaramente visibile in quest'immagine fotografica ottenuta con ripetuti scatti dell'obiettivo, una murena avanza nell'acqua con movenze perfettamente analoghe a quelle dei serpenti sulla terraferma.



STRISCIANDO lentamente, com'è mostrato da questa sequenza fotografica, un'ofiura dei Caraibi si muove protendendo in avanti due braccia e spingendo con le altre tre. L'ofiura ha le braccia più fragili ma molto più nobili della stella di mare.



LA PROPULSIONE A GETTO caratterizza il polpo, il quale è provvisto di una spessa membrana che riempie d'acqua. Il liquido, espulso attraverso un orifizio, fornisce la forza di propulsione. Sul fondo, però, il polpo cammina con i tentacoli.



CAMMINANDO come un animale terrestre, il pipistrello di mare si serve delle pinne come se fossero zampe. Esse gli permettono di muoversi sul fondo dell'oceano. Quando nuota, il pipistrello di mare si dà la spinta nell'acqua con la coda.

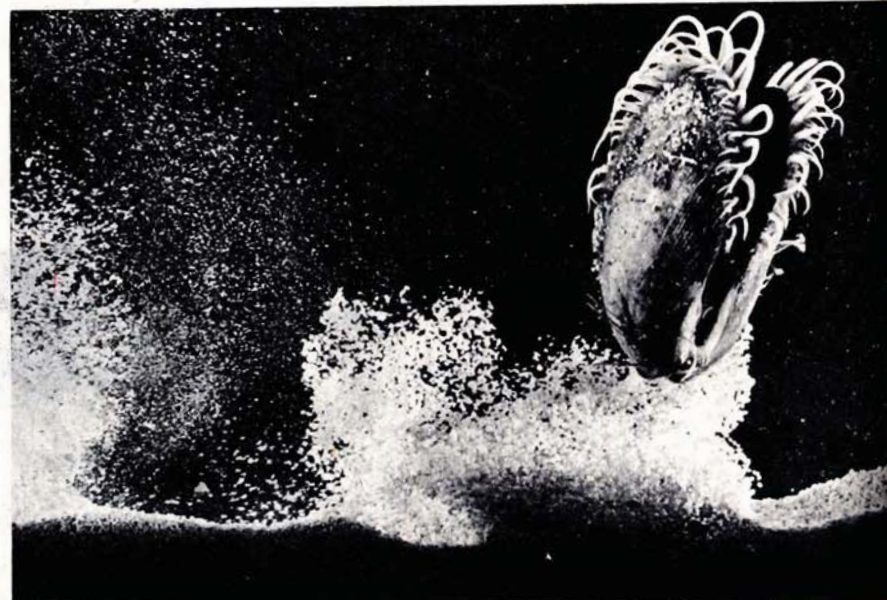
Sistemi di locomozione

A differenza degli animali terrestri, ai quali l'aria oppone soltanto una debole resistenza, le creature acquatiche sono costrette a consumare molte energie per aprirsi la strada nel mezzo in cui vivono. Perciò le popolazioni marine hanno sviluppato numerosi sistemi e tecniche di locomozione: sagome affusolate, propulsione a reazione e movimenti ritmici del corpo. Poiché la gravità specifica, ossia la densità dell'acqua, è praticamente la stessa dei suoi abitanti, per costoro il compito di stare a galla presenta difficoltà minime. Tuttavia neppure le creature marine più piccole sono completamente libere dal vincolo della gravità, tanto è vero che dopo la morte i gusci e le ossa di tutti gli organismi, compresi i protozoi unicellulari, affondano nel limo del fondo oceanico.

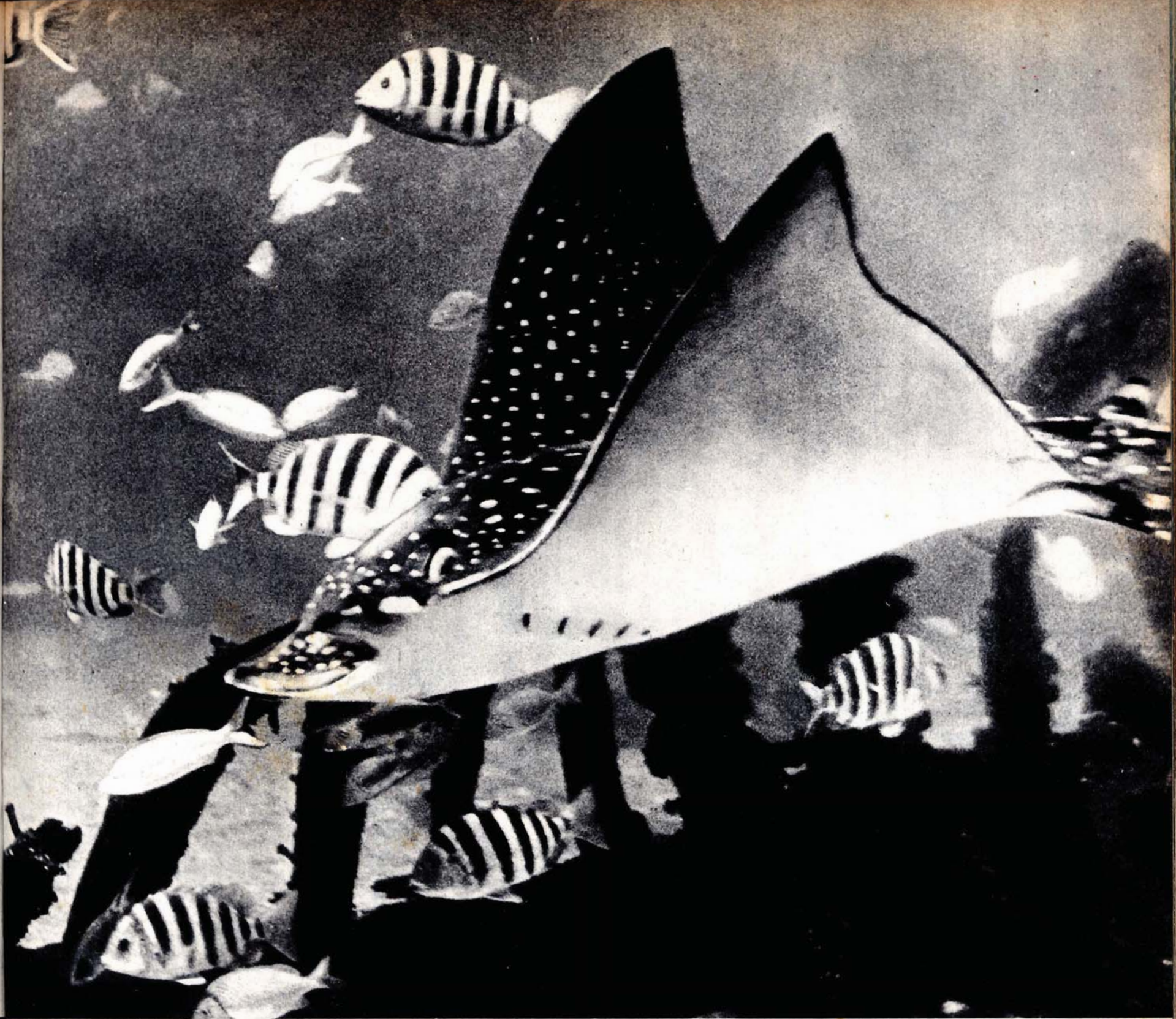
È questa la ragione per cui molti sono dotati di speciali mezzi per tenersi a galla. Numerosi pesci posseggono la vescica natatoria; altri hanno il corpo provvisto di numerose vescicole piene d'olio; altri ancora sono avvolti in strati molto spessi di grasso. Naturalmente non tutte le creature del mare sono pesci e non tutte nuotano. Le forme planctoniche si muovono con estrema lentezza e, per la maggior parte, si lasciano portare alla deriva dalle correnti, servendosi di vari accorgimenti per tenersi a galla: lunghe antenne ramosi o appendici laterali. Gli abitanti del fondo sono in maggioranza ambulanti (come i granchi e le aragoste che si trascinano sulle zampe articolate e come i gasteropodi e gli anemoni che strisciano su soles mucose) o sedentari (come le ostriche, le spugne, i cirri-pedi e i coralli che si limitano ad ancorarsi al fondo oceanico). Nuotatori nel senso pieno della parola sono i pesci e i mammiferi marini: balene, delfini e foche.

Contrariamente all'opinione corrente, la maggior parte dei pesci non nuota con le pinne laterali o dorsali. Per essere più precisi, le pinne funzionano non tanto da mezzi di propulsione quanto da stabilizzatori, da alettoni, da timoni e da freni. La spinta principale è data dal movimento del corpo, cui s'aggiunge l'impulso che viene dalla coda o dall'acqua espulsa dalle branchie. I movimenti vanno dall'ondeggiare estremamente accentuato dell'anguilla alla limitata attività del pesce cofano, che è corazzato e riesce a muovere soltanto le pinne sottili e la coda. In genere, però, i movimenti del corpo avvengono entro questi limiti: vi è un fulcro, posto di solito alla base del cranio, che procede dritto in avanti mentre i segmenti anteriori e posteriori del corpo oscillano. Probabilmente i pesci si lasciano guidare, nella navigazione, in parte dalla vista, in parte dall'udito, in parte dal tatto e in parte dall'odorato. Sebbene non abbiano orecchie esterne, il loro udito è molto sviluppato e funziona mediante una fila di cellule «riceventi» poste ai lati del corpo e collegate con l'orecchio interno e con il cervello. Per tenersi in equilibrio si servono di piccoli organi chiamati statocisti. Si tratta di cavità, tappezzate da peli sensori, dove sono contenute minute concrezioni ossee o granelli di sabbia, mediante i quali l'animale può stabilire, anche quando si trova nelle tenebre più profonde degli abissi, se è in posizione verticale o orizzontale.

Un mistero della biologia marina è come si comportano i pesci per riposare: essi non hanno palpebre e, come gli aeroplani, debbono tenersi in movimento per non precipitare. Alcuni pesci piatti del benthos e particolarmente le passere, le sogliole e le razze se ne stanno spesso distesi sul limo o sulla sabbia del fondo. Altri, durante la notte, si incuneano nelle fessure. I piccoli animali pelagici sembrano starsene stesi, talvolta, tra le alghe alla deriva. Ma per quanto riguarda i nuotatori delle acque aperte non è possibile dire come si regolano per dormire: anzi, non è nemmeno possibile dire se effettivamente dormano.

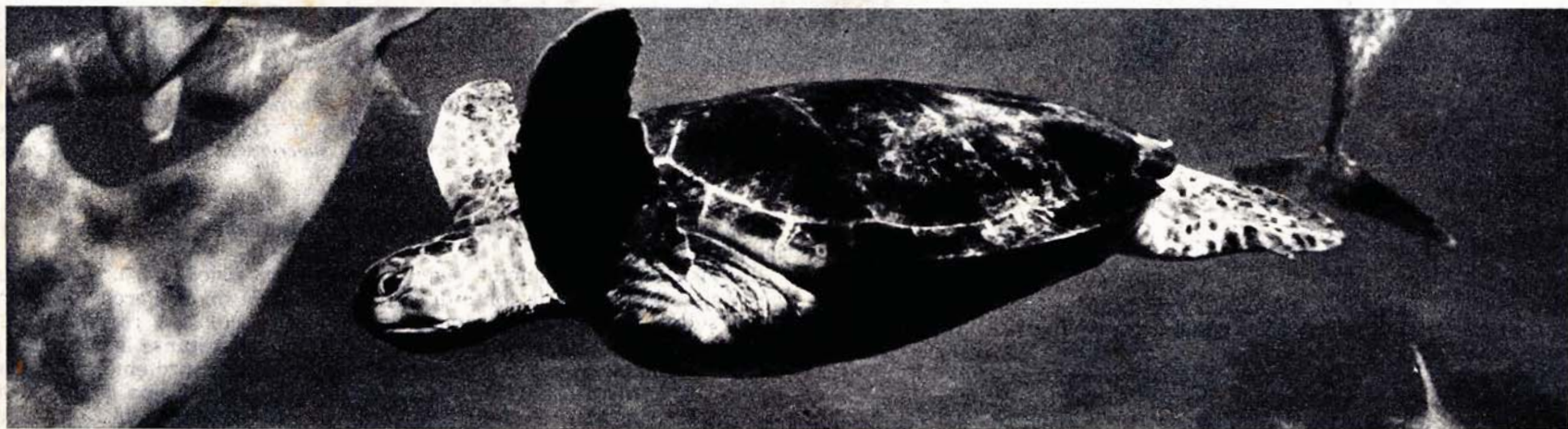


SALTANDO e battendo le due conchiglie come nacchere, il pettine sfugge ai suoi nemici. Ad ogni salto solleva una nuvola di fango. I pellegrini, per la festa di San Giacomo, si ornavano con le sue valve: di qui il nome di conchiglia dei pellegrini.



UNA RAZZA AQUILA sembra volare nell'acqua, gettando lo scompiglio in un gruppo di piccoli pesci che, per le strisce verticali che li distinguono, vengono chiamati "sergenti maggiori". La razza aquila è un'abitatrice del

fondo e si serve delle sue "ali" per smuovere la sabbia alla ricerca di molluschi. In una sola notte può scavare una fossa larga quanto la sua apertura d'ali (un metro e mezzo), lunga sette metri e profonda mezzo metro.



UNA TESTUGGINE VERDE si muove nell'acqua servendosi delle pinne anteriori per mantenere l'equilibrio, mentre le posteriori fanno da propulsori e da timone. Quando si trova sulla terraferma, la testuggine verde arranca

senza grazia sulle spiagge dell'Atlantico, dove si reca periodicamente a deporre le uova. La tribù delle testuggini risale all'era Mesozoica ed è sopravvissuta ai grandi rettili che popolarono per millenni le acque e le terre.



IL PLANCTON è l'insieme degli organismi vegetali e animali che galleggiano nelle acque, incapaci di movimenti attivi. Alcuni esemplari sono qui raffigurati senza rispettare le loro reali dimensioni, il più delle volte microscopiche. Nella

pagina a sinistra: Una farfalla di mare (al centro in alto); due pantopodi (nell'angolo destro superiore e in terza fila, verso il centro); un verme marino con i sacchi d'uova (seconda fila, verso l'angolo superiore sinistro); un dinoflagellato

I pascoli del mare

Fra gli esseri che popolano il mare, i più diffusi e importanti sono gli aggregati di cose viventi cui si dà il nome di « plancton ». Diffuso in tutti gli oceani della Terra, il plancton è una comunità galleggiante di piante e di animali concentrati nelle acque della superficie. In maggioranza essi sono di dimensioni minuscole, persino microscopiche, ma comprendono anche forme leggermente più grandi, animaletti che si cibano di organismi unicellulari e trascorrono nelle acque aperte l'intera loro esistenza, abbandonati alle correnti oceaniche che li portano alla deriva. Il plancton si distingue dalle altre forme di vita marine perché i suoi componenti posseggono una forza di locomozione troppo debole per poter lottare contro

il corso delle correnti. Il loro nome viene dalla parola greca *planktos* che significa « vagante ».

L'importanza del plancton per la vita oceanica risiede nel fatto che esso costituisce la principale fonte di cibo esistente nel mare. Perché nel mare, come sulla terra, il regno animale dipende, per il cibo, dal regno vegetale. Le piante hanno la capacità di convertire semplici sostanze inorganiche in composti complessi come gli zuccheri, gli amidi e le proteine, che forniscono agli animali il nutrimento e le energie. Così, in ultima analisi, tutta la vita marina dipende dalle diatomee, microscopiche piante unicellulari che costituiscono i sei decimi del materiale planctonico.

In aggiunta alle diatomee, il plancton include un numero inimmaginabile di protozoi: animali unicellulari come i radiolari e i foraminiferi, i cui gusci microscopici formano il limo che ricopre vaste distese del fondo ocea-



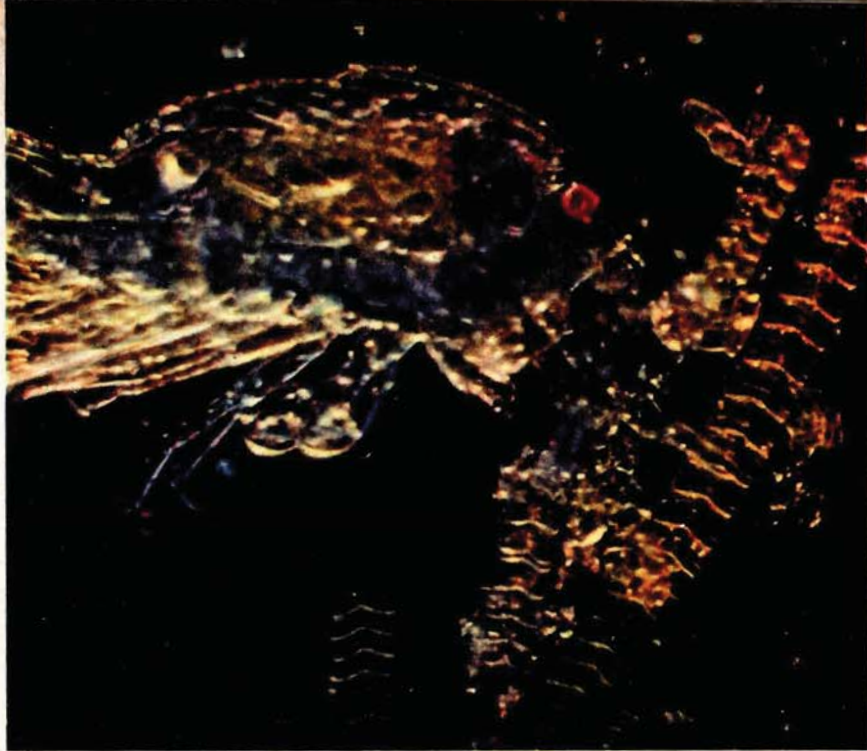
(a forma di piccone, in basso); un copepodo (sopra il dinoflagellato); un miside a forma di gamberetto (a destra del copepodo). Nella pagina a destra: Larve di pesci (in prima fila, al centro, e a sinistra nella zona centrale); un verme con

tentacoli (nell'angolo destro superiore); una larva d'aragosta (accanto al verme); una larva di riccio marino (a forma di pinza, sotto la larva di pesce); una diatomea (il bastoncino giallognolo nella parte centrale, spostato verso destra).

nico; e i dinoflagellati, estremamente prolifici, che sono in parte piante e in parte animali e i cui corpi trasparenti costituiscono la sorgente principale della suggestiva luminescenza che presentano durante la notte i mari tropicali. A queste forme, abbandonate alle correnti senza tregua, se ne affiancano innumerevoli altre: minuscoli artropodi, come i copepodi e i misidi; larve di ricci marini, di gasteropodi e d'aragoste; vermi e « ragni » marini; molte specie di pesci nei primi stadi di sviluppo e alcune forme galleggianti di dimensioni maggiori come le meduse e il vascello portoghese. Nel loro insieme, questi rappresentanti di migliaia di specie di creature acquatiche costituiscono il mondo del plancton.

Sebbene il plancton non includa le forme adulte dei pesci che nuotano liberamente, alcuni suoi componenti hanno la capacità di effettuare spostamenti entro certi limiti. Ogni giorno all'alba le creature planctoniche

discendono per sottrarsi alla luce del giorno; ogni sera al crepuscolo risalgono alla superficie. La loro quotidiana migrazione verticale è probabilmente all'origine di un mistero dell'oceanografia: si tratta degli strati di oggetti solidi non identificati che riflettono gli echi dei suoni a una profondità che varia tra i 100 e i 500 metri. Secondo alcuni scienziati il fenomeno va attribuito interamente alle creature del plancton; altri invece pensano che lo si possa spiegare con le fitte schiere di gamberi, cefalopodi e pesci di maggiori dimensioni che s'attardano a pascolare su di esse. Nei luoghi dove fioriscono i lussureggianti pascoli del plancton abbondano tutte le forme della vita marina. Infatti il plancton è la fabbrica marina del cibo, si trova all'inizio dell'interminabile ciclo nutritivo che alimenta tutte le creature delle acque aperte, dalle piccole sardine ed aringhe ai titani dell'oceano, le balene.



IL COPEPODO MANGIA LE DIATOMEES e dà inizio all'interminabile ciclo del cibo che si svolge nelle acque dei mari. I copepodi sono grandi, di solito, come una capocchia di spillo. Le diatomee, invece, sono creature microscopiche.

La lotta per il cibo

Ad eccezione dei minuscoli animali che pascolano diatomee nelle immense comunità del plancton, tutte le creature che nuotano nelle acque aperte vivono cibandosi degli animali più piccoli e a loro volta servono da cibo ad animali più grandi di loro. È stato calcolato che ci vogliono 10 chili di cibo per fare un chilo dell'animale che lo mangia. Ad esempio, ci vorrebbero 10.000 chili di diatomee per fare 1000 chili di copepodi, che a loro volta farebbero 100 chili di aringhe, dalle quali si ricaverebbero 10 chili di sgombri, che darebbero un chilo di tonno, che a sua volta farebbe un etto di uomo. Il mare aperto non offre ripostigli né nascondigli per il cibo, che perciò deve essere catturato e consumato vivo. Di conseguenza le popolazioni dell'oceano fanno parte di una catena interminabile dove ci si insegue, ci si divora, si lotta. Ogni creatura che vive nel mare è al tempo stesso cacciatore e preda, mangiatore e cibo. E quando un animale muore o viene dilaniato, i suoi resti cadono sul fondo dove vengono consumati da animali che si nutrono di carogne o decomposti dall'azione dei batteri. Allora si trasformano in detrito che fornisce alimento ad altri animali o diventa, trasportato a galla da correnti ascendenti, un fertilizzante per le diatomee della superficie. Così il ciclo del cibo marino si rinnova continuamente.



L'ARINGA MANGIA I COPEPODI, consumandone enormi quantità, specialmente nel periodo iniziale del loro sviluppo. Un esame dello stomaco di un'aringa ha permesso di accertarvi la presenza di 60.895 copepodi. Insieme con le sar-

dine, le aringhe costituiscono il gruppo di pesci più importante, dal punto di vista dell'alimentazione, sia per l'uomo che per gli altri animali marini. Enormi quantità ne vengono pescate nell'Atlantico, nel Baltico e nel Mare del Nord.



IL CALAMARO MANGIA L'ARINGA dopo averla ghermita con i suoi tentacoli. Le dimensioni dei calamari variano dai due o tre centimetri sino ai quindici metri e più. Sono predatori e si cibano di pesci, di crostacei e di altri

molluschi. Dopo aver afferrato la vittima con i tentacoli, la spingono verso la bocca, che è provvista di un becco corneo, simile a quello del pappagallo. Tenendo sempre ferma la preda, la mordono staccandone grossi bocconi che inghiottiscono.



IL BRANZINO MANGIA IL CALAMARO, che ha divorato l'aringa, la quale ha inghiottito il copepodo, che si è cibato di diatomee. Si arriva così alla penultima fase di questo particolare ciclo del cibo. L'ultima fase potrebbe essere

rappresentata dall'intervento dell'uomo, che cattura e mangia il branzino. Oppure il branzino potrebbe sfuggire ai predatori e morire per altre cause: allora precipiterebbe sul fondo, in pasto agli animali che si nutrono di carogne.

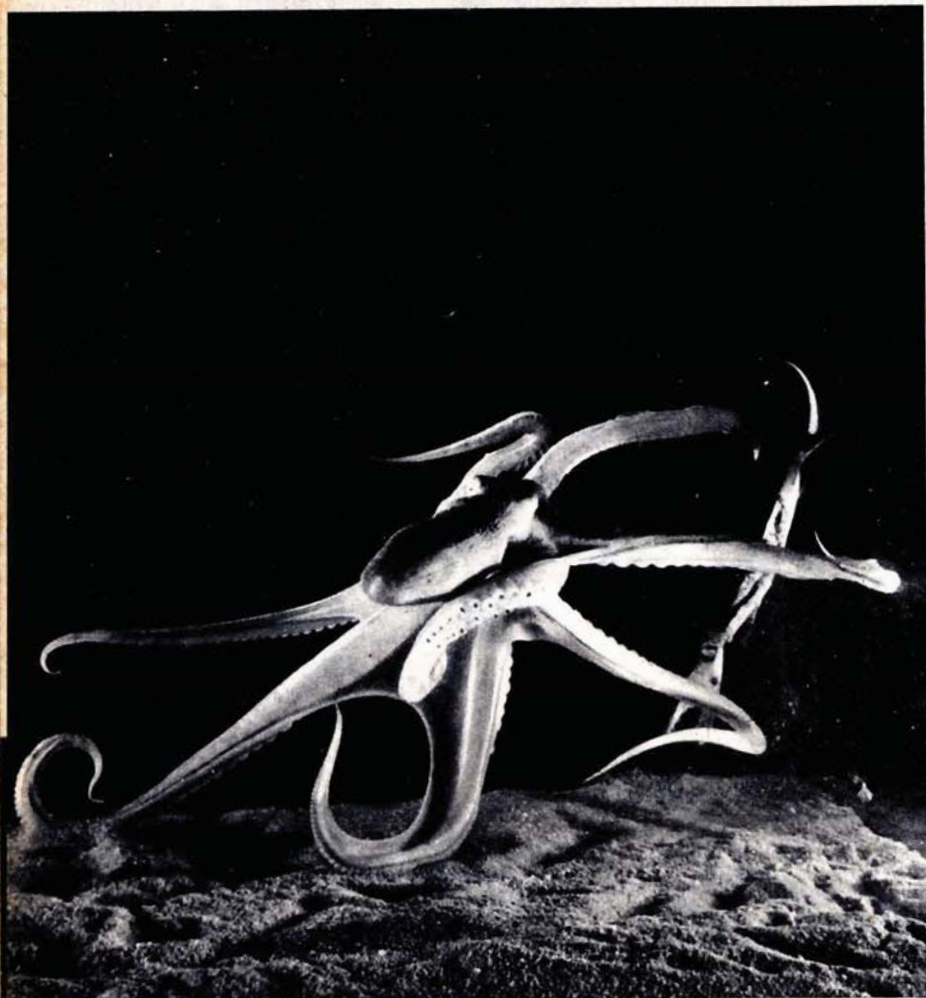
Vita e morte nel mare

Il mare è al tempo stesso una culla immensa e un cimitero; è un vivaio nel quale innumerevoli schiere di creature visibili e invisibili procreano e vivono, ma è anche un campo di battaglia dove le possibilità di sfuggire a una morte violenta sono soltanto una su dieci milioni. Durante la fase di transizione dall'uovo all'individuo adulto ogni creatura è esposta all'insidia di nemici sempre più grandi. È una caccia che non ha mai fine.

Quelli che riescono a non farsi mangiare possono cadere vittime dell'inedia, dei parassiti che invadono i loro organi interni o delle immani catastrofi prodotte dalle tempeste, dalle deviazioni improvvise delle correnti o dai mutamenti che si verificano nella temperatura o nella composizione dell'acqua marina. Le « maree rosse », originate da una moltiplicazione esplosiva di dinoflagellati, che consumano forti quantità di ossigeno ed emettono sostanze tossiche in misura considerevole, di tanto in tanto distruggono popolazioni di pesci su scala prodigiosa.

Il mare fa spreco di esseri viventi, ma è anche prodigo nella prima fase della loro esistenza. Il ritmo col quale si riproducono le creature marine appare stupefacente all'uomo, che ha bisogno di un lungo periodo per generare. Se da ogni uovo di merluzzo deposto nel mare arrivasse a svilupparsi completamente una creatura adulta, in sei anni l'oceano Atlantico sarebbe ingorgato di merluzzi. La femmina del merluzzo può deporre cinque milioni di uova in una volta, l'ostrica 11 milioni, il pesce mola 300 milioni. La lepre marina depone le uova a un ritmo di 41.000 al minuto e in una sola stagione ne produce forse 500 milioni. Se ogni uovo giungesse a maturazione, riproducendosi poi per quattro generazioni, ne risulterebbe una massa di lepri marine tale da occupare uno spazio quasi sei volte maggiore del volume del pianeta Terra.

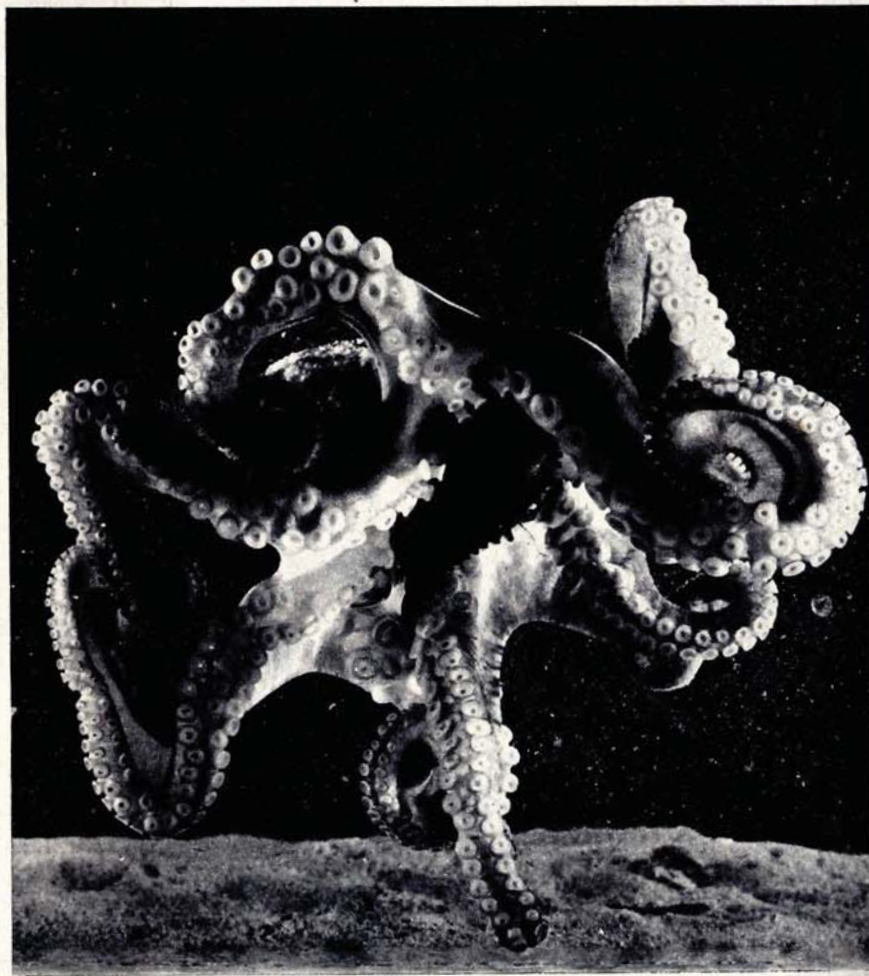
La vita marina, tuttavia, è regolata da esigenze che fanno apparire come un miracolo non tanto quest'abbondanza di uova quanto il fatto che alcune riescano a sopravvivere. Solo poche creature del mare si prendono cura delle loro uova e della prole. È il caso, ad esempio, del polpo, la cui femmina cova il proprio grappolo di uova preoccupandosi di carezzarle, mentre con i tentacoli agita le acque per assicurare la necessaria circolazione. Di solito però le uova vengono scaricate a caso nelle acque e vanno alla deriva con le correnti oppure scendono verso il fondo, giocando così le loro probabilità di sfuggire agli innumerevoli predatori voraci, compresi i loro stessi genitori, che sono pronti a divorarli. Tuttavia i meccanismi della natura sono calcolati con tanta perfezione che, per fare un esempio, è sufficiente una sopravvivenza media di un solo uovo d'ostrica su mezzo



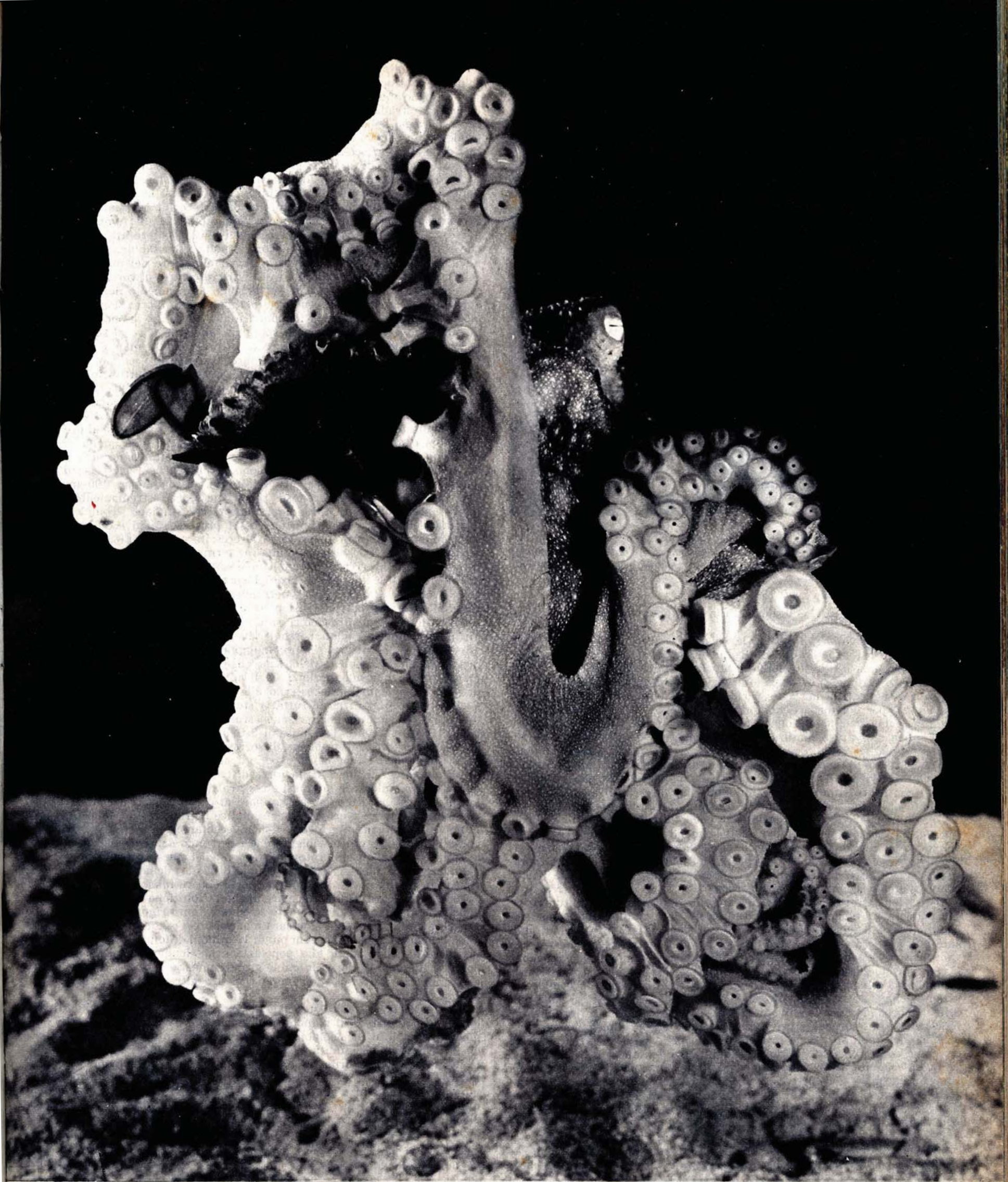
L'INSEGUIMENTO ha inizio: un polpo del diametro di un metro ha avvistato la sua preda preferita, il granchio azzurro, che cerca di sfuggire al nemico nascondendosi tra la sabbia. Ma il polpo sommuoverà il fondo fino a scovarlo.



CATTURATO, costretto ad uscire dalla sua tana, il granchio azzurro è senza speranza, non ha alcuna possibilità di sfuggire alla stretta dell'avversario che lo afferra con i tentacoli e s'accinge a gustare il frutto della fortunata caccia.

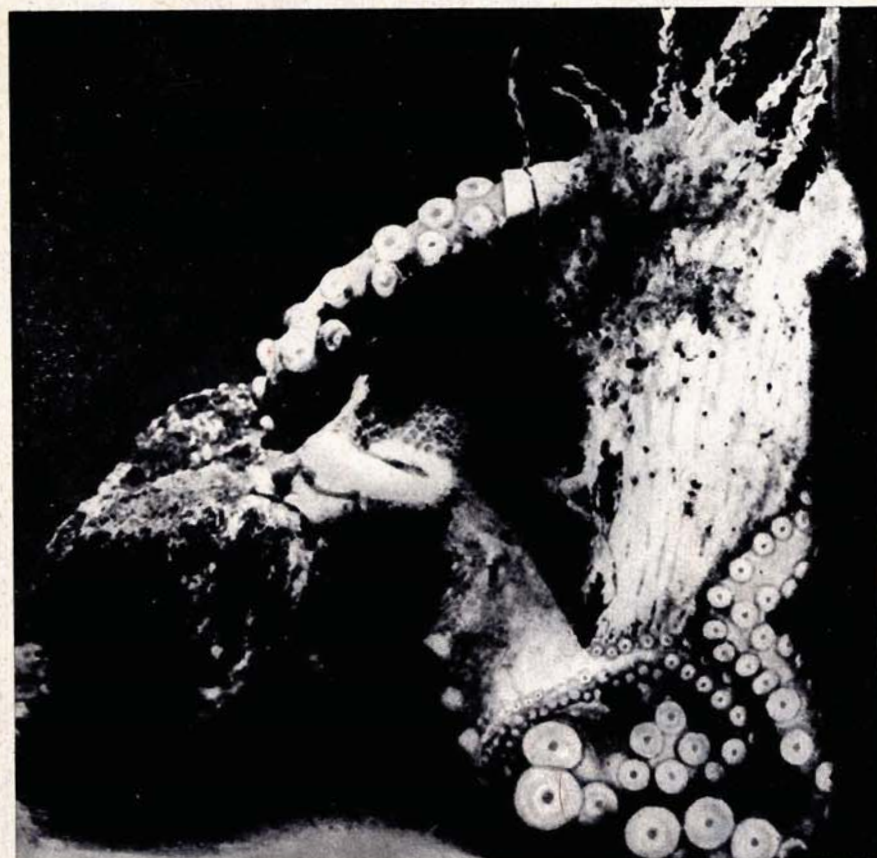


INCAPACE di qualsiasi resistenza, il granchio viene tratto inesorabilmente dai tentacoli verso la bocca del polpo, il cui becco potrebbe facilmente schiacciare il guscio della vittima. Ma esso preferisce succhiarsene a poco a poco la carne.



IL PASTO DEL POLPO dura un paio d'ore: è questo il tempo che esso impiega per "gustare", nel vero senso della parola, la carne del granchio. Mentre le ventose tengono ferma la preda, la bocca ne succhia la carne, ne esplora ogni

minima giuntura, finché rimane solo il guscio completamente svuotato. I polpi hanno otto tentacoli, mentre i calamari, loro affini, ne hanno dieci. Le dimensioni variano dai tre o quattro centimetri di diametro fin quasi a un metro e mezzo.



LA FEMMINA DEL POLPO ammassa pietre intorno a sé per costruire il "nido". Le uova che ha deposte sono visibili nell'angolo destro, simili a piccoli grappoli d'uva che la madre di tanto in tanto accarezza con le ventose dei tentacoli.

miliardo per mantenere l'equilibrio tra la sovrappopolazione e l'estinzione della specie.

Quando dall'uovo si sviluppa la larva non ha termine il rischio e non diminuiscono le prospettive di annientamento cui va incontro l'individuo. Per esempio, una specie di mollusco bivalve depone uova che, un giorno dopo la fecondazione, si sviluppano in larve capaci di nuotare liberamente. Nei giorni seguenti la larva, se è riuscita a non farsi divorare, cresce e si sviluppa, per poi tornare sul fondo dell'oceano: se le correnti l'hanno sospinta in una zona non affollata, essa può scavare nel limo o nella sabbia e qui infine arrivare a maturazione e divenire un bivalve adulto. Se invece capita su un banco di parenti, dove si trovi raggruppata fittamente una popolazione più anziana (in pochi centimetri quadrati possono esserci parecchi bivalvi adulti, tutti affacciati a pompare acqua marina dentro e fuori con i loro sifoni a due canne) può capitare che il neonato venga succhiato dai sifoni di un parente e consumato cannibalisticamente.

Lo sviluppo delle creature marine dall'uovo all'individuo adulto richiede, a volte, parecchi anni durante i quali vengono percorsi molti chilometri dal luogo di nascita alla residenza finale. Molti animali, sia vertebrati che invertebrati, utilizzano le correnti per diffondere e espandere la propria specie lungo vaste distese marine. Ci sono creature che, durante il loro primo sviluppo, coprono enormi distanze e forse la più grande fra tutte le migrazioni istintive è quella dell'anguilla europea. Ogni autunno, rispondendo a un misterioso impulso interiore, le anguille adulte abbandonano le acque dolci nelle quali vivono e discendono al mare. Quindi, guidate non si sa come, attraverso quasi 5000 chilometri dell'Atlantico, trovano la strada per raggiungere le profondità del Mar dei Sargassi dove si riproducono e muoiono. Dalle uova deposte e fecondate nascono le larve d'anguille che intraprendono il viaggio di ritorno seguendo la grande rotazione della Corrente del Golfo, che come è noto segue il senso delle lancette dell'orologio. Così le giovani anguille si dirigono verso il Nord e verso l'Est della costa europea e per il loro grande viaggio impiegano tre anni, alla fine dei quali si compie la metamorfosi delle larve in cieche. Queste risalgono contro corrente i fiumi e i laghi, dove lentamente si sviluppano in anguille adulte. Circa dieci anni dopo, raggiunta la maturità sessuale, ritornano al mare e si dirigono verso il remoto Mar dei Sargassi per depositarvi le proprie uova, fecondarle e morire. Anche le anguille americane si recano, per riprodursi, in queste stesse lontane distese marine. Però il loro viaggio di ritorno è più corto, poiché la rotazione della Corrente del Golfo riconduce le larve alla costa americana in circa sei mesi. Esse si trasformano in cieche nel periodo di tempo necessario per raggiungere le foci dei loro fiumi originari: pertanto si avvalgono di un più rapido pro-

cesso di crescita e di sviluppo e al momento in cui raggiungono le acque dolci del continente americano sono già pronte per la vita adulta.

Non meno misteriosa dell'abilità che posseggono le anguille di trovare la propria strada attraverso le distese oceaniche è la sensibilità di altri pesci al ritmo delle maree. Il successo delle uova che essi depositano dipende da un calcolo scrupoloso e preciso delle fasi della Luna e dell'avanzata delle maree. Poco dopo ogni Luna piena ed ogni Luna nuova, tra marzo e agosto, schiere di argentei grunioni appaiono tra i marosi al largo delle spiagge californiane. Non appena la marea quindicinale ha raggiunto il punto massimo e comincia a defluire, i grunioni si lasciano trascinare a riva dalle onde ingrossate. Illuminati dalla luce lunare, s'attardano brevemente a rimestare la sabbia umida, quanto basta alla femmina per deporre le uova e al maschio per fecondarle. Quindi approfittano di un'onda che si ritira e fuggono. Dietro di loro, sepolta nella sabbia, la massa delle uova fecondate si trova al sicuro: il martellamento dei marosi non può raggiungerla perché la marea è in fase decrescente e ci vorranno all'incirca due settimane prima che si verifichi un allineamento della Terra, del Sole e della Luna tale da produrre una nuova alta marea. Per quattordici giorni la sabbia calda fa da incubatrice alle uova. Poi le onde si gonfiano di nuovo ed arrivano alte sulla spiaggia; allora le uova si schiudono e i pesciolini appena nati s'abbandonano in braccio alla marea che, al momento di ritirarsi, li porta verso il mare. Bisogna dire, perciò, che la vita marina si serve non solo di particolari sistemi riproduttivi ma anche di uno scrupoloso adattamento all'ambiente per fronteggiare l'incessante, spietata, distruttiva guerra di una specie contro l'altra. C'è anche un altro filo a completare l'arazzo della vita marina. È la longevità. Nessuno sa dire quanto tempo possa vivere un pesce che riesca a sfuggire ai predatori, all'inedia o alle malattie. Ma l'età di alcuni pesci, come quella degli alberi, può essere letta attraverso certi cerchi che si formano nelle squame ed aumentano anno per anno. Ci sono le prove che certi pesci d'acqua dolce come la carpa, il pesce gatto e il luccio, possono vivere 100 anni. Sull'età dei pesci oceanici si conosce poco. Una teoria estremamente affascinante è stata affacciata dai biologi moderni che studiano i complessi meccanismi della vita: essa suppone che il processo di invecchiamento sia strettamente connesso col processo di crescita e abbia inizio soltanto nel momento in cui lo sviluppo giunge al termine. Nel caso dell'uomo e di tutti gli animali terrestri, l'organismo è sottoposto a un periodo di crescita definito, durante il quale il protoplasma, cioè la sostanza vivente delle cellule, continua a dividersi e non invecchia. Non appena, però, vengono raggiunte determinate dimensioni la crescita ha fine ed ha inizio il processo di deterioramento, cioè si comincia a invecchiare. Sebbene non si applichi agli alberi, i quali possono vivere migliaia di anni accrescendosi esternamente in misura sempre maggiore finché non cadono vittime di una malattia, del fuoco o della siccità dell'uomo, questa teoria è probabilmente vera per la maggioranza degli animali terrestri, poiché la forza di gravità impone un limite esterno alle dimensioni dei corpi mobili. Solo poche creature terrestri, in tutta la storia animale, hanno superato le dimensioni dell'elefante ed ora sono estinte. Eppure, in confronto alla balena di 140 tonnellate, l'elefante di 5 tonnellate è un nano. Il fatto è che nel mare non esiste il problema di sorreggere il proprio peso.

Alcuni biologi ritengono che per gli animali acquatici, i quali vivono in un mezzo che li libera dalla forza distruttiva della gravità, la crescita, anche se può rallentare fin quasi a cessare, non finisce mai completamente. Perciò, fin quando riescono a scampare ai pericoli insiti nel mare, i pesci possono continuare a crescere per semplice ingrossamento anno per anno. E finché continuano a crescere, non invecchiano. Per loro non esiste vecchiaia, ma solo la morte violenta che nel mondo delle acque è in agguato in ogni luogo. Da questo profondo paradosso del mare è probabile che emergano un giorno nuove risposte ai reconditi misteri della vita e della morte: perché fu nel mare che la vita e la morte ebbero inizio.

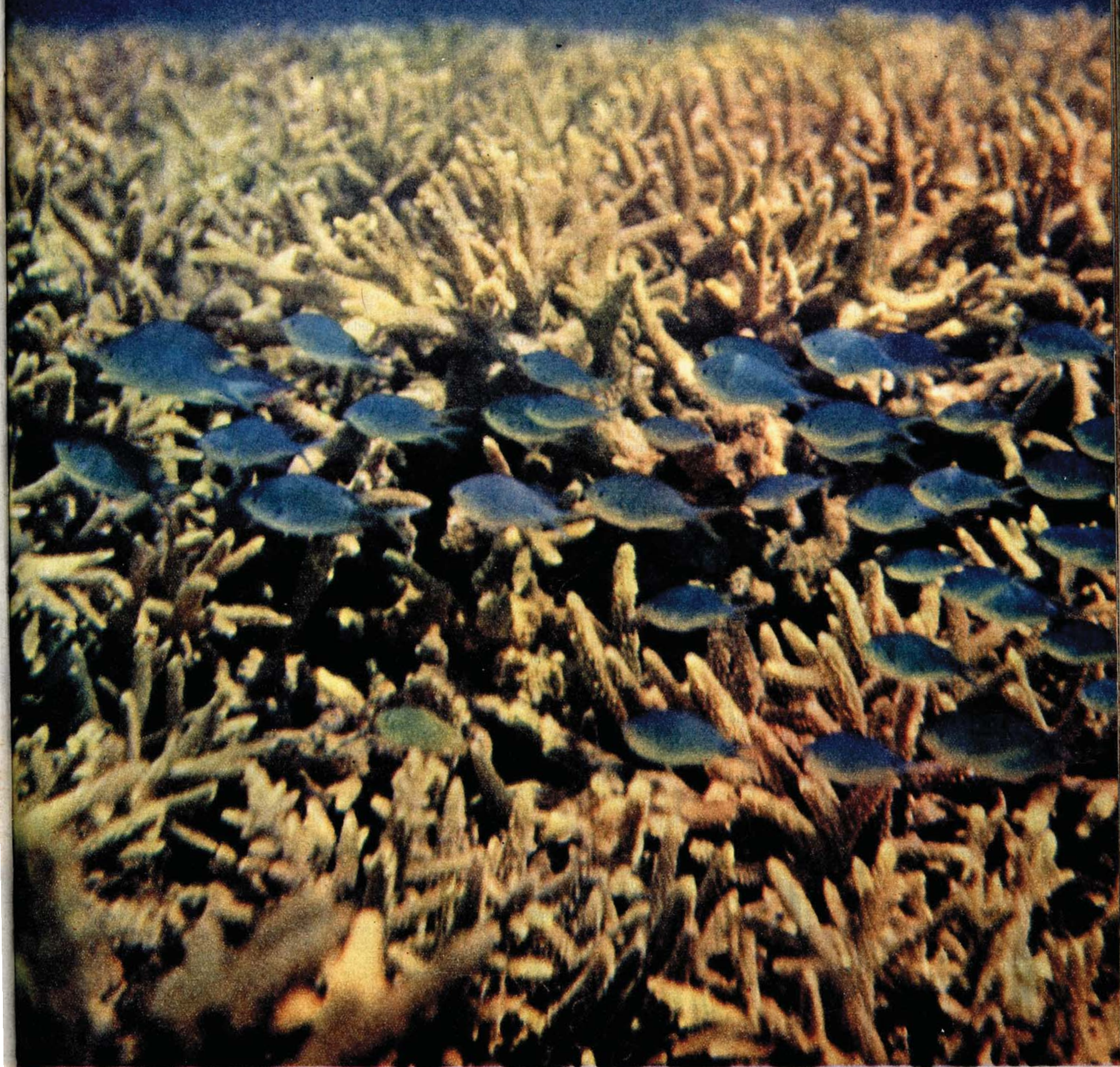
Un giorno potrà venire dal mare anche la soluzione all'eterno problema dell'alimentazione umana. La vita marina è tanto rigogliosa che, secondo il parere di alcuni biologi, non sarà mai possibile esaurirne le risorse. Ogni anno l'uomo sottrae agli oceani più di 19 milioni di tonnellate di pesci senza produrre danni sensibili alla popolazione di alcuna specie. Ma se anche dovesse giungere il giorno in cui le grandi dinastie dei pesci cominciassero a scomparire, dal mare potremmo ricavare altre enormi ricchezze, non ancora toccate.

La più grande risorsa potenziale di cibo che esista al mondo è costituita dalle feconde distese di plancton che fioriscono da una parte all'altra del globo con la loro incalcolabile moltitudine di creature viventi. Le alghe che alimentano le comunità planctoniche, le più prolifiche fra tutte le piante della Terra, un giorno forse metteranno al servizio dell'uomo il nutrimento che contengono. Le innumerevoli schiere di crostacei, di pesci minuscoli, d'organismi d'ogni genere che pascolano su di esse, rappresentano un raccolto futuro quasi inesauribile. Così, alla fine, l'uomo in cerca di cibo potrà rivolgersi ancora una volta alla sua dimora originaria. Allora acquisterà un nuovo significato la definizione del drammaturgo elisabettiano Tommaso Dekker: « Quel grande vivaio, il mare ».

(8 - Continua)

Lincoln Barnett

La barriera di corallo



LE ACROPORE sono madrepore dalla caratteristica forma a corna di cervo. Estremamente prolifiche e di bellissimo aspetto, vanno annoverate tra i principali elementi che costituiscono la Grande Barriera corallina d'Australia. Hanno una

struttura poco resistente, per cui sono soggette di tanto in tanto a distruzioni in massa causate dalle tempeste tropicali. Qui vediamo una frotta di pesci-donzelle attraversare il bellissimo paesaggio sottomarino fiorito di acropore.

I palazzi sottomarini

L'immensa, meravigliosa sfera che trascina l'uomo attraverso i sentieri illimitati dello spazio, è ricca di edifici naturali: catene montane erette dal parossismo della crosta planetaria, vallate incise dalle acque correnti e dallo strisciare dei ghiacciai, abissi oceanici aperti dalle forze sconosciute che agiscono nel cuore infuocato della Terra. I lettori che hanno seguito finora la nostra esposizione conoscono l'origine e le caratteristiche delle grandi strutture che danno forma all'ambiente dell'uomo. Tuttavia il profilo terrestre non si esaurisce nell'alternarsi di rocce e acque che scorgiamo nel paesaggio intorno a noi. La Terra abbraccia regioni dall'aspetto tutto particolare: pianure dominate dal vento, deserti aridi, foreste lussureggianti. Ma nessuna sfera d'esistenza è più meravigliosa, più suggestiva, della scogliera di corallo, modellata non da cieche forze fisiche ma da creature viventi che, sebbene minuscole e di forme primitive, sono le costruttrici principali degli edifici che adornano il mare.

Già nel tempo in cui i primi esploratori europei s'avventurarono nei mari tropicali, il mondo occidentale aveva cominciato a farsi una vaga immagine delle fantasmagoriche isole di corallo che, lambite dai marosi e verdeggianti di palme, si ergevano in mezzo all'azzurra desolazione dell'oceano. A poco a poco, con il passare dei secoli, l'immagine prese una forma più distinta. Si conobbero nuovi particolari; si venne a conoscenza di isole a forma di collana in mezzo alle quali, incastonata come una pietra preziosa, brillava una laguna e si sentì parlare di spiagge ad arco dalle sabbie multicolori. Sotto il raso delle acque illuminate dal Sole fu scoperto un mondo favoloso di creature viventi, le più prolifiche, le più variopinte che l'uomo abbia mai conosciuto: un regno magico di animali simili a fiori, di bivalvi giganteschi e di pesci dalle squame iridescenti, d'oro, d'argento, di rubino, di smeraldo, splendeva tra i boschetti e le grotte dei giardini di corallo.

La natura del corallo, tuttavia, è rimasta un mistero fino al secolo scorso. Oggi è risaputo che la sostanza chiamata corallo è formata dagli scheletri di innumerevoli piccoli animali marini che, fiorendo nelle calde acque tropicali, hanno creato migliaia di scogliere, di atolli, di isole. Uno dei più grandi edifici che esistano sulla faccia della Terra, la Grande Barriera corallina d'Australia, è opera di queste minuscole creature. Non è possibile sapere con precisione la quantità di corallo esistente sulla Terra, ma è certo che esso s'affianca alle sostanze minerali della superficie del pianeta come uno dei principali ingredienti architettonici del mondo in cui vive l'uomo.

Per il loro aspetto esteriore, che li fa somigliare ad alberi con numerose ramificazioni, con foglie e grappoli di vari colori, i coralli sono stati scambiati a lungo per piante. In realtà sono membri del grande *philum* del regno animale, cui si dà il nome di Celerati, che comprende le meduse, gli anemoni marini e gli idrozoi. Il corallo è un polipo che ha la forma di un minuscolo cilindro carnoso, diviso internamente da numerosi setti a disposizione raggiata. In cima ha una bocca circondata da piccoli tentacoli, simili alle barbe di una penna: essa serve tanto a far entrare il cibo quanto ad espellere le escrezioni e le cellule germinali. L'altra estremità è un peduncolo a forma di disco ancorato a un calice calcareo, che a sua volta poggia su un oggetto solido, rappresentato generalmente dagli scheletri di coralli morti. Questi polipi sono carnivori e si cibano di animali planctonici: pesci appena nati, piccoli crostacei, vermi, che catturano e paralizzano con i loro tentacoli urticanti. Ad eccezione di un breve stadio larvale, durante il quale nuotano liberamente, i coralli con-

ducono una vita completamente sedentaria. Non appena si fissano, cominciano a secernere calcare e in breve tempo si circondano di una corazza a forma di calice entro la quale si ritirano per proteggersi. Alcuni coralli sono solitari, ma i più (e in particolare i costruttori di scogliere) sono creature coloniali e, a seconda dei vari modi in cui i singoli individui sono uniti, ne deriva una straordinaria varietà di strutture ramificate, simili a piante cariche di germogli. Così innumerevoli generazioni di piccoli artigiani, ciascuno dei quali ha edificato il proprio meraviglioso castello, hanno costruito con il loro lavoro incessante le isole di corallo, le barriere e gli atolli che si levano sulle acque degli oceani.

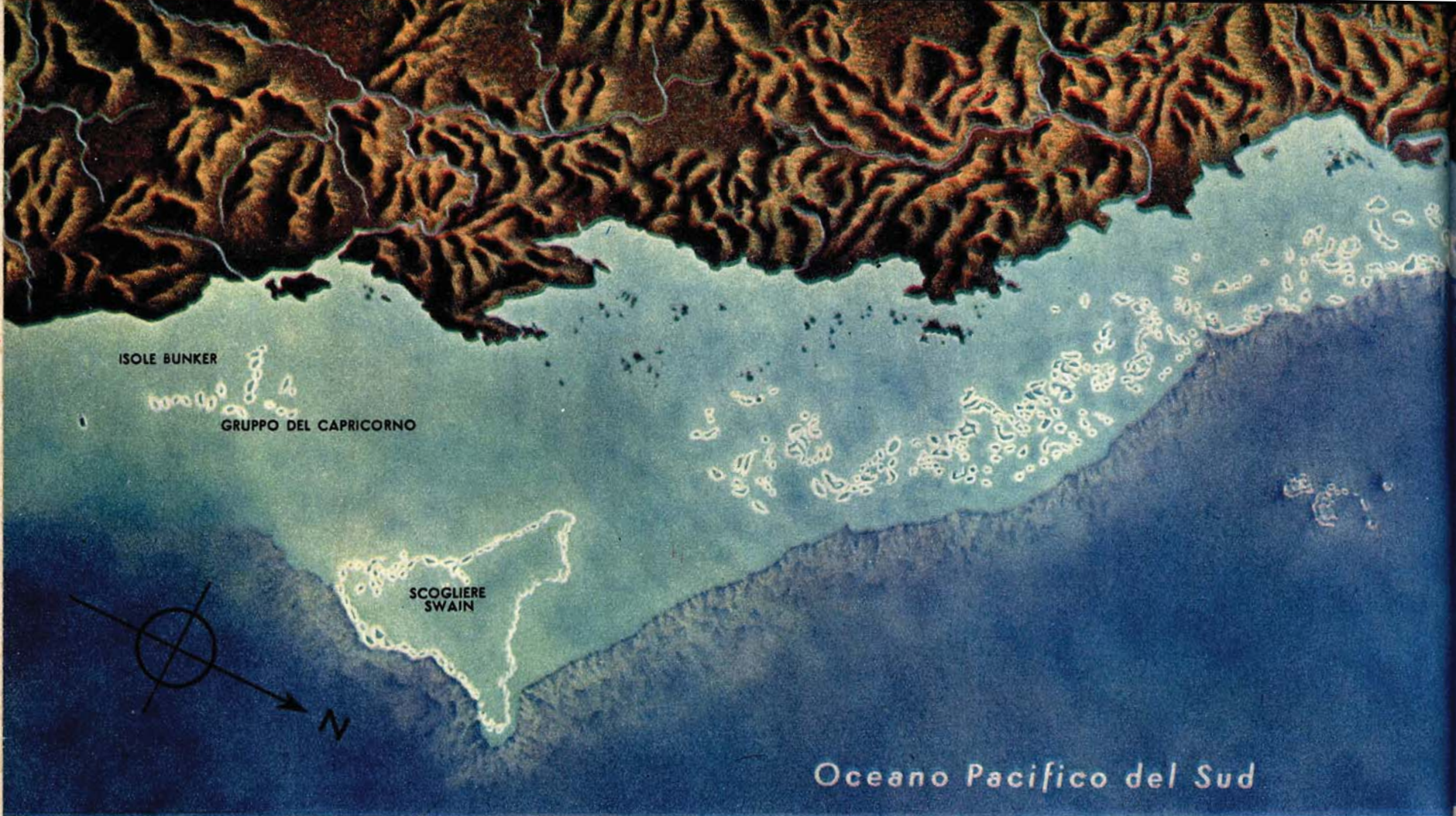
In tutti i mari vivono coralli, ma i costruttori di scogliere prosperano soltanto nelle acque tropicali poco profonde e riscaldate dal Sole. Raramente li troviamo a più di 22° dall'equatore e poche volte a temperature inferiori ai 20° e a profondità superiori ai 48 metri. Per vivere, hanno bisogno di condizioni rigorosamente stabilite. Debbono avere acqua limpida, altrimenti il limo e i sedimenti li soffocherebbero in breve tempo. Richiedono acqua illuminata dal Sole, poiché entro i tessuti di ogni polipo esiste una specie di alga che si ritiene fornisca ossigeno al corallo e stimoli i suoi processi escretori: ed essa naturalmente ha bisogno della luce solare per la fotosintesi. Sembra, infine, che i coralli richiedano acqua in continuo movimento, perché soltanto le onde e le correnti ininterrotte possono spingere a portata dei loro tentacoli quantità sufficienti di ossigeno e di cibo.

Più di un secolo fa Carlo Darwin notò che le scogliere coralline sembrano essere di tre tipi: il banco, che parte dai margini della terraferma e si stende a ventaglio, costituendo quasi una piattaforma; la barriera, che è divisa dalla terra mediante un'ampia laguna o un canale; e l'atollo, ossia un anello corallino che racchiude una laguna nel mare aperto. Poiché i coralli possono vivere soltanto nelle acque luminose della superficie, uno dei misteri che presentano gli atolli e le barriere, i cui bastioni raggiungono profondità di centinaia di metri, è la natura delle fondamenta sulle quali intrapresero originariamente il loro lavoro di edificazione. La migliore risposta a questo enigma fu fornita dallo stesso Darwin ed è accettata oggi con lievi modifiche: gli atolli e le barriere di corallo poggiano su una base costituita da antichi banchi corallini, i quali sono stati sommersi o per il lento sprofondare del pavimento oceanico o per il sollevarsi del livello delle acque. E mentre la terra affondava, o le acque si sollevavano, i coralli si sviluppavano verso l'alto dove c'era il Sole e lateralmente verso le acque limpide del mare aperto, aumentando così gradatamente la distanza tra la scogliera e la costa. Nel caso degli atolli, si tratta di coralli sviluppatasi ai margini di un'isola gradualmente scomparsa nelle profondità. Questa « teoria della sommersione » di Darwin ha ricevuto una conferma finale da trivellazioni effettuate recentemente nell'atollo di Eniwetok, dove sono stati toccati strati sempre più antichi di corallo finché, a una profondità di circa 1200 metri, è stato raggiunto un nucleo di roccia vulcanica, appartenente a un'isola scomparsa da lungo tempo, sulle cui coste sommerse i coralli iniziarono in età remote il loro lavoro di edificazione, continuandolo di generazione in generazione e spingendosi sempre più in alto, in una lotta incessante con le acque che si sollevavano. Così i coralli viventi di Eniwetok costituiscono oggi la cima di una possente torre invisibile, la quale è al tempo stesso una catacomba di creature morte e un monumento alla continuità della vita.

I PESCI CHE VIVONO nelle acque delle scogliere coralline sono tra i più variopinti e bizzarri. Di solito sono inoffensivi, ma non mancano esemplari pericolosi come questo pterioide, comunemente chiamato pesce leone, uno dei più voraci abitatori delle acque tropicali. Imparentato con la velenosissima sinanceia, la più letale tra tutte le creature marine, lo pterioide presenta sul dorso numerose spine erette che avvelenano qualsiasi essere vivente le tocchi. Gli uomini colpiti dal veleno del pesce leone provano spasmi atroci. Il braccio punto dalle spine si gonfia enormemente, tanto da raggiungere dimensioni persino doppie di quelle normali. Il dolore può durare ore intere e anche alcuni giorni.







LA PIÙ GRANDE SCOGLIERA CORALLINA DEL MONDO si stende per 1800 chilometri lungo la costa nord-orientale dell'Australia, dalle isole Bunker al gruppo delle Murray, presso la Nuova Guinea. La distanza tra la Grande Bar-

riera e la costa australiana varia da un massimo di 150 chilometri, all'altezza delle scogliere Swain, a un minimo di 10 chilometri. Le pareti della Barriera raggiungono talvolta profondità di 2500 metri. Le acque interne sono invece molto

La Grande Barriera australiana

Nei tropici di ambedue gli emisferi l'azzurra distesa degli oceani è coperta di strutture coralline. La più imponente di tutte, una delle supreme meraviglie del mondo naturale, è la Grande Barriera corallina, uno stupendo bastione sostenuto da contrafforti sottomarini. Essa è lunga 1800 chilometri, alta 150 metri e copre una superficie approssimativa di 200.000 chilometri quadrati al largo della costa nordorientale del continente australiano. È il più grande edificio che creature viventi abbiano innalzato sulla faccia della Terra. Al suo confronto, i monumenti dell'uomo appaiono insignificanti.

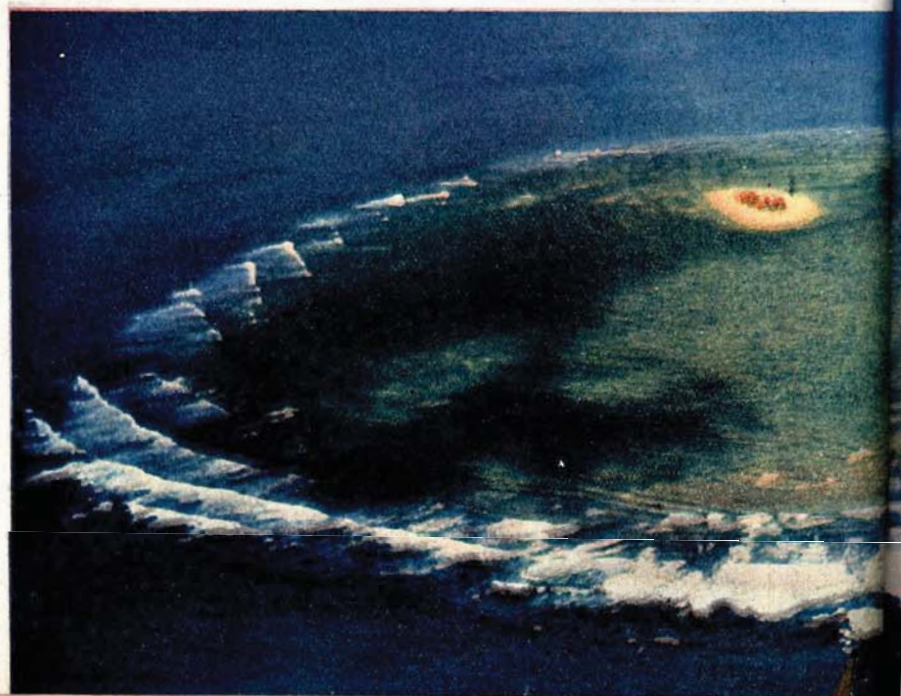
Relegata in una regione del mondo poco frequentata (si stende lungo coste subtropicali scarsamente popolate) essa ha potuto essere ammirata da un numero relativamente esiguo di persone. Tra gli stessi australiani

sono pochi coloro che hanno posato i propri occhi su questo favoloso mondo di coralli. Le fotografie che pubblichiamo in queste pagine sono perciò finestre aperte su una delle più straordinarie e tuttavia poco conosciute regioni del pianeta. A chi l'osserva dall'aereo, la Grande Barriera corallina si presenta non come un unico blocco ma piuttosto come una costruzione complessa, nella quale sono rappresentate le tre principali categorie di scogliere coralline. Nel Sud, dove le acque sono più fredde e quindi meno propizie allo sviluppo dei coralli, la Barriera è frammentata e presenta un vero e proprio labirinto di scogliere sussidiarie, di isolette, di banchi, di atolli, di dune sabbiose, separati da larghi canali navigabili. Più a Nord, però, dove le acque sono più calde, la lunghezza delle singole scogliere va sempre più aumentando, mentre diminuisce il numero dei canali divisorii. Dopo 800 chilometri la Barriera diventa un parapetto quasi ininterrotto che si erge dalle profondità oceaniche come una catena montana sottomarina.

Spesso, durante l'alta marea, molte unità che compongono la Grande

LA BARRIERA è una delle tre formazioni coralline tipiche: qui la sua presenza è rivelata dalla spuma dei marosi che vanno a infrangersi contro le rupi sommerse di rocce coralline. Essa è divisa dalla terraferma da un canale poco profondo.

L'ATOLLO è un anello corallino nel cui interno è racchiusa una laguna. La sua caratteristica configurazione è dovuta all'attività costruttiva svolta dai coralli lungo i bordi di un'isola affondata. Le acque della laguna interna non superano i





Mar dei Coralli

basse e intersecate da un vero e proprio labirinto di isole, atolli, scogliere, che rendono la navigazione estremamente ardua. Le isole più vicine al continente australiano rappresentano le vette di colline e di montagne di una regione costiera

Barriera vengono sommerse. Altre non emergono mai alla superficie. Tuttavia i loro bastioni sono sufficienti a difendere le lagune interne dalla violenza delle onde. La parte delle scogliere esposta al vento è battuta da marosi biancheggianti che vanno a infrangersi contro i bastioni esterni con selvaggia violenza ed esauriscono la loro furia sulle rupi di corallo nascoste. Dalla parte posta al riparo del vento, tra le calme acque delle lagune interne, che spesso vengono assegnate al gran canale d'Australia, incrociano battelli costieri tra Brisbane e il Capo York: essi debbono aprirsi la strada con molta cautela tra isole e distese coralline che dividono le acque in una serie di canali tortuosi, la cui navigazione è possibile soltanto a marinai molto esperti. D'inverno le balene antartiche vengono a generare nelle acque calde e tranquille delle lagune.

In un'epoca che si perde nel passato geologico, il fondo di questo mare interno faceva parte del continente australiano e costituiva una pianura costiera punteggiata qua e là da colline e piccole montagne. A un certo punto, sotto la spinta delle forze smisurate che a ritmo ricorrente trasfor-

profondata nell'oceano o sommersa dal sollevarsi delle acque. Quasi tutte le isole della Barriera sono di formazione corallina e in gran parte sono disabitate. La scarsa popolazione che ospitano è formata quasi esclusivamente da pescatori di perle.

mano la fisionomia del pianeta, queste terre cominciarono ad affondare, finché ad emergere dalle acque non restarono che le cime delle colline: le isole costiere che si scorgono oggi. Il fondo basso, riscaldato dal Sole, favorì lo sviluppo del corallo. A poco a poco, probabilmente a una media di un metro ogni mille anni, la scogliera s'andò accrescendo, mentre le pianure costiere e la piattaforma continentale affondavano e il livello dell'oceano saliva.

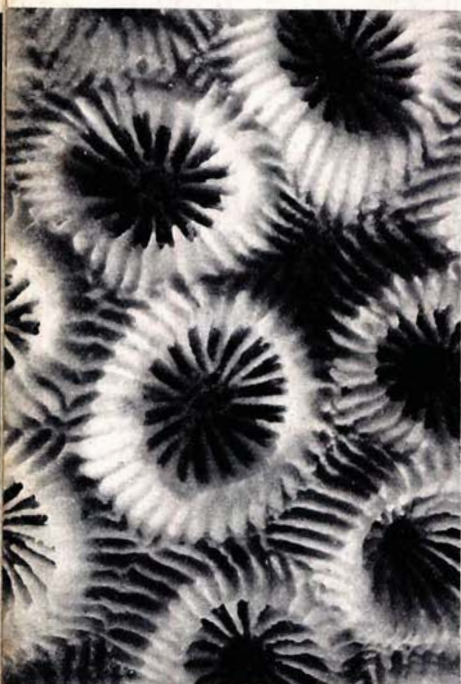
Per costruire la Grande Barriera, tuttavia, i coralli non hanno lavorato da soli. Altri agenti sono stati e sono continuamente al lavoro in ogni scogliera. Gli scheletri calcarei dei coralli rappresentano i blocchi da costruzione principali, ma spesso l'edificio presenta deficienze e aperture che vengono colmate da unità più piccole: conchiglie minuscole e altri detriti organici. Ma neppure così la struttura sarebbe abbastanza compatta e non potrebbe resistere alla pressione distruttiva delle acque se non intervenissero, a cementarla, i depositi calcarei delle alghe coralline. È questa la calcina che lega la scogliera, rendendo solida la roccia.

200 metri di profondità. L'arco esposto ai venti (in primo piano) è battuto da marosi biancheggianti. Entro l'arco posto al riparo dal vento (in fondo) si è formata una piccola isola di sabbie coralline, sulla quale è collocato un faro.



I BANCHI CORALLINI circondano i fianchi di isole vulcaniche nel gruppo delle Murray. Il banco costituisce una piattaforma che si protende verso il mare partendo dalla terraferma. Se le isole affondassero, esso potrebbe trasformarsi in atollo.





ASTROIDI (in alto) e tubipore (al centro). In basso: Una tridacna, il bivalve gigantesco che pesa 250 chili.



IL PANDANO è uno degli alberi più frequenti sulle isole coralline, dove i suoi rami e le radici si intrecciano fittamente, in un groviglio intricato. Esso è conosciuto più generalmente col nome di "albero del pane", poiché i nativi australiani ne polverizzano i frutti fino a ottenerne una specie di farina. Poiché il terreno dal quale cresce è di natura sabbio-



LA TESTUGGINE VERDE (a sinistra) sta scavando nella sabbia una buca nella quale deporrà le uova (a destra). Quest'ultime hanno approssimativamente la grandezza di una pallina da ping-pong. La testuggine madre le coprirà con la sabbia e si allontanerà. In breve le uova si schiuderanno e le piccole tartarughe si avvieranno verso il mare.

Giorno e notte, mentre i polipi del corallo fabbricano le loro case complesse, altre forze sono incessantemente al lavoro per rendere vana la loro fatica. I principali agenti distruttivi sono le onde dell'oceano che, spinte dagli alisei di Sud-Est, martellano i bastioni rivolti verso il mare aperto. I frequenti tifoni possono produrre fratture in vaste sezioni di una scogliera e asportare grossi blocchi di corallo per precipitarli in fondo ai bacini delle lagune. Grossi danni sono prodotti, anche, dalle piogge torrenziali dei tropici, la cui acqua dolce ha l'effetto di diluire l'acqua salata di cui i polipi ed altri animali marini hanno bisogno per vivere, trasformando così le affollate comunità delle scogliere in un desolato cimitero di coralli. A queste forze distruttive bisogna aggiungere le piante e gli animali che minano dal di sotto la struttura di una scogliera: ricci marini che scavano le loro tane nella superficie del corallo, alghe e molluschi perforanti, bivalvi che si conficcano in una cavità e lavorano per approfondirla sempre di più. Così, come in ogni dominio della natura, lo sviluppo e la distruzione, la vita e la morte, sono in perenne conflitto.

In questa incessante battaglia, le forze creatrici risultano sostanzialmente vittoriose. Per tutta la lunghezza della Grande Barriera i coralli continuano a costruire, a consolidare i loro possedimenti, a estendere l'area delle scogliere, sottraendo al mare sempre nuovi domini. È probabile che, col tempo, le varie unità che costituiscono la Barriera si fondano in un'unica massa solida, poiché i coralli viventi che oggi sono ricoperti dalle acque potrebbero trasformarsi, domani, in isole coralline. Quando gli scheletri del corallo e degli altri organismi marini che vivono nelle scogliere vengono disintegrati dalla violenza delle onde, si sbriciolano in sabbia che si accumula a poco a poco e finisce col formare una riva. Col tempo la sabbia viene cementata da conchiglie e da frammenti di corallo, si solidifica e si trasforma in roccia corallina. In una fase successiva compare la vegetazione. Semi di erbe, di arbusti o di piante possono essere lasciati cadere dagli uccelli o trasportati da pezzi di legno galleggianti. Le noci di cocco e i semi delle mangrovie possono andare alla deriva sul mare e percorrere molti chilometri senza perdere il loro potere vitale, per cui al momento in cui si arenano su una riva sono ancora in grado di propagare la loro specie. Una volta che i semi hanno germogliato, affondando le proprie radici nella sabbia, è solo questione di tempo perché la scogliera prima squallida e sommersa dalle maree si trasformi in una delle romantiche « isole di un Eden che si stende nelle sfere del mare colorato di porpora ».

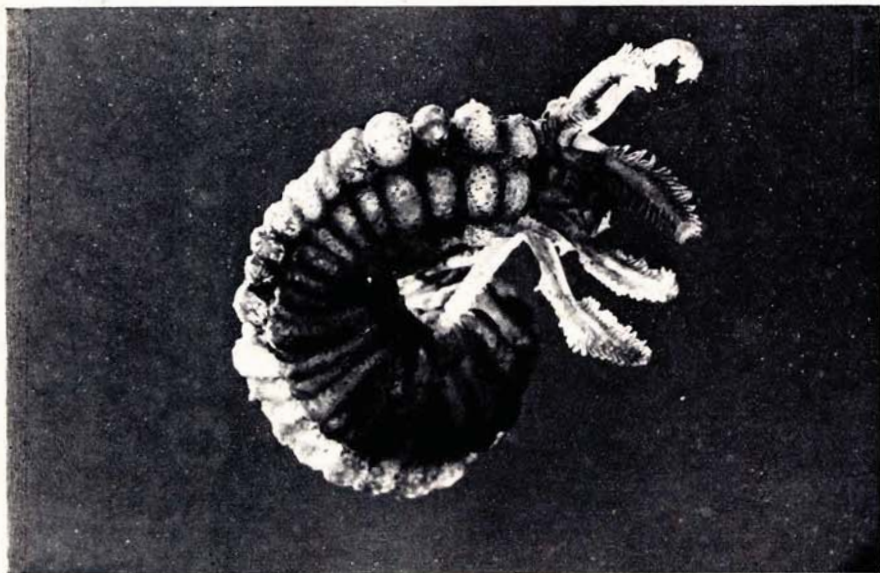
Viste da lontano, con le loro cime coperte di palme e le bianche collane di sabbia e di marosi che le circondano, le isole coralline appaiono molto suggestive. Non sempre, però, quando ci si avvicina, conservano lo stesso aspetto di giardini incantati. La vegetazione è spesso selvatica, costituita in parte da mangrovie le cui diramazioni fitte e contorte affondano nel fango delle paludi e, nelle zone più asciutte, in una giungla quasi impenetrabile di pantani cui s'aggiungono spesso palme da cocco, fichi d'India, *Tournefortia*, papaia, felci ed ebenacee. Le mangrovie crescono soltanto nei terreni salini e paludosi e perciò è difficile trovarle nelle zone delle scogliere esposte

al vento. Al contrario, sono rigogliose sul lato al riparo dal vento, dove le acque, ritirandosi, lasciano accumulare il fango. Le loro radici, estendendosi, raccolgono insieme i detriti e i sedimenti che, col tempo, consolidandosi, formano un terreno più alto e solido, adatto allo sviluppo di una nuova vegetazione ma, per uno strano paradosso, fatale all'albero che lo ha creato.

Gli abitanti più notevoli delle isole coralline sono gli uccelli. In certi mesi dell'anno appaiono sulle azzurre distese solitarie del mare innumerevoli schiere di uccelli acquatici che si dirigono verso le isole della Barriera, dove costruiscono i nidi e allevano i propri piccoli. A volte, se si guarda da una nave al largo una di queste isole, si ha l'impressione che la sovrasti una nuvola nera e minacciosa. Basta avvicinarsi, per rendersi conto che si tratta semplicemente di moltitudini d'uccelli levatisi in volo: sterne di varie specie, sule e puffinidi. Per gran parte dell'anno le loro turbe vivono nei mari del Sud. Ma in un certo periodo un istinto irresistibile le riconduce alla Grande Barriera corallina. Un'isola che abbia una circonferenza di soli cinque chilometri arriva ad avere una popolazione stagionale di oltre un milione di uccelli. Durante il periodo della riproduzione essi sono in continua attività, danno l'impressione di non dormire neppure. Di giorno volano sulle acque in cerca di cibo. Di notte si accoppiano, si danno battaglia, nutrono i loro figli, accompagnando queste attività con una assordante cacofonia di grida, di cinguettii, di lamenti, di gemiti, che al tempo delle navi a vela fecero sorgere la leggenda che queste isole fossero la dimora degli spiriti tormentati di anime dannate. L'isola di Heron, nel gruppo del Capricorno, è prediletta dalle procellarie ed è tutta costellata di loro nidi. La scogliera di Michaelmas, nei pressi del Canale di Trinity, è il rifugio preferito della sterna fuliginosa che brulica sulle sue sabbie e s'aggira in folte formazioni nel suo cielo.

Gli uccelli condividono il dominio delle scogliere coralline con due altre popolazioni prolifiche: i granchi soldati e le gigantesche testuggini verdi. Quando, di notte, la marea decresce, sulle spiagge compaiono file di piccoli granchi in cerca di cibo: procedono ordinatamente, come un'armata in movimento, finché si disperdono per rifugiarsi nelle loro piccole tane al primo chiarore dell'alba, quando i loro nemici implacabili, gli uccelli, si levano in volo. Anche la grossa testuggine verde viene di notte sulla riva per deporre le proprie uova. Avanzando sulla spiaggia in linea retta, compiendo enormi sforzi per superare i ciottoli corallini invece di aggirarli, la testuggine madre s'arrampica oltre il limite dell'alta marea, scava una tana e vi depone le uova. Quindi, dopo averle ricoperte accuratamente, le abbandona e ritorna nell'acqua lasciando sulla sabbia le orme inconfondibili dei suoi piedi. Poche settimane dopo, quando le uova si schiudono, le piccole tartarughe appena nate si trovano abbandonate in un mondo pieno di pericoli. Istintivamente si dirigono verso la spiaggia aperta e allora piombano su di esse le ali nere degli uccelli che le strappano alla terra con artigli rapaci e becchi possenti, infrangendo i loro teneri gusci. Quelle che riescono a sfuggire a questo primo attacco aereo e a raggiungere il santuario dei marosi non possono dirsi ancora in salvo: nel mare insaziabile le attendono pesci affamati.

sa, il pandano è provvisto di radici che formano alla base del tronco una specie di palafitta, in modo da sostenerlo.



LA SYNAPTA è un'oloturia che vive di preferenza nelle calde acque popolate dai coralli. La sua estrema capacità di contrarsi le permette di rimpicciolirsi enormemente, in modo da infilarsi e nascondersi entro le conchiglie vuote.



UN GASTEROPODO scivola lungo il fondo di un bacino allagato dalle acque della marea. Per muoversi tra il fango e la sabbia si serve di un ampio piede muscolare, mentre con un sifone a forma di tubo aspira l'acqua e l'espelle.

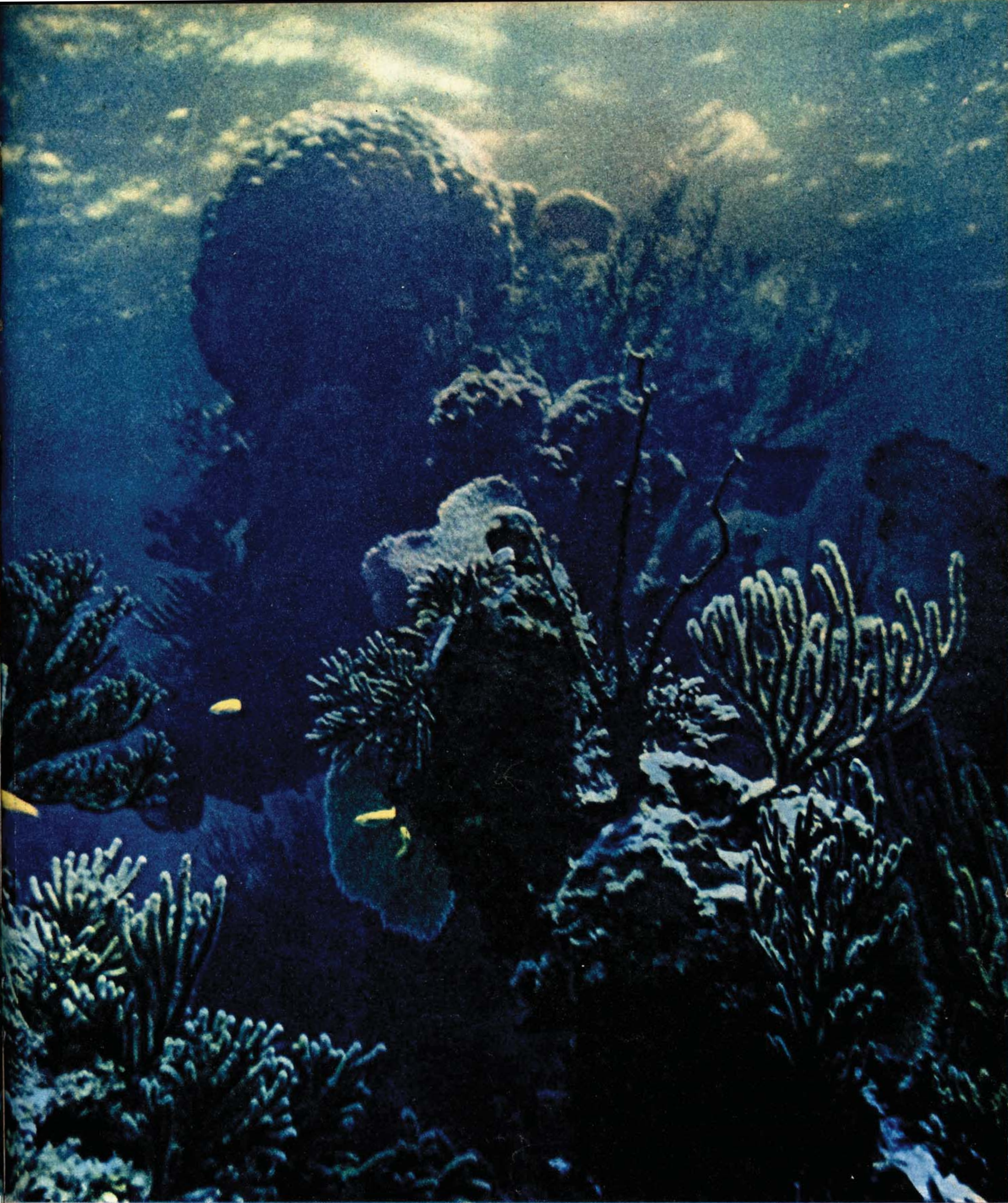
Un mondo multicolore

Finora abbiamo descritto la struttura, la vegetazione e le popolazioni animali della Grande Barriera corallina d'Australia. Ma sotto la superficie delle acque esiste un ambiente più strano, più suggestivo. Ed è qui, in questo regno sottomarino, che tutte le scogliere coralline del mondo si somigliano. Perché, se è vero che la Grande Barriera è la maggiore e più splendida di tutte le costruzioni coralline, unica per la sua vastità e la sua situazione insolita, non è detto però che sia il solo esempio tipico. Altre scogliere esistono, ma sono più piccole, e il più delle volte rimangono nascoste e si confondono con le isole o con il mare aperto. Raramente appaiono lungo le coste occidentali dei continenti, probabilmente perché qui i venti e le correnti si combinano in modo da originare continui sollevamenti di acque fredde dalle profondità.

Tuttavia, in qualsiasi parte del mondo esistano, tutte le scogliere coralline hanno in comune certi caratteri fondamentali. E a qualsiasi tipo appartengano (atolli, barriere o banchi) i loro bassifondi soggetti alle maree sembrano campi ricoperti di pietre multicolori riflessi nelle piccole lagune, dove abbondano forme di animali vertebrati e invertebrati. Ai margini dei bassifondi rivolti verso il mare aperto si levano, alla superficie delle acque, folti strati di piante marine: sono le alghe rosee che ricoprono il corallo sottostante con un rivestimento che sembra di smalto. La parte alta di molte scogliere è percorsa da innumerevoli canali attraverso i quali le onde affluiscono e si ritirano. La parete a mare costituisce una vera e propria rupe di corallo, una scarpata a volte più ripida di quelle esistenti in molte montagne della Terra. Ed è in fondo a questi enormi bastioni che ha inizio il fantastico regno sottomarino della scogliera.



LA FORESTA SOTTOMARINA, creata dal lavoro lento ma incessante dei coralli, risplende nella limpida luce azzurra filtrata dagli strati superiori dell'acqua. Qui, a una profondità d'una decina di metri, prosperano alberi, arbusti, cespugli.



gli corallini d'ogni genere: acropore che si diramano come candelabri (a destra); gorgonie e stilofores, le prime a forma di ventaglio, le seconde simili a bastoncini flessibili (nell'angolo a sinistra); meandrine che hanno l'aspetto di un cer-

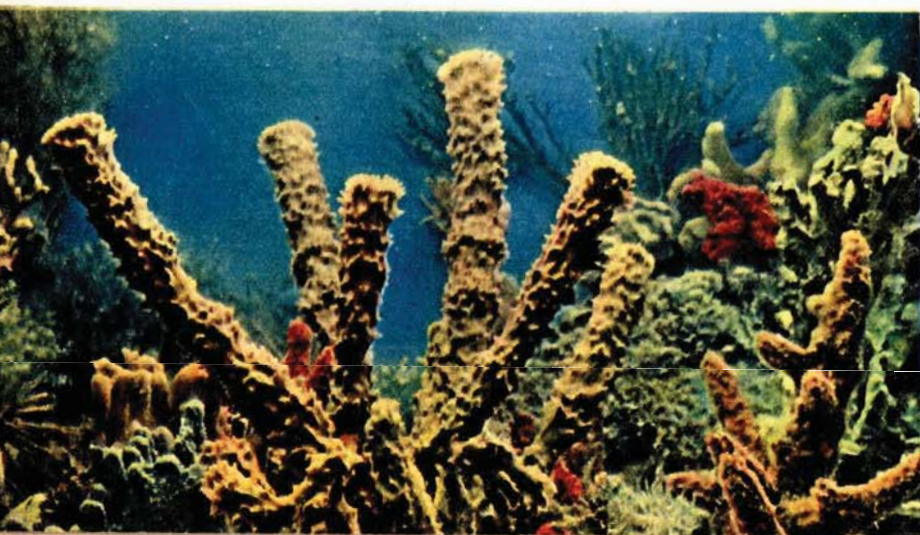
vello umano (in secondo piano, al centro). Spesso l'aspetto dei coralli varia a seconda delle circostanze, per cui solo un esperto potrebbe identificare le centinaia di specie diverse che si riscontrano nelle acque di una scogliera.



UN ALCIONARIO protende i suoi rami delicati verso un branco di chetodonti, graziosi pesci colorati dei tropici. L'alcionario è imparentato col corallo rosso, che vive nelle acque del Mediterraneo ed è il più ricercato per i lavori di gioielleria.



LE ACROPORE (in fondo) si diramano verso l'alto al largo di Nassau. Alla loro base (da sinistra a destra) vediamo fruste marine, un pesce trombetta che nuota verticalmente e una gorgonia. Qui sotto: Alcune spugne tubulari.



UNA RADURA CORALLINA nelle Bermude ospita vari pesci esotici che s'aggirano tra multiformi fioriture di coralli. Nell'angolo a sinistra, un gruppo di fruste marine si protende verso l'alto alla ricerca del sole. Dietro si scorgono

Gli artigiani della scogliera

Simili a rigogliosi giardini pietrificati, le scogliere coralline presentano numerose varietà di germogli, di fiori divenuti solidi, di tutte le forme e di ogni grandezza, dall'aspetto suggestivo. Alberi con eleganti ramificazioni, arbusti slanciati, steli affusolati, ventagli, foglie, germogliano nei letti bagnati dalla marea e ai margini dei bassifondi illuminati dal Sole, aggrappandosi lungo le sponde della parete a mare come i fiori alpini sulle rocce e tingono le acque azzurre con i loro limpidi e molteplici colori.

Il mondo sottomarino dei coralli presenta anche numerose altre forme, oltre alle strutture floreali. Ci sono coralli che sembrano funghi, altri che somigliano alla corteccia cerebrale dell'uomo; alcuni allineano le loro costruzioni come tanti appartamenti messi in fila, altri si dispongono come



i tentacoli di un anemone di mare. In primissimo piano un pesce scoiattolo (chiamato così perché parlotta come uno scoiattolo) s'aggira tra gli alcionari. Più in alto nuota un pomacanto, sovrastato da un lampride. Verso il fondo una squalo

dra di sergenti maggiori (una varietà di pesci-donzelle) si tiene in formazione sparsa. All'estrema destra è visibile un Hemulon dalle strisce azzurre: emette suoni simili a grugniti. Contrariamente a quanto si crede, i pesci non sono muti.

drappi piegati, altri formano grotte e caverne, altri infine si radunano in masse convolute, arrotondate e increspate, simili a coltivazioni di funghi.

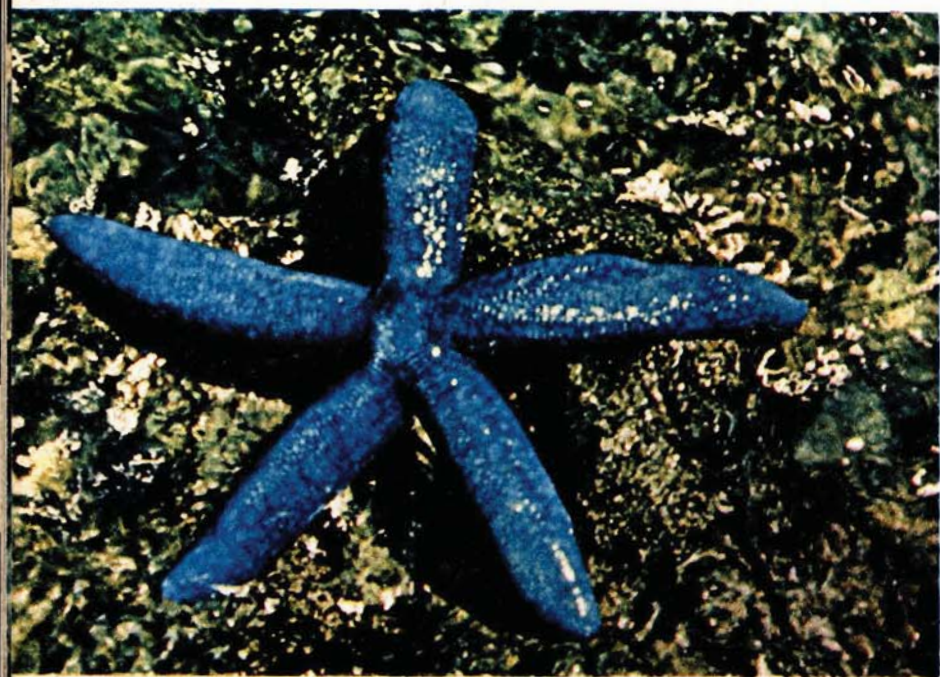
Solo un esperto potrebbe identificare le centinaia di specie diverse che si riscontrano in una scogliera, poiché spesso il loro aspetto varia a seconda delle circostanze. In generale, però, i principali costruttori di scogliere, che di solito hanno sei tentacoli lisci (o multipli di sei), si dividono in due categorie principali: le delicate forme ramosi, rappresentate dalle acropore; e i tipi solidi, più vigorosi, che non presentano ramificazioni, come le meandrine giallo-verdi, a forma di cervello, le goniopore grigie o azzurre e le poriti giallo-brune. Le fragili acropore sono incomparabilmente le più belle. Le meandrine e le goniopore sono di solito rotonde ed hanno l'aspetto di ciottoli. Le poriti assumono spesso la forma di cupole o di bacini. Meno importanti, ma tuttavia comuni a molte scogliere coralline, sono le fungie, polipi solitari che raggiungono le dimensioni di un piatto da tavola; i milleporidi, che formano incrostazioni gialle simili

a foglie sulla superficie delle scogliere; gli alcionari molli che hanno otto tentacoli e, salvo poche eccezioni, non si circondano di scheletri calcarei; e i cosiddetti alcionari cornei che comprendono le gorgonie a forma di ventaglio e le stilofore a forma di bastoncini.

Tra questi abitatori permanenti delle scogliere coralline ci sono altre creature fisse (o sessili) come molluschi che vivono rintanati, briozoi (minuscole creature coloniali a forma di sacco, dotate di tentacoli, che somigliano superficialmente ai coralli per l'aspetto di arbusti che assumono), tunicati e spugne. Essi si possono considerare inquilini, non proprietari: ospiti dei coralli, di questi infaticabili operai che sono i veri creatori dei frastagliati castelli del mare e li abbelliscono con magiche tavolozze. Uno dei profondi paradossi della natura è che creature così piccole ma certo non trascurabili, così in basso nella scala evolutiva, siano artisti e scultori di tanta potenza, creatori di gioielli le cui « gemme ricche e molteplici giacciono nel seno disadorno delle profondità ».



NELLE ACQUE di una scogliera s'incontrano spugne rosse (a sinistra), stelle di mare scarlatte (al centro), due anemoni marini (a destra) e un riccio di mare (nell'angolo inferiore a destra): sono tutti animali, sebbene sembrano fiori.



UNA STELLA DI MARE AZZURRA di dimensioni gigantesche. Comune a molte scogliere del Pacifico, questa stella di mare estromette lo stomaco attraverso la bocca e digerisce la preda prima ancora d'introdurla nel proprio corpo.



IL GRANCHIO MASCHERATO si serve, per mimetizzarsi, di qualsiasi cosa cresca su una scogliera: eccone uno che si è camuffato sotto un pezzo di spugna. Ci sono granchi mascherati che si lasciano crescere delle piante sul dorso.



LO SPIOGRAFE o fiocco di mare è il dandy, l'elegantone delle scogliere coralline: quando sono aperte, le sue branchie fanno pensare alla coda variopinta di un pavone. Lo spiografe di solito se ne sta ritirato in un tubo membranoso.

Gli ospiti invertebrati

Nessuna regione del mare si presenta così popolosa, per ogni metro cubo, così ricca di vita come le acque di una scogliera corallina. Qui la natura raggiunge un rigoglio creativo che non trova riscontro in nessun altro settore del mondo vivente. Qui, tra le luminose città di pietra create dai coralli, schiere di umili invertebrati hanno trovato l'ambiente più favorevole e hanno potuto fiorire nelle acque benigne dando vita a forme giganti delle loro specie: stelle di mare del diametro di 35 centimetri, anemoni larghi più di mezzo metro, ostriche che superano i tre chili e bivalvi che pesano un quarto di tonnellata. Ma gli invertebrati che vivono tra le acque delle scogliere superano i loro simili non soltanto per le dimensioni e per essere molto numerosi, ma anche, e soprattutto, per i brillanti rivestimenti che presentano. Vi sono specie che altrove appaiono dimesse e insignificanti e che, invece, presso le formazioni coralline, ostentano abbigliamenti smaglianti: gasteropodi dalle conchiglie smaltate e variamente striate, nudibranchi purpurei dalle branchie ondegianti, stelle di mare il cui colore va dallo zaffiro allo scarlatto. I gamberetti hanno carapaci splendenti, con molte sfumature iridescenti. Gamberi variopinti passeggiano mostrando i dorsi macchiettati e le zampe a strisce: i loro colori sono il verde, la porpora, l'arancione, il nero. Ma di tutti questi *dandies* invertebrati delle scogliere coralline il più elegante, il più raffinato, è senza dubbio lo spiografe o fiocco di mare, un anellide così riservato che vive in tubi membranosi.

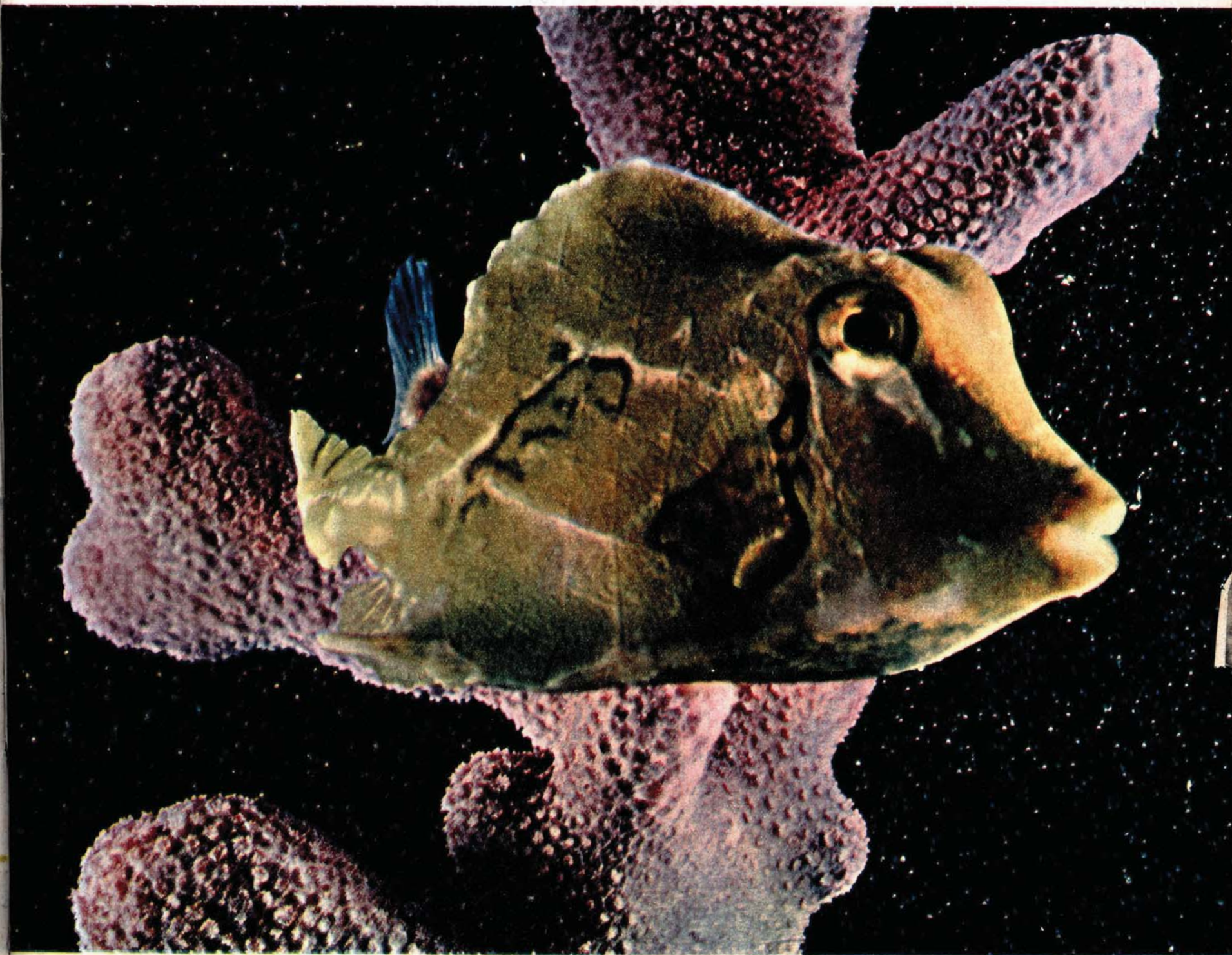
Gli ospiti vertebrati

Per l'abbondanza di esseri viventi che le circondano, le scogliere coralline sono state definite « oasi nel deserto delle acque ». Intorno ad esse ci sono le aperte distese dell'oceano. Le lagune e i bassifondi, i bacini ricoperti dalle maree e le grotte delle scogliere pullulano non solo di invertebrati, ma di miriadi di pesci guizzanti, più variati che in qualsiasi altra parte del mare. Per il tonnellaggio complessivo le popolazioni delle scogliere sono superate da quelle delle piattaforme continentali, però le acque tropicali presentano un numero molto maggiore di specie rare ed esotiche.

Le acque limpide delle scogliere contengono una quantità scarsa di plancton e perciò non possono dar da vivere alle vaste schiere di grandi pesci commestibili che popolano zone del mare più fredde, ma più ricche di cibo. Le quattro principali famiglie di pesci che vivono tra le scogliere (i chetodonti, le donzelle, gli acanturi e i labri) sono capaci di adattarsi a una dieta vegetariana quando le prede vive diventano scarse. Un'altra famiglia notevole, gli scari o pesci pappagallo, riesce a sbriciolare e inghiottire la roccia corallina per ingerire con essa le alghe di cui si nutre. Una specie di pesci balestra si ciba dei polipi del corallo. Altri pesci mangiano crostacei e molluschi. A parte i predatori, che sono presenti dappertutto (cernie, seriole, barracuda), i pesci delle scogliere in maggioranza tendono ad essere piccoli e di forme delicate. Ma come gli invertebrati, con i quali condividono il possesso del mondo corallino, presentano colorazioni splendide.

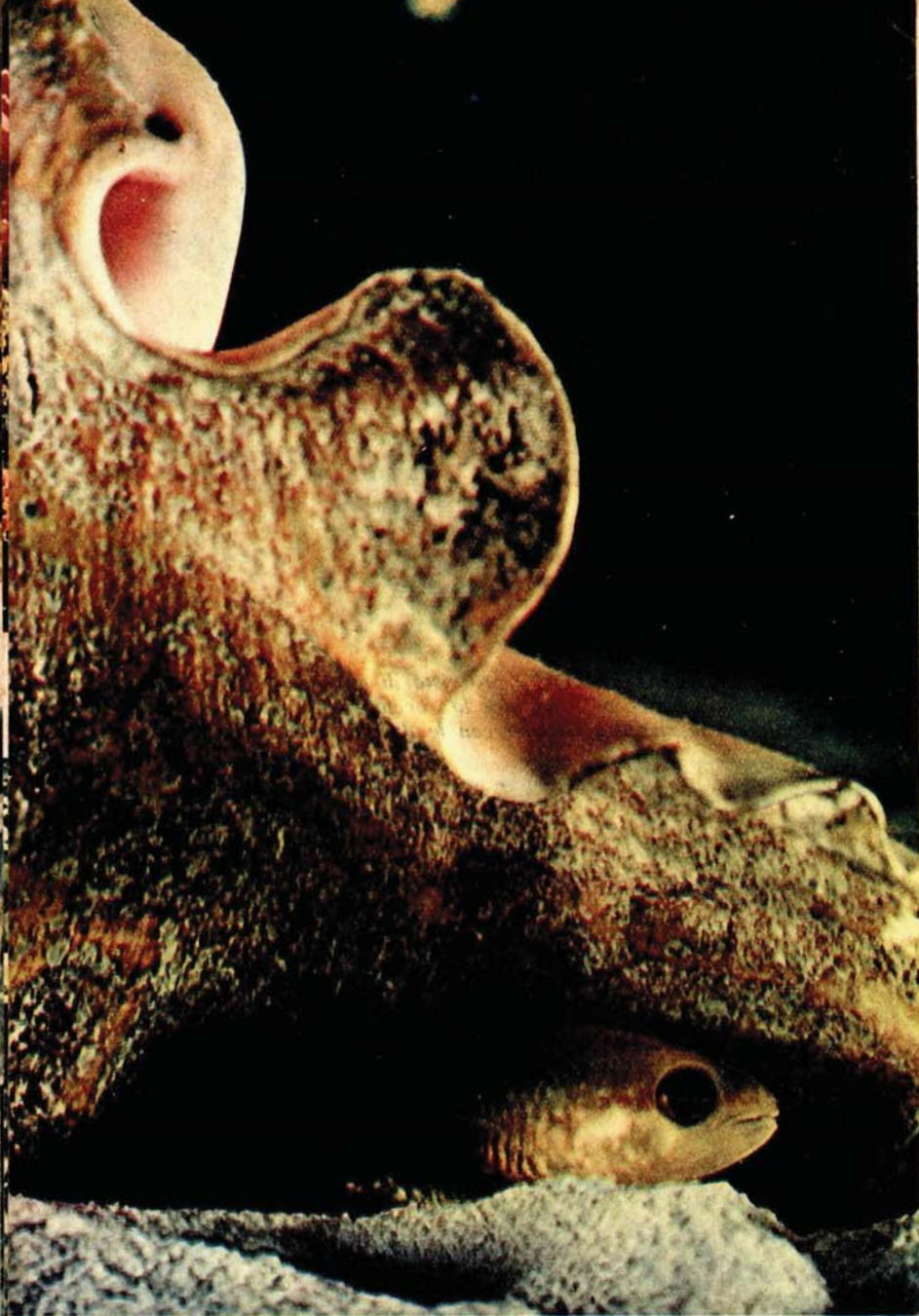


IL PESCE PAPPAGALLO VERDE è provvisto di un becco corneo e di quattro molari con i quali riesce a sbriciolare la roccia. È il solo, tra gli abitanti delle scogliere, che riesca a nutrirsi con le durissime incrostazioni di alghe.



UN PESCE COFANO si muove sullo sfondo di una struttura corallina dal colore delicato. A differenza degli altri pesci, che nuotano con movimenti ondulatori di tutto il corpo, il cofano ha un torso estremamente rigido, per cui la for-

za di propulsione nell'acqua gli è fornita dai rapidi agitarsi delle pinne e della coda. Il suo rivestimento osseo fa pensare a un compromesso, raggiunto dalla natura, tra la tartaruga e il pesce. Emette rumori simili allo stridio di un cardine.



PHOLIS GUNNELLUS è il nome scientifico di questo pesce timido, timoroso, che è solito rifugiarsi nelle conchiglie dei grossi molluschi delle scogliere. Ha squame rosee, iridescenti, dello stesso colore dell'interno delle conchiglie.



UN LOFIO, detto anche rana pescatrice, si è mimetizzato assumendo l'aspetto di una roccia corallina ricoperta di alghe. Dalla sua testa spunta una specie di fiocco carnoso: quando i pesci più piccoli si avvicinano incuriositi, il lofio li cattura.

I pesci armati di veleno

Dal punto di vista della biologia marina, una scogliera corallina è un dominio a sé stante, unico per l'ambiente che offre e per le sue popolazioni, ben differenziato da altri regni marini, come le regioni pelagica e bentonica. Ma al pari di tutti gli altri grandi ambienti del mondo naturale, anche la scogliera corallina si presenta suddivisa in molteplici piccole province secondarie, fatte di sabbie, di rocce a coralli, di acque basse e profonde, ciascuna con i suoi occupanti abituali e caratteristici.

Ad esempio, vi sono pesci delle scogliere che preferiscono vivere nelle lagune tranquille ed altri che prediligono le acque aperte dal lato della parete a mare. L'*Atherion* dai fianchi d'argento frequenta le zone in cui le acque affluiscono nei canali sollevando marosi. Una specie di piccolo percide, lo *Pseudochromis*, si nasconde lungo i margini delle rupi coralline ricoperte dalle alghe. Blenni, ghiozzi e anguille avocette si rifugiano tra i coralli, rintanandosi tra le sabbie molli per seppellirsi e nascondersi quando la marea s'abbassa.

Il culmine della specializzazione per determinati ambienti viene rag-



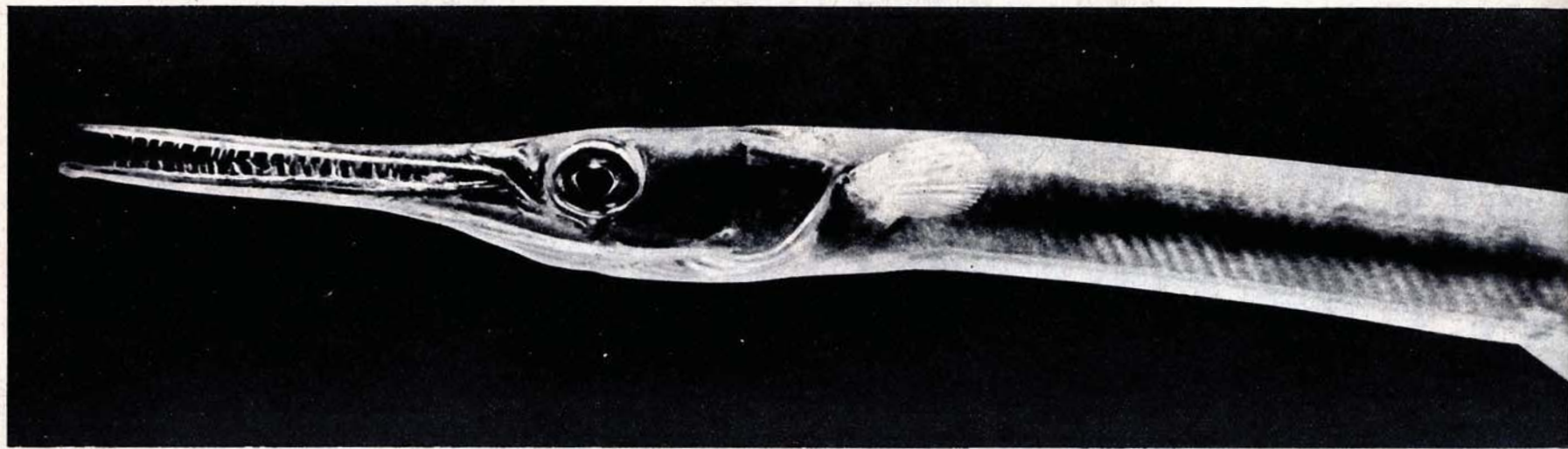
IL PESCE DEI SARGASSI è uno dei carnivori più insaziabili del mare: la sua abilità nel mimetizzarsi è tale che riesce a confondersi perfettamente con le alghe galleggianti nel Mar dei Sargassi e nelle acque che ricoprono

le scogliere dei Caraibi. È tutto ricoperto di fiocchi, nastri e protuberanze il cui colore bruno imita l'aspetto dei sargassi, tra i quali questo pesce si muove disinvolatamente, all'inseguimento delle prede, con l'aiuto di pinne che sembrano mani.



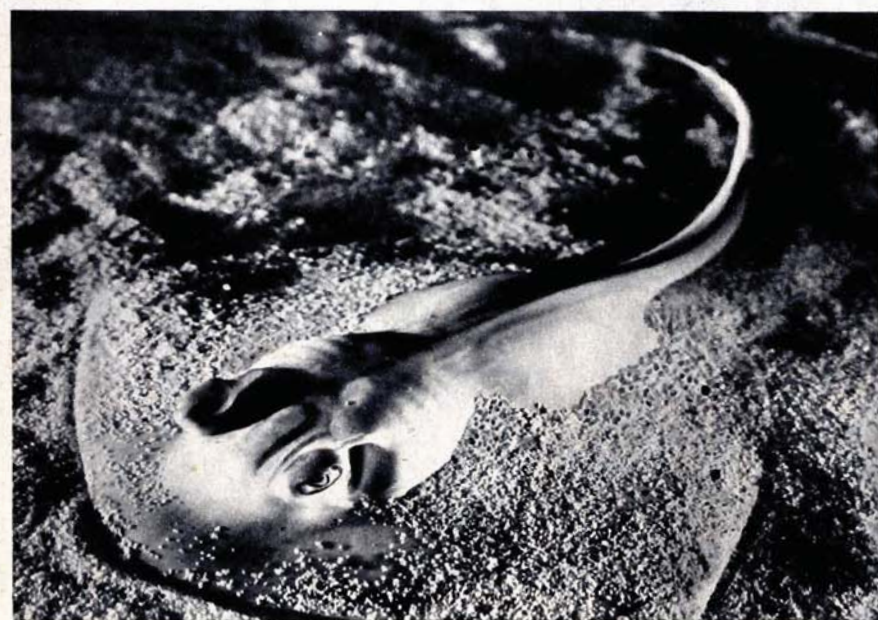
LO SCORFANO se ne sta sul fondo quasi senza compiere movimenti, adagiato sulle sue pinne simili ad ali, in attesa che dalla frotta di sardine che s'aggira poco più sopra arrivi a portata della sua bocca. Il corpo è ricoperto

dappertutto da protuberanze carnose che servono a dare allo scorfano l'aspetto di una roccia corallina ricoperta da alghe. Il mimetismo, però, non è il solo scopo di queste protuberanze, che hanno anche la funzione di organi sensori.



LA STRONGILURA è armata di mascelle che assumono l'aspetto di un lungo becco e sono dotate di numerosi denti di forma aguzza, sottilissimi. La lunghezza di questo pesce va dai 40 centimetri al metro e venti. Neppure quando

raggiunge le maggiori dimensioni, però, la strongilura rappresenta un pericolo per i nuotatori. Tuttavia va annoverata senza alcun dubbio tra le creature più distruttive delle acque, poiché compie vere e proprie stragi di piccoli pesci.



LA PASTINACA ha sulla coda un aculeo velenoso capace di paralizzare la propria vittima. Abitatrice del fondo, dove si mimetizza tra la sabbia, questa "razza" si serve della coda non per catturare le prede, ma soltanto a scopi difensivi.



LA MURENA ha un corpo privo di squame e di pinne pettorali ed è solita insinuarsi nelle fessure e nelle nicchie esistenti tra le rocce delle scogliere, in attesa delle prede. Assale anche gli uomini, che può ferire gravemente.

giunto dai pesci delle scogliere che vivono in stretta relazione con altre creature, come ad esempio l'amfisilide che vive tra le spine del riccio di mare, il pesce donzella che si nasconde tra i tentacoli dell'anemone marino e il piccolo *Carapus*, che stabilisce la propria dimora nelle cavità del corpo delle oloturie.

Molti pesci delle scogliere hanno sviluppato forme fisiche singolari per adattarsi al modo di vita che si sono scelto. Ad esempio, una specie di muggine che va a caccia di cibo tra i banchi di sabbia, ha sviluppato labbra carnose, ornate di frange, di cui si serve per impedire che la sabbia gli entri in bocca. La strongilura e certi altri pesci che cacciano alla superficie delle acque hanno sugli occhi delle creste che li riparano dai riflessi del Sole. Le passere, che si adagiano su un fianco sul fondo sabbioso, sono disegnate perfettamente per il loro ambiente particolare: la bocca è situata da un lato e, cosa ancora più notevole, durante la fase iniziale della loro vita un occhio migra dal lato inferiore per congiungersi all'occhio posto sul lato superiore.

Nel mondo vario e multicolore delle scogliere coralline l'arte del mimetismo è sviluppata più altamente che in qualsiasi altro dominio naturale. Lo scorfano, il pesce dei sargassi e la rana pescatrice si intonano perfettamente all'ambiente barocco che li circonda. Il *Lachnolaimus* e le cernie cambiano colore a seconda dello sfondo variegato sul quale si muovono. Il chetodonte, o pesce farfalla, presenta sulla coda disegni a forma di occhi, probabilmente per ingannare gli aggressori.

Alcune creature delle scogliere sono inoltre armate di veleno. Tra queste si annoverano certi ricci marini, alcune stelle di mare, la pastinaca, lo scorfano, il pterioide, che con le loro spine producono una paralisi temporanea. La più pericolosa, tra le creature delle scogliere, è tuttavia la sianacea. Sul suo dorso viscido e verrucoso ci sono 13 spine erettili, a forma d'ago, ciascuna delle quali è alimentata da due ghiandole contenenti un veleno contro il quale non si conosce alcun antidoto.

Questi pesci avvelenatori costituiscono il principale pericolo per l'uomo,

nelle scogliere coralline. Gli altri sono tutti passivi. Si possono incontrare però predatori pericolosi come lo squalo, il barracuda e qualche cernia gigante che di tanto in tanto abbandonano le acque aperte per recarsi a cacciare tra le popolose comunità del mondo dei coralli. Gli ittologi ed altri studiosi della fauna che vive tra le scogliere non sono però d'accordo sul grado d'aggressività di questi pesci carnivori. Sul loro conto si è sempre detto che attaccano l'uomo e gli producono ferite o l'uccidono. Tuttavia alcuni naturalisti insistono nel dire che gli attacchi di questo genere sono dovuti a errori d'identificazione: infatti un tuffatore o un nuotatore non viene mai aggredito finché rimane sott'acqua, dove i pesci possono vederlo. È solo quando sale alla superficie e spruzza acqua intorno come una frotta di aringhe spaventate che l'uomo corre il rischio di essere attaccato. La maggior parte degli studiosi è concorde nel dire che gli squali sono relativamente prudenti fino al momento in cui non vengono eccitati dalla presenza di sangue nell'acqua: perciò un nuotatore può spaventarli e tenerli lontani nuotando nella loro direzione e producendo un qualsiasi rumore. Il barracuda, però, è molto più feroce e non ha paura. Esso attacca con la velocità di un proiettile e la sua bocca mostruosa, dotata di denti a forma di coltello, può asportare un braccio o una gamba tagliando anche le ossa. Questo pesce è, in genere, il più feroce e terrificante pirata del mare.

Come l'uomo moderno ha potuto accertare, nel mare non ci sono serpenti con le corna o mostri mitologici. A parte questi predatori affamati e certe creature velenose, ma niente affatto aggressive, il mondo sottomarino dei coralli presenta pochi pericoli. Anno per anno, a mano a mano che i naturalisti e i tuffatori dilettanti esplorano l'ossatura di queste città di pietra, vengono alla luce nuove meraviglie e nuove bellezze, come evocate dalle parole del poeta: «Nelle profonde camere, dove le acque dormono, di quai sconosciuti tesori è ricoperto il pavimento!».

(9 - Continua)

Lincoln Barnett

10 - IL MONDO IN CUI VIVIAMO

Il deserto





LE DUNE DI SABBIA sono l'immagine che subito si presenta alla nostra mente quando si parla del deserto. Comunemente, anzi, si ritiene che il deserto sia

formato esclusivamente di distese sabbiose. Si tratta di una concezione errata, frammentaria. In realtà le dune di sabbia ricoprono soltanto il 30 per cento del

La terra del sole

L'uomo subisce il fascino dell'ignoto e, spinto da un impulso irresistibile, tenta di colmare con l'immaginazione le lacune che esistono nella sua conoscenza. Fin dai tempi delle prime esplorazioni, egli è stato portato a ritenere che le terre lontane, non segnate sulle mappe, fossero desertiche o piene di pericoli. Gli antichi geografi circondarono il mondo conosciuto di sconfinite distese desolate, di acque senza limiti o di abissi. Oggi, sebbene le zone in bianco sulle carte geografiche siano solo poche, molte opinioni errate persistono ancora. Una delle più ostinate riguarda i 25 milioni di chilometri quadrati della superficie del pianeta ricoperti dal deserto. Sebbene siano stati attraversati più volte da esploratori e da scienziati (e anche da turisti intraprendenti) i deserti vengono ancora dipinti, dall'immaginazione popolare, come distese aspre, ostili, di sabbie in continuo movimento, senza vita, prive di pioggia, bruciate dal sole, aride e desolate come i polverosi crateri della Luna. Quest'immagine, tuttavia, è frammentaria e può essere applicata soltanto a una minima parte dei deserti della Terra. Le dune di sabbia ricoprono meno del 30 per cento del Sahara e soltanto il 2 per cento dei deserti del Nord America. In gran parte delle regioni desertiche crescono piante, prosperano animali e cade anche qualche pioggia.

Sebbene differiscano notevolmente per il clima e per la loro conformazione, tutti i deserti, dovunque esistano (siano essi caldi come quelli dell'Australia centrale o freddi come il Gobi) presentano alcuni aspetti in comune. Potremmo chiamarli le terre del cielo: uno sterminato maestoso cielo spietatamente azzurro, cristallino, che si stende a perdita d'occhio e sembra confondersi con lo spazio infinito. Sotto il suo splendore implacabile, i colori della terra tendono a scomparire e il mondo è come dipinto a pastello: bruni sbiaditi, verdi sfumati e rossi scialbi. Il mantello verde della vegetazione, che dove il clima è più mite ingentilisce il volto della terra, qui è scarso e poco rigoglioso, la crosta del pianeta rivela chiaramente la propria geometria. Le colline e le montagne si levano ai margini del deserto e disegnano il loro aspro profilo nudo contro l'aria limpida, chiara. Letti di fiumi prosciugati partono da queste alture, solcano le distese desertiche e svaniscono nel fango screpolato di laghi

senz'acqua, a chilometri di distanza dai mari in cui si gettano tutti gli altri fiumi. Di tanto in tanto, sulle aperte estensioni, corrono venti veloci che sollevano nuvole di polvere gialla nel cielo chiaro. Di giorno il fatto dominante del deserto è il sole. Di notte è la volta violacea del cielo, costellata di innumerevoli stelle.

Gli studiosi non sono concordi nel precisare i confini geografici dei deserti, cioè nello stabilire dove finisca la regione semi-arida e dove cominci quella desertica vera e propria. I meteorologi hanno definito per lungo tempo come desertiche le regioni dove l'evaporazione supera le precipitazioni. I botanici descrivono i deserti come vaste estensioni dove esiste una vegetazione specializzata. Dal punto di vista empirico, li si può definire zone dove la quantità delle piogge annuali è inferiore ai 250 millimetri. Ma a qualsiasi criterio ci si voglia attenere, l'attributo fondamentale di tutti i deserti è l'aridità. Tutte le altre caratteristiche, sia botaniche, sia zoologiche e geologiche, derivano da questa qualità basilare.

Letteralmente la parola deserto sta ad indicare un luogo abbandonato, disabitato. Tuttavia non bisogna lasciarsi trarre in errore da questa notazione. I deserti hanno i propri abitanti. Non si tratta delle belve feroci dell'antica superstizione, ma di una moltitudine di piccole creature che vivono rintanate, spesso senza bere acqua. Con questi animali insoliti abitano piante che presentano caratteristiche analoghe. Rare e poco rigogliose, bastano a disegnare sul deserto piccole macchie di un verde argenteo. A differenza della flora che, nelle regioni del globo dove le piogge sono abbondanti, è costantemente in lotta per la conquista della luce e per dare più spazio alle radici nelle umide vallate e nei bassopiani, le piante del deserto sono disperse su un territorio vastissimo, simili ad aiuole di un parco tra le quali corrono viali immensi. Molte di queste piante posseggono spine ed altri mezzi di difesa. Il più delle volte le foglie sono piccolissime o mancano del tutto. In ogni caso si tratta di piante verdi e la loro fioritura avviene su un suolo arido.

Contrariamente all'opinione corrente, il deserto non è completamente arido. La pioggia, però, è così scarsa, così precaria, che non possono esistervi corsi d'acqua perenni. (I fiumi come il Nilo e il Colorado scorrono attraverso il deserto ma le sorgenti delle loro acque si trovano al di fuori della zona desertica.) Di tanto in tanto un'improvvisa precipitazione



Sahara e appena il 2 per cento dei deserti del Nord America. Non meno importante è il "deserto di roccia", che a volte si presenta come un vero e proprio

"lastricato", con frammenti rocciosi disposti secondo un ordine così esatto che si sarebbe portati a pensare a un'opera di pavimentazione attuata dall'uomo.

riempie qualche canale asciutto e forma un torrente che scorre per un'ora o due e va poi a sprofondarsi nella terra assetata senza lasciare tracce.

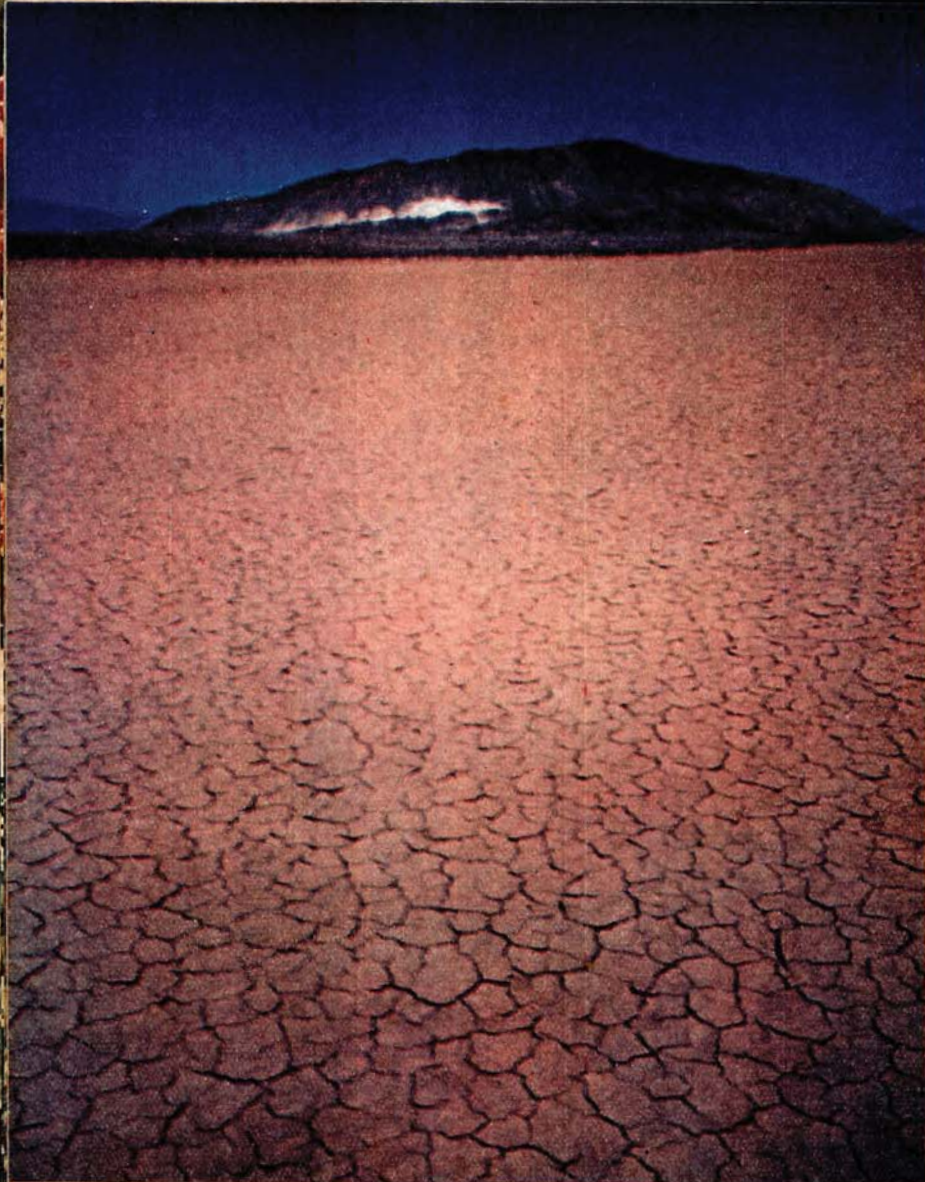
In gran parte dei deserti del mondo l'umidità relativa, durante l'anno, è estremamente bassa. Ma anche qui, come in ogni dominio della natura, si verificano alcuni paradossi. I deserti costieri dell'America del Sud e dell'Africa, per esempio, sono nebbiosi: hanno un'elevata umidità, nuvole, nebbia, ma praticamente niente pioggia. Il Sahara, da parte sua, appare coperto di nuvole solo per il 10 per cento durante l'inverno e per meno del 4 per cento tra giugno e ottobre. Perciò i deserti sono i luoghi più caldi della Terra. La più alta temperatura che sia stata finora registrata ufficialmente è stata rilevata nel Sahara, ad Azizia, in Libia, ed è di 46° all'ombra. Nella « Valle della Morte » in California sono stati registrati 45°. I deserti delle latitudini medie, come il Gobi e il Takla Makan dell'Asia centrale conoscono estati caldissime ed inverni gelidi, con tormento selvaggio e venti freddi provenienti dalle distese siberiane.

I deserti che oggi punteggiano il volto del pianeta non sono esistiti sempre. La maggior parte ha avuto origine durante gli ultimi 15 milioni d'anni, contemporaneamente al sollevarsi delle più alte catene montane della Terra. Oggi essi costituiscono intorno al globo due grandi fasce situate al di sopra e al di sotto dell'equatore, approssimativamente tra i 15° e i 40° di latitudine Nord e Sud. La loro distribuzione sulla superficie terrestre è in relazione con i fattori fisici che hanno determinato la formazione dei deserti. Si tratta di fattori molteplici, che raramente presentano caratteristiche identiche. Tuttavia c'è un aspetto che è comune alla maggior parte delle regioni desertiche: esse si trovano nel settore occidentale dei continenti, dove l'aria calda, asciutta, dissolve, abbassandosi, la coltre di nuvole e consente alla luce del Sole di raggiungere la Terra in maggior quantità e di riscaldarla intensamente. Un altro fattore evidente, anche se non determinante, sono le catene montane che costituiscono un riparo dalla pioggia. Spesso, come è noto, le regioni più piovose della Terra si stendono dalla parte dei versanti montani esposti al vento. Dal canto loro, alcune tra le regioni più aride si trovano sul versante opposto, al riparo dal vento. Bisogna dire, però, che le catene montane non bastano da sole a spiegare i deserti costieri del Cile e del Peru, estremamente aridi. Qui assumono un'enorme importanza le correnti dell'oceano e in particolare quelle fredde che, quando corrono parallela-

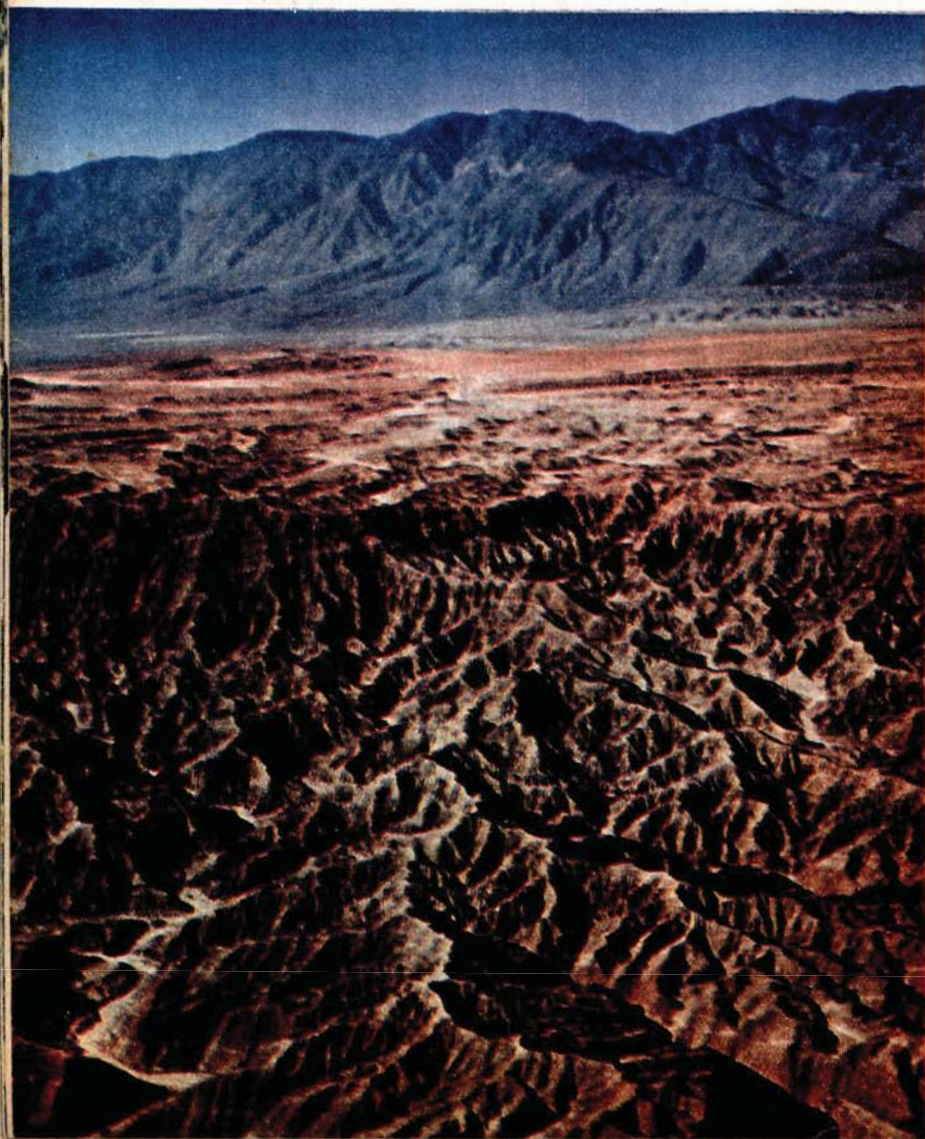
mente alla costa, possono produrre il paradosso di un clima nebbioso e tuttavia arido. La corrente del Peru, ad esempio, che scorre dall'Antartide verso il Nord, raffredda le brezze provenienti dal Pacifico e provoca una condensazione dell'aria, con la conseguente apparizione di una spessa nebbia. A mano a mano che s'avvicina alla terra, l'aria fredda e umida si riscalda ed è quindi in grado di assorbire una maggiore umidità. Quindi la nebbia, penetrando nell'entroterra, si dissolve rapidamente e solo in rari casi si scioglie in pioggia. Avviene così che la città di Lima, sebbene sia avvolta molto spesso in una fitta nebbia malinconica, ha una media di soli 50 millimetri di piogge annue. Il vicino deserto di Atacama è il più arido del mondo, sebbene si trovi a soli pochi chilometri dal mare: la media annua delle precipitazioni è di 13 millimetri. Le stesse caratteristiche presenta, sostanzialmente, il deserto di Sonora, del quale illustriamo in questo capitolo i vari aspetti, poiché esso riassume in sé i diversi tipi di deserti esistenti al mondo. Le catene montane che si stendono lungo le coste della California e del Messico impediscono ai venti apportatori di pioggia, provenienti dal Pacifico, di raggiungere l'entroterra. Da parte sua la Corrente fredda della California influenza le regioni costiere, creando le condizioni tipiche del « deserto di nebbia » sulla piccola penisola del Golfo di California, il cui entroterra è percorso da aria asciutta, discendente. Sebbene sia molto più piccolo, il deserto di Sonora presenta caratteristiche analoghe al grande Sahara. È vero che sotto molti punti di vista è tipicamente americano, ma le forme terrestri che lo costituiscono, le montagne nude, erose, le pianure desertiche, i ventagli alluvionali, le dune in continuo movimento, i letti fluviali prosciugati e i laghi senz'acqua, si ritrovano anche nel più grande deserto del mondo.

Durante il giorno, dall'alto, il Sole d'oro vi splende come sulle infernali distese desertiche dell'Asia. Di notte ardono nel suo cielo la Via Lattea e le stelle con la stessa intensità che disorientò gli astronomi alessandrini più di 2000 anni fa. Lungo le sue vaste pianure scorrono fiumi cristallini di un'estrema trasparenza. E qui come nel deserto di Gobi, nelle sabbiose distese dell'Arabia Saudita come nelle aride pianure australiane, in ogni parte del mondo

*... il cerchio del deserto si stende
ad arco come l'oceano, fasciato dal cielo.*



UN LAGO ASCIUTTO, detto anche playa, nel deserto di Sonora. Di tanto in tanto le acque delle piogge lo riempiono, poi il sole asciuga il fango e lo screpola. Sotto: Le complesse incisioni prodotte dalle piogge torrenziali sulle rocce desertiche.



IL CONFINE DEL DESERTO appare ben definito in questa veduta aerea che ci mostra la brusca separazione tra la zona ricoperta dalla vegetazione arborea e la zona arida, dove la scarsità delle piogge ostacola lo sviluppo della flora.

Il profilo del deserto

Nel deserto l'architettura della superficie terrestre appare evidente più che in ogni altro luogo. Qui i contorni rocciosi della tormentata crosta planetaria non sono mascherati e nascosti dal verde della vegetazione. Le pareti incise e accidentate delle montagne si ergono bruscamente sulle nude pianure. Gli aridi letti delle effimere correnti sono fiancheggiati da ripe erte, da rocce scoscese. Il fondo dei laghi vuoti è come un intricato mosaico disegnato sul fango, che il sole ha reso secco e ricoperto di innumerevoli spacchi.

Per uno strano paradosso, architetto e scultore degli aridi paesaggi desertici è l'acqua corrente. Sebbene siano rare e scarse, le piogge in queste regioni cadono con violenza torrenziale e danno origine a correnti rapide, che scorrono lungo i nudi versanti delle montagne e, non ostacolate dagli alberi né dal suolo, mordono profondamente la roccia scavandovi forme aguzze ed angolari. I sedimenti che esse trasportano vanno poi ad accumularsi ai piedi delle montagne, dove il loro deposito forma un lieve declivio che prende il nome di *bajada* o ventaglio alluvionale. Di qui le acque si spingono attraverso le pianure desertiche, scavandosi da sole i propri canali di drenaggio. Talvolta, quando la roccia sottostante è poco resistente, esse danno origine a un intricato labirinto di canali e di creste rocciose a lama di coltello.

A differenza delle correnti che attraversano le regioni umide, i corsi d'acqua del deserto raramente arrivano fino al mare. Le regioni desertiche hanno un sistema di drenaggio interno, loro particolare. I letti prosciugati vengono chiamati negli Stati Uniti *canyons* e *arroyos*, nel Sahara sono noti col nome di *uadi*, nel deserto di Gobi si chiamano *sai* e nel Kalahari dell'Africa meridionale *laagte*. Le veloci correnti d'acqua che percorrono questi letti aridi per brevi periodi di tempo di solito sfociano in bacini chiusi, dove formano laghi temporanei che prendono il nome di *playa*. Alcuni *playa* rimangono umidi e conservano infiltrazioni d'acqua di 40-70 centimetri al di sotto della superficie o anche un basso strato d'acqua salmastra alla superficie stessa. Più spesso, però, le correnti momentanee affondano nella terra arida e scompaiono, lasciando una superficie fangosa che il sole asciuga, rende solida e copre di fessure. Poche sono le piante che possono svilupparsi su simili laghi asciutti, il cui suolo è duro come il cemento e pieno di sale. Ai loro margini si trovano tuttavia rare tracce di vegetazione, in genere *mesquites* (piante delle leguminose), che a poco a poco prendono consistenza e infine si uniscono ai cespugli di bardana e agli alberi del creosoto delle circostanti pianure desertiche.

Di solito la vegetazione copre non più di un quinto della vasta, uniforme pianura desertica. Il resto è solo sabbia, ghiaia, rocce nude, che si stendono a perdita d'occhio. Dove le sabbie sono esposte ai venti costanti, possono formare dune che, disposte in file interminabili, marcano attraverso il paesaggio in continuo movimento. Più estese delle dune sono le zone dove i frammenti granulosi delle rocce depositati dall'acqua sono stati piattati dal vento, in modo da formare un « lastricato » desertico, così ordinato che sembra disposto e aggiustato dalla mano dell'uomo. Vaste estensioni di questi letti di rocce si trovano nel Sahara e nei deserti sia del Vecchio Mondo sia dell'America del Nord.

Di tanto in tanto, in mezzo alle distese desertiche più inaccessibili, sorge una rara oasi dai colori di smeraldo, quasi a simboleggiare la tenacia della vita. La sua presenza è dovuta al fatto che le acque sotterranee emergono, talvolta, alla fine di un ventaglio alluvionale o filtrano alla superficie raccogliendosi in piccole pozze o in bacini isolati. E dovunque ci saranno acque dolci si svilupperanno le piante.



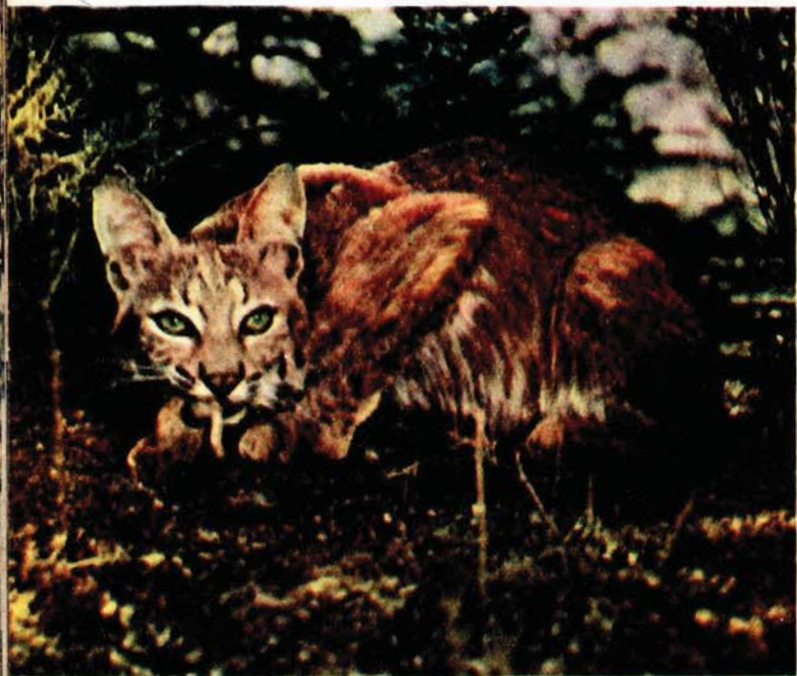
UN'OASI nel deserto di Sonora, fiorita tra le rive di un corso d'acqua alimentato dalle nevi del vicino monte San Jacinto. Si dà il nome di oasi ad ogni località fertile o ricoperta di verde esistente nel deserto. Ad esempio, le pianure

rese fertili dagli annuali straripamenti del fiume Nilo, in Egitto, non sono altro che immense oasi, così come lo sono le zone aride irrigate artificialmente dall'uomo. Le palme sono le piante più caratteristiche che fioriscono nelle oasi.



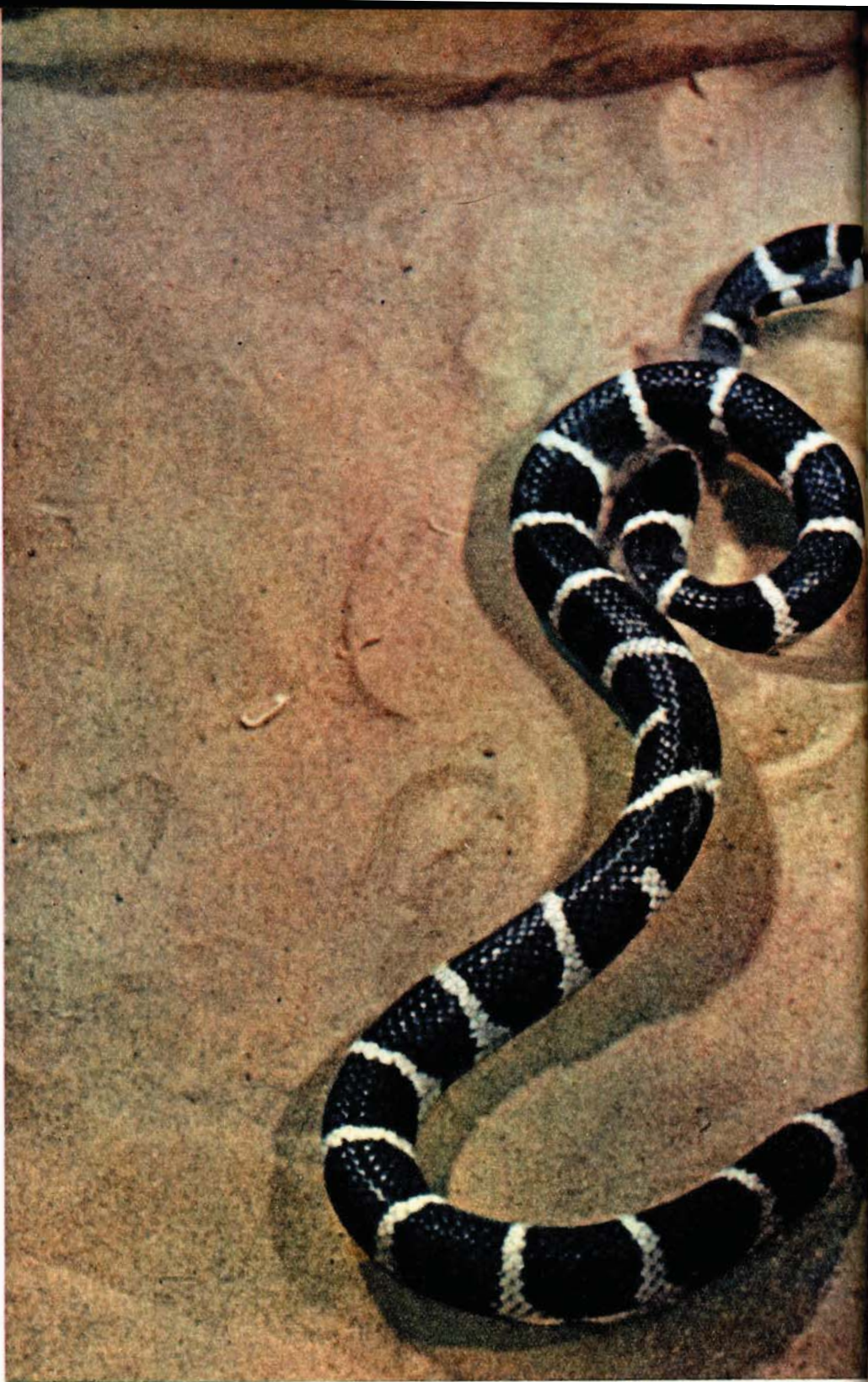
UN TOPO MERCANTE accumula foglie di cacti presso la sua tana, per occultarne l'ingresso. A quest'occupazione dedica la maggior parte del suo tempo. È detto "topo mercante", proprio perché sembra un venditore che espongono in bell'ordine la mercanzia.

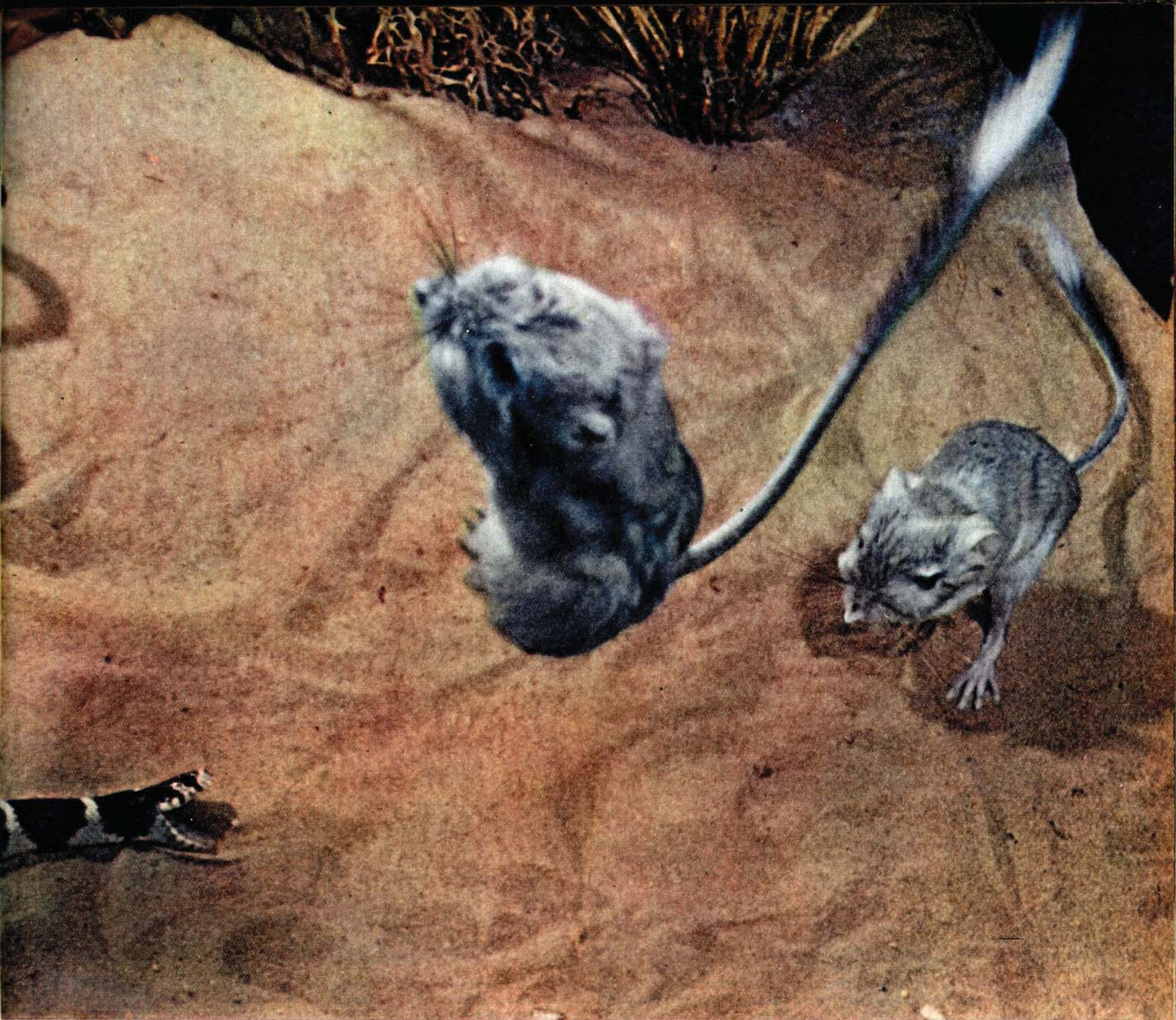
UN TOPO CANGURO (nella foto a destra) tenta di sfuggire, saltando, all'assalto di un serpente re. Come molti carnivori del deserto, il serpente re ricava l'acqua di cui ha bisogno dal sangue delle sue prede. Il topo canguro invece vive cibandosi di semi.



UNA LINCE ROSSA divora uno scoiattolo di terra e così si sazia e, nello stesso tempo, si disseta. Il vero ambiente della lince rossa sono i boschi e le paludi. Essa, però, si adatta benissimo anche alle esigenze della vita nel deserto.

I PECARI (nella foto a destra) sono suini selvatici americani. Mangiano di tutto, dai serpenti ai cacti. Qui li vediamo rimestare nel fango umido dove ha posto le proprie radici un cholla spinoso. In alcune regioni i pecari vengono chiamati anche javelina.





Gli animali del mondo senz'acqua

L'acqua è la base ed è il componente principale delle cose viventi: pertanto il problema degli animali del deserto è di sopravvivere in un mondo dove le acque correnti sono scarse. L'uomo difficilmente riesce a rendersi conto di come molte creature del deserto riescano a trascorrere l'intera loro esistenza senza mandar giù una sola goccia d'acqua.

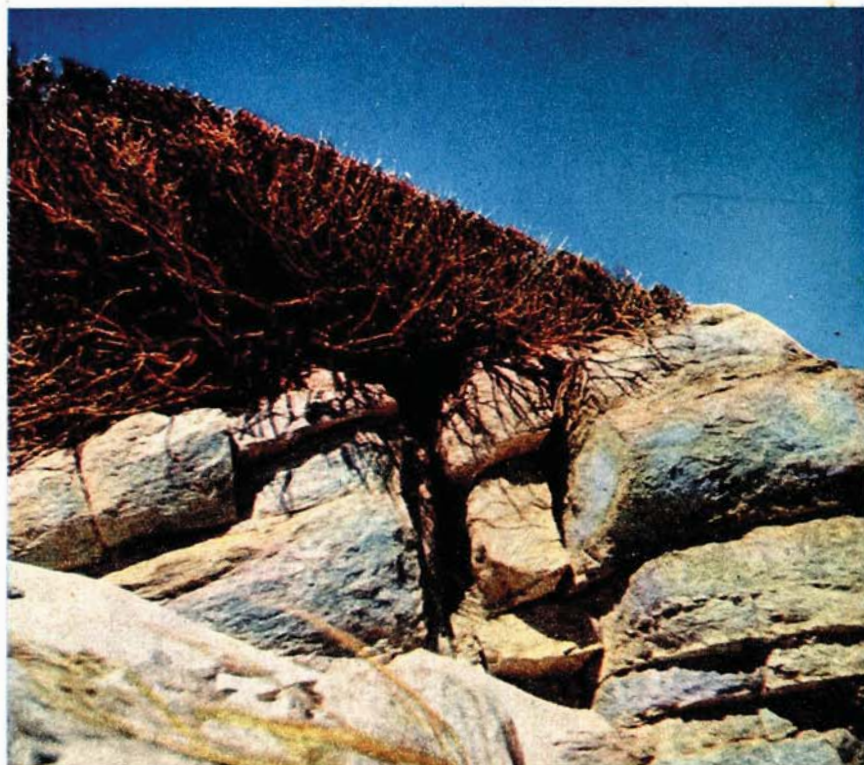
Il deserto non ammette compromessi. Non ha eliminato la vita, ma quelle forme di vita incapaci di resistere alla sua aridità: in primo luogo gli animali dall'epidermide umida, che non possono vivere senz'acqua. Pochi, gli animali grossi: i giganti del deserto nordamericano sono il cervo, il coite e la lince rossa. Da luogo aperto qual è, il deserto ospita animali veloci, che corrono e saltano con una libertà maggiore di quella che non potrebbero avere nelle foreste. Notturni, silenziosi, si muovono e vivono con la massima segretezza. Non si tratta, però, di animali poveri e denutriti. Essendosi adattati perfettamente al loro duro ambiente, sono floridi quanto gli animali che vivono negli altri luoghi.

Il segreto del loro adattamento è solo in parte di natura fisiologica. Nessuno di questi animali potrebbe sopravvivere se, come cani impazziti, uscissero al sole di mezzogiorno: molti morirebbero in pochi minuti. I più, pertanto, durante le ore più calde rimangono a dormire nelle tane fredde e umide scavate sottoterra e ne escono soltanto di notte per an-

dare a caccia. La superficie dei deserti esposta al sole ha una temperatura media di 65°, ma 45 centimetri più sotto essa scende ai 15°.

Ci sono animali del deserto che bevono acqua quando la trovano ed altri che non ne bevono mai. Eppure tutte le cose viventi hanno bisogno dell'acqua, senza della quale morrebbero. Gli erbivori la trovano nelle piante del deserto. I carnivori si dissetano con il sangue e la carne delle prede vive. Uno degli adattamenti più notevoli è stato raggiunto dal piccolo topo canguro, che non solo vive senza bere ma si sostiene con una dieta di semi secchi che contengono solo il 5 per cento di acqua libera. Come molti altri animali, esso è in grado di fabbricare acqua nel proprio corpo mediante la conversione metabolica dei carboidrati. Noto poi è la parsimonia con la quale spende la sua piccola riserva d'acqua, espellendone solo minime quantità nelle escrezioni e mediante l'evaporazione, attraverso le vie respiratorie.

Se avesse capacità simili, l'uomo potrebbe adattarsi meglio di qualsiasi animale alla vita del deserto, poiché riesce a svolgere un'attività a temperature che ucciderebbero altri esseri. Egli possiede un delicato sistema per regolare il calore e il suo corpo può essere definito un motore con raffreddamento ad acqua. Quando fa molto caldo, può perdere fino a un litro d'acqua l'ora mediante la traspirazione. Senza acqua potrebbe vivere solo due o tre giorni a una temperatura di 30°. A 39° non durerebbe un giorno.

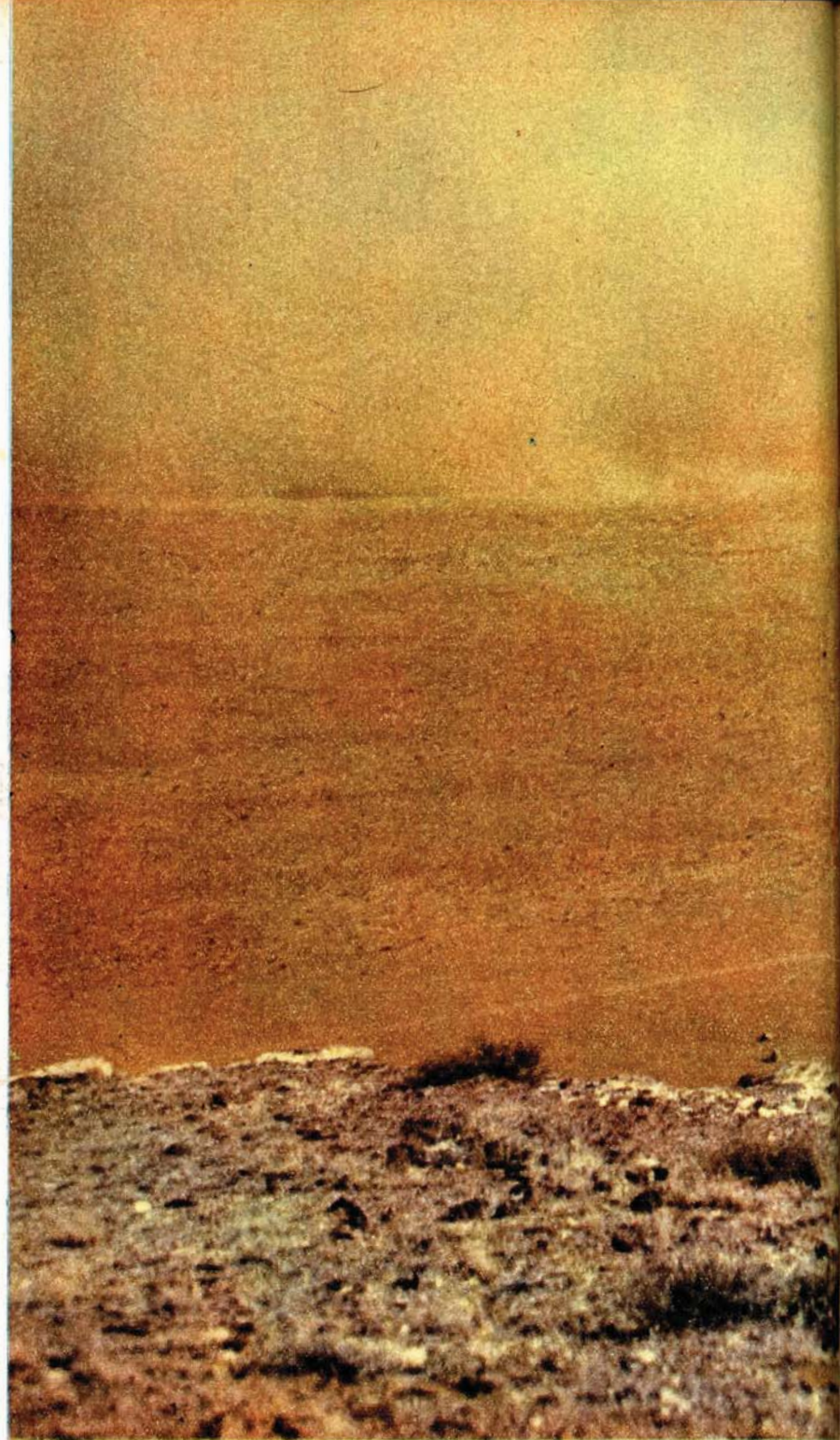


LA FORZA DEL VENTO nel deserto si è esercitata su questo cespuglio, che a poco a poco è stato costretto dalla violenza delle raffiche ad aderire alla roccia che lo sostiene. Non a torto il deserto è stato definito "il regno del vento".

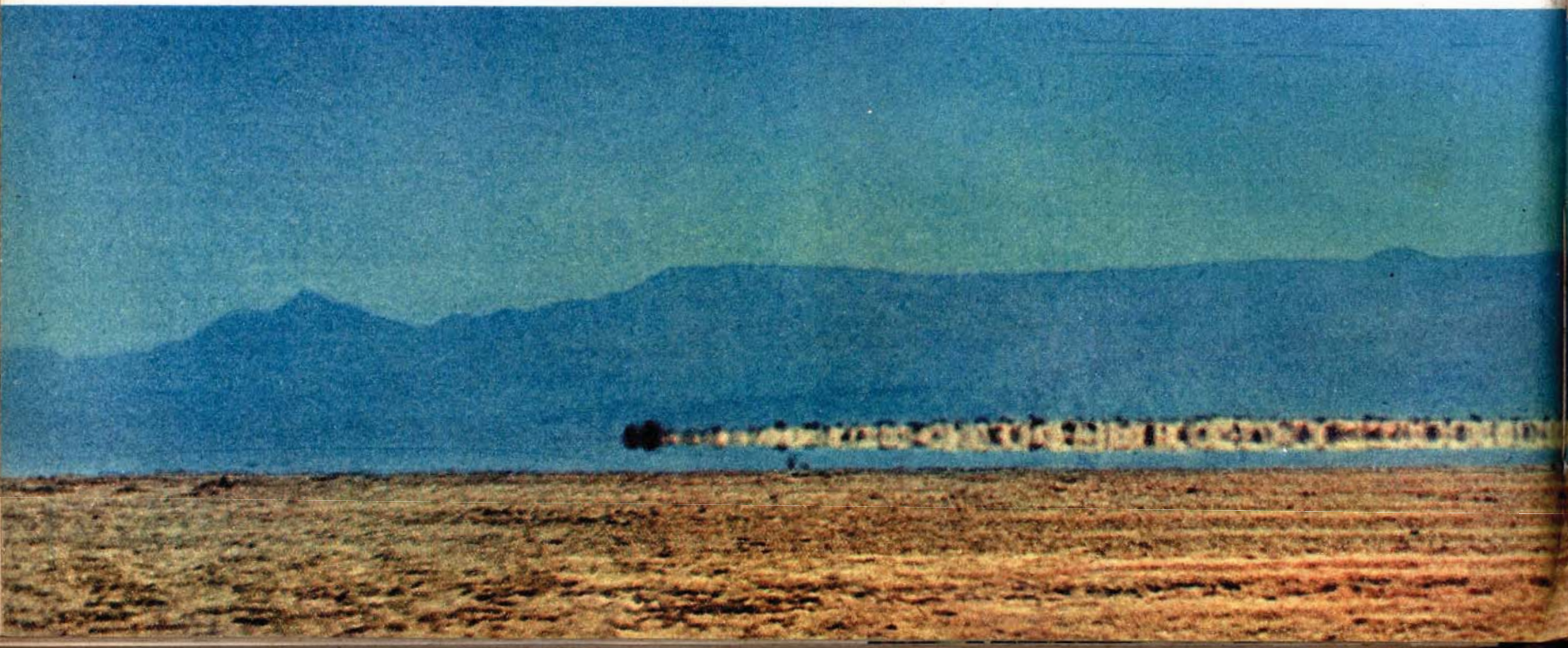
Le cause del miraggio

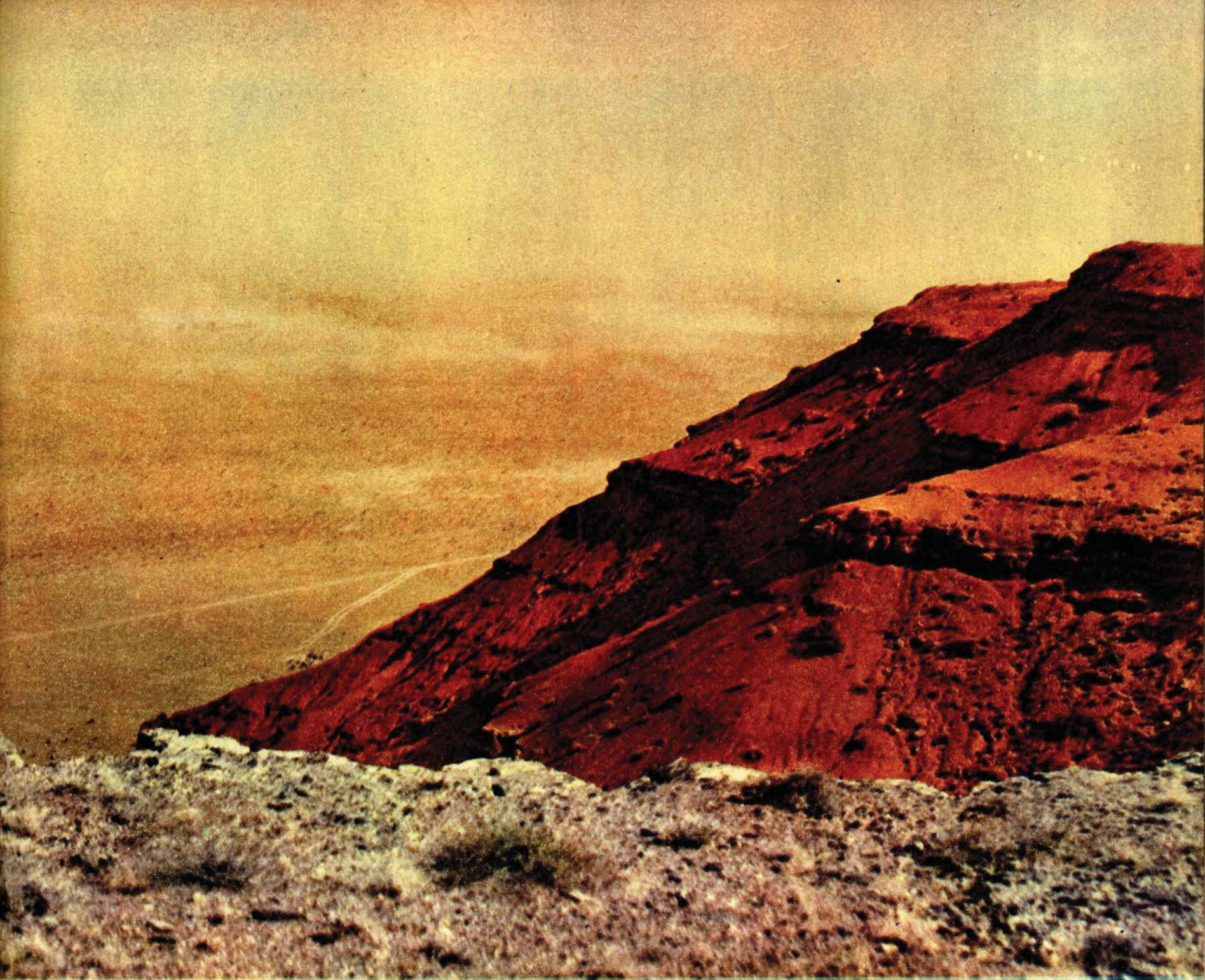
Le cose che vivono nel deserto sono sottoposte a un clima relativamente uniforme, senza variazioni notevoli, ma di tanto in tanto il vento e il sole possono dare origine a insospettati estremi climatici. Di tanto in tanto l'aria chiara, trasparente, che è sospesa sul deserto come una volta del più puro cristallo, viene oscurata da nuvole di polvere e sabbia. I venti, non trovando l'ostacolo degli alberi, corrono liberamente lungo le aride pianure e sommuovono la sabbia che, nella sua corsa, distrugge tutto ciò che incontra sulla propria strada. Le particelle di polvere più piccole si sollevano a spirale e danno origine a nuvole opache che oscurano il sole finché il capriccio del vento non le trascini lontano, depositandole su altri e remoti paesaggi.

Nei giorni senza vento, l'aria del deserto può essere turbata anche per effetto del Sole. Riscaldato dal mezzogiorno infuocato, l'atmosfera più vicina al suolo può dar luogo a uno strato rifrangente che, deviando le onde luminose provenienti dall'alto, produce immagini capovolte e riflette l'azzurro oceano del cielo. Da questo effetto ha origine il miraggio, per cui sembrano apparire laghi azzurri e fiumi rilucenti nei luoghi più selvaggi ed aridi, dove l'assenza dell'acqua ha creato un dominio d'esistenza del tutto particolare.



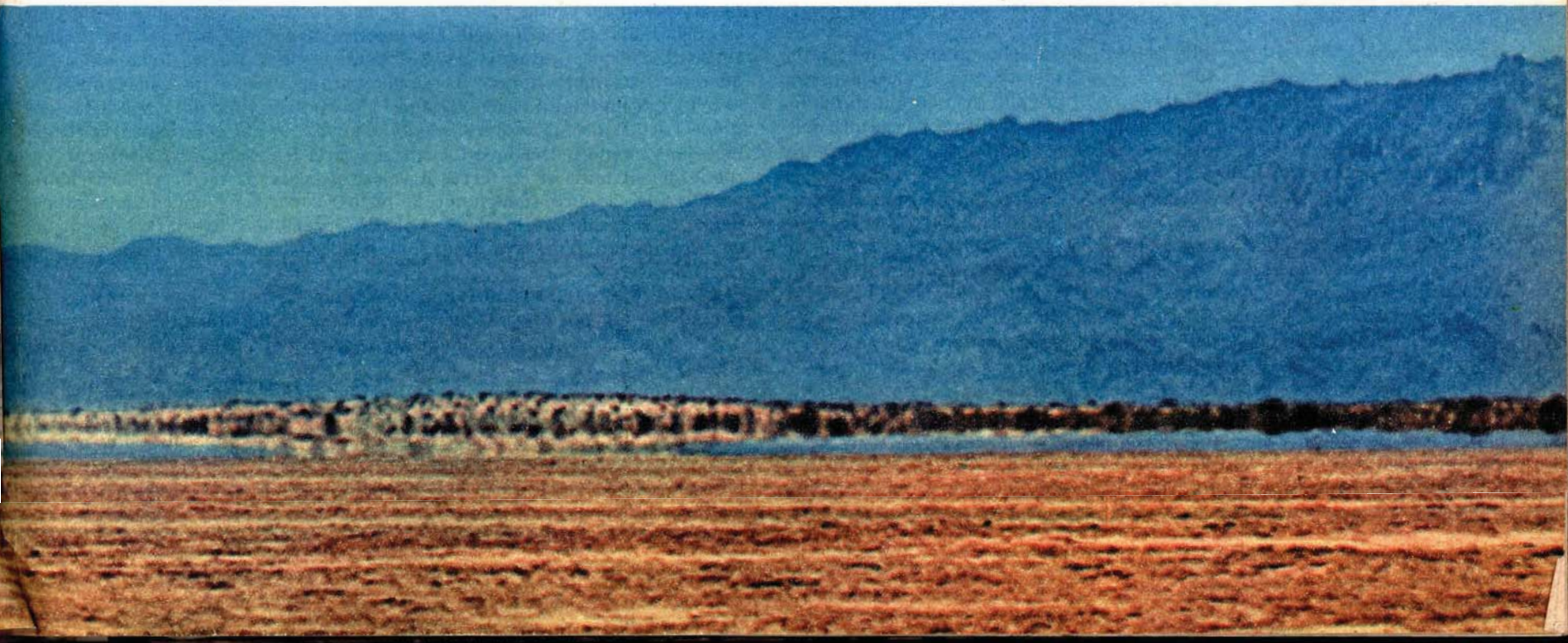
UN MIRAGGIO (nella foto qui sotto) appare su un lago asciutto. Questo tipo di miraggio, molto comune, è causato da uno strato d'aria calda, situato alla superficie del suolo, dove il cielo si riflette. Si ha così l'illusione di una distesa d'acqua.





UNA TEMPESTA DI POLVERE (nella foto qui sopra) percorre il deserto dell'Arizona. L'aria si riempie di nuvole composte da minutissime particelle di polvere. Poiché non c'è vegetazione a rallentare la corsa del vento, la tempesta

diventerà sempre più violenta e arriverà ad oscurare il sole. Le tempeste di polvere differiscono da quelle di sabbia in quanto le particelle di quest'ultima sono più pesanti. Le nuvole di polvere si sollevano a centinaia di metri d'altezza.





CHUCKAWALLA
SKUNK MACCHIATO

TOPO MERCANTE

LUCERTOLA DAL COLLARE
GILA
TOPO DAI PIEDI BIANCHI

SCRICCIOLLO DEI CACTUS
LEPRE CALIFORNIANA
MERLO DI LECONTE
SCIOIATTOLO DI TERRA

PECARI
SERPENTE TORO
TARTARUGA DEL DESERTO

Il deserto di giorno

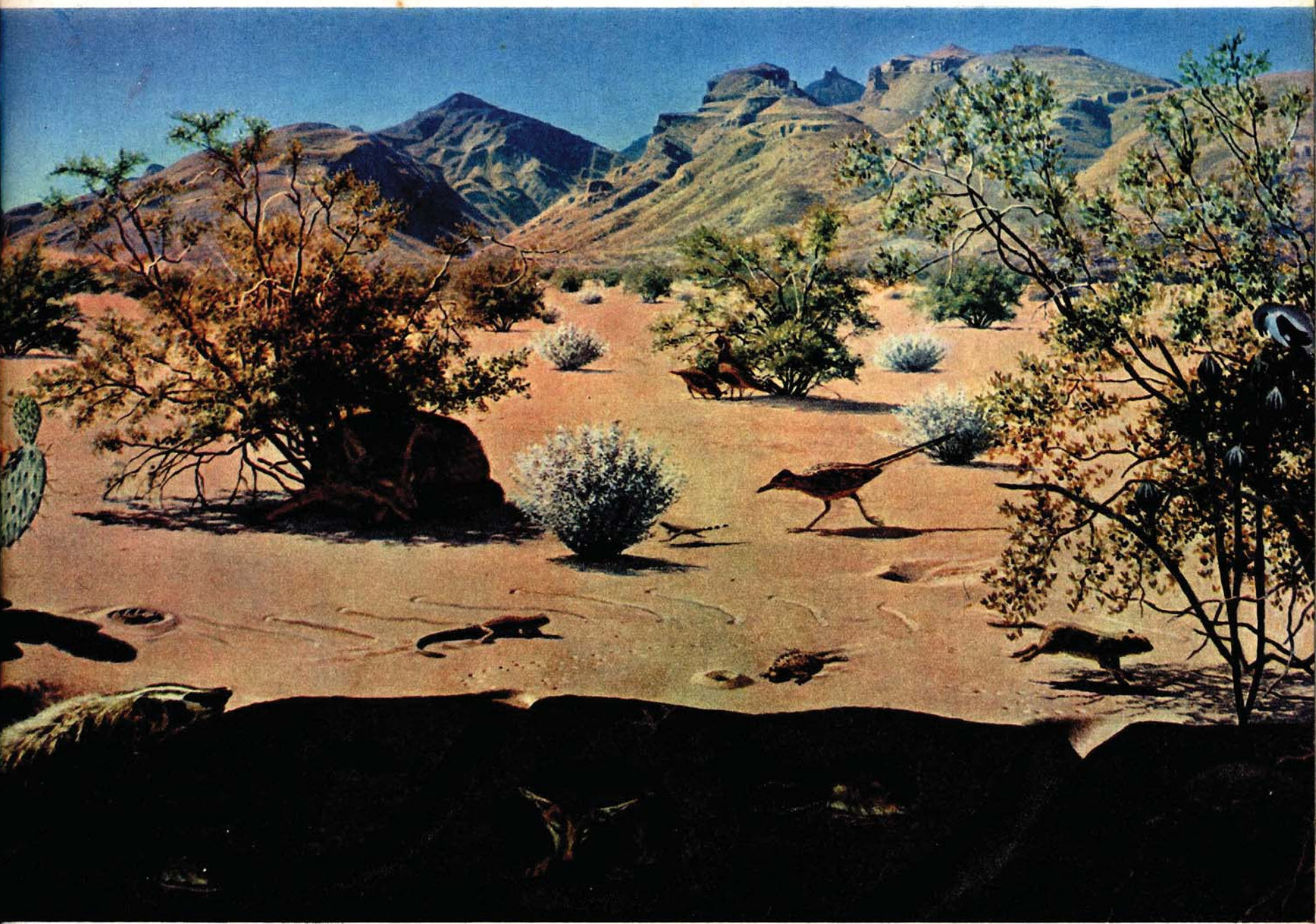
Non appena l'alba si leva sulle pianure desertiche, le stelle che hanno brillato per tutta la notte si spengono e nel cielo comincia a risplendere una pallida luce. Allora le popolazioni degli animali si mettono in movimento: è giunta l'ora del cambio della guardia. Gli ultimi cacciatori notturni tornano nelle loro tane e vi scompaiono. Gli animali diurni intanto cominciano a scuotersi e fiutano l'aria del mattino.

Alle nove, quando il sole s'è fatto alto, le attività diurne sono in pieno svolgimento. È a quest'ora particolare di un luminoso mattino di maggio che si riferisce la tavola illustrata che si vede qui sopra. Essa condensa in un unico panorama la vita che si svolge al di sopra e al di sotto della superficie e illustra due specie di terreno desertico: una *bajada*, un declivio dal suolo grezzo, roccioso, dove crescono cacti come il saguaro gigante, il palo verde dal fusto giallo-verde, il cholla dalle diramazioni a corna di cervo, il barile del deserto, e i fichi d'India; e la pianura desertica (a destra) il cui suolo, più minuto, presenta verdi cespugli di alberi del creosoto e di bardane.

Nel deserto, come in ogni altro luogo, gli uccelli sono i primi a destarsi. Poiché le temperature elevate sono per essi fatali, debbono cibarsi al primo mattino o nel tardo pomeriggio. Durante le ore più calde si rifugiano al-

l'ombra. Alcuni nidificano tra le spesse, umide colonne dei saguaro giganti. Lo scricciolo dei cactus installa la propria fortezza tra le spine inespugnabili del cholla. Ci sono uccelli che percorrono lunghe distanze per cercare sorgenti d'acqua o stagni. I più, invece, come il merlo di Leconte e la quaglia di Gambel, fanno fronte alle proprie necessità ricorrendo alle bacche, ai semi, agli insetti, ai ragni. I rapaci ricavano dai corpi delle loro prede l'acqua di cui hanno bisogno. L'avvoltoio dal collo rosso voltegga incessantemente nel cielo infuocato e scruta il deserto alla ricerca di carogne di cui nutrirsi. A terra, il veloce geococcige, un uccello corridore, percorre le pianure dondolandolo la testa ricoperta da un ciuffo e impennando la coda mentre insegue serpenti e lucertole. L'averla, da parte sua, conficca la sua preda viva in un ramo spinoso e ve la lascia come punto di riferimento.

Le lucertole sono, sostanzialmente, animali diurni, sebbene abbiano sangue freddo e siano estremamente sensibili al caldo. Anche il chuckawalla o Sauromalo, una lucertola dagli occhi scintillanti della quale si dice che sia capace di starsene distesa su rocce tanto infuocate che l'uomo non potrebbe neppure toccarle, in realtà può rimanere al sole soltanto per pochi minuti e poi deve ritirarsi nella sua fredda fessura nella roccia. Come tutta la fauna del deserto, anche le lucertole presentano abitudini e modi di vivere diversi. Il chuckawalla è vegetariano e mangia in particolare fiori e boccioli. La lucertola dal collare non solo è carnivora ma ha anche



TASSO
CROTALO CERASTE

COIOTE

IGUANA DEL DESERTO
VOLPE PIGMEA

QUAGLIE DI GAMBEL
LUCERTOLA DALLA CODA ZEBRATA
LUCERTOLA CORNUTA

GEOCOCIGE
TOPO CANGURO

CITELLO

AVERLA

abitudini cannibalistiche. Il frinosoma o lucertola cornuta (spesso chiamato erroneamente rospo cornuto) predilige le formiche e trascorre lunghe ore in agguato presso le loro tane, catturandole appena si mostrano. Anche nelle armi di difesa le lucertole presentano notevoli differenze. La lucertola dalla coda zebra si basa sulla velocità e corre sulle zampe posteriori come un dinosauro in miniatura, arrivando a toccare i 25 chilometri orari: una velocità molto elevata per una lucertola, ma non tale da permetterle di sfuggire al becco rapace del geococcige. Il chuckawalla ha uno strano sistema difensivo: quando è in pericolo si infila in una fessura e si gonfia, riempiendosi d'aria, per cui è possibile estrarlo solo dopo averlo punto. L'iguana del deserto compie qualcosa di più spettacolare: quando è catturata per la coda, la spezza volontariamente per distrarre il nemico, fugge e ne sviluppa una nuova.

A parte gli uccelli e le lucertole, gli animali del deserto sono generalmente notturni. Due eccezioni notevoli, tra i rettili, sono il serpente toro e la tartaruga. I mammiferi, in linea di massima, durante il giorno restano inattivi. La lepre californiana può fare la sua apparizione nel primo mattino, ma il più delle volte, quando il sole si fa più intenso, si riparerà all'ombra di un cespuglio di *jojoia*. Solo i vivacissimi citelli di Bechey, detti comunemente scoiattoli di terra, e i pecari (suini selvatici americani) riescono ad essere ancora attivi quando il sole giunge allo zenit. Per gli altri l'avvicinarsi del mezzogiorno è il segnale della siesta, il momento di rifugiarsi nelle tane, nelle fessure delle rocce o tra gli arbusti. Il mez-

zogiorno e il primo pomeriggio sono ore silenziose, durante le quali il deserto appare vuoto, disabitato, privo di vita. Verso sera, quando il sole s'è fatto meno crudele, le creature diurne riappaiono per fare un ultimo pasto prima che cada la notte.

Intanto, per l'intero giorno, tutta un'altra popolazione è rimasta a dormire, al riparo dalle intollerabili ore della canicola. Il velenosissimo gila e lo spilogale gracile (o *skunk* macchiato) dormono nelle cavità delle rocce. Il topo mercante se ne sta al sicuro nella sua tana poco profonda, la cui apertura è occultata da un rivestimento di cacti, di rifiuti e di altri detriti. Il coio, che a parte l'uomo ha pochi nemici, rimane all'ombra dei cespugli del creosoto. Il tasso se ne sta steso al sole all'imbocco della sua grossa tana. Il crotalo (un serpente a sonagli americano) si arrotola come un cuscino e così prende il fresco, talvolta sulla sabbia aperta, se il sole non è troppo caldo. Ma sotto terra ci sono molte altre creature, meno audaci: il topo canguro, il peromisco o topo dai piedi bianchi, il goffer o geomide dalle borse e la timida volpe pigmea. Essi dormono nelle loro camere sotterranee e si svegliano e si scuotono soltanto quando il giorno muore e i suoi vivi colori si arrendono all'argenteo crepuscolo. Allora escono dai loro nascondigli e incontrano la retroguardia degli animali diurni che, al cadere della sera, si ritirano dal terreno dove hanno condotto la loro caccia. E in quest'ora di transizione, quando il crepuscolo porta le sue ombre e le stelle cominciano a splendere, che il deserto acquista la vitalità maggiore.



BASSARISCO
CHUCKAWALLA TOPO MERCANTE
SCOIATTOLO DI TERRA

GUFO
SERPENTE TORO

SKUNK MACCHIATO
TARTARUGA DEL DESERTO

COIOTE
CROTALO ADAMANTEO

LEPRE CALIFORNIANA
TOPO DAI PIEDI BIANCHI

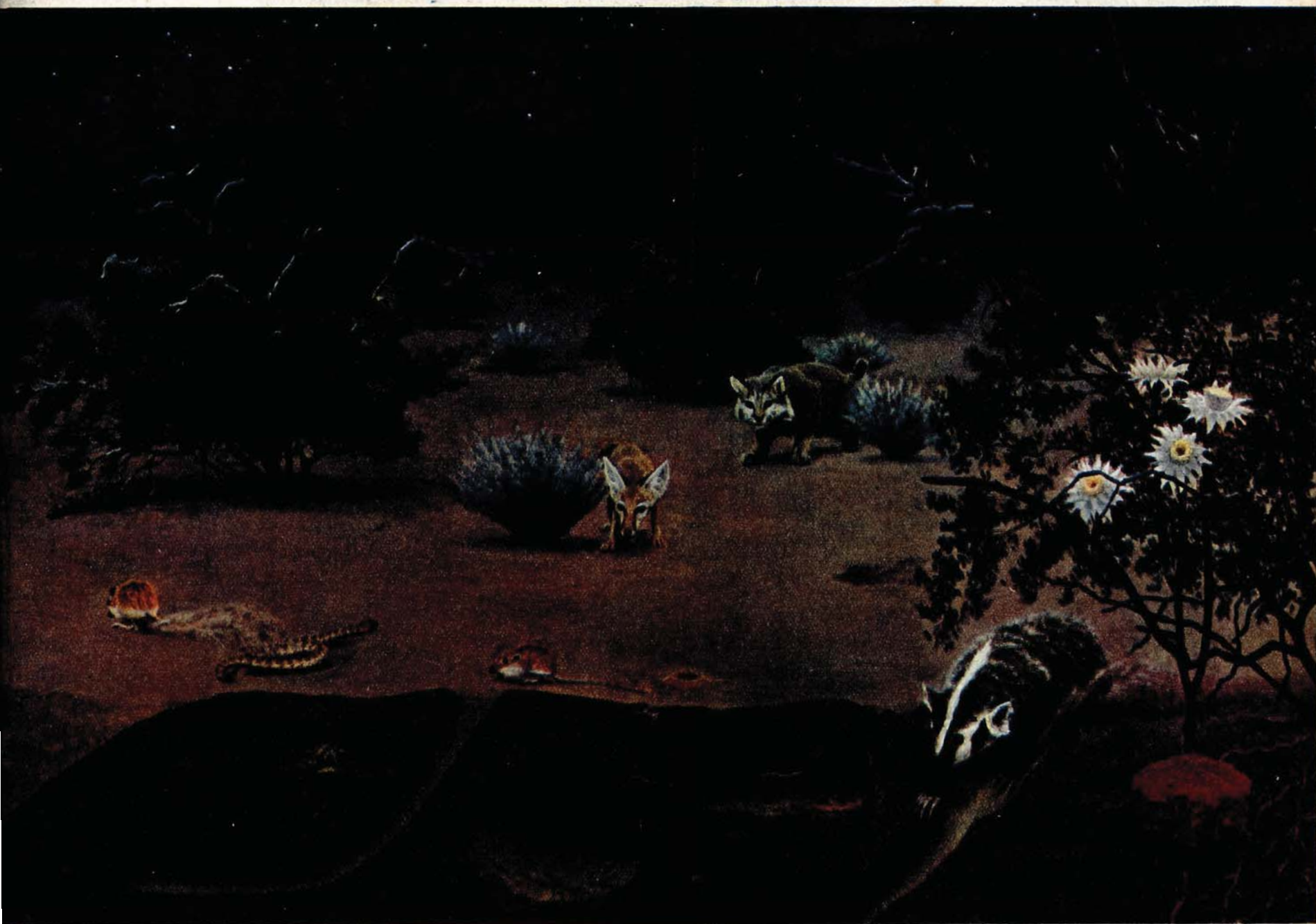
Il deserto di notte

Di notte, sotto lo sguardo impassibile delle stelle, infuriando interminabili battaglie fra cacciatori e prede. Nascoste nei loro rifugi segreti, le creature diurne dormono: il chuckawalla in una fessura delle rocce, lo scoiattolo, la tartaruga e l'iguana nelle loro tane, la lucertola cornuta sotto un piccolo strato di sabbia. Il serpente toro è solito occupare la tana di qualche sfortunato roditore, naturalmente non tralasciando di inghiottire il padrone di casa. Di sopra, intanto, sulle pianure del deserto, si muovono le ombre silenziose dei protagonisti notturni, sempre affamati, sempre all'erta, costantemente impegnati in lotte furibonde e in veloci inseguimenti.

Nella spietata catena del cibo del deserto, quasi sempre gli animali più piccoli sono prede di quelli più grossi. Così è nel deserto come nel mare e in qualsiasi altro regno della natura. Il gradino più basso della gerarchia è occupato dai roditori, i cui nemici sono nascosti dappertutto. Essi forniscono cibo ai mammiferi, ai rettili, agli uccelli. Ma naturalmente debbono mangiare a loro volta e sono costretti a camminare nella notte incontro a infiniti pericoli. Il topo mercante, dopo essersi cibato di cacti e di fichi d'India, se ne rimane intento alla sua occupazione ossessiva, che consiste nell'aggiungere sempre nuovi rifiuti all'apertura della sua tana: pezzi di cacti, rami, pietre, cianfrusaglie d'ogni genere. Dimentico dei pericoli che lo circondano, svolge la sua attività di raccoglitore fanatico. Il

topo dai piedi bianchi, suo cugino, vive ancora più pericolosamente perché, pur potendo sostentarsi seguendo solo una dieta vegetale, ha un debole per gli insetti e per i ragni e a volte rischia la vita per procurarseli. Un parente più lontano, il topo canguro, ha un comportamento più ragionevole. Anch'esso è un accaparratore e trascorre gran parte del suo tempo a cercare semi che porta al sicuro nella sua grossa tana sotterranea, tuttavia ha un'agilità molto maggiore e sa compiere salti a notevole altezza. Inoltre, quando un avversario l'aggredisce, ricorre spesso all'espedito di accecarlo gettandogli sabbia negli occhi. Tuttavia il topo canguro è un boccone prelibato, ambito praticamente da tutti i carnivori.

Meno vulnerabile del topo, ma non tanto da non esser costretta a fuggire dinanzi a molti nemici, è la lepre californiana dalla coda nera, un animale magro e sgraziato che può raggiungere la velocità di 70 chilometri l'ora e sa compiere salti lunghi quasi cinque metri. Essenzialmente vegetariana, golosa di piante succolente e di cortecce di arbusti, essa ha un appetito notevole ed è sempre in attività, notte e giorno. Al centro della catena del cibo si trova lo skunk macchiato o spilogale, che è, insieme, cacciatore e preda. La sua dieta, trattandosi di un animale onnivoro, include frutti di cacti, grilli, cavallette e, a volte, carogne. È un mangiatore di carne e predilige i topi e i piccoli dei conigli. Più vivace e piccolo della moffetta comune (o *skunk* striato) possiede lo stesso armamento chimico, cioè un liquido puzzolente che secerne da ghiandole rettili e proietta a grande distanza, più un'arma essenzialmente psicologica, che consiste nel trucco di sollevarsi verticalmente sulle zampe anteriori nei momenti di pericolo in modo da confondere il nemico. Ha molti avver-



GILA
TOPO CANGURO

CROTALO CERASTE
IGUANA DEL DESERTO

GOFFER

VOLPE PIGMEA

LINCE ROSSA

TASSO

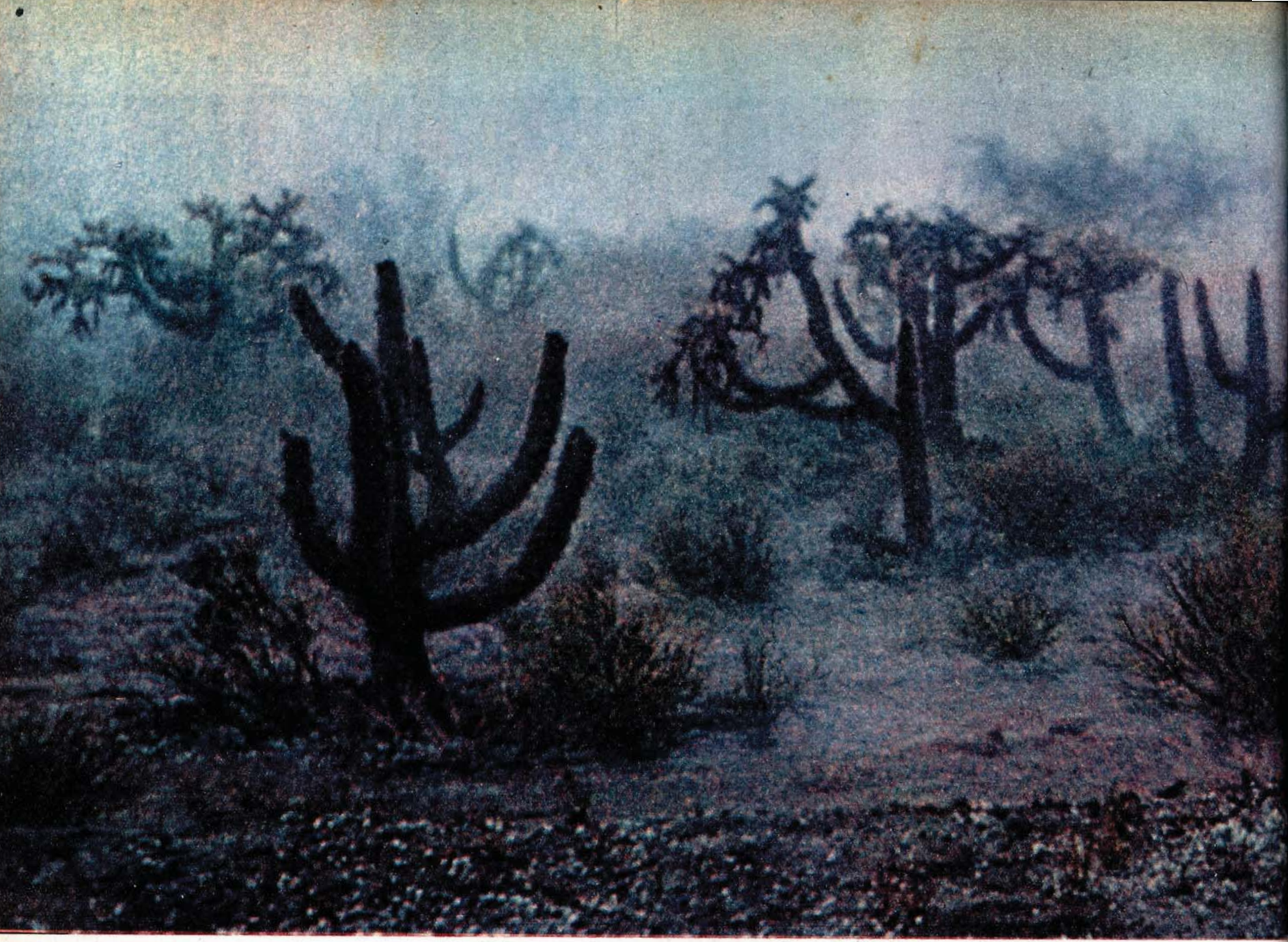
sari, tra i quali il gufo, un uccello rapace notturno il cui soffice piumeggio rende il suo volo completamente silenzioso, per cui la vittima se lo vede piombare addosso senza rendersene conto e si sente afferrata d'un tratto dai suoi artigli implacabili.

Ci sono rettili velenosi che percorrono le pianure del deserto anche di notte. Una delle poche lucertole notturne è il gila che, con alcune specie messicane affini, è la sola lucertola velenosa esistente al mondo. Docile, dai movimenti lenti, il gila morde soltanto se è provocato. Il suo cibo preferito sono le uova di quaglia e i piccoli delle lepri e degli scoiattoli. Molto più pericolosi sono i crotali o serpenti a sonagli: ve n'è una specie, il crotalo adamanteo o atroce, predatore irriducibile la cui lunghezza media s'aggira sul metro e venti, che va a caccia durante la notte di roditori, di conigli e di uccelli; e ve n'è un'altra specie, il crotalo ceraste, che, sebbene più piccolo, non è meno attivo ed ha un sistema di locomozione che lo porta a strisciare lateralmente, di fianco, sulla sabbia.

I dominatori del deserto notturno sono i mammiferi di dimensioni maggiori. Forse il più strano è il bassarisco, un animale scaltro, agile, esclusivamente notturno, che trascorre il giorno ai piedi delle colline rocciose e fa la sua apparizione nel deserto soltanto a notte inoltrata. Suo cibo preferito è il topo mercante, per cui è difficile trovarlo nei luoghi non frequentati da questi topi. Anche la timida, raffinata volpe pigmea, tende a un unico scopo e predilige il topo canguro a qualsiasi altra preda. Piccola, poco più grande di un gatto domestico, la volpe del deserto è in grado di percorrere brevi distanze a una velocità incredibile e soccombe dinanzi a pochi antagonisti. Uno di questi è la lince rossa, cacciatrice scaltra e

combattente spietata che vive nei *canyons* rocciosi e solo di notte scende a cacciare sulle pianure desertiche. Ha pochi nemici di cui possa temere. Un altro cacciatore indipendente e abbastanza sicuro di sé è il tasso, la cui specialità consiste nello scavare. Dotato di zampe anteriori lunghe e potenti, vive coraggiosamente in luoghi aperti, dove può esercitare il suo mestiere di scavare case per gli abitanti del sottosuolo, i roditori diurni. Il più noto tra gli animali del deserto, vero e proprio sovrano delle pianure, è tuttavia il coyote, che ha l'aspetto di un lupo e il cui ululato risuona al crepuscolo attraverso le distese sabbiose che l'oscurità comincia ad avvolgere. Cacciatore versatile, il coyote è capace di lunghi inseguimenti ed è altrettanto abile nello scavare sotto terra. Di preferenza è carnivoro, ma non disdegna le carogne, i cacti e le bacche dei *mesquites*.

Così, durante la notte, le pianure vegliate dalle stelle si trasformano in un vocante campo di battaglia dove si svolgono innumerevoli piccole tragedie nascoste, le cui vicende sono note soltanto ai protagonisti, per i quali il sipario cala soltanto su un ventre sazio o una morte improvvisa. Poi lentamente, mentre il lume delle stelle diviene più debole, gli animali spariscono dalla scena. Uno degli ultimi a ritirarsi è il piccolo pipistrello occidentale che, durante le lunghe ore buie, ha svolazzato sulle pianure a caccia di falene e di altri insetti notturni. Quando le prime luci dell'alba appaiono nel cielo e i bianchi fiori del *cereus* (un cacto che fiorisce di notte) si chiudono ponendo fine al loro breve interludio di vita fragrante, il pipistrello piega le sue ali membranose e striscia in una fessura delle rocce, dove dorme durante il giorno. Intanto gli uccelli del mattino si sono levati in volo.



UN TEMPORALE ESTIVO nel deserto dell'Arizona. Il suolo ricoperto di cacti viene investito con estrema violenza dalla pioggia, dal vento e dalla grandine. Simili temporali scoppiano, di solito, nei mesi estivi, quando, in seguito ai mu-

tamenti stagionali che si verificano nel sistema dei venti e delle pressioni, sull'Arizona giungono infiltrazioni d'aria umida proveniente dal Golfo del Messico. Poiché nel deserto, in conseguenza dell'intenso calore che si libera dal suolo,

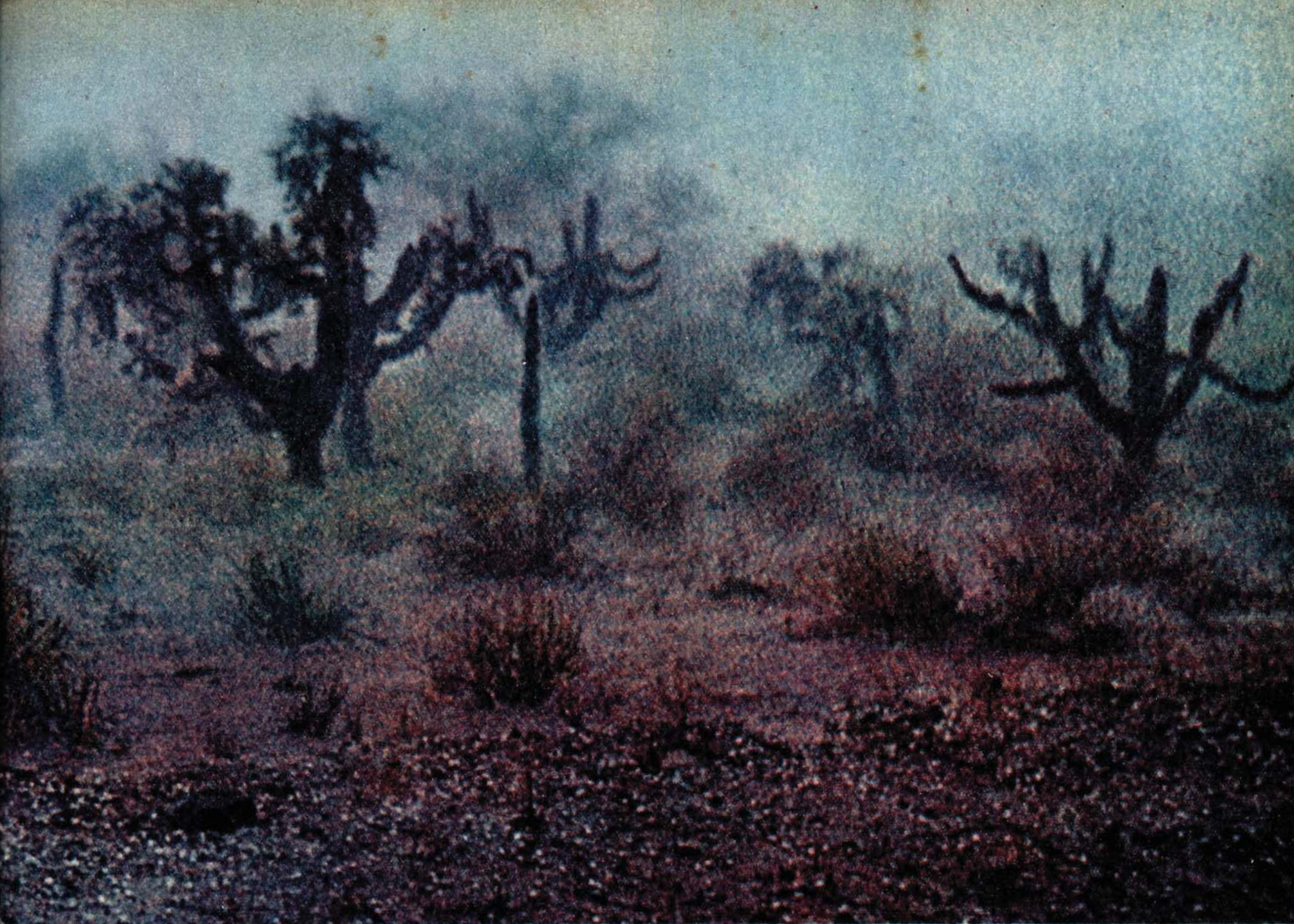


UNA COLONNA DI PIOGGIA (in secondo piano) si abbatte sul suolo del deserto da una nube temporalesca. I suoi benefici effetti saranno presto avvertiti dall'ocotillo (in primo piano) i cui rami non tarderanno a ricoprirsi di foglie.

Quando cade la pioggia

Non esiste, sulla Terra, un luogo tanto arido da non aver mai conosciuto la pioggia. I cieli sono aperti e di tanto in tanto ammassi di nuvole erranti oltrepassano le barriere costituite dalle catene montane, dalle pressioni e dai mari e portano le loro acque su terre che non vi sono abituate. In genere le piogge del deserto hanno origine da due fonti stagionali: le tempeste cicloniche provocate d'inverno dai venti extratropicali e i temporali estivi a carattere locale. Si tratta di piogge estremamente irregolari. Alcuni luoghi possono restarne privi per anni, altri possono ricevere tutta la loro razione annuale nel corso di un unico violento diluvio. Spesso l'evaporazione è così rapida che le gocce si dissolvono nell'aria prima ancora di aver raggiunto il suolo. Poiché i temporali del deserto sono il più delle volte locali, e bagnano al massimo alcuni chilometri quadrati, le medie regionali sono molto basse. L'intero Sahara, ad esempio, sembra avere una media che s'aggira sui 120 millimetri. A Dakhla si ricorda un periodo di 11 anni durante i quali non piovve mai.

Le piogge del deserto, quando giungono, sono spesso brevi ma torrenziali. Al momento di raggiungere il suolo secco, duro, non producono effetti considerevoli ed è come se cadessero sull'asfalto. Le acque possono perciò accumularsi e cominciare a scorrere in notevoli quantità attraverso le pianure arse dal sole e i profondi *canyons*, dando vita a selvagge, turbolente cateratte che si riempiono di fango, raccolgono il detrito che incontrano sulla loro strada, scorrono furiosamente nei letti ripidi, scoscesi, e compiono un violento lavoro d'erosione finché, catturate da miriadi di minuscoli pori del suolo, le acque scompaiono sotto terra e trovano il loro ultimo sbocco in qualche *playa* in attesa del loro arrivo. Alcune ore dopo resterà, di tanta pioggia, un lago di fango umido che il sole del deserto renderà secco e pieno di spacchi.



tendono a formarsi centri di bassa pressione, le masse d'aria umida più vicine al suolo si riscaldano e si sollevano a spirale, creando così le condizioni per l'esplosione di un temporale. Quando, tra lampi e tuoni, la pioggia si rovescia

sulla terra, essa assume una violenza eccezionale e spesso è tanto fitta da costituire un vero muro d'acqua. D'inverno invece la pioggia giunge nel deserto dell'Arizona principalmente dal Pacifico, è meno violenta, ma dura più a lungo.



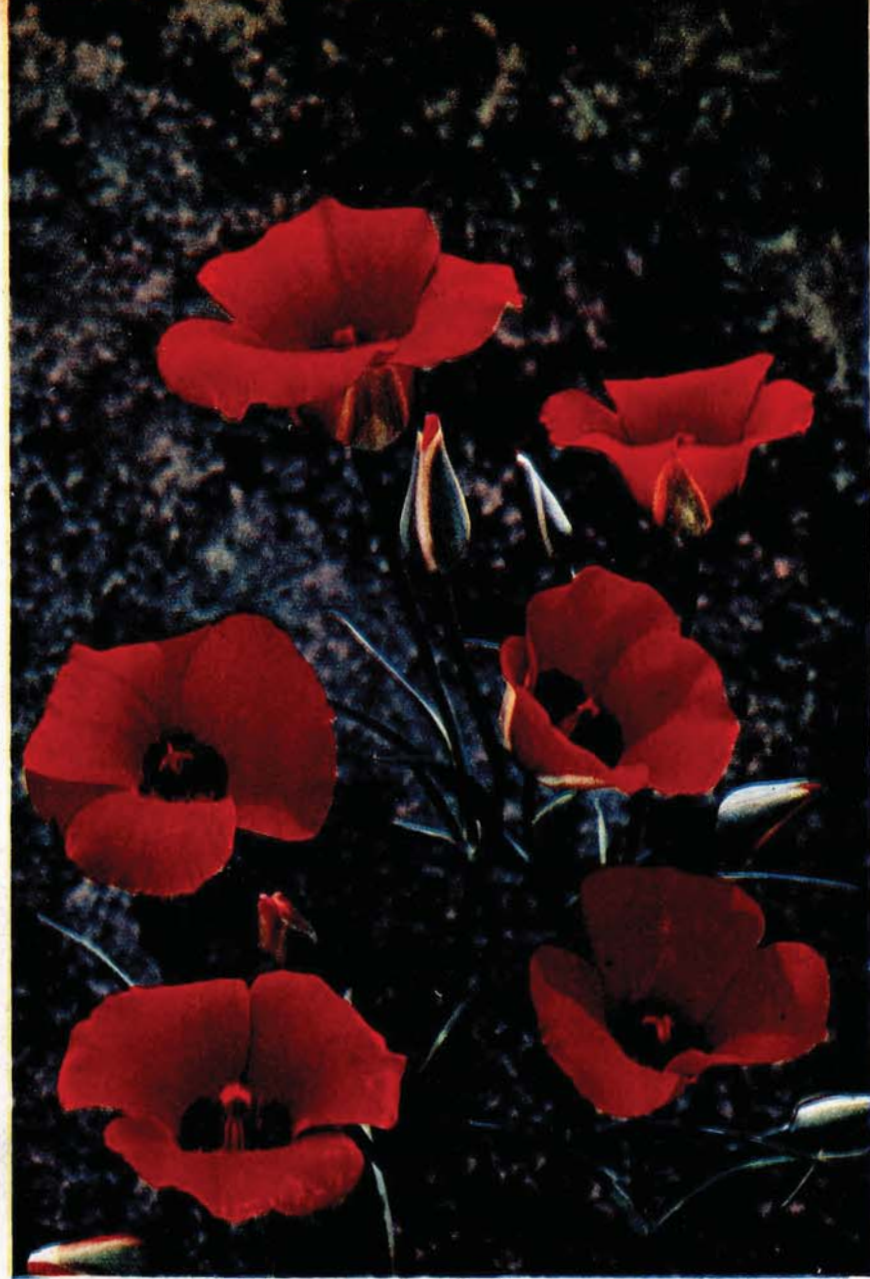
L'ACQUA FANGOSA, turbolenta, scorre in un canale lungo il declivio di una bajada. In meno di mezz'ora, dalla confluenza di tanti piccoli ruscelli minori, può nascere nel deserto un vero e proprio torrente, impetuoso ma effimero.



UN GIORNO DOPO lo stesso canale della fotografia a sinistra appare pressoché asciutto. Delle acque violente del giorno prima non è rimasta che qualche traccia nel fango ancora umido. Presto però il calore del sole lo renderà secco.



I GERMOGLI DEL SAGUARO appaiono in cima ai fusti di questi cacti giganti durante il mese di maggio. Gli steli alti, spinosi, che di solito sono disadorni, in maggio rivelano una fioritura che li ingentilisce, sia pure per breve tempo.



LA MARIPOSA è uno dei fiori più graziosi del deserto. Durante i periodi di siccità la pianta muore e rimane viva soltanto la radice. Dopo l'arrivo della pioggia la mariposa ha una breve fioritura e abbellisce il deserto coi suoi colori.

“E il deserto fiorirà”

Pur essendo brevi, le piogge del deserto non svaniscono senza conseguenze. Le piante di queste regioni sono fornite dei mezzi adatti per utilizzare tali improvvise precipitazioni. Molti cacti hanno radici lunghe, capaci di assorbire notevoli quantità d'acqua nel corso di una singola precipitazione. I loro steli spessi, dilatabili, possono accogliere acqua sufficiente per molti mesi. Altre piante, come il palo verde, conservano la propria provvista riducendo la superficie totale di traspirazione e perciò hanno foglie piccolissime. Altre ancora, come l'ocotillo, frangono i periodi di siccità privandosi completamente delle proprie foglie. Ci sono cespugli che lasciano morire addirittura tutti i loro rami, mantenendo in vita soltanto le radici. Così le piante permanenti del deserto si adattano al loro difficile ambiente in modo da non dover dipendere dalla frequenza delle piogge.

Altre piante presentano caratteristiche non meno notevoli e una o due volte durante l'anno trasformano la scena del deserto, arricchendola. Si tratta dell'effimera vegetazione che fiorisce brevemente solo nei periodi in cui la lunga siccità è interrotta. Allora le pallide distese arse dal sole si tappezzano di germogli multicolori e il deserto sembra rivivere miracolosamente, gli insetti proliferano, i rospi ed altre creature che amano l'umidità escono dal loro letargo estivo. A differenza dei cacti e delle altre piante capaci di resistere all'aridità, la vegetazione effimera del deserto giace desolata e senza vita durante i periodi di siccità. Poi, dopo una pioggia rinfrescante, in maniera del tutto stupefacente, germoglia, fiorisce, produce semi: tutto in un periodo di sei-otto settimane. Queste piante dalla vita breve sono tra le più prolifiche del deserto. Nel Sonora rappresentano quasi metà della flora. Sbocciano rapidamente ed altrettanto rapidamente muoiono, tingendo il paesaggio con colori vivi, magici, e avverando per breve tempo l'antica profezia: «E i deserti saranno allietati e fioriranno come la rosa».

I deserti coprono quasi il 19 per cento delle terre emerse, ma accolgono soltanto il 5 per cento della popolazione del pianeta. Agli occhi dell'uomo queste distese desolate sembrano prive di valore, eppure sotto il suolo arso dal sole e le sabbie incostanti si celano molte tra le più grandi ric-

chezze della Terra: i diamanti nel deserto di Namib, in Africa, e il petrolio dell'Arabia e dell'Iran. Gli immensi depositi di nitrati esistenti nel deserto di Atacama, nel Cile, e il borace del deserto di Mojave debbono la loro presenza alla mancanza di piogge. Infatti i nitrati, il gesso, il borace ed altri sali importanti sono sostanze solubili all'acqua. Se le precipitazioni fossero più abbondanti, sarebbero lavati dalle acque e trascinati nel mare.

Prima ancora di scoprire queste ricchezze nascoste, tuttavia, l'uomo è riuscito a strappare cibo al deserto regolandone le limitate riserve d'acqua. Gli antichi egizi furono tra i primi a sviluppare l'arte di irrigare il deserto, perché le inondazioni periodiche del Nilo, alternandosi con lunghi periodi di siccità, suggerirono loro la necessità di controllare il flusso delle acque mediante la costruzione di dighe, di sbarramenti e di canali. Anche altre civiltà antiche praticarono l'arte dell'irrigazione. Il Tigri e l'Eufrate fornirono acqua ai sumeri, ai babilonesi e agli assiri. Nella valle del fiume Indo fiorì la prima cultura dell'India. L'agricoltura, a quanto si ritiene, fiorì dapprima nelle fertili terre che si stendevano accanto a questi grandi fiumi perché esse erano più facilmente coltivabili delle intricate foreste e delle stoppose pianure ricoperte d'erbe dei climi più favorevoli. I terreni desertici, sebbene abbiano poco humus, spesso si prestano a notevoli coltivazioni, anche perché il calore del sole può permettere due o tre raccolti l'anno. Alcune tra le più ricche fattorie del mondo si trovano nella *Imperial Valley* irrigata, nel deserto di Sonora.

L'uomo ha conquistato il deserto in molti modi. Ne ha perforato la superficie per scavare pozzi petroliferi e miniere, vi ha costruito strade, l'ha sorvolato con gli aerei. Tuttavia, allo stesso modo degli oceani e delle alte catene montane, il deserto rimane una delle più grandi barriere della superficie del pianeta e continuamente respinge gli assalti intesi a sottrargli parte dei suoi territori. L'uomo ne ha occupato le oasi qua e là, ma è riuscito soltanto a punteggiare, con la sua presenza, le sterminate distese che corrono fino all'orizzonte vuoto e che da secoli, per chilometri e chilometri, rendono inaccessibile l'infuocato, implacabile «deserto illimitato, senza sentieri, simile a un mare».

(10 - Continua)

Lincoln Barnett

Le lande artiche



ALBERI NANI, ricoperti di gelo, spuntano tra la neve di Abisko, nella Lapponia svedese. È evidente l'effetto negativo che l'aspro clima nordico esercita nei confronti della vegetazione. Questi alberi stanno a segnare l'inizio della tundra alpina,

costituita da zone squallide, con scarsa vegetazione, situate a notevole altitudine. La tundra artica, il cui clima è generalmente tanto inclemente da non permettere la crescita nemmeno di alberelli come questi, ha inizio circa 1200 km. più a Nord.



UN BRANCO DI CARIBÙ, sotto il cielo primaverile, percorre un lago ghiacciato della tundra canadese. In lontananza, piatta, desolata, senza alberi, l'immensa

distesa squallida si stende verso Nord, fino alle rive dell'Oceano Artico. È appunto verso il Nord che si spingono i caribù, seguendo un impulso misterioso. Le

Il deserto freddo

Nell'estremo Nord, dove le foreste a poco a poco si fanno meno fitte fino a dissolversi in una frangia di cespugli ispidi, la terra si apre su una pianura squallida e desolata e l'orizzonte sembra allontanarsi enormemente, mentre il cielo si inarca maestoso su sconfinite praterie glaciali. Qui c'è la tundra, il deserto freddo che si stende al di sotto del Mare Artico, nell'emisfero settentrionale.

Fra tutte le regioni terrestri, solo l'Antartide è meno conosciuta, meno accessibile dell'Artide. Le zone di confine della tundra hanno conosciuto spesso il piede dell'uomo, ma il suo interno è rimasto invulnerabile, lontano, ostile, per l'intero corso della storia. Le civiltà del passato ebbero dell'Artide soltanto una vaga idea. A parte le saghe islandesi, la letteratura ci offre ben poche opere che parlino dell'estremo Nord. Fino a poco tempo fa neppure la storia ci forniva elementi di una qualche consistenza. Un navigatore antico, Pitea di Marsiglia, costeggiò la Norvegia nel 325 a.C. e giunse in una regione dove il Sole si manteneva per un lungo tempo al di sopra del rosso orizzonte. Il racconto di quest'avventura, scritto dallo stesso Pitea, è andato perduto; però fino a noi ne è giunta l'eco attraverso i numerosi scrittori che hanno celebrato l'impresa, come ad esempio il poeta latino Avienus che ne parlò 700 anni più tardi. Durante il IX secolo l'Islanda fu colonizzata dai Norvegesi e in quattro anni, tra il 982 e il 986, Eric il Rosso esplorò la Groenlandia e vi fondò una colonia. I viaggi effettuati più tardi da Enrico Hudson e da altri esploratori risvegliarono l'interesse per il Nord ma solo nel corso del secolo attuale il paesaggio polare ha potuto prendere forma in ogni suo particolare. Solo il 6 aprile 1909 l'uomo è riuscito per la prima volta a mettere piede sul Polo Nord: protagonista dell'impresa è stato l'americano Robert Peary che aveva con sé un compagno negro, Matthew Henson, e quattro eschimesi.

Generalmente si ritiene che le regioni dell'Artide e dell'Antartide siano uguali. In realtà differiscono enormemente. Il Polo Sud si trova su un continente circondato dalle acque. Il Polo Nord, invece, si trova su un

mare circondato dalla terra della tundra. L'Antartide ha una notevole altitudine e il suo è il clima più inclemente che esista sulla Terra: al di sotto dei 60° di Latitudine Sud non possono vivere né esseri umani, né alberi, né animali terrestri più grandi degli insetti. L'Artide, invece, ha un clima più benigno: tra i 60° di Latitudine Nord e il Polo abitano milioni di uomini, prosperano grandi foreste e abbonda la vita animale. Sulla maggior parte delle sue estensioni terrestri il clima, d'estate, è temperato e persino caldo. La neve si scioglie, le piante fioriscono, gli uccelli accorrono dal Sud. Lo stesso Mare Artico non sempre presenta una superficie ghiacciata compatta: le sue banchise, che vanno da uno spessore di tre metri e mezzo a trentacinque, girano intorno al Polo con un movimento lento ma incessante.

A differenza dell'Antartide, che è tuttora pienamente presa nella morsa di un'epoca glaciale, l'Artide si presenta come una regione non omogenea, con due diverse zone climatiche. La prima è la regione polare, che comprende quelle parti del Mare Artico, della Groenlandia e di numerose altre isole dove le nevi e i ghiacci non si sciolgono mai; la seconda è la tundra, dove per due o tre mesi l'anno la superficie della terra si riveste di verde. La parola *tundra* è di origine lappone o finlandese, ma è passata in molte altre lingue assumendo diverse sfumature di significato. Nella sua accezione più vasta, sta ad indicare le sterminate e squallide distese pianeggianti, prive di alberi, che si trovano tra il Mare Artico e le regioni settentrionali del Canada, della Siberia, della Russia, dei Paesi scandinavi e di una parte dell'Alaska. La tundra è caratteristica del Nord. Nell'Antartide non esiste.

Sebbene il suo piatto profilo sia interrotto, di tanto in tanto, da una montagna o da un raro fiume (come accade in Siberia) o appaia punteggiato da campi di ghiaia, di sabbia o di rocce sgretolate dai ghiacci (come avviene nel Canada), la tundra si distende vuota e informe per chilometri e chilometri e solo i suoi innumerevoli laghetti e stagni intervengono a romperne la monotonia. Essa ricopre la ventesima parte della superficie terrestre, ma è generalmente disabitata e quasi del tutto inesplorata. Nel Canada queste terre squallide ricoprono quasi un milione di chilometri quadrati in un grande triangolo compreso tra il fiume Mackenzie, la Baia di Hudson e la riva dell'Oceano Artico. Ed è stato, press'a



femmine aprono la fila e segnano la strada. I maschi le seguono in coda. Per chilometri e chilometri continua la loro marcia. Alla fine, giunte sulle rive del

Mare Polare, le femmine danno alla luce i loro figli. Poi comincia il lungo viaggio di ritorno e questa volta sono i maschi a camminare in testa, seguiti dalle loro compagne.

poco, al centro di quest'enorme distesa desolata che è andata ad accamparsi, rimanendovi per alcune settimane in condizioni molto difficili, la spedizione incaricata di eseguire le fotografie che illustrano questo capitolo.

L'aspetto piatto che presenta la tundra è dovuto, in gran parte, alla colossale glaciazione verificatasi nel Pleistocene, il periodo geologico durante il quale pesanti cappe di ghiaccio gravarono sulla Terra. Per decine di migliaia di anni le regioni della tundra sopportarono l'enorme peso: le cime delle colline e le alture montane furono livellate, le angolosità furono tutte annullate, la superficie della Terra venne macinata. Oggi una collinetta alta poche decine di metri può sembrare, in molte regioni della tundra, la vetta di una montagna, visibile a 30 chilometri di distanza. Solo quando il Sole si fa basso sull'orizzonte, i suoi raggi orizzontali disegnano con le luci e le ombre il vero profilo della pianura artica.

La caratteristica distintiva della tundra è, al tempo stesso, l'elemento che ne determina l'architettura, è il *permafrost*. Con questo nome i geologi hanno convenuto di indicare il terreno perennemente ghiacciato. In realtà il gelo che rende solido il suolo fino a profondità di decine di metri non è del tutto perenne: ogni estate, per alcuni centimetri, lo strato superiore subisce il disgelo e permette così lo sviluppo della vegetazione artica. Si tratta di un disgelo limitato, che dà alla tundra caratteristiche speciali. Esso non arriva tanto in profondità da incoraggiare le radici degli alberi, a parte alcune forme nane e specializzate. Non è neppure profondo quanto basta a permettere un adeguato drenaggio della superficie, per cui la maggior parte della pioggia e della neve finisce col raccogliersi in ogni minima depressione esistente alla superficie, dando luogo agli innumerevoli stagni e laghetti che ricoprono una metà, quasi, della tundra. Il *permafrost* rende dura la terra, le fa raggiungere press'a poco la solidità della pietra, riducendo così al minimo l'erosione dovuta al vento e all'acqua: ecco perché i pochi fiumi che attraversano la tundra giungono al Mare Artico tra rive piatte e basse. Il limite meridionale del *permafrost* (la linea del *permafrost*) segna il confine inferiore della tundra. È qui che le foreste del mondo finiscono e incomincia l'Artide. La linea del *permafrost* gira intorno al Polo in maniera estremamente irregolare: in certe regioni, come ad esempio la Baia di Hudson, si stende

molto a Sud; in altre, come nelle zone settentrionali del Canada e in gran parte della Siberia, è situata al di sopra del circolo artico.

Per nove mesi l'anno il cuore del territorio della tundra soggiace alla lunga stretta dell'inverno. Giorno per giorno, dal settembre in poi, il Sole si fa gradatamente più basso all'orizzonte e le notti diventano sempre più lunghe. I laghi e gli stagni svaniscono, ricoperti dal ghiaccio, e le acque correnti si fanno immobili. La neve comincia a cadere presto e in breve tempo ricopre le lande, che sembrano fondersi col cielo bianco e perdersi all'infinito. A Nord del circolo artico il Sole scompare dietro l'orizzonte ai primi di dicembre e allora il freddo si fa intenso e nel cielo rilucono i fuochi spettrali delle aurore boreali. Solo a metà gennaio (ed anche più tardi, alle latitudini più alte) c'è un breve ritorno del Sole, i cui pallidi raggi sfiorano la terra gelida. Ma ancora per molti mesi mancherà qualsiasi presagio della primavera.

Verso la fine di maggio, quando il Sole giorno e notte percorre il perimetro dell'orizzonte, le nevi si sciolgono e il ghiaccio dei fiumi e dei laghi si sgretola rumorosamente, ammassandosi sulle rive fangose in blocchi dalle forme più strane. Quest'inizio della primavera non serve, tuttavia, ad attenuare la desolazione del paesaggio. Lo sciogliersi delle acque dà luogo alla formazione di paludi dove si sviluppano muschi e licheni. Il cielo è percorso da grossi ammassi di nuvole e la terra cupa è circondata da nebbie. Solo verso la metà di giugno le piante artiche cominciano a punteggiare di verde il suolo paludoso. Poi, con prodigiosa rapidità, il paesaggio si trasfigura e ravviva: riscaldati e nutriti dal sole costante, appaiono fiori come i papaveri e i non ti scordar di me. Le rive fangose dei laghi e dei fiumi si rivestono d'oro e di verde. Dal Sud arrivano gli uccelli. Ronzanti insetti riempiono l'aria.

Da maggio a giugno non esiste oscurità. Di notte, quando il sole roseo si nasconde brevemente oltre l'orizzonte, nel cielo rimane una luce soffusa. In questo breve interludio estivo la tundra si riempie di esseri viventi. Nelle paludi e negli stagni si sviluppano centinaia di piante artiche e le distese scolorite, dove prima non esistevano che muschi secchi e pochi cespugli insignificanti, si trasformano in lussureggianti tappeti di verde. Presto però il verde diventa rosso e oro: il primo respiro freddo dell'au-

IL MONDO IN CUI VIVIAMO

tunno giunge dal Nord verso la fine d'agosto. Prima che il settembre abbia termine, la terra si è di nuovo ricoperta di bianco.

Ci sono regioni della tundra che gli aborigeni abitano da migliaia di anni, ma agli occhi dell'uomo civile la principale caratteristica di queste fredde estensioni appare la solitudine. Di tanto in tanto una fila di caribù vaga attraverso il cuore della tundra. Qua e là appaiono buoi muschiati ed orsi solitari. D'estate vi accorrono uccelli e innumerevoli schiere di zanzare. Ma per gran parte dell'anno la tundra è squallida, vuota, quasi a rappresentare l'ultima frontiera della desolazione. Per chi l'ha conosciuta, tuttavia, essa ha un fascino proprio: l'incanto degli spazi illimitati, del cielo, della natura inviolata, del suolo dove nessuno ha ancora messo piede. Per coloro che vi sono nati è bellissima. Una volta un indiano Caribou, parlando con un sacerdote che cercava di convertirlo e dargli un'idea del cielo cristiano, disse: « Padre, mi hai detto che il cielo è bellissimo. È più bello del Paese del bue muschiato in estate, quando a volte il vento soffia sui laghi e l'acqua è azzurra e la strolaga grida continuamente? Questa è la bellezza. Se il cielo è ancora più bello, sarò felice di andarvi a riposare quando sarò vecchio ».

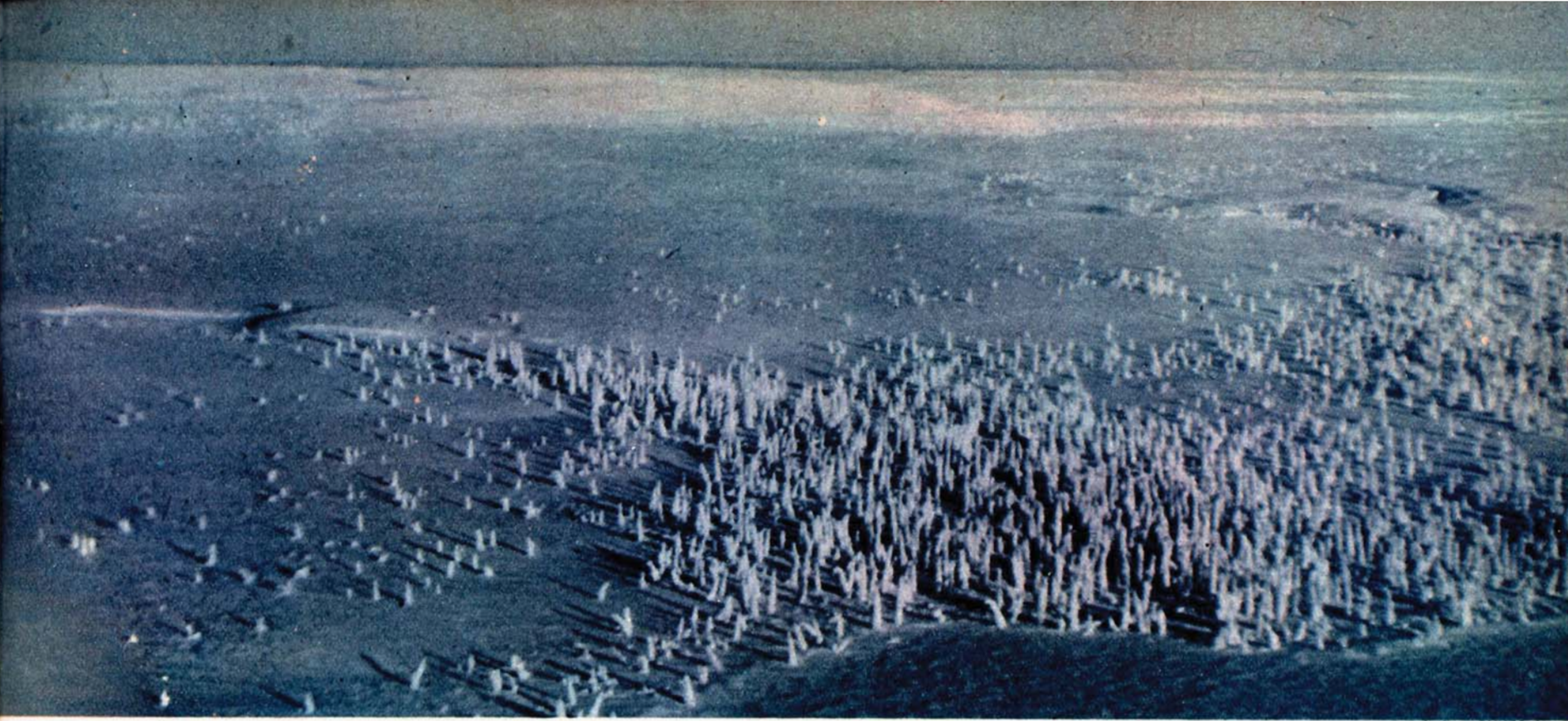
Nessun luogo della Terra conosce, durante l'anno, sbalzi di clima così grandi come quelli che si verificano nella tundra. D'inverno essa è più fredda dello stesso Mare Artico ricoperto dai ghiacci e persino più fredda del Polo Nord. Infatti gli oceani arrivano a riscaldare la zona polare, mentre le masse terrestri esistenti più a Sud rimangono congelate dalla fitta cappa di neve e di ghiaccio che le ricopre. Mentre sul Mare Artico la temperatura non cade mai al di sotto dei -52° , una stazione meteorologica posta al limite della tundra canadese ha fatto registrare, una volta, un minimo di -63° e temperature analoghe si sono avute nella tundra presso la Baia di Hudson. La più bassa temperatura mai registrata sulla Terra

la si è avuta a Verkhoyansk, al confine meridionale della tundra siberiana, a 2400 chilometri di distanza dal Polo Nord, ed è stata di -81° . D'estate il sole costantemente presente riscalda, però, la tundra artica e le temperature di 10° sono normali. Non sono pochi i giorni in cui si raggiungono i 16° e i 21° sopra lo zero. Una volta a Fort Yukon fu registrata una temperatura record di $+38^{\circ}$.

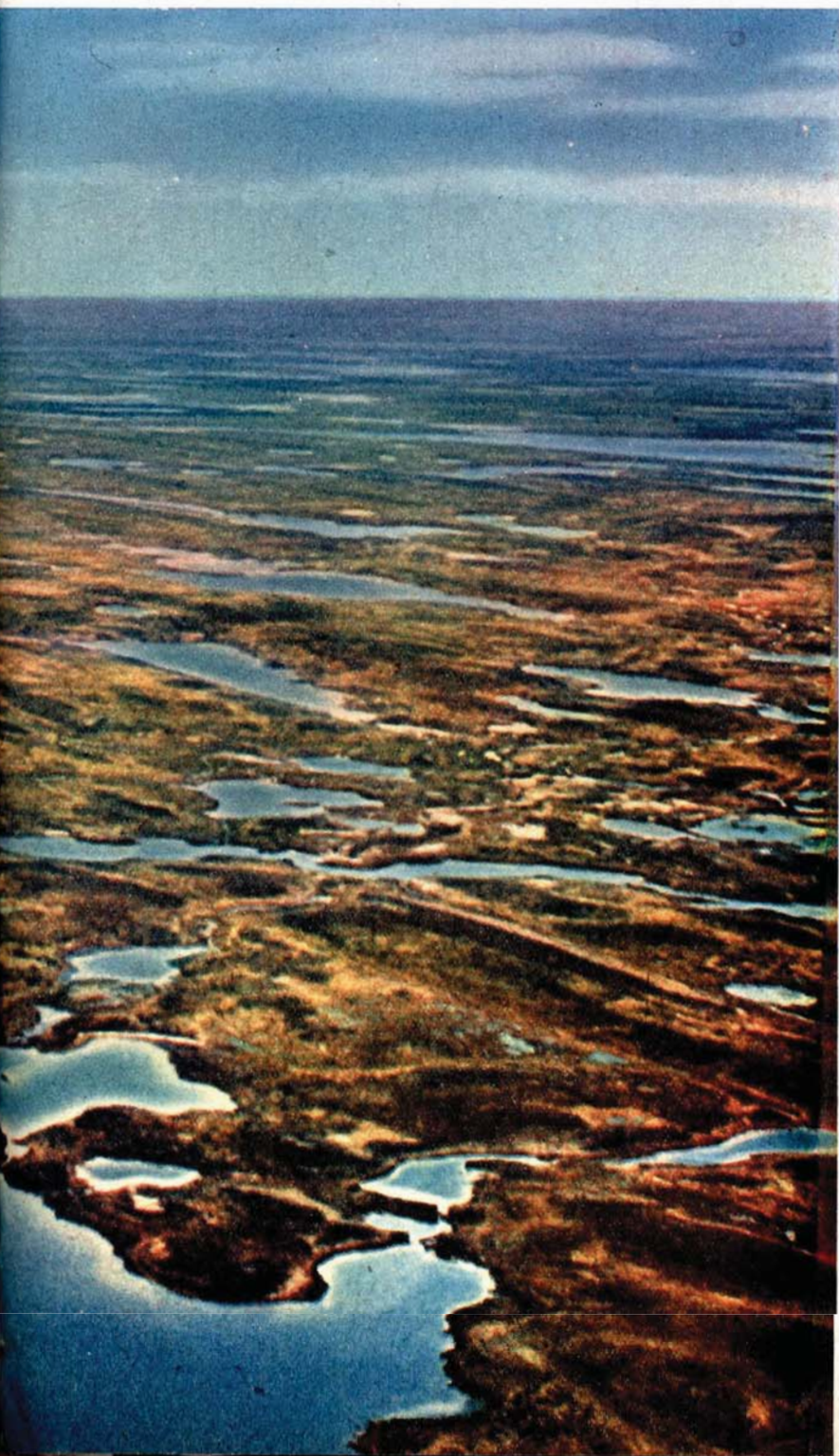
A differenza dell'Antartide, la tundra artica è una delle regioni terrestri meno battute dalle tempeste. Durante l'inverno è caratterizzata da un'alta pressione semi-permanente, con aria ferma, asciutta. Durante il giorno le variazioni sono lievi, perché d'inverno le ore di Sole sono poche e d'estate esso è quasi costantemente presente: perciò la tundra difficilmente conosce i movimenti d'aria che producono mutamenti climatici. I venti forti sono poco frequenti. (Nel Canada la loro velocità media è di 10 chilometri l'ora). Le tempeste si verificano principalmente in primavera e in autunno. Il totale delle precipitazioni annue, però, è per la tundra di 280 millimetri: meno ancora che in certe zone desertiche. Le piogge che cadono durante i periodi di clima caldo costituiscono la maggioranza di tali precipitazioni. Le nevicate annue, nelle lande artiche canadesi, sono meno dell'equivalente di 50 millimetri d'acqua.

Il paradosso della tundra è che combina insieme la presenza di innumerevoli laghi, paludi, stagni, con un clima di siccità. La maggioranza delle distese paludose si forma perché il *permafrost* esistente sotto la superficie rende assai scarso il drenaggio. Oggi la temperatura della Terra è in aumento e sembra che il *permafrost* si ritiri di alcune decine di metri ogni anno. Se scomparisse completamente, permettendo così un drenaggio completo, e se la quantità annua delle precipitazioni restasse la stessa, la tundra potrebbe divenire un giorno il più grande deserto della Terra.

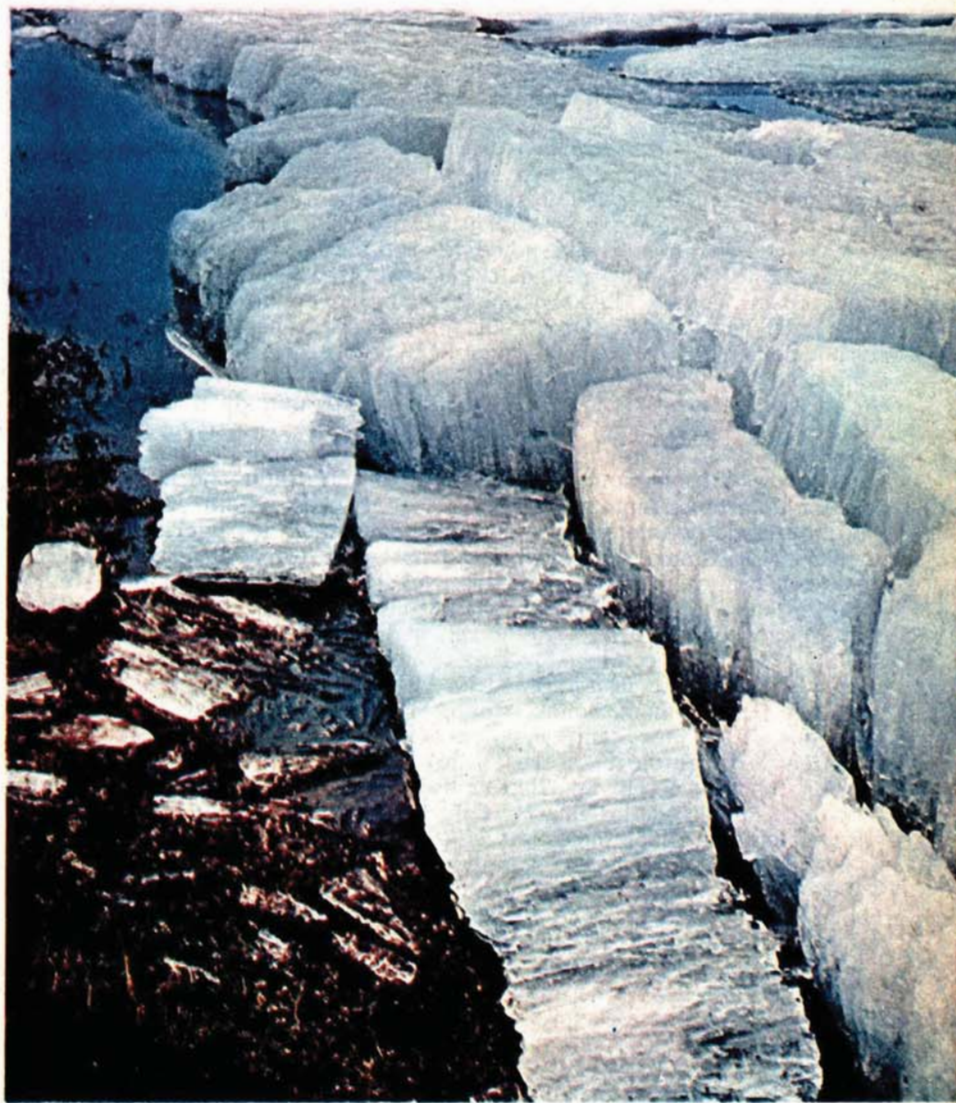




LA LINEA DELLA VEGETAZIONE arborea, dove finiscono le foreste settentrionali ed ha inizio la pianura artica (foto sopra), appare in questa visione panoramica della riva del Lago di "Great Bear", ai confini della tundra canadese.



IL SUOLO DESOLATO della tundra aperta, inciso dai ghiacci che lo ricoprono per gran parte dell'anno, appare nella foto a sinistra in tutto il suo squallore. Non c'è traccia di vita animale. Solo segno di vegetazione, qualche macchia verde sul terreno.



BLOCCHI DI GHIACCIO, dall'aspetto di cristallo, si formano quando il primo pallido sole comincia ad esercitare la sua azione. Messa in movimento dalla spinta del vento, la massa di ghiaccio ha trasportato questi enormi blocchi sulla riva di un lago.



IL BUE MUSCHIATO è l'animale più caratteristico della tundra. Quando si vedono minacciati da un pericolo, questi mammiferi si stringono spalla a spalla, come a costituire un'unica linea difensiva.



LA PERNICE BIANCA, alla quale si danno anche i nomi di Ptarmigan e di Lagopede, si riveste durante l'inverno di un piumaggio bianco. Qui, nei pressi della riva della Baia di Hudson, vediamo un gruppo di questi uccelli, che vivono

I vagabondi della tundra

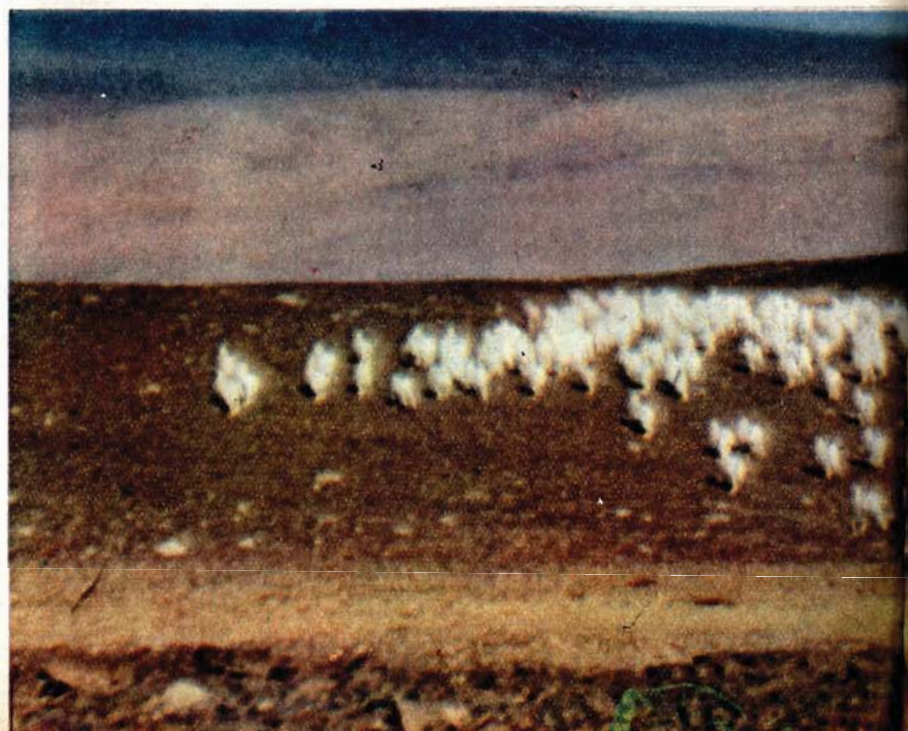
Come tutte le regioni caratterizzate da un clima difficile, che non ammettono compromessi, la tundra impone particolari abitudini agli animali che l'abitano. Alcuni di essi sono solitari per tendenza, altri invece cercano volentieri la compagnia dei propri simili. Ma comunque vivano, sia sole che in gruppi, le creature della tundra debbono vagare incessantemente lungo le pianure desolate in cerca di cibo. Uniti dal bisogno reciproco e dall'istinto, branchi di caribù, di buoi muschiati, di lepri artiche e di pernici bianche punteggiano la desolazione di questi luoghi selvatici.

I più notevoli abitanti della tundra sono i caribù o cervi artici. A differenza della semidomestica renna europea (dalla quale praticamente sono indistinguibili) i caribù sono continuamente in movimento. Viaggiano in lunghe file e seguono un itinerario che di solito è facile prevedere, poiché raramente divergono da una strada scelta, anche quando sono inseguiti dai lupi o pungolati dagli insetti che nei mesi estivi li seguono costantemente. Le loro migrazioni sono dovute in parte alla necessità di trovare zone fornite di foraggio e in parte all'istinto della riproduzione. Ogni primavera, quando il tepore del sole non ha ancora sciolto le nevi, il caribù abbandona le foreste dove ha svernato e comincia ad attraversare la tundra: le femmine e gli animali di un anno procedono in testa e fanno strada; i maschi stanno in coda. La marcia procede sempre verso il Nord. Percorrendo la tundra che comincia a verdeggiare, attraversando fiumi e laghi, a volte giungono fino alle rive del Mar Polare. Le femmine vanno sempre davanti e si affrettano sempre più, fin quando, giunte all'estremo limite della tundra, partoriscono. Dopo un paio di settimane, quando i nuovi nati sono ormai in grado di camminare, il branco fa marcia indietro. Nel lento cammino di ritorno verso le foreste del Sud sono i maschi che aprono la strada, mentre le femmine camminano nella loro scia. Più tardi, quando l'estate è ormai inoltrata, maschi e femmine cominciano a mescolarsi e si formano branchi misti. Quando giungono in prossimità della vegetazione arborea, tra la fine di ottobre e i primi di novembre, comincia il periodo degli amori che dura circa due settimane. Subito dopo abbandonano la tundra nevosa e rientrano nel loro santuario invernale, la foresta.

Nella tundra c'è solo un altro grosso mammifero gregario, il bue muschiato. Il numero dei caribù, nel Canada, si fa ascendere a 750.000 esemplari. Quello dei buoi muschiati si è notevolmente ridotto e le regioni principali della tundra ne ospitano solo alcune centinaia. Forse altri 35.000 esistono lungo la costa della Groenlandia e alcuni nelle isole artiche. In Europa e in Asia sono estinti. A differenza del caribù, che si sposta incessantemente su un territorio di molte migliaia di chilometri quadrati, il bue muschiato ha la tendenza a muoversi in una regione ristretta, e spesso trascorre entro un raggio di un centinaio di chilometri l'intera sua esistenza. Da un certo punto di vista è equipaggiato meglio del caribù per vivere nella tundra: la sua dieta è semplice e riesce a procurarsi il cibo anche sotto la neve. Il suo spesso mantello lo difende dai rigori dell'inverno e dall'assalto degli insetti nei mesi caldi. La sua agilità, le corna robuste e le tattiche difensive lo rendono immune dagli attacchi dei lupi. È un animale tranquillo, niente affatto aggressivo; la sua carne è ottima da mangiare ed è per questo che il bue muschiato ha avuto nell'uomo un nemico implacabile.



IL CERVO ARTICO o caribù è sostanzialmente identico alla renna semidomestica europea. Ne vediamo, qui sopra, un folto branco, costituito da quasi 4000 animali. Viaggiando lungo la tundra, raramente essi deviano dalla strada prescelta.





al suolo. Durante i periodi più inclementi dell'inverno essi cercano riparo nelle zone provviste di cespugli, di solito lungo le rive di un fiume. A primavera tornano verso le terre aperte e si scelgono il luogo per nidificare, che circondano

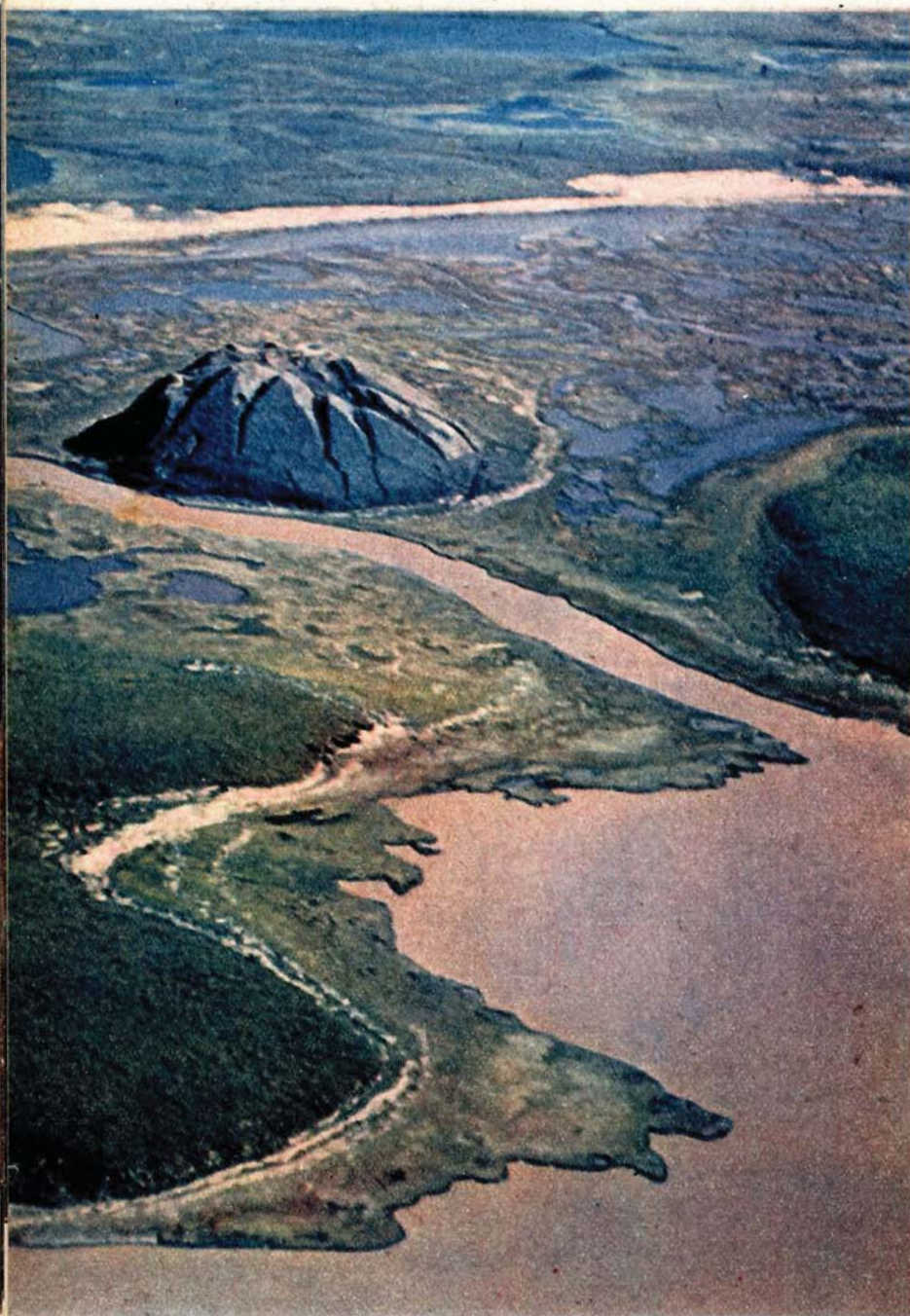
con una specie di steccato. Grazie alla propria colorazione estiva, la pernice bianca che nidifica si confonde perfettamente col suolo ed è perciò protetta dagli uccelli rapaci che s'aggirano nell'aria e dalle volpi che percorrono le lande artiche.



LE LEPRI POLARI (foto qui sotto) dotate di un istinto socievole estremamente sviluppato, percorrono la tundra in gruppi molto numerosi. Le lepri della tundra meridionale cambiano colore in primavera, a somiglianza della pernice bianca

e delle altre creature artiche. Le lepri della tundra settentrionale, invece, rimangono bianche per tutto l'anno, in quanto le regioni in cui vivono sono quasi costantemente ricoperte di neve e non richiedono, perciò, particolari adattamenti.

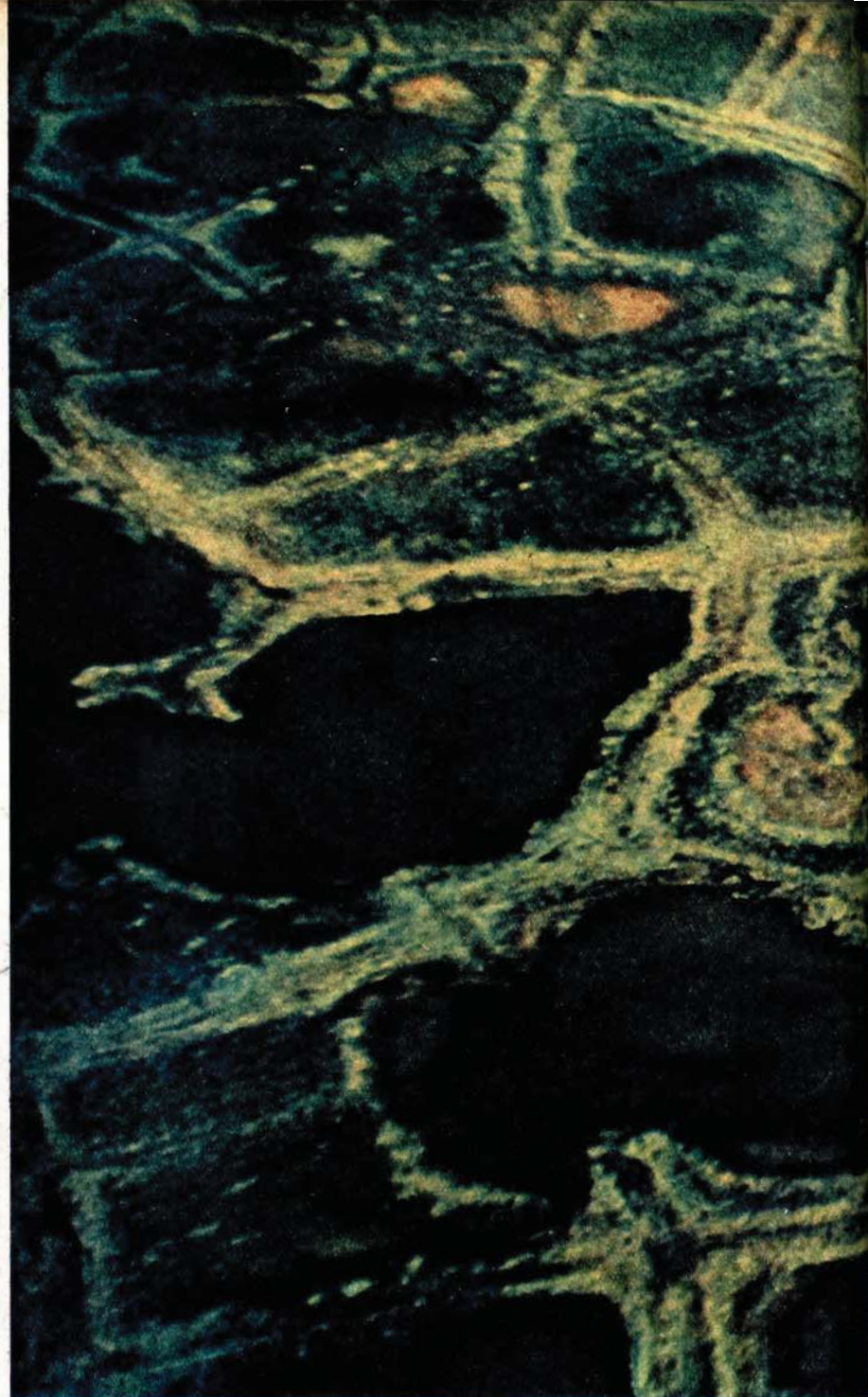




IL PINGO è una montagnola caratteristica della tundra, simile a un vulcano in miniatura. I pingos vengono "espulsi" per effetto delle enormi pressioni che si determinano nel suolo ghiacciato. Questo che vediamo nella foto è alto 110 metri.



UNO STRATO DI TERRENO GHIACCIATO, dello spessore di mezzo metro, è racchiuso tra una copertura di vegetazione e una base di argilla. Formatosi per il ghiacciarsi di un lago, viene ora alla luce per effetto dell'erosione.



UNA SERIE DI POLIGONI decora la superficie terrestre nei pressi di Pitt Point, nell'Alaska. Queste forme geometriche, straordinariamente regolari, sono prodotte dall'azione del terreno ghiacciato e sono comuni a tutte le regioni della

Geometrie del suolo

La tundra sembra avere un profilo a due sole dimensioni: non ci sono grandi vette né abissi, non vi si scorge alcun panorama geologico dove sia possibile rintracciare un sollevamento di montagne o la presenza di vallate incise. Per un numero d'anni incalcolabile il *permafrost* ha contribuito a preservare il delicato profilo della tundra dal logorio dell'erosione. Eppure, per quanto dolce e immutabile possa apparire il suo aspetto, la tundra ha lineamenti che cambiano anno per anno. Il *permafrost* e il gelo invernale, che servono a prevenire i mutamenti profondi, radicali, concorrono, d'altra parte a produrre una grande varietà di mutamenti minori, i quali si verificano nei pochi centimetri superiori della superficie del suolo, che ogni anno si liberano dal ghiaccio. In questo spazio limitato si svolge un'attività incessante, dalla quale ha origine il curioso fenomeno per cui il suolo della tundra si ricopre di strane figure geometriche.

Questi disegni che appaiono sul terreno possono assumere la forma di circoli, di poligoni o di strisce, distintamente delimitati da file di pietre, da tratti di vegetazione o da solchi nella superficie del suolo. Tra le molte teorie affacciate per spiegare il formarsi di queste figure sul suolo, una delle più plausibili le attribuisce al cosiddetto processo di multigelazione, vale a dire al periodico espandersi e contrarsi del terreno per l'alternarsi dei periodi di gelo e disgelo. Il suolo costituito da sedimenti più fini e da argilla assorbe una maggiore umidità del suolo più grossolano. Quando il terreno si gela, i materiali più fini, contenenti più acqua, subiscono una



tundra. Come il fango di un lago asciutto per effetto del calore del sole diventa secco e si screpola, così il suolo della tundra subisce una serie di suddivisioni per effetto dell'intenso freddo polare. Questi poligoni hanno un'ampiezza che va

dai 10 ai 20 metri circa. Visti a metà giugno, essi si presentano ricoperti da un'abbondante vegetazione, che li rende più suggestivi con i suoi colori, e macchiati da piccole pozze stagnanti. Tali geometrie sono in continua evoluzione.

maggiore espansione; e i materiali più grossolani (ghiaia e pietre) vengono ad essere spinti radialmente in tutte le direzioni. Quando poi giunge il disgelo, i materiali più fini si contraggono di nuovo, diventano compatti, mentre le pietre e la ghiaia rimangono nel luogo dove sono state spinte dall'azione del gelo. Il ripetersi di questo processo stagione per stagione può avere l'effetto di selezionare i materiali del suolo in modo da relegare le pietre ai limiti esterni di una figura circolare in continua espansione, il cui diametro può andare dai pochi centimetri ai dieci metri.

Ci sono, però, altri numerosi fattori continuamente al lavoro per modellare la superficie della tundra, la cui geometria è perciò costituita da figure estremamente mutevoli. Spesso si formano disegni a forma di poligono. E spesso tanto i circoli che i poligoni sono delimitati non da pietre ma da solchi. In questo caso può capitare che le pietre rimangano disseminate nella parte centrale della figura. Lungo i pendii dalla lieve inclinazione il suolo non ghiacciato può agire da livellatore delle forme terrestri della tundra, talvolta scomponendo i circoli e i poligoni fino a trasformarli in un insieme di strisce verticali. L'azione del gelo frammenta e seziona a più riprese vaste zone di rocce esposte. Di tanto in tanto si scorgono grosse lastre sollevatesi fino a disporsi in posizione verticale, come i misteriosi monoliti di Stonehenge. Altrove, dal pavimento della tundra, si sollevano piccole colonne di suolo gelato, ricoperto dalla vegetazione. Spettacolari sono le montagnole simili a vulcani cui si dà il nome di *pingos*: esse sono state erette dalle enormi pressioni che si verificano quando gli strati costituiti da materiali non ghiacciati si trovano pressati fra uno strato superiore ghiacciato e il *permafrost* sottostante, al punto che finiscono con l'irrompere alla superficie.



UNA SERIE DI CIRCOLI, delimitati da piccoli solchi, indica che in questa zona è in corso il caratteristico processo dal quale nasceranno figure geometriche più estese, poligoni e cerchi. Per ora ogni figura ha un diametro di due metri.



BUE MUSCHIATO

LEPRE POLARE

LUPO ARTICO GRUPPO DI BUOI MUSCHIATI

PERNICI

La vita d'inverno e d'estate

La prima impressione che suscita la tundra è che si tratti di un territorio vuoto, dimenticato dalla natura, privo di vita e di movimento. Le creature solitarie che percorrono le desolate distese della pianura artica si perdono alla vista. Ma questa sensazione di vuoto è illusoria. La tavola qui sopra e la successiva illustrano il paesaggio della tundra canadese come appare durante il corso dell'anno artico. Ci sono creature che vivono nelle inospitali distese anche durante l'inverno, quando i laghi sono ghiacciati e la terra è coperta di neve. Negli assolati mesi estivi giungono dal Sud orde di visitatori stagionali e nelle paludi si specchiano le ali di molti uccelli migratori.

Non essendo occupata dalle abitazioni e dalle strade dell'uomo, la tundra rappresenta un vasto *habitat* naturale per gli animali che, adattatisi alle sue esigenze, ne hanno fatto il proprio dominio. Nel « Thelon Game Sanctuary », posto nel territorio nord-occidentale del Canada, a centinaia di chilometri dalle più vicine comunità eschimesi e indiane, praticamente giungono e prosperano tutti gli animali delle pianure artiche. Qui il bue muschiato si rifugia per sfuggire alla caccia dell'uomo.

Nel tardo inverno (che nel « Thelon Game Sanctuary » si protrae sino alla fine di maggio) le lande sono ancora ricoperte di neve, il caldo mantello lanoso del bue muschiato è più spesso che nei mesi caldi e tanto la lepre artica che la volpe polare indossano ancora le loro bianche uniformi invernali. Il mese seguente il mantello del bue muschiato si assottiglierà e la volpe e la lepre indosseranno i loro abiti estivi, non più bianchi ma l'uno bruno e l'altro grigio. Il lupo polare, invece, conserva per tutto l'anno il suo colore bianco e lo stesso fa il gufo delle nevi. L'inverno è un periodo

squallido tanto per i carnivori che per gli erbivori, perché il foraggio e le piante vengono sepolti dalle nevi e le prede vive si fanno scarse ed è difficile scovarle tra le ombre della notte artica. È questa la ragione, probabilmente, per cui il lupo polare è più feroce dei suoi cugini che vivono nei boschi e l'astuta volpe polare accumula previdentemente riserve di cibo da consumare nei periodi di emergenza.

A mano a mano che il sole si fa più alto, la terra si risveglia e le rive piatte dei fiumi cominciano a colorarsi di verde per il fiorire di salici e di driadi. Non appena le nevi cominciano a sciogliersi, immense schiere di zanzare s'alzano dalle paludi e infestano l'aria. È il tempo che i caribù, usciti dai loro boschi, cominciano ad attraversare la tundra disposti in lunghe file per compiere il proprio pellegrinaggio stagionale verso le terre del Nord, dove verranno alla luce i loro figli. Con i caribù appare anche la volpe rossa, una visitatrice occasionale della tundra, che ha pure svernato nei boschi.

L'animazione maggiore si ha con l'arrivo degli uccelli: prima a giungere è la pernice bianca, o ptarmigan, i cui quartieri invernali sono vicini. Dopo aver circondato con una specie di steccato il luogo scelto per nidificare, la femmina si occupa della covata mentre il maschio monta la guardia e percorre il territorio vicino guardandosi intorno con atteggiamento severo. Si tratta, però, di animali innocui. Poco dopo arrivano i veri migratori, quelli che provengono da terre molto lontane, come il falarope, che per covare ed allevare i propri piccoli percorre migliaia di chilometri dall'Atlantico meridionale fino ai laghi della tundra. Intanto gli zigoli delle nevi agitano lungo le lande le loro ali simili ai petali di bianchi fiori primaverili e i pivieri, con le loro dorate livree estive, popolano le rive dei laghetti e dei fiumi. In alto s'aggira, paziente nei suoi agguati, il Labbo



GUFO DELLE NEVI
VOLPE POLARE

LABBO A CODA LUNGA
VOLPE ROSSA
PIVIERI FALAROPE
ZIGOLO DELLE NEVI

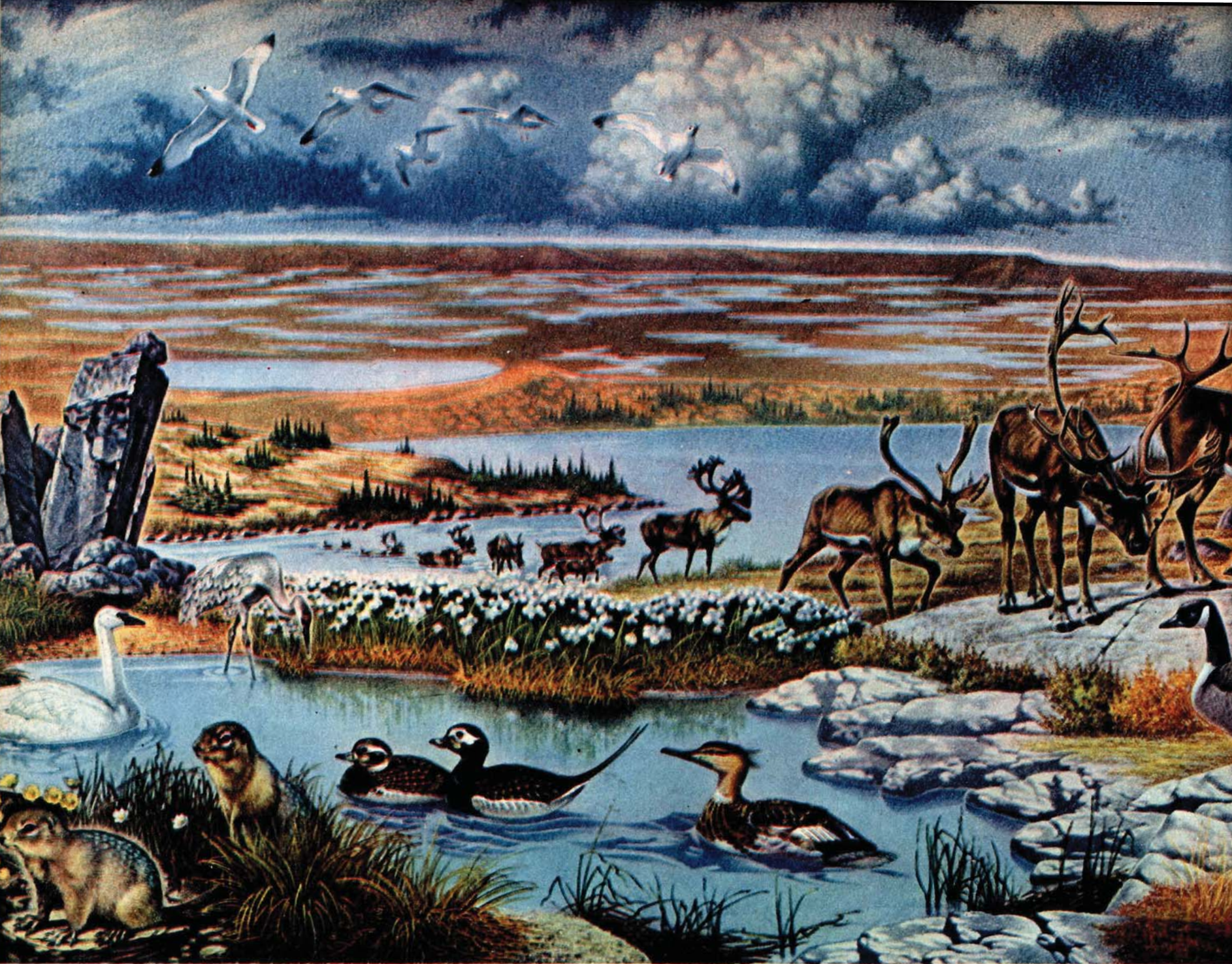
SCHIERE DI CARIBÙ IN LONTANANZA
CRANIO DI CARIBÙ

BIANCHE



SULLA GRIGIA ROCCIA di granito, lungo la costa della Baia di Hudson, fioriscono queste pianticelle rosse che vengono chiamate, comunemente, "bacche

dell'orso". Esse sono frequenti nelle regioni artiche meridionali e crescono sul suolo arido a testimoniare l'estrema adattabilità delle forme viventi all'ambiente.



CIGNO
SCOIATTOLO DI TERRA

GRU MESSICANA

GABBIANI
MORETTE CODONE

SMERGO DAL PETTO ROSSO

CARIBÙ

dalla coda lunga, nemico per eccellenza del gabbiano e della starna.

In giugno sono in pieno fiore il papavero e gli eriofori. Il sole splende senza interruzione e gli scoiattoli di terra hanno la bocca sempre piena di semi. Le anitre, molto rumorose, increspano la superficie delle acque. Non c'è più silenzio, sulla terra: dalle rive di ogni fiume e di ogni lago risuona lo *uuh-uuh*, *uuh-uuh* del cigno selvatico (o cigno musico), il *gruuu* profondo, gorgogliante, simile al suono di una trombetta, della gru messicana, e lo strano grido di richiamo dell'oca selvatica canadese. A metà dell'estate, in innumerevoli nidi nascosti, le uova si schiudono e i pulcini cominciano a rafforzare le loro ali. I più robusti, come ad esempio le poiane calzate, si preparano ad affrontare il loro primo volo da soli. È in questo periodo che i caribù tornano dalle terre lontane dove sono venuti alla luce i loro figli, che ora li seguono. Hanno i piedi doloranti per il lungo viaggio, camminano lentamente, d'ambio, brucando durante la marcia le fioriture estive dei licheni, dei muschi, delle erbe. Gli insetti, che in questa stagione abbondano straordinariamente, li tormentano per tutto il giorno fino a farli impazzire e pungono incessantemente la loro pelle, dove depositano anche le proprie uova. Le corna dei caribù maschi sono giunte quasi al periodo del massimo sviluppo. Dopo il periodo degli amori autunnali cadranno. Le corna delle femmine, che sono meno complesse, cadono invece quattro o cinque mesi dopo quelle dei maschi.

Mentre le pianure artiche si tingono dei dorati colori autunnali, il lemming o lemmy avverte l'imminente avvicinarsi dell'inverno e comincia a prepararsi una tana, accuratamente foderata di paglia, nella quale si rifugerà durante l'inverno per ripararsi dal freddo intenso. Il lemmy è un abitatore circumpolare della tundra ed è famoso soprattutto perché esiste la leggenda di un suo impulso periodico al suicidio in massa. È vero che

il lemmy ha la tendenza ad emigrare dalla propria residenza quando la popolazione locale diventa eccessiva rispetto ai mezzi di sostentamento. Tuttavia la fama di animale suicida che esiste sul suo conto deriva probabilmente dal fatto che si sono potuti osservare casi di annegamenti in massa dovuti al sopravvenire dell'alta marea nel momento in cui interi branchi di questi piccoli roditori tentavano di attraversare a nuoto i fiordi o le baie. La maggioranza dei lemmy, in realtà, muore tra le mascelle delle volpi e dei visoni o sotto gli artigli dei falchi e dei gufi: per questi animali i lemmy costituiscono un cibo prelibato. Si è potuto osservare, anzi, che a una diminuzione dei lemmy corrisponde spesso una flessione nella produzione annuale di pelli di volpi provenienti dalle lande artiche.

In questa stagione il grizzly, l'orso grigio artico, l'animale più grosso della tundra, s'aggira affamato sulle pianure rosseggianti. Nonostante l'aspetto minaccioso, l'orso grigio non costituisce una minaccia per il caribù e per i mammiferi maggiori, ma si limita a predare abbondantemente i roditori, come lo scoiattolo di terra, del quale rapina le riserve di radici. Essenzialmente vegetariano, esso sembra restare indifferente anche quando un tèmolo salta nell'acqua davanti ai suoi occhi. Di solito si nutre di piante artiche (radici, liquirizia, bacche) e a volte, quando scarseggia il cibo d'altro genere, di erbe.

A poco a poco, con lo svanire dell'autunno, mentre il sole si fa sempre più debole, il movimento e i rumori che hanno animato la tundra svaniscono. Gli ultimi plotoni di caribù scompaiono all'orizzonte, a Sud. Le ultime schiere di oche attraversano il cielo in formazioni ordinate e l'aria risuona per l'ultima volta dei loro gridi d'addio. Poi sulle lande artiche discende il silenzio. Presto cadranno i bianchi fiocchi di neve e la tundra s'addormenterà nell'immensa solitudine della notte artica.



OCA CANADESE MINORE

GIOVANI DI POIANA CALZATA
LEMMI DAL COLLARE

GRIZZLY O ORSO GRIGIO
REMOLO



"TÊTES DE FEMMES" vengono chiamati questi piccoli rilievi del suolo, ricoperti d'erbe, che spuntano tra le acque paludose della tundra settentrionale. I rilievi

hanno avuto origine, probabilmente, dal sollevarsi di piccole sezioni del suolo per effetto della pressione del ghiaccio. Le erbe li proteggono dal calore del sole.



UN CERCHIO DI LICHENI si è formato sulla roccia per l'eterna vicenda della nascita e della morte: ogni anno i licheni del bordo esterno si risvegliano e si espandono sulla roccia, mentre quelli all'interno muoiono lentamente e scompaiono.

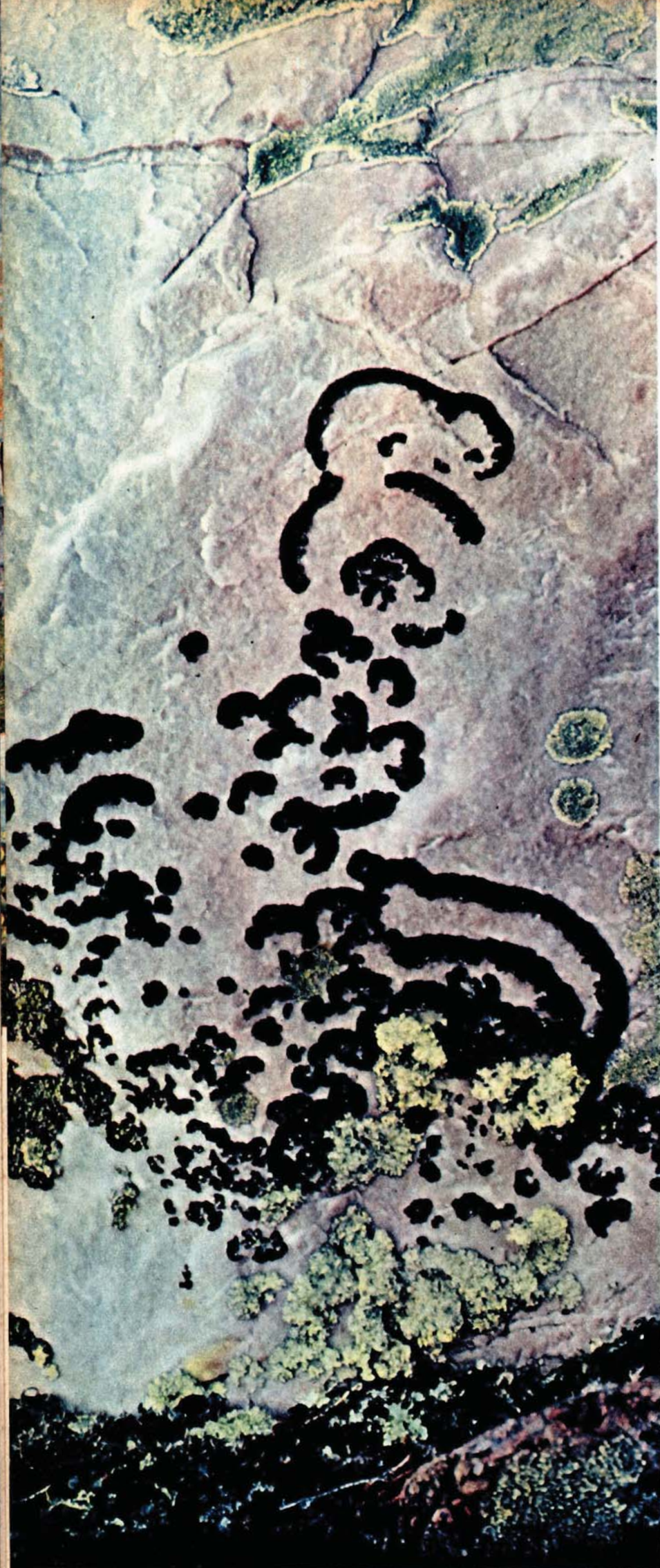
La tundra fiorisce

La tundra è tappezzata di piante dappertutto, a parte le deserte estensioni rocciose che segnano come cicatrici le sue pianure. Anche al limite della Groenlandia, a 650 chilometri dal Polo Nord, fioriscono ogni primavera dozzine di varietà di piante e di felci. La tundra canadese presenta innumerevoli specie, che vanno dai muschi primitivi alle betulle, dai licheni ai salici, dall'erica agli arbusti fioriti. Si tratta di piante adattate unicamente alla vita nelle regioni artiche, che non sopravviverebbero a un clima temperato.

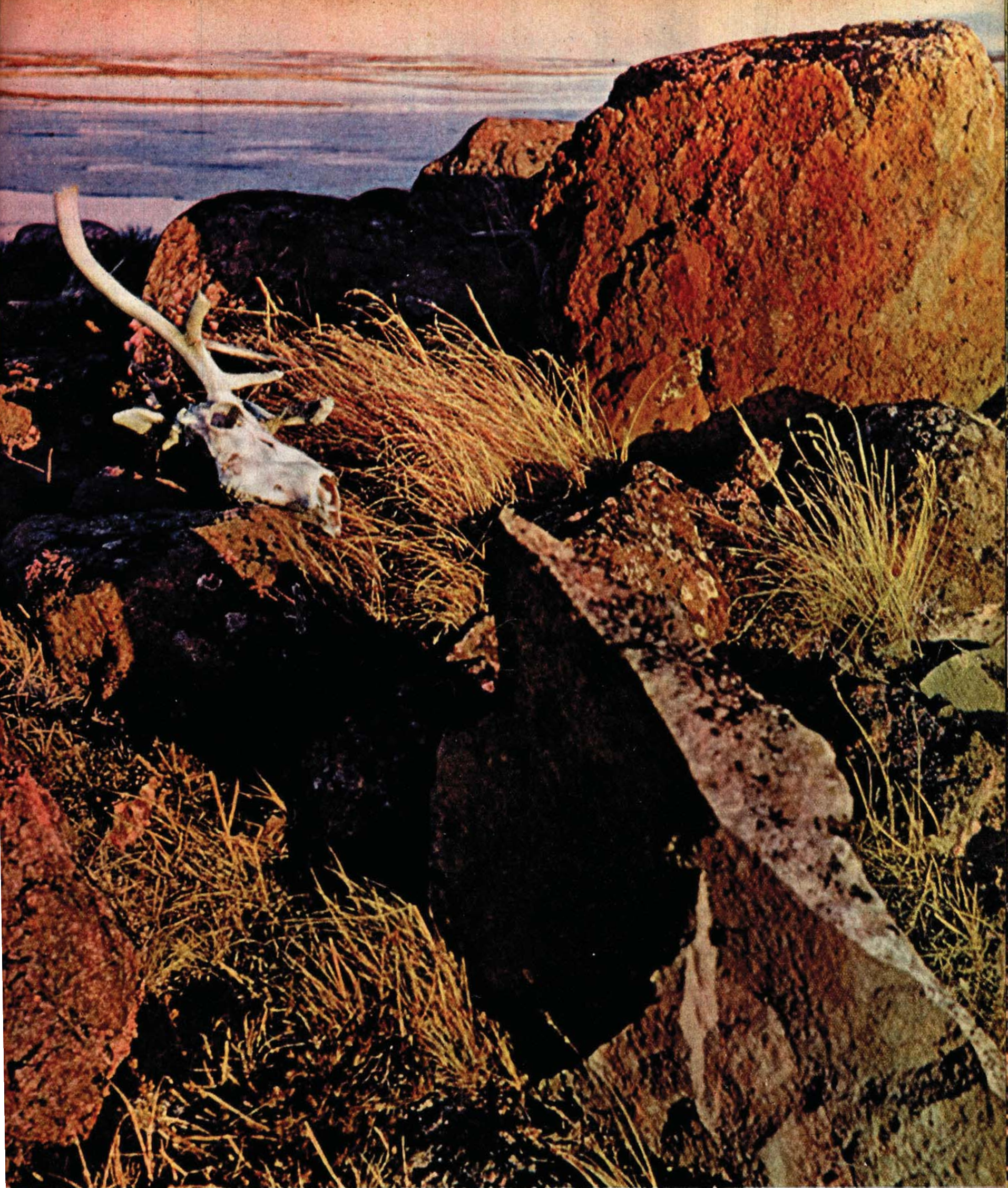
Non è tanto il freddo, tuttavia, a imprimere un carattere particolare alle piante artiche, quanto la breve durata dal loro periodo di sviluppo e il clima arido. Per nove mesi su dodici le acque della tundra sono ghiaccio, il suolo è gelato e le radici non possono svolgere il loro compito di assorbimento. Perciò, allo stesso modo delle piante che vivono nel deserto, la vegetazione della tundra è provvista di mezzi speciali che le permettono di prosperare nel proprio ambiente particolare: generalmente essa è poco sviluppata, compatta, con radici che si spandono e foglie piccole e dure. Molte piante della tundra non dipendono dai semi, ma si riproducono mediante gemme avventizie. Pur avendo uno sviluppo limitato, presentano processi stagionali molto rapidi. La luce perenne del sole le desta dal letargo invernale e le fa fiorire in tre o quattro settimane. Prima che sia scomparso l'ultimo mucchio di neve, le malinconiche lande già risplendono per i vivaci colori dei fiori artici.



LICHENI ARANCIONI appartenenti alla specie *Caloplaca elegans*. Essi sono i più brillanti tra i licheni che prosperano nelle regioni artiche. Il loro vivace colore fa contrasto con la roccia della tundra, sulla quale spicca con molta evidenza.

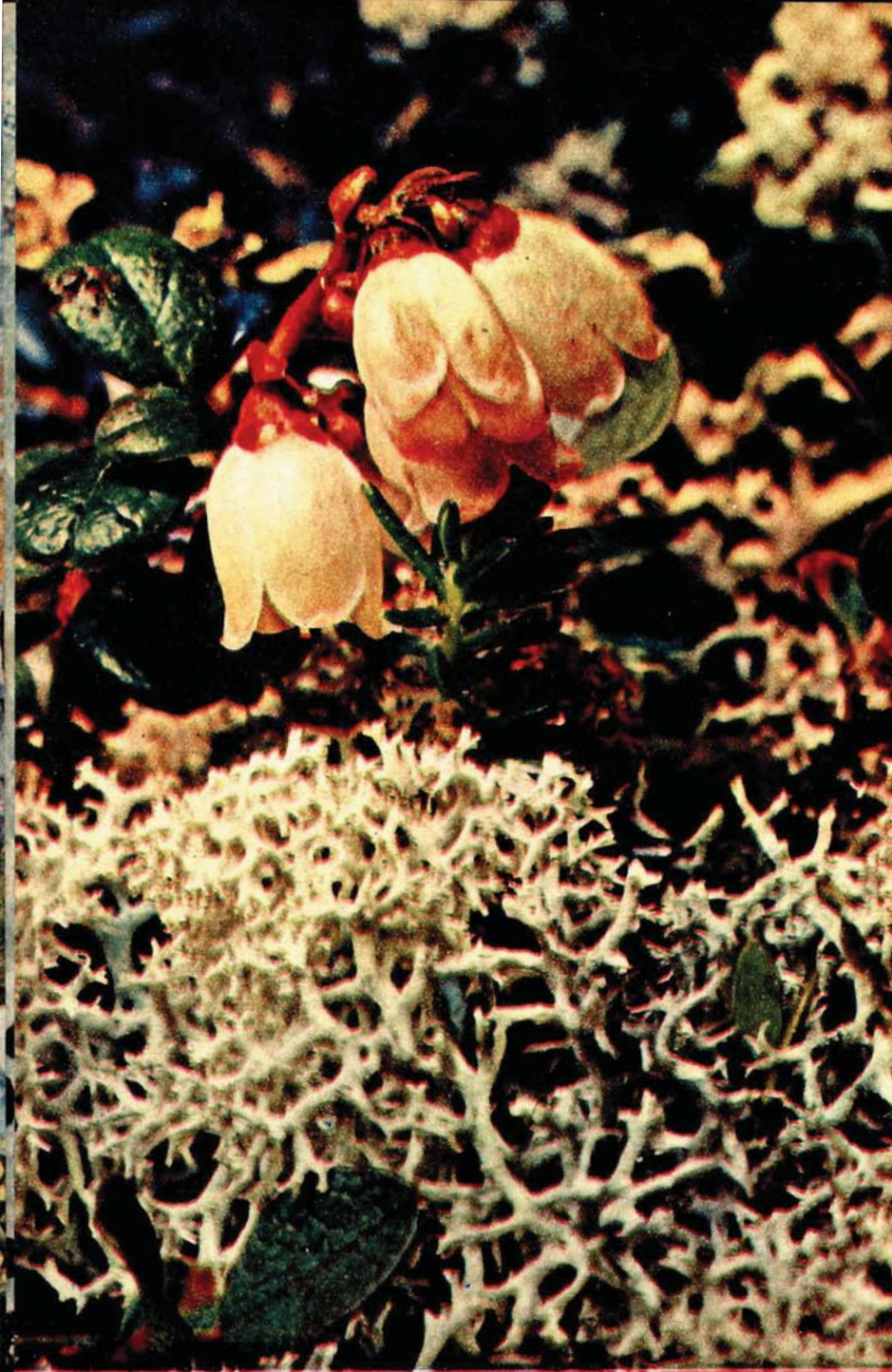


UNA FILIGRANA NERA è apparsa su questa roccia levigata dall'azione del ghiaccio. La filigrana è dovuta a un lichene che ha la denominazione scientifica di *Pamelia soreliata*. La roccia, fotografata al tramonto, ha assunto un colore viola.



LA TUNDRA A PRIMAVERA, fotografata nella calda luce di un mattino di giugno, rivela le ricche sfumature di colori che appaiono improvvisamente sulle lande desolate nel breve periodo di intervallo tra un inverno e l'altro. Le rocce,

che per lunghi mesi sono rimaste sotto una spessa coltre di ghiaccio, della cui azione erosiva portano segni evidenti, ora appaiono adorne di cespugli e licheni. In lontananza un laghetto riflette l'azzurro del cielo. Su una roccia giace il cranio di un caribù.



I BIANCHI CALICI dell'Erica portano per poche settimane la primavera nel mondo delle nevi e dei ghiacci, dove la vegetazione è scarsa. L'Erica predomina nelle depressioni del suolo, dove la neve, durante l'inverno, le dà una copertura protettiva.

La tundra e l'uomo

Lungo le pianure dell'Artide, persino nelle distese poste più a Nord, nelle zone dove non potrebbe vivere nessun'altra forma di vegetazione, gli umili licheni - piante piatte senza radici - s'aggrappano all'esistenza. Solo la barriera delle nevi perenni può fermarli: presenti in ogni regione della Terra, sono però particolarmente adattati alla vita artica, in quanto possono resistere al freddo e all'aridità e prosperare anche sulla nuda roccia. Senza dubbio rappresentano una delle più primitive forme viventi e di solito sono le comunità di piante prime ad apparire su un terreno desolato dove, propagandosi, forniscono un substrato iniziale per forme di vegetazione più alte.

La capacità che hanno i licheni di vivere sulla roccia deriva dalla loro duplice natura. Essi infatti sono unità composite, fatte di due organismi distinti e diversi, un'alga e un fungo, che formano una società inscindibile. Il fungo produce gli acidi che disintegrano la roccia, fornendo così i minerali necessari all'alga; a sua volta l'alga fornisce al fungo le sostanze organiche senza delle quali esso morirebbe.

Se la tundra presenta una rivestitura di verde pressoché continua, il merito è in gran parte dei licheni, che prosperano nelle zone più squalide e tappezzano così completamente i paesaggi che le altre vegetazioni hanno lasciato scoperti. Molti licheni sono commestibili. In particolare lo è la *Cladonia*, detta anche lichene delle renne, che nei periodi di magra rappresenta un'importante fonte di cibo per i caribù.

Nel nostro mondo sovrappopolato e tumultuoso, dove le terre confortevoli, ospitali, sono ormai da lungo tempo in possesso dell'uomo, la tundra si delinea all'orizzonte del Nord come un'ultima frontiera da superare. E infatti, nonostante l'aspetto squallido della sua superficie, l'occhio dell'uomo si è posato da tempo su questa terra aperta. Oggi i popoli delle varie nazioni che confinano con l'Artide stanno scrutando la tundra con attenzione ancora maggiore che nel passato. I territori periferici dell'Artide appartengono ai sei Paesi le cui coste circondano il Mare Artico. Il 37 per cento di questi domini desolati appartiene al Canada, il 28 per cento all'Unione Sovietica, il 28 per cento alla Danimarca, il 6 per cento agli Stati Uniti e l'uno per cento alla Norvegia e all'Islanda. Le ricchezze della tundra sono sia minerali che animali. Per secoli la carne e le pelli dei caribù e delle renne, nonché gli animali da pelliccia, hanno costituito la principale risorsa economica degli Indiani, degli Eschimesi, dei Lapponi e di altri aborigeni dell'estremo Nord. Negli ultimi 100 anni l'uomo occidentale, perforando con successo il suolo delle lande, ha scoperto immense ricchezze: giacimenti d'oro, di platino e di altri metalli.

In alcune parti della Groenlandia e dell'Islanda si alleva un certo numero di pecore, ma l'animale domestico più importante della tundra è la renna, che fornisce non solo carne, latte, vestiti, ma anche numerosi sottoprodotti come mobili, materassi, gelatina, feltro, pelle scamosciata e colla, oltre a servire da mezzo di trasporto. Nella tundra russa e scandinava l'allevamento della renna costituisce un'industria molto importante. Le uccisioni in massa avvenute durante la guerra hanno ridotto notevolmente il numero di questi animali, ma ancora oggi la popolazione delle renne della tundra eurasiatica s'aggira sui due milioni di capi. Nel continente americano, invece, non è stato possibile raggiungere lo stesso considerevole successo nell'allevamento della renna. L'esploratore Wilhjalmur Stefansson ha auspicato per lungo tempo l'addomesticamento del caribù, come un mezzo per migliorare il tenore di vita degli abitanti eschimesi della tundra canadese e dell'Alaska. I nativi dell'Artide americana, però, sono portati per temperamento più alla vita di cacciatori che di allevatori. E sebbene mezzo secolo fa siano stati importati nell'Alaska alcuni branchi di renne semi-addomesticate, i risultati non sono stati positivi: in un primo tempo le renne si sono moltiplicate, ma poi il loro numero è diminuito a causa della cattiva condizione e gli Eschimesi non si sono lasciati convertire dalla vita nomade a quella di allevatori.

Il commercio delle pellicce ha rappresentato la principale risorsa economica della tundra canadese per quasi 300 anni, da quando la « Hudson Bay Company » ebbe da Carlo II una apposita licenza. Un tempo, nelle grandi distese artiche che si trovano tra la Baia di Hudson e il fiume Mackenzie, l'unità di moneta erano le pelli grezze delle volpi bianche polari. Con questo mezzo gli Indiani e gli Eschimesi si procuravano i prodotti della civiltà.

Oggi, però, l'interesse per le regioni della tundra è rivolto principalmente alle risorse minerarie inesplorate che si celano nel sottosuolo. Già da molti anni vengono sfruttati certi giacimenti come quello di ferro nella grande miniera di Kiruna in Svezia, di nichel e di rame a Noril'sk in Russia e d'oro in Alaska. Ma la scoperta di nuove risorse minerarie è continua. Nel 1939, per la prima volta, l'industria mineraria superò nel Canada il commercio delle pelli. Oggi i territori del deserto freddo vengono attraversati da minatori e cercatori che mirano a individuare nuove risorse. In regioni remote della tundra nordamericana sono stati trovati l'oro, il rame, il piombo, l'amianto, il berillio, il litio, il carbone, il petrolio e lo stagno. Più importante ancora è la scoperta, fatta di recente, di immensi depositi di ferro ai confini della tundra di Quebec: qui è stata accertata la presenza di risorse minerarie che reggono il confronto con i più abbondanti giacimenti finora conosciuti sulla Terra.

L'avvenimento di maggior significato, avutosi negli ultimi anni, è l'enorme aumento, di cui non si hanno le cifre, della produzione di uranio nei giacimenti di Port Radium, sulla riva del *Great Bear Lake*, presso il confine occidentale della tundra canadese. I minerali ricchi di radio vi furono scoperti per la prima volta nel 1930; alla fine del 1933 era già in funzione un impianto d'estrazione e raffinazione. Quando, nel 1939, la fissione nucleare divenne una possibilità, la miniera venne allargata e approfondita. Oggi il Canada e il Congo Belga sono i due principali produttori di uranio nel mondo.

Nonostante le realizzazioni passate e le promesse per il futuro, la tundra ospita sulle sue estensioni solo poche e sparpagliate comunità umane. La difficoltà di vivere nella tundra dipende non tanto dai rigori del clima quanto dal problema dei trasporti. Il fiume Mackenzie e i grandi corsi d'acqua siberiani permettono trasporti fluviali tra il Nord e il Sud soltanto durante i mesi estivi. Tra l'Est e l'Ovest il traffico per via terra è praticamente reso impossibile dai laghi e dalle paludi che occupano i vasti territori che si stendono per chilometri e chilometri tra un fiume e l'altro. Qui durante l'inverno possono passare soltanto le mute dei cani.

Gradatamente, tuttavia, l'aereo sta aprendo le vie del deserto artico. Esso ha anche attirato verso l'Artide un'attenzione di nuovo genere. Le regioni della tundra, essendo poste l'una di fronte all'altra e separate soltanto dalle masse di ghiaccio del Mare Polare, costituiscono oggi una frontiera di fondamentale importanza tra l'Unione Sovietica e le democrazie occidentali. Perciò le squallide e inospitali lande artiche vengono dotate di basi aeree, di stazioni meteorologiche e di installazioni militari che si estendono alle zone più remote delle isole artiche. Ed anche per questa ragione l'uomo d'oggi, con maggiore intraprendenza di un tempo, « va incontro al gelido seno del Nord ».

(11 - Continua)

Lincoln Barnett

E - IL MONDO IN CUI VIVIAMO

La foresta tropicale



NEL CUORE DELLA FORESTA UMIDA una corrente d'acqua scorre dolcemente, aprendosi la strada tra due spessi muri di vegetazione tropicale. Durante la stagione delle piogge le acque si gonfiano e scorrono con impeto maggiore.

In primo piano è visibile una bellissima bromeliacea, una pianta delle epifite che fiorisce direttamente sui tronchi o sui rami, dove le sue radici creano un suolo proprio. A volte, sviluppandosi, le epifite strangolano l'albero ospite.

Un mare di verde

Milioni di anni fa, prima dell'avvento delle epoche glaciali, la Terra conobbe un'estate senza fine e si ricoprì fino ai Poli di una fitta foresta perennemente verde. A differenza delle piante semperverdi che prosperano oggi nei boschi delle zone temperate, questi antichi alberi avevano foglie grosse e splendidi fiori esotici. La foresta che essi componevano aveva per centro l'Equatore, di dove si spiegava magnificamente verso Nord e verso Sud. Ancor oggi l'Equatore ospita, in zone limitate, la vera foresta primordiale, ancora piena dell'antico splendore e lussureggiante come lo è stata per innumerevoli età passate. Questa è la *pluviisilva*, cioè la foresta tropicale caldo-umida.

Abituato al mutare delle stagioni, ai germogli della primavera, al pieno fiorire delle foglie in estate, ai fuochi morenti dell'autunno, l'uomo moderno è portato a ritenere come normale il bosco delle proprie regioni e a considerare strana e bizzarra la foresta tropicale. Il fatto è facilmente spiegabile, perché la civiltà e la letteratura sono fiorite principalmente nelle zone temperate, dove le variazioni climatiche che si verificano durante l'anno sono maggiormente accentuate. In realtà, nel quadro evolutivo della vita terrestre, le querce, gli aceri, i pini, gli olmi, vanno considerati come emigranti giunti relativamente di recente alle latitudini che adornano oggi. Nel mattino della loro esistenza, essi non rappresentarono altro che un'ispida frangia superiore delle immense foreste che ricoprivano la Terra con il loro verde tappeto. Con l'avvicinarsi delle epoche glaciali, le foreste tropicali furono costrette a ritirarsi sempre più (a Sud) verso i Tropici, e le conifere più resistenti occuparono il loro posto, insieme con gli alberi decidui, nelle fredde terre del Nord. Oggi la foresta tropicale perennemente verde ricopre ancora milioni di chilometri quadrati degli umidi bassopiani equatoriali, stendendosi su più di un decimo della superficie delle terre emerse e occupando la metà, quasi, dell'area complessiva delle foreste del pianeta.

L'opinione corrente considera la foresta caldo-umida un labirinto intricato di sottoboschi impenetrabili, di piante rampicanti, di viticci, di vegetazioni imputridite, dove l'uomo deve aprirsi la strada metro per metro attraverso sentieri tortuosi. Una simile immagine appartiene ai racconti d'avventura nella giungla, ma non dà l'idea esatta della foresta tropicale, poiché si addice assai meglio alle zone dove si è verificato un secondo sviluppo dopo che la foresta vergine è stata saccheggiata. Nella foresta tropicale vera e propria le cime degli alberi formano una volta molto estesa, la quale filtra i raggi del Sole e getta il fondo della foresta in un crepuscolo tenebroso, persistente, che impedisce lo sviluppo di ogni altra vegetazione che non siano gli arbusti e i cespugli sparsi. Tra le oscure, spaziose navate, che s'aprono in mezzo ai tronchi dritti, senza ramificazioni, degli alberi altissimi, il suolo è relativamente libero, ricoperto soltanto da un tappeto di foglie che cadono lentamente, dolcemente, con ritmo incessante, per tutto l'anno. Di tanto in tanto strisce verticali di luce solare, dopo aver oltrepassato l'intricato tessuto della volta, attraversano l'oscurità e, giungendo al fondo, colorano d'oro il pavimento della foresta.

Caratteristica singolare della foresta caldo-umida è che gran parte della sua vegetazione ha dimensioni arboree e struttura legnosa. Famiglie di piante che nelle regioni più fredde sono rappresentate da erbe insignificanti, qui raggiungono dimensioni gigantesche. Vi sono « violette » più grandi di un albero di mele, « mirti » dagli steli spessi come una coscia, « rose » alte cinque metri. La foresta è più alta della maggior parte dei boschi delle zone temperate, poiché raggiunge in media i 4 metri d'al-

tezza, con alberi che arrivano persino ai 7 metri. Le foglie sono grandi e dure, di un colore verde scuro. Da ogni parte, tra i pilastri degli alberi, pendono i cavi vigorosi delle liane e di altre piante rampicanti, a volte disposte come il cordame di una nave a vela, altre volte come festoni natalizi. Talune sono annodate come il lasso dei *cowboys*.

Il predominare delle piante legnose, dal fogliame scuro e uniforme, dà alla foresta tropicale un aspetto sempre uguale e a volte anche monotono, anche perché non vi si verificano cambiamenti stagionali. Ma nonostante questa apparente omogeneità, la foresta costituisce un dominio straordinariamente complesso, ricco di piante e di animali più di ogni altra comunità esistente in natura, ad eccezione forse del mare. Mentre i boschi delle zone temperate possono comprendere al massimo qualche dozzina di varietà di alberi, un chilometro quadrato di foresta tropicale ne raccoglie due o trecento, calcolando solo quelli che raggiungono nei tronchi un diametro superiore ai 30 centimetri. Gli alberi più piccoli e i cespugli sono ugualmente molto vari, così come lo sono gli animali che abitano in ogni luogo della foresta, dall'ombroso pavimento alle assolate terrazze superiori.

La vita opulenta della giungla si è sviluppata attraverso epoche senza stagioni, in un clima caldo, umido, che ha modellato le proprie creazioni impercettibilmente, lentamente, nei millenni del tempo geologico. Nei Tropici non esistono primavere né inverni, ma solo un'estate perenne. Il Sole, mentre compie il suo giro annuale, passa tra il Cancro e il Capricorno e lascia nella propria scia, in ogni Latitudine, masse d'aria calda che si sollevano, si raffreddano e sciolgono in pioggia il loro contenuto d'acqua. Nelle regioni poste da 3 a 10 gradi di Latitudine a Nord e a Sud dell'Equatore ci sono ogni anno due stagioni piovose che si alternano con due stagioni relativamente asciutte. Tuttavia, anche nelle cosiddette stagioni asciutte, possono cadere mensilmente da 70 a 100 millimetri di pioggia. La media annua si calcola sui 2300 millimetri.

Durante la stagione delle piogge, dagli ammassi nuvolosi cadono violente valanghe d'acqua. In pochi giorni si possono raggiungere i 75 millimetri. Ed anche quando il cielo è divenuto di nuovo limpido, l'acqua continua a gocciolare quasi continuamente dal tetto della foresta, mentre l'aria e il suolo sono carichi d'umidità e il caldo è soffocante. Di giorno la volta degli alberi impedisce l'evaporazione ostacolando l'azione del Sole e del vento; di notte essa imprigiona il calore del giorno come una serra gigantesca. In queste condizioni le piante proliferano e prosperano incredibilmente. Le foglie nuove si protendono verso l'alto e lottano per arrivare a colmare i vuoti creati nella volta; i bambù possono crescere alla media di 35 centimetri il giorno.

La foresta caldo-umida tesse un tappeto verde intorno al circolo massimo della Terra e si sviluppa in tutte le zone equatoriali, ad eccezione di quelle dove le irregolarità del profilo planetario si oppongono alla sua diffusione. Perciò, dove le montagne si levano alte nei regni freddi delle nebbie e delle nuvole perenni, il tappeto della foresta si trasforma in un bosco favoloso di felci giganti e nocchierute, di alberi nani ricoperti di muschio. Altrove le correnti dell'oceano e dell'aria si combinano disseccando la terra e creando deserti o foreste decidue. Dove invece è arrivato l'uomo ad abbattere i tronchi, la foresta ha dato vita a un secondo sviluppo, con una vegetazione fitta e soffocante. La foresta primordiale vera e propria, mai alterata da interventi estranei, ha i suoi ultimi centri di maggiore importanza nell'Africa occidentale, nell'America del Sud e in Indonesia e zone adiacenti. Di queste tre grandi foreste vergini, la più vasta e ricca è la *hylaea* (dal greco ὕλη)

AVVOLGENDOSI intorno agli alberi sui quali albergano, alcune epifite finiscono per strangolare l'ospite. La fotografia a destra ci mostra uno di questi casi; quelle che una volta erano esili radici pendule ora sono diventate spesse e si sono piantate solidamente nel suolo. L'albero ospite è quasi interamente avvolto dal loro mantello ed è destinato a morire.







LE NEBBIE DEL MATTINO si levano dalla cupola della foresta. Il sole, all'alba, riscalda il fogliame superiore, umido di rugiada, e crea quest'effetto. La fotografia è stata scattata a un'altezza di circa 40 metri dal suolo. A mano a

mano che il sole si farà alto nel cielo l'umidità e la nebbia scompariranno. Al livello del suolo, però, nei corridoi della foresta dove la luce non riesce a penetrare, le radici degli alberi sono circondate dalla nebbia dall'alba al crepuscolo.



UNA PICCOLA SAVANA nella Guiana olandese. In lontananza si scorgono le alte cime degli alberi che costituiscono la foresta caldo-umida. Le loro chiome presentano fioriture di vari colori. Le loro radici affondano in un terreno paludoso.

che significa selva) sudamericana. Essa copre più di due milioni e mezzo di chilometri quadrati che si stendono tra le valli del Rio delle Amazzoni e del fiume Guiana, dal Mato Grosso nel Brasile alla costa dei Caraibi. Qui, nella grandiosa foresta della Guiana olandese, si è recata una spedizione, appositamente, per ottenere le fotografie che illustrano questo capitolo.

Vista dall'alto, la *hyla* appare come un oceano di cime d'alberi illimitato e indifferenziato, un immenso mare verde che sembra perdersi all'orizzonte. Vista da terra, invece, essa mostra una varietà stupefacente. Il suolo si distende con lievi ondulazioni tra anse buie, strozzate. Di tanto in tanto il tappeto verde è punteggiato da piccoli altipiani di sabbia o di roccia. Strani alberi contorti poggiano sopra supporti bulbosi lungo innumerevoli paludi. Dai pantani si sollevano palme la cui volta immerge nell'ombra le acque ricoperte di foglie. Di tanto in tanto la foresta è attraversata da fiumi lenti, sulle cui rive la vegetazione diviene fitta fino a tessere un muro che si protende verso l'acqua, dalla quale emergono innumerevoli liane.

La *hyla* è tanto complessa che i botanici la considerano un insieme di varie specie di foreste, ciascuna delle quali differisce dalle altre per determinate particolarità della topografia o del suolo. Così abbiamo la « foresta asciutta » sulle colline sabbiose; la « foresta paludosa » nelle valli inondate dalle acque; la « foresta montana » sui versanti delle montagne ricoperti dalla nebbia e la « foresta a galleria » sulle rive dei corsi d'acqua che attraversano il suolo asciutto della savana. La foresta primordiale vera e propria, assolutamente indipendente dai mutamenti stagionali, raggiunge il suo massimo sviluppo nei bassopiani asciutti, ben riparati, dove le precipitazioni piovose non sono mai inferiori ai 100 millimetri al mese. In certe zone ugualmente propizie alla flora tropicale, dove però le precipitazioni si mantengono al di sotto di questo limite, la vegetazione a prima vista differisce di poco: in realtà gli alberi tendono a perdere le foglie e i germogli non sbocciano uniformemente nel corso dell'anno. Si hanno, allora, le « foreste stagionali sempreverdi ». Nella *hyla* ognuno di questi tipi può prosperare accanto all'altro, fin quasi a confondersi con esso. Le fotografie che illustrano questo capitolo sono state eseguite in un territorio di un paio di chilometri quadrati e tuttavia ci offrono non solo immagini della « foresta stagionale sempreverde » ma anche visioni di una savana simile a una brughiera, di una palude popolata di palme e di alcuni stagni ricoperti da fitti sottoboschi.

All'occhio dell'uomo la *hyla* appare maestosa e imponente, come un mare o come un'alta catena di montagne. Anche a considerarne una zona limitata, come quella ritratta nelle pagine seguenti, ci mostra alberi dai tronchi solidi come pilastri e una cupola di verde dallo splendore indimenticabile. Il primo europeo a posare lo sguardo su una foresta tropicale primordiale fu Cristoforo Colombo, nel 1492, quando dalla sua nave scorse l'isola di Hispaniola tutta coperta di verde. Profondamente turbato da questa visione, Colombo scrisse: « Le sue terre... sono bellissime... e piene di alberi di migliaia di specie, tanto alti che sembrano toccare il cielo. Mi è stato detto che non perdono mai il loro fogliame e ci credo, perché li ho visti coperti di verde come sono in Spagna nel mese di maggio: alcuni fiorivano, altri producevano frutti, altri erano in una diversa fase, a seconda della loro natura... nel mese di novembre, quand'io li vidi ».



DOVE IL SUOLO PALUDOSO impedisce lo sviluppo degli alberi giganti, la foresta presenta un fitto groviglio di arbusti e cespugli. Qui sotto: ai bordi di una corrente le foglie in decomposizione producono il tannino che arrossa queste acque.









Il profilo della foresta

La tavola riprodotta nelle pagine precedenti rivela la grandiosità e il fascino di una sezione di foresta umida larga 20 metri della Guiana olandese. Mentre i boschi delle zone temperate presentano strati di vegetazione perfettamente definiti (erbe, arbusti e alberi), la foresta tropicale mostra una facciata complessa e stupefacente. Sembra che un tipo di foresta penetri nell'altro, allo stesso modo delle nuvole che penetrano in un ammasso di nuvole già formato. Gli strati più bassi sono costituiti, naturalmente, da erbe ed arbusti. Su di essi si levano le cime degli alberi, che a loro volta formano tre o più piani, creando « uno scenario imponente con le loro file che si ergono in mezzo alle ombre ».

La confusione delle foglie e delle piante rampicanti rende arduo il compito di qualsiasi osservatore, poiché la foresta tropicale ha molteplici aspetti, è un castello la cui architettura riesce difficile individuare. Il diagramma in fondo a questa pagina illustra le dimensioni della foresta e divide il caotico ammasso di verde nei tre strati di alberi che lo compongono: 1) alberi sparsi e giovani, alti fino a 20 metri, che lottano per la vita nell'ombra creata dalla volta superiore; 2) alberi più grandi e vigorosi, alti da 20 a 40 metri, le cui cime tondeggianti tessono la volta stessa; 3) i giganti, che vanno dai 40 ai 65 metri e più, le cui cime perforano la volta e raggiungono gli strati assolati dell'aria, in modo da sembrare isole

tropicali su un immenso mare verde. E, appunto come avviene nell'oceano, ogni strato riceve una quantità diversa di luce solare ed ospita un tipo particolare di flora e di fauna.

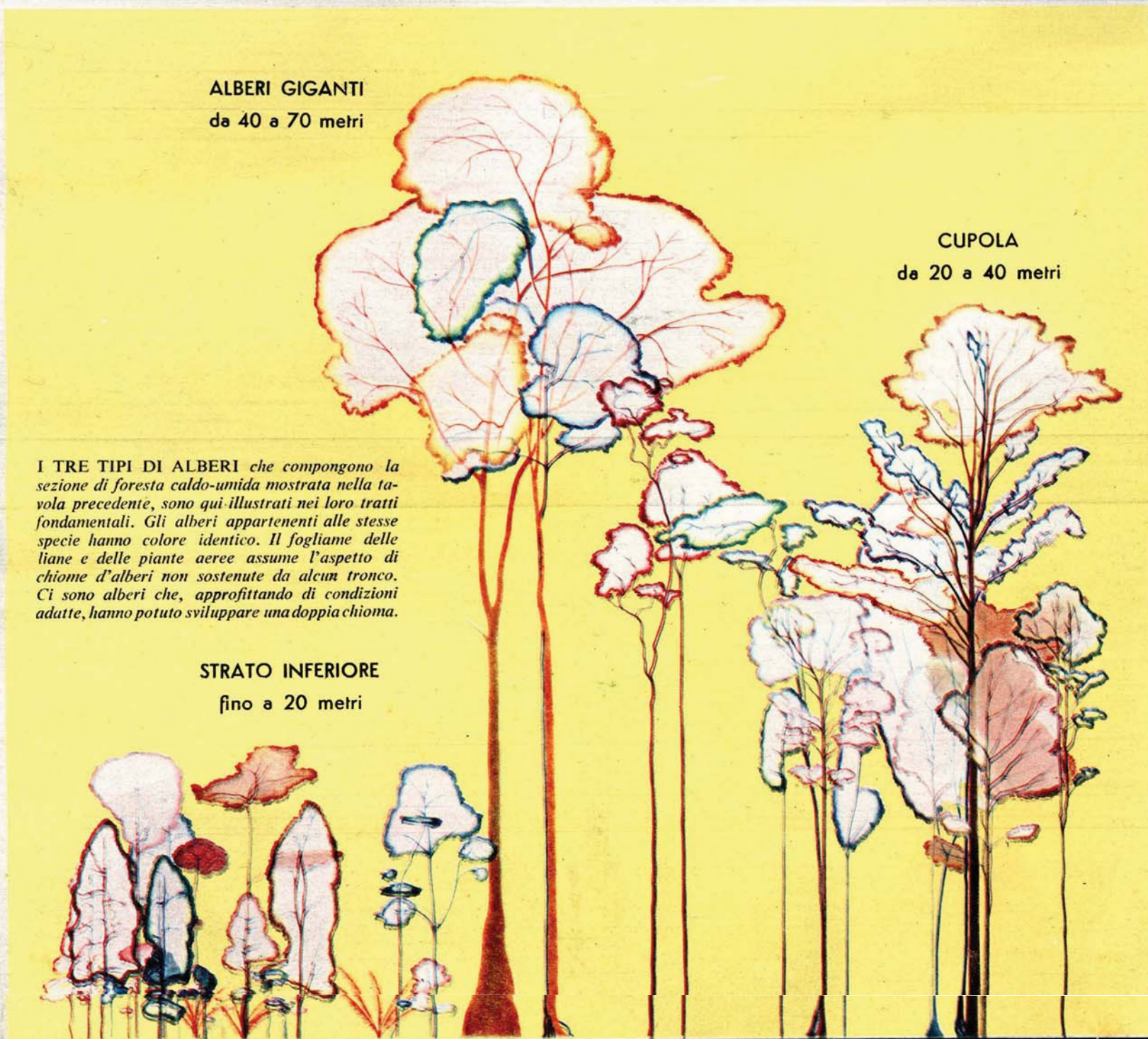
I tre strati di alberi sono sempre presenti, ma non mai in maniera completamente definita. Tra un piano e l'altro ci sono tronchi in fase di sviluppo, che costruiscono balconi e terrazze. Le cime degli arbusti appartenenti a specie giganti possono stazionare, temporaneamente, tra le cime degli alberi di uno strato inferiore. In un punto la volta superiore può essere continua e intessuta fittamente, in un altro può apparire povera e piena di lacerazioni. Pur essendo composta di una grande varietà di specie, la foresta tropicale presenta una strana uniformità nel colore, nella forma delle foglie, nella struttura della scorza degli alberi e in altre caratteristiche. Probabilmente una simile anomalia trova una spiegazione nella straordinaria antichità della foresta. Situate in uno stesso ambiente per più di un centinaio di milioni d'anni, le famiglie che la compongono hanno raggiunto adattamenti analoghi e si sono sviluppate secondo discendenze affini, che gradatamente conversero per giungere infine a presentare una stessa forma di vita, destinata a persistere e a tramandarsi nei millenni del tempo geologico. Gli alberi sempreverdi, perennemente ricoperti di foglie, che caratterizzano la foresta equatoriale (« questi senatori dalla tunica verde delle selve imponenti ») sono scolpiti secondo il modello ancestrale dal quale sono derivate probabilmente tutte le altre forme di piante a fiori.

ALBERI GIGANTI
da 40 a 70 metri

CUPOLA
da 20 a 40 metri

I TRE TIPI DI ALBERI che compongono la sezione di foresta caldo-umida mostrata nella tavola precedente, sono qui illustrati nei loro tratti fondamentali. Gli alberi appartenenti alle stesse specie hanno colore identico. Il fogliame delle liane e delle piante aeree assume l'aspetto di chiome d'alberi non sostenute da alcun tronco. Ci sono alberi che, approfittando di condizioni adatte, hanno potuto sviluppare una doppia chioma.

STRATO INFERIORE
fino a 20 metri





MAZAMA ROSSO	TINAMU	FORMICHIERE GIGANTE	PUMA	PICCIONI	MARGAI
SCRICCIOLO SUDAMERICANO		SERPENTE CRIBO	CANE DEI BOSCHI	AGAMI	AGUTI
ARAMIDE	LUCERTOLA ARBOREA	SERPENTE A LABBRA GIALLE	ARMADILLO GIGANTE	SIGNORE DEI BOSCHI	SERPENTE LIANA
ARMADILLO A LARGHE FASCE	GECO	ARMADILLO A NOVE FASCE	SERPENTE FERRO DI LANCIA	RAGNO DEI CESPUGLI	TESTUGGINE DEI BOSCHI
				CORRIDORE DELLA GIUNGLA	

fa; e i suoi unici nemici, il puma e il giaguaro, quest'ultimo cacciatore versatile, che vaga sulla cima degli alberi con la stessa facilità che sul suolo della foresta. Tra i predatori più piccoli troviamo due altri felini capaci di arrampicarsi sugli alberi, il grazioso gatto tigre o margay e il giaguarondi, o gatto moro, che si nutre di uccelli; e un mustelide feroce, il taira, che supera spesso il metro di lunghezza.

I veri aborigeni della *hyla*, molto più antichi dei mammiferi e della foresta stessa, sono gli animali a sangue freddo, rettili e anfibi, i cui progenitori dominarono nell'era Paleozoica i bassopiani paludosi. Oggi la *hyla* ospita tartarughe, testuggini, rospi e legioni di lucertole, dai piccoli gechi alle forme più grandi. E vi si trovano, inoltre, alcuni tra i più imponenti rettili del mondo: l'ana-

conda acquatico, lungo otto metri, e il suo corrispettivo terrestre, il serpente boa; il micidiale crotalo muto, detto anche terrore dei boschi, e il pericoloso Jararaca, chiamato anche ferro di lancia. Con i rettili prosperano i loro rampolli dell'era Mesozoica, gli uccelli, che occupano i piani superiori della foresta e la riempiono d'innumerabili gridi. Molti di questi uccelli non scendono mai a terra. Ma ci sono alcune specie più grosse, troppo pesanti per il volo, che vivono tra le ombre degli alberi: pernici, hocchi, trombettieri e tinamidi. Ma i veri dominatori della foresta, che la infestano a milioni, sono gli insetti e i ragni, innumerevoli come le foglie che compongono la volta e sempre impegnati in lotte e cacce invisibili. Essi si trovano dappertutto, in ogni minima fessura, dal sottosuolo della foresta ai rami superiori degli alberi più alti.



LE FOGLIE MORTE cadono costantemente, durante tutto l'anno, sul suolo della foresta e vi costituiscono un tappeto che viene distrutto, con la stessa rapidità con la quale si forma, dall'azione combinata di numerosi agenti della decomposizione.

Il suolo della foresta

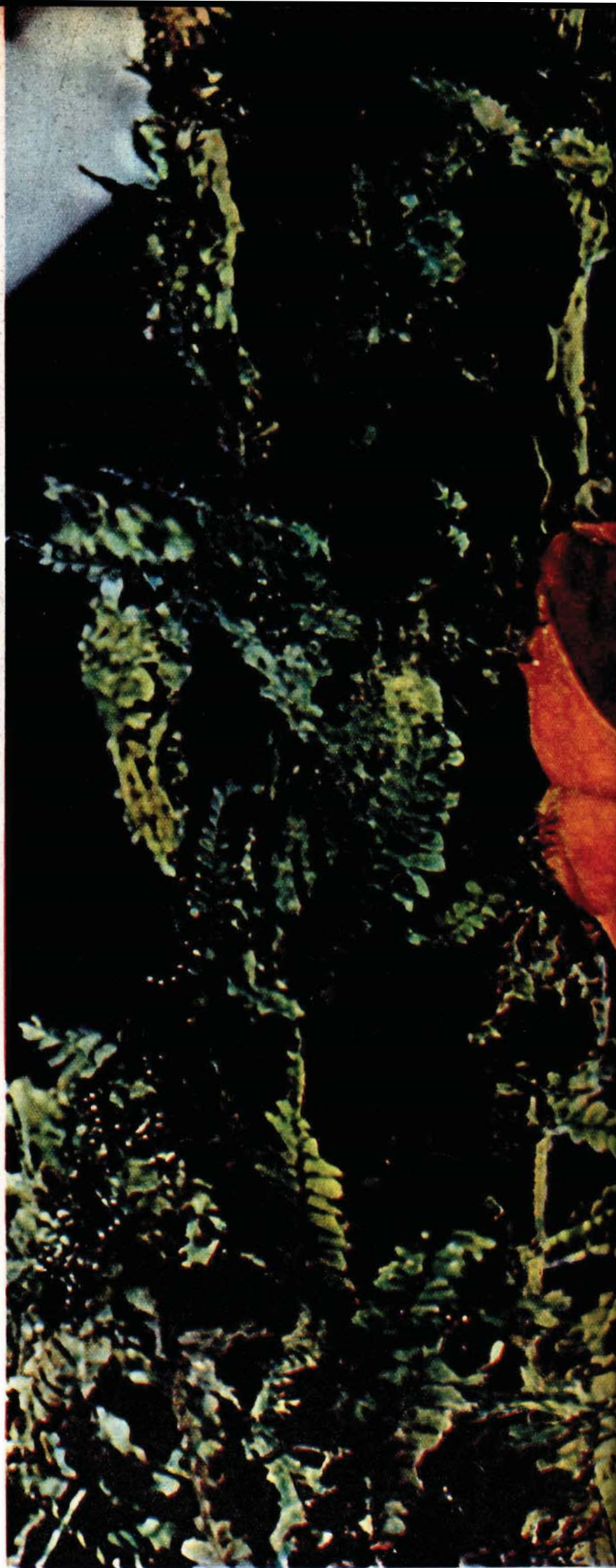
Nel mondo senza Sole posto ai piedi dei grandi alberi, la vita della foresta comincia e, nello stesso tempo, finisce. È qui che gli alberi giovani, da poco apparsi alla vita, compiono i primi tentativi di raggiungere la luce. Qui giungono le foglie dei più orgogliosi giganti della foresta, che giorno per giorno cadono dai rami superiori e muoiono sul terreno dove si sono posate.

Sebbene il fogliame dei piani superiori sia estremamente fitto e nonostante la grande ricchezza che presenta la foresta nel suo insieme, il tappeto costituito sul terreno dalle foglie cadute è misero e il suolo che esse ricoprono è povero. La spiegazione di questo paradosso risiede nella rapidità con la quale agiscono gli agenti della putrefazione. A mano a mano che cadono le foglie si decompongono e le radici, per nutrirsi, assorbono con estrema rapidità i prodotti della putrefazione dal suolo. È questa la ragione per cui gli elementi nutritivi sono racchiusi, nella loro maggioranza, nella vegetazione vivente. La più ricca delle foreste si sviluppa su un suolo tanto povero che, se fosse liberato degli alberi, a stento potrebbe dare un raccolto per più di una stagione.

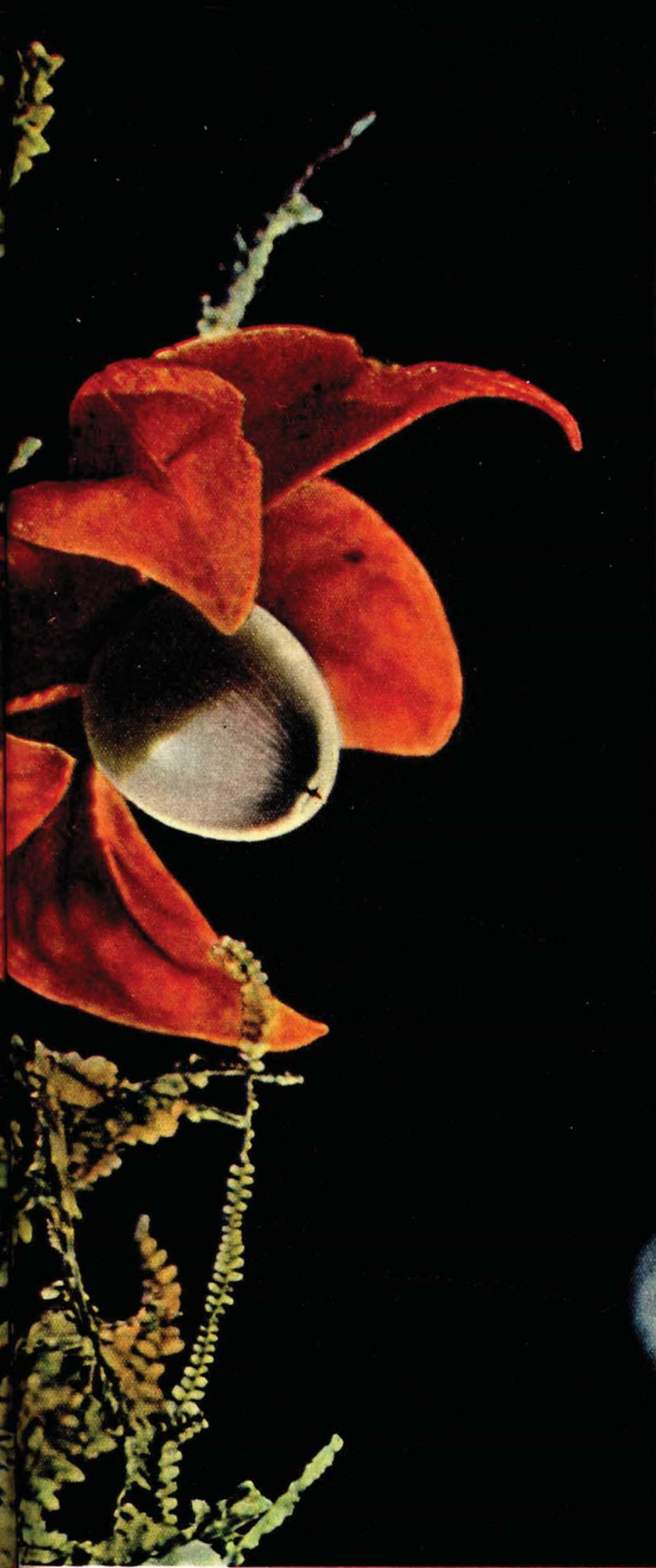
Non meno notevoli del ciclo nutritivo sono gli accorgimenti riproduttivi mediante i quali alcuni alberi della foresta tropicale si sono adattati alle particolari esigenze del loro ambiente naturale. Si tratta delle piante che assumono il nome di cauliflore, in quanto i loro fiori si sviluppano sul tronco e sui rami più grossi. Questo fenomeno, secondo il parere dei botanici, non è tanto la manifestazione di un'esuberanza vegetale quanto un adattamento specifico a un mondo nel quale le piante impollinate dal vento possono vivere solo per caso. Nei chioschi ben riparati della foresta, dove l'aria è pressoché immobile, il lavoro del vento viene svolto da miriadi di insetti che trasportano da un bocciolo all'altro il polline vivificante. Producendo i loro fiori in basso, sul tronco, invece che sugli alti rami, le cauliflore li rendono accessibili a molti impollinatori che camminano strisciando oppure volano ad altezze minime, senza allontanarsi mai troppo dal fondo della foresta.



MOLTI ALBERI degli strati inferiori hanno foglie (come queste della palma *Bactris*) adattate in modo particolare per fare da "canali di scolo", così da liberarsi rapidamente dell'acqua che rovesciano su di essi le piogge torrenziali.



LE CAULIFLORE sono piante i cui frutti si sviluppano sul tronco invece che sugli altri rami. Qui ne vediamo un suggestivo esempio: una bacca spunta dalla corteccia di un tronco. I "petali" rossi le danno un suggestivo aspetto floreale.



I FRUTTI DELLA FORESTA, di cui vediamo un esempio nella foto a destra, spesso crescono alla base dei tronchi. Si tratta di uno speciale accorgimento riproduttivo, in un ambiente in cui l'impollinazione viene effettuata dagli insetti.



UN SEME D'ALBERO, che la lanugine rende adatto ad essere trasportato dal vento, giace tra le foglie, sul suolo della foresta. Solo alcuni tra gli alberi più alti e determinate piante rampicanti si affidano al vento per la riproduzione.





QUESTE RADICI a forma di contrafforti appartengono a un'Andira, uno degli alberi più giganteschi della foresta umida. Esse formano un imponente piedestallo alto quattro metri, mentre affondano nel terreno solo per pochi centimetri. Comunistissime nelle foreste tropicali, le radici di questo tipo assumono forme molto

varie. Alcune partono dalla base dell'albero seguendo una lieve inclinazione. Altre si ergono verso l'alto e scompaiono alla vista, nascoste dal fogliame degli alberi più bassi. Ve ne sono a forma di lama di coltello oppure disposte in curve ondulate. Alcune si presentano simili ai contrafforti delle cattedrali gotiche.

Le fondamenta

Simili alle colonne di alcuni templi antichissimi, i tronchi dritti, imponenti degli alberi poggiano spesso su massicci piedestalli. Le loro file si innalzano lungo le navate della foresta ed appaiono perfettamente verticali, senza i grovigli delle ramificazioni che caratterizzano i boschi delle zone temperate. La natura ha creato, in compenso, un'estrema varietà di ornamenti alla loro base. Alberi alti e giganteschi si levano da complesse strutture di radici, spesso dalle forme grottesche, che puntellano la loro mole possente.

I botanici non sono in grado di spiegare in maniera definita a quale scopo rispondano queste strane formazioni di radici o attraverso quale processo di selezione naturale esse siano state prodotte. La maggioranza degli alberi più grandi presenta radici caratteristiche, disposte alla base come una palafitta: esse escono dai tronchi a intervalli regolari, fino a un'altezza di quasi tre metri dal suolo, e si diramano verso il basso, sempre moltiplicandosi, in modo da originare alla fine molteplici radichette che penetrano nel suolo. Nelle foreste allagate dalle acque e nelle paludi dove prosperano le mangrove, queste radici hanno lo scopo evidente di tenere sollevato il tronco dell'albero oltre il livello delle acque. Rimane da chiarire, però, come mai esse si comportano nello stesso modo anche nelle zone normali, dove il suolo è perfettamente asciutto.

Molto comuni sono le radici che assumono l'aspetto di contrafforti, veri e propri sostegni corazzati, di forma triangolare, che circondano il peri-

metro dei tronchi all'altezza del suolo. Simili contrafforti rappresentano una crescita, verificatasi in un secondo tempo, della parte superiore di radici laterali poco profonde. Spesso le dimensioni che raggiungono sono mastodontiche. Vi è una teoria che collega la loro esistenza alla scarsa profondità dell'*humus*, che raramente nella foresta supera i dieci centimetri. Di conseguenza sono pochi gli alberi della foresta tropicale le cui radici scavano in profondità: anche i tronchi più giganteschi presentano il più delle volte un sistema di radici superficiali. Si può anche pensare che la funzione dei contrafforti sia di proteggere l'albero, aiutandolo a resistere alla forza di gravità e alla furia del vento. Vi è il fatto, però, che essi non sempre sono presenti nei luoghi dove il loro ausilio sarebbe più necessario. Anzi, sono più abbondanti nei bassopiani riparati che nei luoghi esposti al vento. Vi sono numerose altre ipotesi, che fanno dipendere l'esistenza di tali radici dalla luce, dall'umidità, dalla conduzione degli elementi nutritivi nei tronchi, dalla natura e dalle caratteristiche del suolo. Ma nessuna teoria risulta interamente soddisfacente.

Le radici a forma di contrafforti non bastano, nonostante la loro apparente solidità, a impedire che gli alberi della foresta cadano quotidianamente quando le acque si infiltrano nel terreno e minano le loro fondamenta o quando improvvise tempeste scuotono le loro cime. Nel cadere, gli alberi più grossi si trascinano dietro i più piccoli, provocando una strage di verde. Una volta stesi al suolo, rivelano su quali inadeguate fondamenta basavano il loro ardito slancio verso le grandi altezze.

(12 - Continua)

Lincoln Barnett

La foresta tropicale

(seconda parte)



UNA FARFALLA MULTICOLORE si è adagiata su una foglia appena caduta a terra. *Heliconius phyllis* è la denominazione scientifica di questo grazioso insetto, che solo raramente scende fino al suolo della foresta, nel regno delle

ombre. Di solito le farfalle di questa specie vivono negli strati superiori della foresta, a grandi altezze, dove domina la luce. Per amore del sole, affrontano il rischio di essere divorate dagli uccelli che volteggiano sulla verde cupola degli alberi.

Gli acrobati delle cime

Nel corso delle varie epoche, innumerevoli animali, predatori e predati, hanno fatto degli alberi il loro rifugio; alcuni temporaneamente, altri per periodi più lunghi, altri infine permanentemente. Oggi nessun ambiente terrestre ospita tante creature arboree come la foresta tropicale e nessuna foresta tropicale ne ospita più della *hyla* sudamericana, dove vivono i più grandi acrobati della Terra.

Le scimmie del Vecchio Mondo sono agili ma non hanno la coda prensile, mediante la quale possono tenersi sospese agli alberi. Solo le scimmie americane hanno questa abilità. E i primati non sono neppure i soli ad essere dotati di tale carattere: la coda prensile, che altrove è posseduta soltanto dall'opossum, è proprietà comune di molti abitatori della foresta americana neppure imparentati tra loro, come il cercoletto o kinkajou, un porcospino e due formichieri arboricoli. All'alba e all'imbrunire la verde cupola assume l'aspetto di una tenda da circo dove, tra le beffe e le imprecazioni di molti uccelli dai colori sgargianti, gli acrobati si esibiscono in arditissime sfide alla morte tra i rami delle medie altezze. (Il naturalista W. H. Hudson li chiamò « angeli ciarlieri che vivono le loro vite fantastiche nello spazio, a metà strada tra la terra e il loro cielo ».)

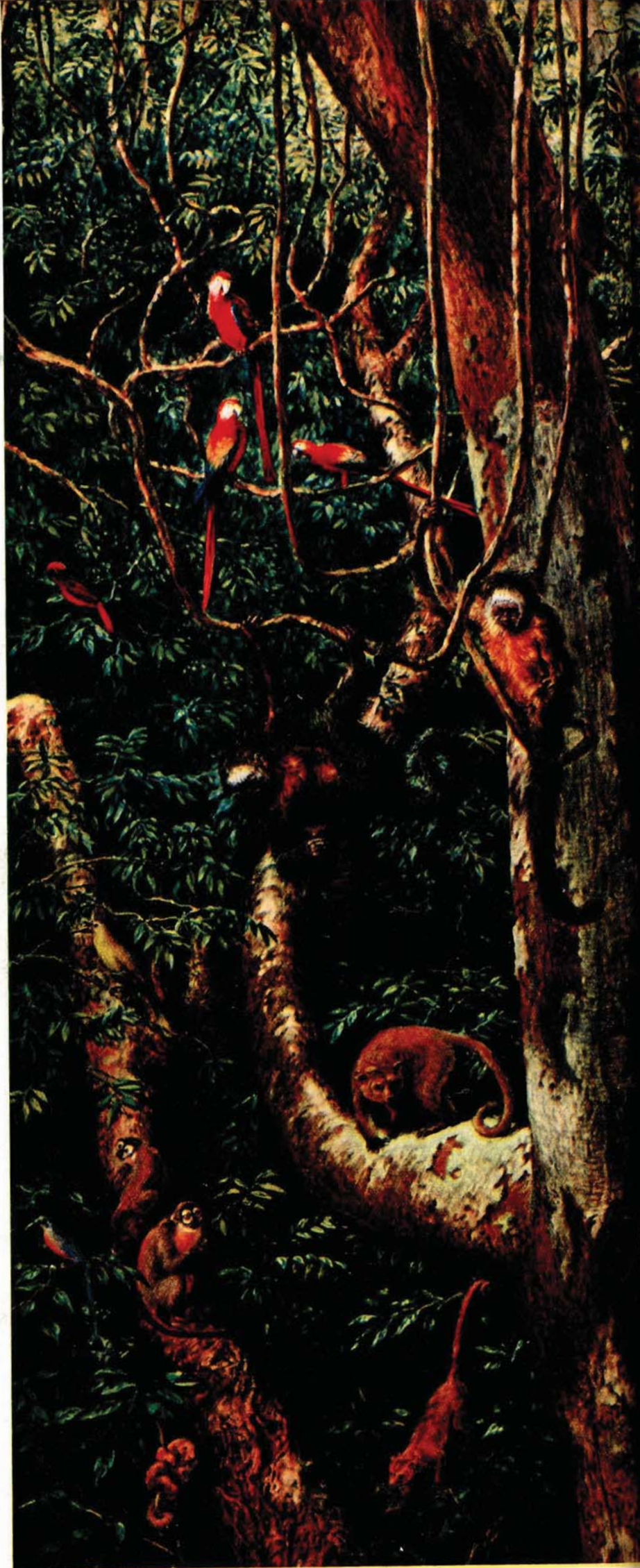
Le scimmie americane sono chiamate Cebidi e il loro nome deriva dal *Cebus*, una scimmia che è detta anche Cappuccino, appunto perché è dotata di un caratteristico cappuccio. A questo gruppo appartengono lo uistiti, l'atèle o scimmia ragno, il saimiri scoiattolo, il saki, la scimmia gufo e alcuni altri generi. Il ginnasta più abile di tutti è l'atèle, una scimmia scarna e molto intelligente. Tenendosi appesa a una liana a testa in giù, come un acrobata del trapezio, essa si dondola un po' e poi si lancia nello spazio, dove compie persino voli di 15 metri, per andare ad aggrapparsi infine a un ramo d'albero sul quale ha visto luccicare una bacca succulenta. Il saki e la scimmia gufo hanno le braccia più corte e non posseggono la coda prensile, per cui i loro salti sono notevolmente inferiori. I più piccoli della tribù, gli uistiti, turbolenti e rumorosi, viaggiano in bande e sanno compiere salti notevoli: ma il loro sistema d'atterrare è piuttosto violento, perché urtano contro i tronchi degli alberi tenendo le braccia e i piedi allargati.

Tra i rami della cupola verde camminano anche abili cacciatori che si tengono in equilibrio senza però correre rischi con salti irriflessivi. Tra questi sono da segnalare i componenti la famiglia dei Procionidi: il cercoletto, che si serve della coda prensile soprattutto quando c'è da raggiungere qualcosa di buono, e il nasua, che molto spesso scende a terra per compiere razzie. Non meno disinvolta è l'andatura di due parenti del formichiere gigante: il tamandua, che presenta un colore giallo dorato, e il ciclope, dotato di un mantello particolarmente morbido. Tra i felini che si arrampicano sugli alberi, il più abile è l'elegante ocellotto. Ma il giaguaro, il giaguarondi e il margay o gatto tigre di tanto in tanto riescono a raggiungerlo nei piani superiori.

All'estremo opposto della catena alimentare stanno i pochi animali esclusivamente vegetariani che vivono tra il fogliame della cupola: il coendou, un porcospino dalla coda prensile; i vivaci scoiattoli come il piccolo *Sciurillus*; e i bradipi didattili e tridattili. Quest'ultimi sono anche i più lenti, i più deboli di vista e d'udito e i meno intelligenti. Tenendosi sospesi ai rami con le loro zampe dotate d'artigli, si muovono in posizione capovolta e masticano foglie. Il loro sistema nervoso è tanto debole che restano indifferenti a dosi di veleno dei serpenti che di solito riescono mortali. Neppure le ferite più terribili, inferte loro dalle aquile e dai giaguari, valgono a destarli dal loro torpore. Privi di difese, incapaci sia di fuggire che di combattere, i bradipi non hanno altra protezione che il mimetismo. Perciò la loro lunga pelliccia presenta incrostazioni formate da un'alga molto simile a un lichene o a un muschio. Quando dorme nascosto tra le foglie, con la testa ripiegata tra le gambe, il bradipo è praticamente invisibile.

Sotto la grande tenda verde della foresta, anche i rettili si rivelano acrobati eleganti ed audaci. La lucertola *ho-ko-bee*, piccola e simile ad un camaleonte, non solo compie salti prodigiosi per raggiungere rami abbastanza alti, ma riesce ad approdare saldamente sulla parte inferiore dei rami stessi per merito di speciali cuscinetti adesivi di cui sono forniti i suoi piedi. L'iguana è specialista nei tuffi dall'alto: riesce a lanciarsi da un'altezza di 25 metri in uno stagno poco profondo. Il boa smeraldino e il piccolo velenoso serpente pappagallo frusciano agilmente, anche tra i rami più sottili, all'inseguimento della preda. Il boa arcobaleno, più grosso e pesante, avvolge invece i suoi due metri di lunghezza attorno a un ramo e vi rimane in agguato, in attesa degli opossum e dei roditori arboricoli.

Da parte loro gli uccelli arricchiscono la cupola festosa della foresta di splendidi colori e di musiche rumorose: vari tipi di cotingidi schiamazzatori, picchi, tucani, pappagalli fiammanti e are, pigliamosche e itteridi oropendule. Questi uccelli vivono nei piani superiori degli alberi e raramente discendono nell'ombroso regno sottostante o si avventurano al di là della cupola, nell'aria libera infestata dalle aquile.

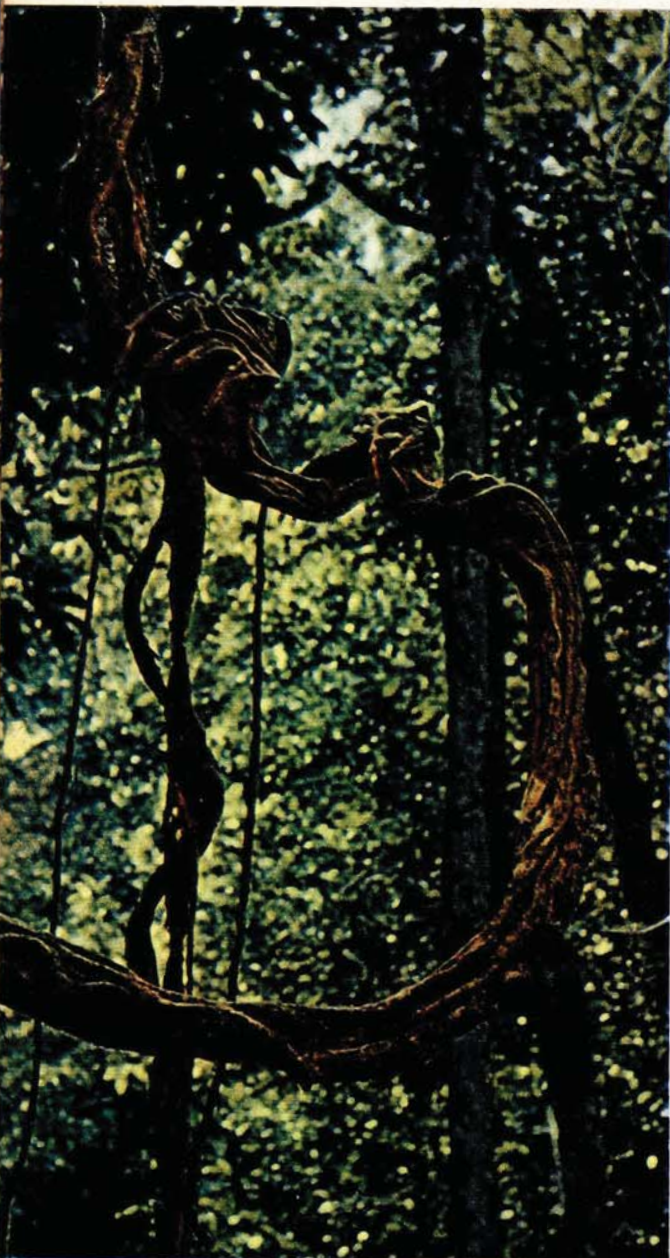


TIRANNO ROSSO
OROPENDULA
ITTERIDE OROPENDULA AOTI
FORMICHIERE SERICEO

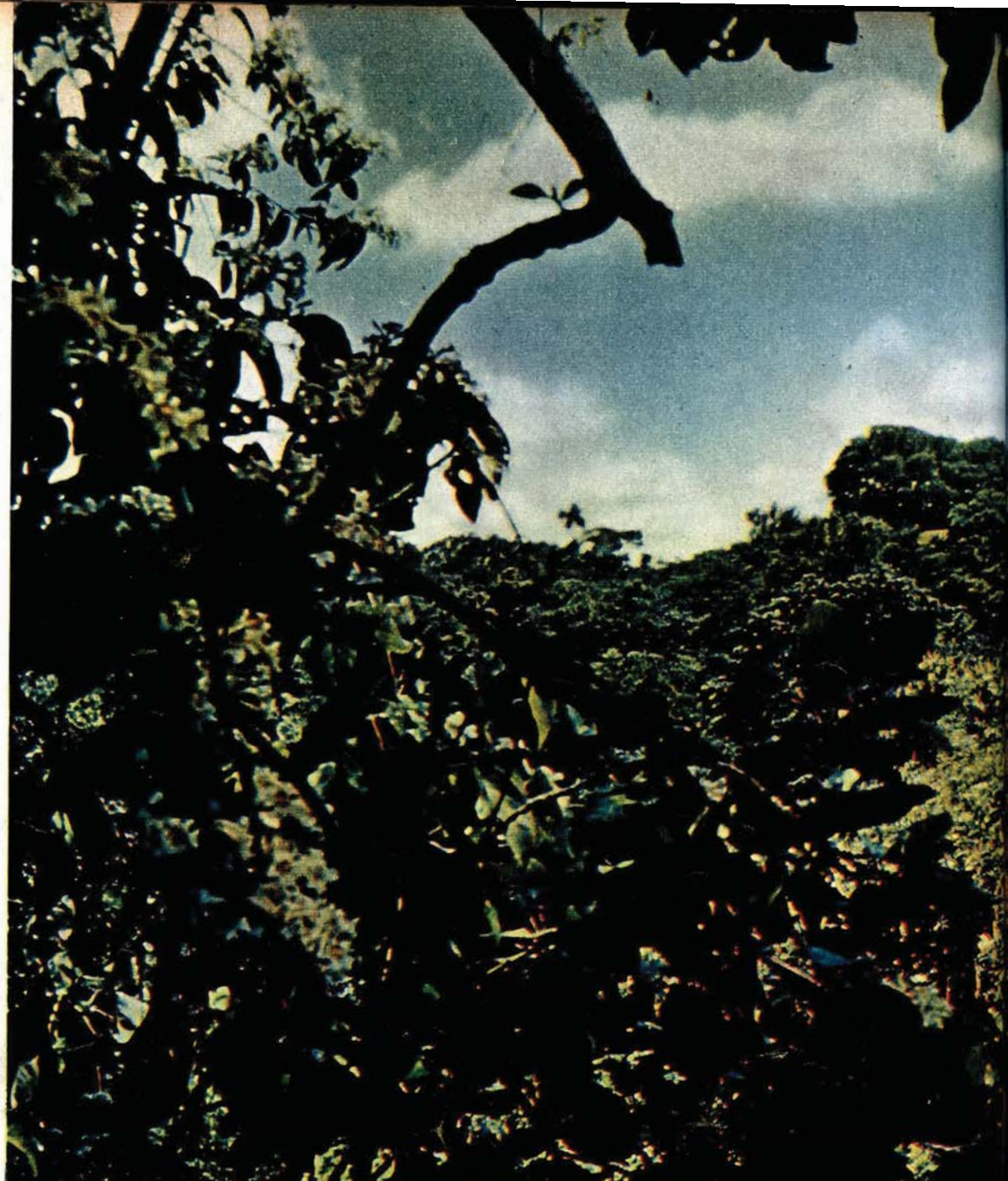
ARE MACAO
SAKI A FACCIA BIANCA SAKI A FACCIA BIANCA
CERCOLETTO
'CERCOLETTO



FORMICHIERE TUCANETTO	PAPPAGALLO	COENDU	OCCELLOTTO
SAKI A DORSO ROSSO	ARE MACAO	COATI	SCIMMIE RAGNO (O ATELE)
LUCERTOLA HO-KO-BEE	IGUANA	TUCANETTO	SCIMMIE RAGNO (O ATELE)
LUCERTOLA ARBOREA	SERPENTE PAPPAGALLO	COTINGA	BOA VERDE
			BRADIPO
			SCOIATTOLO
			PIGMEO
			BOA ARCOBALENO
			PIGLIAMOSCHE CRESTATO

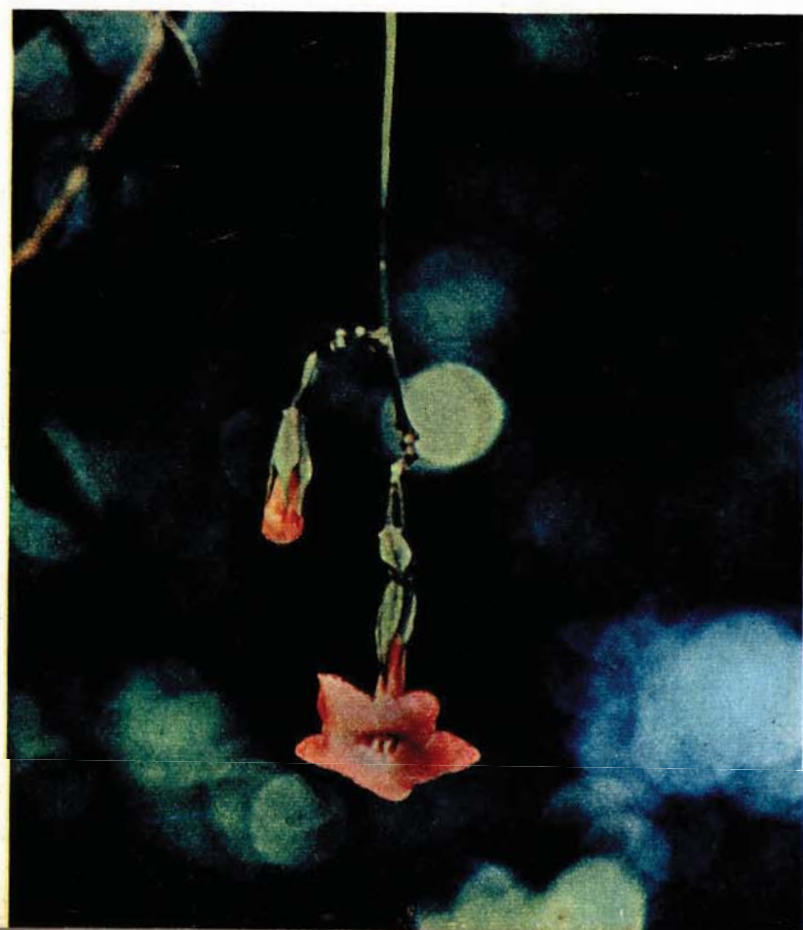


UNA LIANA si protende verso la cupola della foresta annodandosi, arrotolandosi, tracciando strani arabeschi tra il fitto fogliame, cui contende la luce.



IL TETTO DELLA FORESTA, fotografato da un albero alto 65 metri, è come un mare di verde che si stende a perdita d'occhio. In lontananza si vede

emergere un altro albero gigante che, perforando il tetto della foresta, si erge solitario nella luce solare. I fiori gialli, che appaiono disseminati un po'

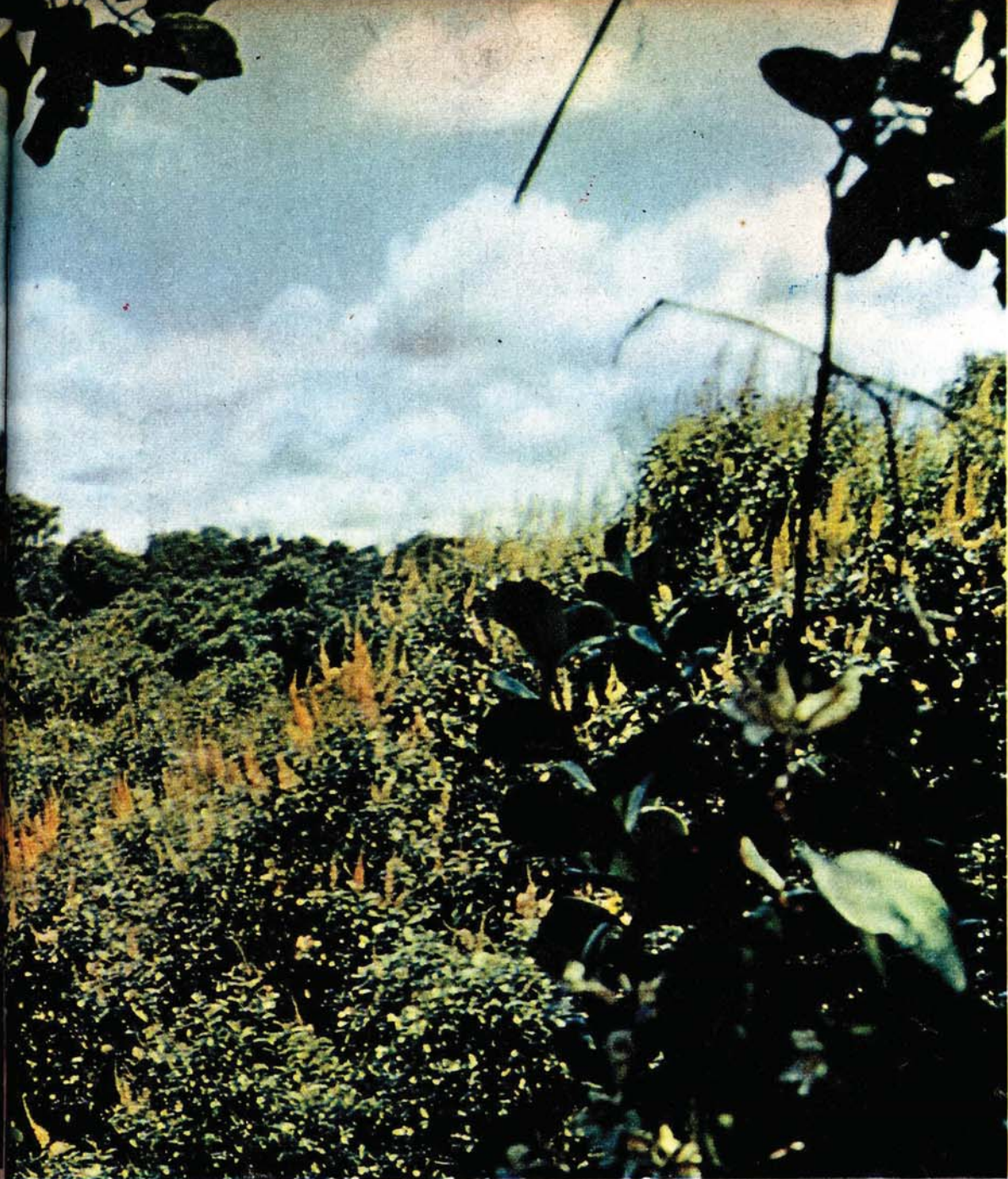


I giardini pensili

Sulla sommità della foresta, molto lontano dalle cripte avvolte nell'ombra e dalle buie arcate, la scena cambia. Inondate dalla calda luce, le foglie degli strati superiori si stendono in formazioni ondulate e creano un parco fantastico, le cui aiuole sono ricoperte per tutto l'anno di fiori che profumano perennemente l'aria. Non tutti i boccioli che adornano questi segreti giardini provengono dalle cime degli alberi maggiori. Molti spuntano da piante che, per mezzo di strani meccanismi, spinte dal loro desiderio di luce, sono riuscite a infiltrarsi fino ai più alti pinnacoli della foresta.

Si tratta delle liane, piante rampicanti che per l'aspetto sono molto simili all'edera, alla clematide, al caprifoglio e ad altre rampicanti che si incontrano nei boschi delle zone temperate. Le liane della foresta tropicale, però, raggiungono dimensioni stupefacenti, sviluppano steli legnosi spessi 70 centimetri e lunghi 150 metri, e contendono tenacemente agli alberi stessi lo spazio e la luce. Le loro forme fantastiche creano dappertutto festoni di vario aspetto, a forma di nodi, di spirali, di arabeschi. Da un ramo all'altro, da una cima all'altra, i loro steli si protendono sempre più verso la volta superiore dove vanno a riempire ogni spazio lasciato vuoto dalle foglie fino a tessere nel tetto della foresta una trama così fitta e intricata che, se si tagliasse alla base un albero, spesso esso sarebbe impedito di cadere. Sebbene siano abituate a vivere all'ombra, dove si svolge il periodo iniziale

IL FIORE DI UNA LIANA pende nell'ombra, al di sotto della volta verde degli alberi, a un'altezza accessibile alle farfalle e ad altri insetti. Si tratta di un accorgimento cui ricorrono molti alberi e piante rampicanti per la riproduzione.



dappertutto, appartengono ad alberi Vochysia. Nell'angolo superiore a sinistra si scorgono bianche corolle punteggiate di rosso: sono i fiori di una liana.

In primo piano, nell'angolo inferiore a destra, sono visibili le foglie grosse, rotonde, di un verde scuro, appartenenti a un grosso esemplare delle epifite.



A QUARANTA METRI dal suolo, tra numerose epifite, ne spicca una alta dieci metri. Le sue radici pendule ricadono verso il suolo sottostante.

della loro vita, le liane dimostrano di gradire il sole, i cui raggi rendono più rapido il loro sviluppo.

Ancora più strane delle liane sono le epifite (tra le quali si annoverano anche orchidee, cacti, arcidee, bromeliacee, muschi, licheni) che fioriscono direttamente sugli alberi, senza beneficiare del suolo comune a tutte le altre piante. ISTALLANDOSI nelle fessure e screpolature dei rami e delle liane, quasi tutte le epifite sviluppano una fitta rete di radici mediante la quale raccolgono dalle piante polvere e detrito, in modo da crearsi, col tempo, un suolo proprio sull'albero dove hanno preso posto. Molte ospitano, tra le radici, anche delle formiche, le quali contribuiscono al processo di formazione del suolo sia con le escrezioni che con i propri corpi, dopo che sono morte. Naturalmente vi è anche da risolvere il problema dell'acqua: per questo le epifite hanno adattamenti analoghi alle piante del deserto e riescono a fronteggiare i periodi di siccità mediante un assorbimento rapido e una conservazione accurata dell'acqua. Alcune sviluppano rosette di foglie sovrapposte che nascondono e trattengono l'acqua e tra le quali, occasionalmente, proliferano zanzare, ranocchie e sciame di piccoli invertebrati. Altre epifite hanno radici pendenti, che si calano dalla cupola fino a raggiungere il suolo e quindi raccolgono il nutrimento necessario direttamente dalla terra, per cui non hanno difficoltà a prosperare sui tronchi grossi e pesanti degli alberi che le ospitano. Certe specie rivelano qualità strangolatrici, in quanto i loro steli massicci si avvolgono intorno agli alberi sui quali albergano fino a soffocarli completamente, uccidendoli.

LA ROSEA FIORITURA di una liana spicca tra il fogliame superiore della foresta. Quando sono sulla loro pianta, questi fiori hanno un profumo delicatissimo. Se invece se ne spezza il gambo, emettono un odore simile all'aglio.



Le scimmie urlatrici

In ogni regno della natura le zone di frontiera attirano inevitabilmente gli avventurieri, i vagabondi, i saccheggiatori. Così avviene anche nella *hylaea*, dove solo gli arrampicatori più atletici ed audaci riescono a scalare le vertiginose cime degli alberi e a raggiungere la regione di confine tra la foresta e il cielo. Qui si è esposti non solo a molteplici avversità climatiche ed ai venti impetuosi, ma anche ai feroci pirati aerei che pattugliano i cieli tropicali: gufi, aquile, falchi e sparrowi. Di giorno gli animali capaci di arrampicarsi molto in alto se ne rimangono, di solito, al riparo sotto la cupola. È principalmente di notte che salgono fino in cima per raggiungere le noci e i frutti polposi che fioriscono a grandi altezze.

I più notevoli, tra questi artisti della pertica alta, sono il saimiri scoiattolo, il cebo cappuccino e l'urlatore rosso. Di queste scimmie, solo il saimiri scoiattolo non ha coda prensile. Tuttavia è agile e sicuro e riesce a tenersi in equilibrio in posti dove non si avventurano neppure gli scoiattoli. Amante delle maggiori altezze, il saimiri scoiattolo discende dalle cime degli alberi poche volte, per dormire o per ripararsi dalle tempeste. Il cebo cappuccino è molto meno sensibile alla pioggia e, in genere, alle avversità della vita. Vigoroso nel corpo, capace di adattarsi a qualsiasi dieta, esso ha raggiunto la supremazia numerica su tutte le altre scimmie sudamericane.

Il più notevole primate della *hylaea*, però, è l'urlatore rosso, che raramente si riesce a vedere ma la cui presenza non si può fare a meno di notare. Dotato di una faccia grottesca, umanoide, con una folta barba ispida, l'urlatore rosso ha come caratteristica principale la voce. Il suo canto si compone dei più elettrizzanti, possenti e agghiaccianti suoni animali che siano mai stati prodotti sulla Terra. Forse la miglior descrizione di un concerto di urlatori rossi è stata fatta da W. H. Hudson in una sua famosa novella sulla foresta tropicale: «D'un tratto, accanto a me, risuonò un grido. Esso divenne un acuto così alto, così irreale, che il sangue sembrò diventare ghiaccio nelle mie vene... Si può dare solo una pallida idea della tremenda, paurosa forza del suono prodotto dall'insieme delle loro voci, affermando che questi animali, per i quali il nome di "urlatori" appare inadeguato, supererebbero il più possente ruggito di leone che sia mai echeggiato in una foresta africana».

Il potere vocale senza confronti dell'urlatrice rossa proviene da una sua particolarità anatomica: una cavità ossea posta alla base della lingua. Essa forma una camera sonora, della grandezza di una mela, attraverso la quale le vibrazioni vocali vengono amplificate fino a raggiungere un volume incredibile. Quanti siano di solito i coristi che partecipano a un concerto di urlatori rossi non è possibile dire: le esibizioni avvengono dietro il sipario del grande palcoscenico che è la foresta. In prigionia, questi animali non fanno mai sentire la pienezza della loro voce ma si struggono malinconicamente e muoiono in breve tempo. Nella foresta le loro urla possono essere udite a distanza di chilometri e sembrano provenire da un coro di molte voci, che dà luogo a una complessa armonia atonale. Secondo molti zoologi, però, il più delle volte si tratta di una o due voci soltanto. Il coro generale, quando avviene, è molto caratteristico: prima urla un gruppo, poi risponde un altro attraverso il tetto della foresta e ciascuno riempie di toni minacciosi il vasto territorio di propria competenza. Dal tardo pomeriggio fino a notte è un susseguirsi, a periodi intermittenti, di domande e di risposte. Ma è soprattutto al levar del sole che il volume degli urli cresce e si trasforma in una rimbombante, continua cacofonia.

Quando il cielo, ad oriente, s'arrossa gli ultimi gemiti degli urlatori svaniscono e il tetto verde della foresta si riempie di suoni nuovi. Ora le scimmie debbono subirsi le irritate rampogne degli uccelli che si svegliano presto e non fanno mistero del loro cattivo umore: pappagalli, are, cefalottere, colombe e tucanetti. Bisogna fare in fretta: da un momento all'altro sul verde tappeto delle foglie può disegnarsi un'ombra che corre velocemente. Allora d'un tratto, silenziosamente, discenderà dal cielo il tiranno delle cime degli alberi, l'arpia dai terribili artigli, la cui apertura d'ali supera i due metri. Raramente l'arpia fallisce la propria preda, sia essa una scimmia che il rapace afferra al volo, mentre compie un salto, e si porta via urlante, o un bradipo che s'aggrappa tenacemente, ostinatamente a un ramo, e viene perciò dilaniato pezzo per pezzo. Intanto nel cielo s'aggira lo sciacallo dei cieli, il grosso avvoltoio reale.

Il pericolo si fa sempre maggiore e le scimmie abbandonano agli uccelli la parte superiore della foresta e discendono nei loro dormitori, tra le ombre della cupola. Durante il lungo, caldo giorno tropicale, sciame di rondini e di altri uccelli migratori attraversano il cielo della *hylaea*, diretti verso terre remote. I pappagalli e i tucani mettono in mostra le loro piume variopinte. E il *Chrysolampis mosquitus*, un minuscolo colibrì, si tiene in equilibrio con le sue ali invisibili su un fiore colmo di nettare che ha appena schiuso la sua corolla al sole.



AVVOLTOIO REALE
SCIMMIA SCOIATTOLO
CEBO CAPPUCCINO

CEBO CAPPUCCINO
SCIMMIE SCOIATTOLO



RONDONE DELLE NUBI
ARPIA
PAPPAGALLI
SCIMMIA SCOIATTOLO
CEFALOTTERA
COTINGA POMPADOUR

ARA MACAO
URLATORE ROSSO

ARA MACAO
URLATORE ROSSO
COLIBRI

URLATORE ROSSO
ARA MACAO
URLATORI ROSSI



LE COCCINELLE, con le loro larve bianche, fanno il proprio pasto sorvegliate da due formiche. Le coccinelle secernono una sostanza dolciastra di cui le formiche si nutrono. Perciò quest'ultime le proteggono dall'assalto degli insetti predatori.

Produttori e consumatori

Nella foresta, dal tetto ai segreti nascondigli del sottosuolo, pullulano orde innumerevoli di insetti. A volersi limitare soltanto alle loro specie, bisognerebbe elencarne centinaia di migliaia. La classificazione è resa ardua anche dalla straordinaria abilità che queste piccole creature hanno nel travestirsi. Nel loro mondo misterioso, l'arte dell'imitazione raggiunge il suo vertice. Così non è difficile scorgere foglie che saltano, pezzi di corteccia che strisciano, fiori che volano, farfalle simili a vespe.

Il ruolo degli insetti nella vita della foresta è duplice: essi distruggono e rigenerano, consumano e producono. Molte piante dipendono, per l'impollinazione, dalle api e da altri insetti. Da parte opposta, non pochi alberi vengono crivellati dalle termiti e dalle larve dei coleotteri. Le cavallette e le formiche agricole tagliano le foglie, distruggendo notevoli masse di fogliame. Le più appariscenti popolazioni del deserto sono le formiche soldati, le cui legioni marciano ciecamente sul suolo della foresta e distruggono ogni forma di vita incapace di sfuggire alla loro avanzata, e le grosse farfalle *Morpho*, le cui ali iridescenti sembrano vetri multicolori.

UN BRUCO lungo 15 centimetri (nella foto a destra) striscia lungo uno stelo dopo essersi cibato di foglie. Le sue spine sono velenose: se un uomo le tocca, può esserne le conseguenze per diversi giorni, talvolta con manifestazioni febbrili.



UNA FARFALLA iridescente (*Morpho adonis* è la sua denominazione scientifica), la cui apertura d'ali supera i 12 centimetri, riposa adagiata su un ramo. Di solito essa vive sulle cime degli alberi più alti, dove si ciba di nettare. Spesso le sue ampie ali, nel tentativo di attraversare il fitto fogliame, si spezzano.

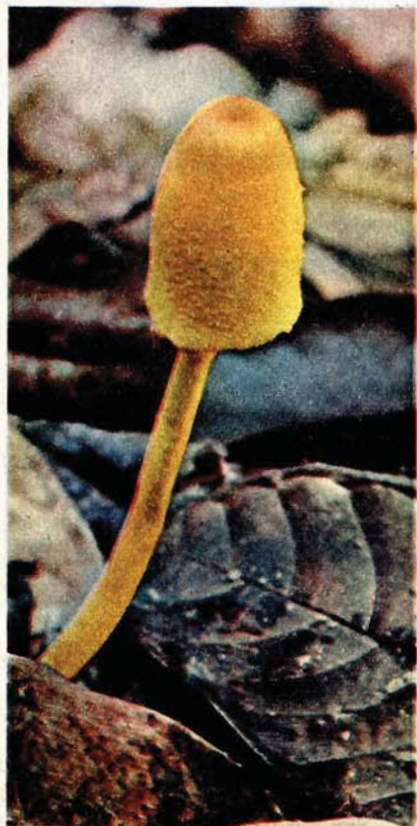


LA CAVALLETTA-FOGLIA, che vediamo sosta-
re sul ramo di un albero,
ci dà un esempio dello
straordinario mimetismo
che caratterizza molti in-
setti della foresta umida.
Con le sue ali, dotate di
una singolare venatura,
simile a quella delle foglie,
essa giustifica pienamente
il nome che le è stato dato.



QUESTI FUNGHI BIANCHI, alti poco più di un centimetro, che spuntano da uno strato di foglie in decomposizione, in realtà sono semplicemente gli organi riproduttori del fungo vero e proprio, il *Marasmius*, i cui filamenti invisibili, in-

trodottrisi tra i tessuti delle foglie cadute, ne succhiano la parte migliore. Giunti a maturazione, questi organi a forma di minuscoli ombrellini bianchi espellono milioni di spore microscopiche, che si diffondono nell'aria e infine generano nuovi funghi.



QUESTA CUPOLA gialla alta cinque centimetri, che sembra nata dalla fantasia di un pittore di fiori astratti, è l'organo riproduttore del fungo *Lepiota*.



LE TERMITI hanno costruito, sul tronco di un alberello, questo nido che s'è poi ricoperto di muschio. Le termiti sono avidi e instancabili divoratrici di legno.

Il cimitero della foresta

Dopo ogni tempesta tropicale, le gocce di pioggia continuano a cadere ancora per molte ore di foglia in foglia e, attraversando i fitti strati della volta superiore, vanno infine a cadere sul suolo. Qui, tra le foglie sparse, i rami caduti e le radici in putrefazione, contribuiscono al processo della decomposizione. Da questo segreto cimitero spuntano funghi velenosi, dai colori brillanti, simili a piccoli monumenti che costellano le navate della foresta.

Questi funghi, che per la forma e la pigmentazione sembrano fiori astratti, sono semplicemente gli effimeri organi riproduttori del fungo vero e proprio, i cui invisibili filamenti si introducono nei tessuti degli organismi morti o moribondi sui quali vivono e ne succhiano la parte migliore. Alcuni hanno dimensioni così minute che la loro presenza si indovina soltanto da una macchia colorata che appare sulla superficie dell'organismo che li ospita. Altri assumono l'aspetto di muschio e si reggono su steli esilissimi, alti pochi millimetri, che si sviluppano sulle foglie e sui rami caduti. Altri ancora prosperano sui tronchi d'albero caduti, dove formano dischi del diametro di 70 e più centimetri. Ma i funghi non sono i soli agenti della decomposizione che agiscono nella foresta tropicale. Nell'interminabile compito di ripulire il suolo dai rifiuti hanno come collaboratori i protozoi, i vermi e vari insetti. Di questi ultimi, sono soprattutto notevoli le termiti, o formiche bianche, che divorano il legno e in breve tempo crivellano ogni ramo d'albero abbattuto dal vento ed ogni ceppo che giaccia sul suolo della foresta.

Anche i tronchi più robusti e i legni più duri possono essere trasformati in pochi anni, dalle loro avidi mascelle, in un guscio spugnoso, sul quale appariranno come cicatrici le impronte lasciatevi dagli artigli degli uccelli. E mentre le termiti e i funghi corrompono i tessuti degli alberi caduti, i batteri da parte loro lavorano per trasformare rapidamente il legno in *humus* e l'*humus* in composti d'azoto, anidride carbonica e sostanze minerali. Così, col tempo, ogni cosa vivente, dagli alberi più grandi agli uccelli più piccoli (foglie, rami legnosi, fiori appassiti, semi erranti, corpi di insetti, ali di farfalle), torna morta alla terra e si dissolve con l'aiuto delle gocce di pioggia che la foresta filtra dolcemente.



SIMILE A UNA COPPA, l'organo riproduttore del fungo *Cookeina* contiene le spore in tante capsule disseminate lungo la sua superficie superiore. Giunte a maturazione, le spore vengono scagliate verso l'alto con veemenza, sotto la spinta di un'azione idraulica, e si diffondono nell'aria a notevole velocità. I funghi svol-

gono un compito molto importante, nella foresta umida: essi contribuiscono a ripulire il suolo dai rifiuti, decomponendoli rapidamente in modo da affrettarne la trasformazione in humus. In questa azione essi collaborano con numerosi altri agenti, quali i batteri, i protozoi, i vermi e vari tipi di insetti, tra cui le termiti.



GLI OMBRELLINI VERMIGLI appartenenti al fungo *Mycena* sono commestibili. Contrariamente a quanto lascerebbe credere il loro colore, non sono velenosi.

Hanno anche un'altra particolarità che li differenzia dagli organi riproduttori della maggioranza degli altri funghi della foresta: possono vivere persino per alcuni mesi.

Come sempre accade in natura, ai temi della morte e della decomposizione seguono quelli della rigenerazione. Qualunque sia la ferita aperta dalla caduta di un albero, dal fuoco, dal vento o dalla depredazione compiuta dall'uomo, la foresta alla fine guarisce sempre le proprie cicatrici. Il processo, tuttavia, è lento e complesso. Quando nella cupola si fa una breccia, il sole vi penetra e provoca un vigoroso sviluppo degli invasori dotati di una maggiore rapidità di crescita: erbe e carici disordinati. In un secondo tempo giungono gli arbusti e le piante rampicanti, cui ugualmente giova lo splendore del sole. Incredibilmente, in poche settimane, il terreno si ricopre di sottoboschi fittamente intrecciati. E a questo punto che appaiono alberi più grandi, dai tronchi flessibili, amanti della luce, che si ergono verso il cielo con stupefacente impazienza e raggiungono spesso, in due anni, gli otto metri d'altezza. Il loro trionfo però è effimero, perché di solito gli alberi di questa seconda generazione sono più bassi e meno variati dei veri componenti della foresta vergine.

Lo sviluppo degli alberi nativi è però impedito dalla luminosa barriera del sole. Esposti alla luce, i loro giovani virgulti che per crescere hanno bisogno dell'ombra, muoiono appena nati o vengono soffocati in breve tempo dalla invadente vegetazione. Eppure tutto lavora, lentamente ma incessantemente, a ristabilire la foresta primordiale.

Gli intrusi stessi, che dipendono dal sole, portano con sé il seme della propria distruzione. Avidi di luce, tessono una nuova cupola, che diventa sempre più spessa e produce un'ombra a poco a poco più fitta. Allora i loro discendenti, non trovando più luce, muoiono all'ombra dei progenitori e così i giovani arboscelli della foresta primordiale, giovandosi dell'ombra, trovano il terreno propizio per riconquistare lentamente l'antico predominio. Quanto tempo occorra perché si verifichi questo processo di guarigione dipende dalla vastità della breccia apertasi nella volta della foresta. Gli alberi piccoli, che nella loro caduta non ne trascinano altri, possono rigenerarsi in un decennio. Ma i giganti più alti, quando sono abbattuti, possono infliggere alla foresta ferite destinate a restare aperte per un secolo e più. Quando, per effetto di cataclismi come certi incendi che si verificano dopo prolungati periodi di siccità, la devastazione si fa abbastanza ampia, l'intero mosaico della foresta può risulterne alterato.

Fino a tempi relativamente recenti l'uomo ha esercitato sulla *hyla* un'influenza molto scarsa. Essa infatti era abitata quasi esclusivamente da aborigeni dediti alla caccia, che conoscevano poco dell'agricoltura. Oggi però la civiltà non ha mancato di far sentire i propri effetti anche in

queste regioni, dove vasti tratti di foresta sono stati demoliti per far posto a piantagioni di caucciù, di caffè e di cacao. In seguito, abbandonati, i territori dove erano state create le piantagioni si sono ricoperti della tipica e intricata vegetazione secondaria. Forse gli effetti più distruttivi si sono avuti in seguito al diffondersi dell'agricoltura tra le popolazioni indigene. Nella *hyla* le tribù native radono al suolo i tronchi più alti e bruciano gli alberi caduti non solo lungo le rive dei fiumi e ai confini della foresta, ma anche nel suo interno. Quindi coltivano granturco, cassava, igname, banani e riso. In breve il carattere del suolo cambia. Il sole splendente distrugge l'*humus*. Le piogge torrenziali, con la loro violenza, filtrano nel terreno ed erodono gli strati superficiali messi a nudo. Dopo una stagione o due l'appezzamento deve essere abbandonato e la terra mutilata viene invasa dal caos della vegetazione secondaria.

In vaste zone dei Tropici la grande e maestosa foresta primordiale ha ceduto il posto alla terra erosa, ai cespugli, alle savane, alla confusione delle crescite secondarie. E come un tempo furono distrutte le foreste vergini dell'Europa e dell'America del Nord per l'imprevidenza dell'uomo, così ora stanno svanendo le tropicali. Pochi si rendono conto che esse potrebbero scomparire nel giro di una generazione. Il danno economico sarebbe incalcolabile, perché le foreste primordiali ci danno ricchezze costituite dagli alti tronchi (mogano, tek) e da prodotti come le resine, la gomma, la cellulosa, la canfora, i calamodendri. In effetti non è neppure possibile fare un calcolo approssimativo di queste ricchezze, poiché delle migliaia di specie che concorrono a formare la cupola della foresta, solo poche sono state studiate nelle loro proprietà fisiche e chimiche a scopi commerciali.

Il fatto di maggiore importanza è che la foresta umida primordiale rappresenta una riserva genetica, un centro dinamico d'evoluzione che ha continuamente arricchito con nuove forme il restante mondo delle piante. Non c'è dubbio che la sua scomparsa altererebbe il corso dell'evoluzione botanica. Se vogliamo preservare per le future generazioni le specie tipo della foresta primordiale è necessario che per vaste estensioni essa rimanga immune dalla mano conquistatrice dell'uomo, la cui scure potrebbe esporre il suolo all'opera distruttiva del sole e della pioggia. Perché, in ultima analisi, non è la natura, ma l'uomo, la forza che « porta la distruzione a mezzogiorno ».

(13 - Continua)

Lincoln Barnett

14 - IL MONDO IN CUI VIVIAMO

La vita nei boschi





UNA QUERCIA si leva alta e maestosa tra gli alberi del bosco. Siamo al principio della primavera; le foglie cominciano a tessere la loro cupola. Nelle prossime pagine mostreremo la stessa quercia fotografata nelle stagioni successive.

Le piante delle zone temperate

Sebbene abbia colonizzato l'intero pianeta, dalle bianche regioni polari ai caldi territori dell'Equatore, l'uomo risiede di preferenza nelle zone temperate, dove il sole rinnova anno per anno il miracolo delle stagioni. Qui, dove la temperatura incostante è come uno stimolo e il morso del freddo invernale s'alterna al languore estivo, sono fiorite le più vigorose e progredite società umane. E qui la natura ha creato gli ornamenti più amabili della terra, i boschi mutevoli il cui ciclo annuale di morte e di resurrezione ha suscitato nel genere umano meraviglia e gratitudine fin dal tempo che il primo poeta levò il suo inno alla primavera.

A rigore, le zone temperate non sono effettivamente temperate. In pieno inverno il freddo può raggiungere un'intensità quasi da terra artica. Nel cuore dell'estate il caldo diviene insostenibile quasi come nei Tropici assolati. Di conseguenza le cose viventi che prosperano alle latitudini medie debbono adattarsi a estremi climatici opposti. E come i maestosi alberi perennemente verdi della foresta tropicale sono il risultato di estati che non hanno fine, come la flora del deserto, spinosa e abilissima nel conservare l'acqua, è il prodotto di un ambiente arido, così i boschi che fioriscono sulle colline e nelle valli delle nostre zone rappresentano la risposta della natura agli eccessi di un clima volubile. L'aumento e la diminuzione della temperatura durante l'anno ci portano i germogli della primavera, i frutti succolenti dell'estate, le foglie ingiallite dell'autunno, i rami spogli dell'inverno.

La più grande minaccia ambientale, per le piante delle zone temperate, è rappresentata dalla siccità fisiologica dell'inverno, quando le temperature gelide trasformano l'acqua in ghiaccio, rendendola così inutilizzabile. Per proteggersi da questa stagione ostile, esse entrano in un periodo di ibernamento, cioè si liberano delle foglie e cadono in un letargo che durerà fino al ritorno della primavera. Gli alberi e le piante dotati di questo carattere si chiamano « decidui » (dal verbo latino *decidere* che significa decadere). Durante l'estate essi richiedono grandi quantità d'acqua, perché dall'estesa superficie delle loro foglie si verifica una perdita costante d'umidità, attraverso un'evaporazione che coinvolge direttamente le cellule viventi. Una volta liberatisi delle foglie, gli alberi decidui diventano capaci di resistere alla siccità come i cacti del deserto. La crescita

e l'assimilazione praticamente cessano. La corteccia, che ricopre come una spessa corazza i tronchi e gli alberi, e le resistenti squame che avvolgono ogni germoglio, garantiscono l'immunità contro i venti invernali.

Quasi tutte le foreste decidue della Terra si trovano nell'Emisfero settentrionale. A Sud dell'Equatore, nelle zone dove potrebbero sussistere le condizioni climatiche appropriate per il loro sviluppo, le terre continentali sono esigue e predomina il mare. Nel Nord, invece, esistono tre grandi fasce forestali che disegnano intorno al globo una corona verde. La prima, dalle isole britanniche, attraverso l'Europa, giunge fino all'Asia occidentale. La seconda ricopre vaste zone della Cina, della Corea e del Giappone. La terza è la più grande e ricca di tutte e prospera negli Stati Uniti orientali. Delimitata a Nord dalla vegetazione sempreverde del Canada e a Sud dalla flora subtropicale degli Stati del Golfo, la foresta decida si stende a Ovest verso il cuore del continente, dove prosperano le grandi praterie. La frontiera tra la foresta decida e il regno delle erbe è segnata dalla pioggia. La prateria fiorisce dove la media delle piogge varia tra i 250 e i 750 millimetri l'anno; il bosco decido richiede più di 750 millimetri.

All'occhio dell'uomo abituato a vivere in città e al quale solo raramente può capitare di essere d'accordo con Virgilio nel riconoscere che « i boschi ci sono graditi più d'ogni altra cosa », le verdi arcate costruite dalle foglie degli alberi appaiono tutte uguali. Ogni bosco sembra molto simile agli altri. In realtà la foresta decida rappresenta un dominio complesso, nel quale i botanici distinguono molte comunità di piante. È vero che i principali componenti di un bosco sono in genere la quercia, l'acero, il faggio, il tiglio, il noce, il frassino e l'olmo, ma la relazione in cui si trovano varia da un luogo all'altro. Così lungo l'orlo occidentale della foresta dominano la quercia e il noce, nel margine canadese le foreste decidue, quelle di conifere e quelle miste si alternano in una lotta accanita per la conquista della supremazia. La struttura di ogni bosco è stata determinata, naturalmente, da fatti verificatisi nei tempi preistorici, come i mutamenti climatici, il sollevarsi delle catene montane, l'avanzata e la ritirata dei ghiacciai. In ultimo è intervenuto l'uomo, con la scure e col fuoco.

Il regno che una volta apparteneva alle più possenti foreste decidue del mondo oggi è occupato in gran parte da fattorie agricole e da vegetazioni di secondo sviluppo. Il milione di chilometri quadrati di foreste primordiali che i primi europei ammirarono stupiti oggi è ridotto a soli 4000 chilometri quadrati mantenutisi allo stato primitivo. Un'analoga estensione è sopravvissuta a 80 chilometri da New York, nel New Jersey. Si tratta del bosco di Mettler che, pur nelle sue ridotte dimensioni (65 acri), rappresenta una foresta veramente vergine, i cui aspetti vengono illustrati dalle fotografie di questo capitolo. La vita degli alberi e delle piante del bosco di Mettler si è svolta secondo una successione ininterrotta, iniziata alla fine dell'ultima glaciazione, quando gli alberi decidui riconquistarono la terra abbandonata dai ghiacciai in ritirata. Il bosco ha potuto conservarsi allo stato primitivo perché, fin dal 1701, è stato di proprietà di una famiglia che, di generazione in generazione, si è costantemente opposta a qualsiasi tentativo di abbattere gli alberi per lasciare il posto alle terre coltivabili.

Come in ogni foresta, i verdi colonnati del bosco di Mettler formano numerose navate e gallerie e si ergono a tessere una volta di foglie, la cui altezza media è di 25 metri. Vi predominano i noci e le querce, con l'aggiunta di faggi, aceri e frassini sparsi. Numerosi sono gli arbusti di vario genere, ai cui piedi s'intrecciano viburni, biancospini e benzoini. Violette, mugheri, anemoni e una luminosa galassia di altri fiori tingono il suolo con i loro mutevoli colori.

Nelle profondità ancora tranquille dei boschi, le maree della primavera s'alzano dal suolo dapprima lentamente, poi più in fretta, in un ritmo sempre crescente, e inondano i cespugli, i cornioli, gli arbusti, finché si sollevano fino alle vette delle querce più grandi. Alla fine di marzo, mentre il suolo odoroso si libera del gelo invernale, le erbe si scuotono. Debbono fiorire prima che la cupola del bosco si chiuda e le privi del sole. La neve non si è ancora completamente disciolta che già le verdi foglie del cavolo fetido, una pianta maledorante, hanno fatto la loro apparizione in mezzo al fango, ai bordi dei corsi d'acqua. Dal suolo copioso di foglie spuntano i primi colori dei mugheri e delle modeste viole.

Nell'interno degli alberi, intanto, si stanno verificando mutamenti segreti. Il calore dell'aria e l'umidità del terreno fanno arrivare una dolce linfa ai germogli, i quali perciò cominciano a forzare le sottili squame che li hanno protetti finora e sbocciano, rivelando tutto lo scintillio dei propri colori. A metà aprile quasi ogni ramo di ciliegio è ricoperto da grappoli di fiori bianchi, l'acero è pieno di boccioli vermigli e il benzoino è diffuso nei posti più umidi come una nebbia gialla.

In maggio la primavera diviene impetuosa e la terra è invasa da ondate di fiori. Il suolo del bosco appare interamente tappezzato da sigilli di Salomone, da campanule gialle e da gerani selvatici. Più in alto risplende la bianca fioritura dei cornioli e candidi mazzi di viburni cominciano a occhieggiare tra il verde delle nuove foglie.

È giunto così il momento che anche gli alberi lanciano il loro grido primaverile. L'acero, il ciliegio, il faggio, si ricoprono rapidamente di foglie. La quercia rossa cosparge il terreno delle sue infiorescenze. Sui rami del noce vi è un'esplosione smeraldina di germogli a forma di candela. A metà maggio si è in pieno periodo di sviluppo. E mentre le querce, più lente, stanno completando il proprio rivestimento di foglie, per colmare le lacune rimaste nel complesso disegno della cupola, l'estate avanza tranquilla verso il bosco.



UN VIOLENTO URAGANO, verificatosi nel 1950, produsse considerevoli danni nel bosco di Mettler. Ecco la zona danneggiata come si presenta oggi: gli alberi maggiori, abbattuti dal vento, hanno perduto il loro predominio, passato a piante le-

gnose. Il bosco di Mettler presenta una particolarità che lo rende prezioso dal punto di vista scientifico: è vissuto senza mai conoscere l'intervento dell'uomo. Da circa due secoli appartiene alla stessa famiglia, che s'è proposta di lasciarlo intatto.



TORTORA
SERPENTE NERO
VOLPE GRIGIA
PICCOLI DI VOLPE ROSSA
ALAMANDRA A DORSO ROSSO
TARTARUGA SCATOLA
TALPA

CORVO
NATRICE DAL COLLARE

SCOIATTOLO GRIGIO
VOLPE ROSSA

PICCHIO
PROCIONE CON I SUOI PICCOLI

CHIPMUNK
(Scoiattolo nordamericano)

RANA DEI BOSCHI
ROSPO DI FOWLER

Gli abitatori dei boschi

Per i molti animali, generalmente di natura timorosa, che vivono nei boschi, la primavera rappresenta un periodo di iniziative domestiche. Coloro che durante l'inverno sono rimasti in letargo si destano nei loro dormitori sotterranei: sono magri e irritabili, sentono il richiamo del loro ventre vuoto. I mammiferi da pelliccia eliminano i propri rivestimenti invernali per indossare abiti estivi più leggeri. Per la maggioranza di essi, questo è il tempo della riproduzione. Dagli alberi gli uccelli maschi, dando saggi di bravura vocale ed esibendo i colori delle loro piume in quella che si chiama « parata », tentano di far colpo sulle loro compagne. « La venerazione che si ha per la primavera » osservò Emerson, « è connessa

con l'amore... Persino la rana e il suo maschio, in questa benigna occasione, si provvedono di un rivestimento nuovo e più allegro. »

La scomparsa di molti boschi ha costretto numerosi animali delle foreste a raggiungere un compromesso tra la tipica dieta del loro ambiente e le fonti di cibo che si possono trovare nei campi aperti e nelle fattorie agricole. Vi sono predatori, come le volpi rosse e grigie, che di notte vanno a caccia nei campi e durante le ore del giorno tornano nel folto dei boschi. All'imbrunire intere famiglie di procioni escono dai loro rifugi tra gli alberi per andare alla ricerca di topi, rane e insetti. Anche la moffetta striata e l'opossum sono animali notturni. Graziosa, dotata di un temperamento non aggressivo, la moffetta fa affidamento sulla sua arma chimica, costituita da un liquido puzzolente. I suoi nemici principali sono l'uomo e il gufo. Gli opossum sono onnivori e mangiano qualsiasi cosa.



SCOIATTOLO VOLANTE

DONNOLA
UCCELLO AZZURRO

TOPORAGNO
MOFFETTA STRIATA

CARDINALI
CINCIALLEGRA
CERBIATTI

CERVO CODA BIANCA
SERPENTE GIARRETTIERA
ORGANETTO E SUA NIDIATA
MNIOTILDE BIANCA E NERA

TANAGRA ROSSA
MARMOTTA AMERICANA

CONIGLIO CODA DI COTONE

dai serpenti alle noci. I cacciatori più sanguinari del bosco sono la donnola, che il naturalista Ernest Thompson definì « un demone errante della carneficina », e il piccolo toporagno, che attacca animali più grandi di lui e può mangiare ogni giorno una quantità di carne corrispondente al proprio peso.

All'altra estremità della scala del cibo si trovano i vegetariani e le vittime dei predatori. Il più notevole è l'odocelo, detto anche cervo dalla coda bianca, che tra gli animali dei boschi raggiunge le dimensioni maggiori. Cacciato dall'uomo, minacciato dall'inedia durante l'inverno, raramente questo cervo riesce a vivere per più di quindici anni. Il coniglio coda di cotone e il citello antilope sopravvivono per merito della numerosa prole che mettono al mondo. La grossa marmotta americana vive nascosta in una tana fortificata, mentre la talpa trascorre sottoterra pra-

ticamente l'intera sua esistenza. I roditori arboricoli fanno degli alberi i propri rifugi. Il cippunk, o scoiattolo nord-americano, però, è solito pascolare a terra. Il cosiddetto scoiattolo volante non è un volatore vero e proprio, ma si limita a planare nell'aria sostenuto da una membrana tesa tra le sue zampe. Lo scoiattolo grigio, vigile e previdente, che un tempo era stato sterminato quasi completamente da carneficine in massa e dalla distruzione dei semi nei boschi, ora è di nuovo in aumento di numero.

Gli abitanti più riservati dei boschi sono rettili: la tartaruga scatola, il serpente giarrettiera, la natrice dal collare e il veloce serpente nero. Tra gli anfibi, la salamandra rossa a volte depone le proprie uova nel terreno invece che nell'acqua. La rana dei boschi e il rospo di Fowler si riproducono, invece, sempre nell'acqua. Durante la stagione degli amori le loro serenate all'amata sono incessanti.



RAGANELLA	RANA VERDE	RANA LUCCIO	LEUCISCO	RANA LEOPARDINA
RAGNO PESCATORE	IDRACNE	EFFIMERA	PESCE GATTO	PERSICO SOLE
LARVA DI MOSCA CAVALLINA	VERMI TUBIFEX	LARVA DI ZANZARA		
PULCE D'ACQUA	LARVA DI TIPULA			
NEMATODI				
	LARVA DI CORETRA		SANGUISUGA CAVALLINA	GERRIDE

Il ruscello nel bosco

A volte piccoli corsi d'acqua scorrono all'ombra degli alberi, creando nel grande dominio del bosco un ambiente sussidiario, dove prosperano particolari forme di vita. È il caso del bosco di Mettler dove, tra due rive basse, scorre un tranquillo ruscello chiamato *Spocky Brook*. Durante l'estate esso svanisce, lasciandosi dietro soltanto una scia di fango. A primavera invece si gonfia, inonda le rive da un lato e dall'altro e offre ospitalità a una moltitudine di creature amanti dell'acqua. Allora vi accorrono pesci e rettili dal fiume a valle, nuotando controcorrente. Le rane vi trovano un ambiente ideale e durante la notte levano i loro cori nell'aria. Sulla superficie argentea delle acque s'aggirano schiere d'insetti.

I vertebrati di dimensioni maggiori sono i dominatori del ruscello. Il loro autocrate indiscusso è l'irascibile tartaruga azzannatrice, la più grande fra tutte le testuggini d'acqua dolce, che raggiunge il peso di 20 chili. Con le sue due cugine minori, la tartaruga muschiata e la tartaruga del fango, se ne sta seminascosta nel fondo, pronta a mordere ogni cosa a carattere commestibile che passi a portata del suo becco corneo. Soltanto un altro rettile vive nel ruscello ed è l'innocuo serpente d'acqua, che di notte sfiora la superficie in cerca di prede. Gli anfibi, molti dei quali conducono a terra la loro esistenza da adulti, ogni primavera tornano all'acqua per generare e, nello stesso tempo, fare sfoggio delle proprie doti di canto. Il tenore più notevole del gioioso « Club della rana » è la raganelle, che fa la sua apparizione in marzo e, quando canta, gonfia la propria gola come una bolla di *chewing-gum*. A metà aprile vengono a com-



BISCIA D'ACQUA

LUCCIO

DAMIGELLA

GIRINO (COLEOTTERO)

BRANCHIDIO
PISIDIO

FISA

TARTARUGA AZZANNATRICE

GORDII (VERMI)

DITISCO

NOTONETTA

TARTARUGA DEL FANGO

ASELLO

GAMMARO

SALAMANDRA BILINEATA

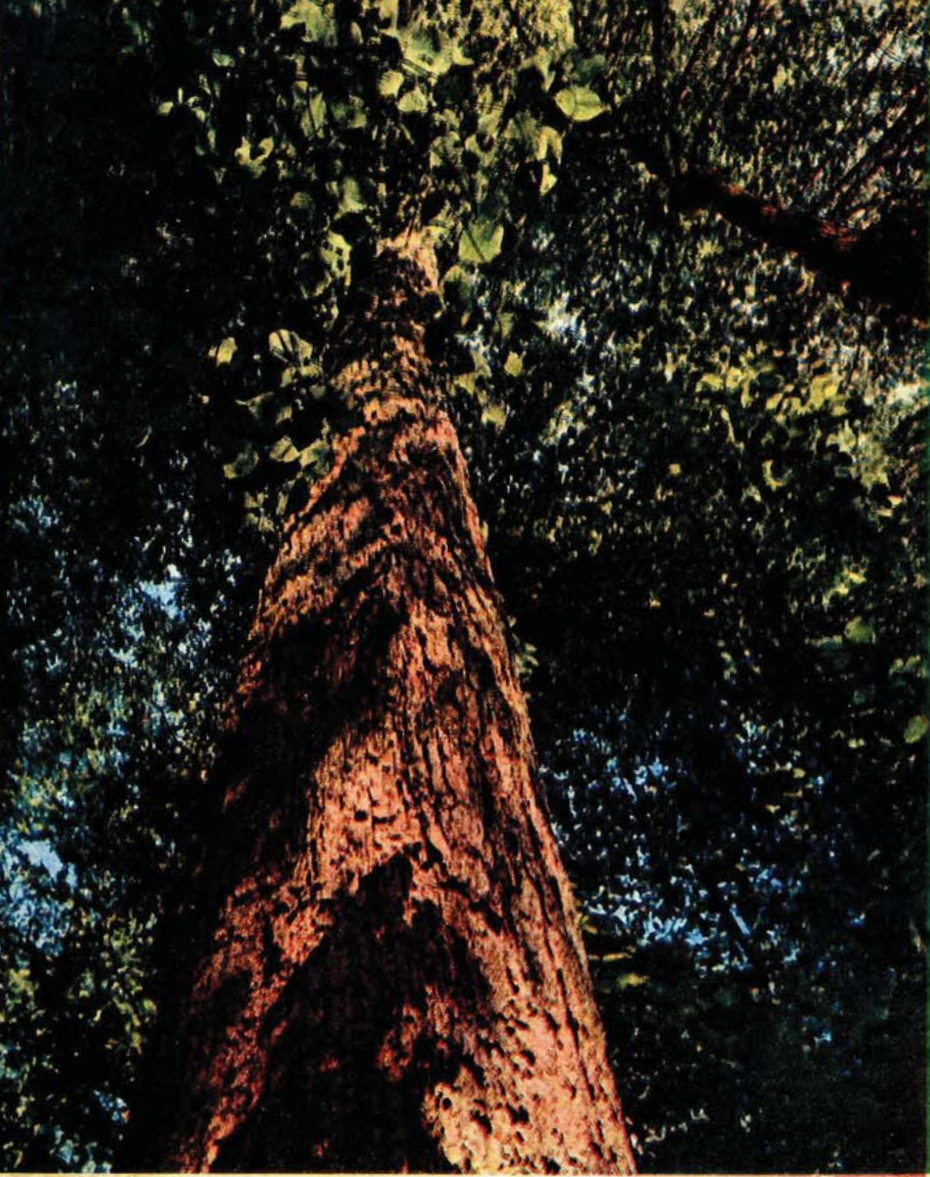
TARTARUGA MUSCHIATA

SANGUISUGA

pletare il coro le voci baritonali, squillanti, della rana leopardo e della rana luccio e il contrabbasso della rana verde. La loro taciturna parente, la salamandra bilineata, trascorre nell'acqua gran parte della propria vita.

Dei pesci di passaggio, il più grande è il luccio, che esce dal suo nascondiglio tra le foglie galleggianti, dove è rimasto in agguato, per inghiottire un piccolo pesce-sole o un argenteo lencisco. Il baffuto pesce-gatto vaga a notte nel letto del ruscello in cerca di larve, di insetti, di molluschi, di piccoli crostacei di cui si ciba. Le sanguisughe, i gasteropodi e i minuscoli bivalvi che vivono nel ruscello non di passaggio ma perennemente, durante la siccità estiva e il freddo dell'inverno sopravvivono seppellendosi nel fango. Altri abitanti del fondo sono il *Tubifex*, che nelle acque tiene il posto del comune verme di terra, i nematodi ed altri vermi primitivi filiformi.

Tutti gli insetti adulti respirano aria, ma molti depongono le uova nell'acqua. Così, durante la primavera, sulle acque del ruscello risplendono le ali trasparenti delle effimere e delle libellule, che s'accoppiano volando a fiore dell'acqua. La superficie è solcata da numerosi insetti, tra i quali si notano le gerridi dalle lunghe zampe, i girini, così detti perché girano vorticosamente su se stessi, e un piccolo crostaceo, la pulce d'acqua. Sul fondo fangoso si muovono gammarini e aselli che si nutrono di detriti organici. Intanto il vorace ditisco insegue le sue vittime nell'acqua portando con sé una riserva d'ossigeno contenuta in una piccola bolla d'aria coperta dalle ali. Alla superficie si tengono appese, a testa in giù, larve di zanzare che respirano l'aria mediante brevi subuli posti all'estremo posteriore del corpo. Può capitare che esse giungano a portata di una larva di Coretra ed allora vanno soggette allo sterminio.



AI PRIMI DI GIUGNO le foglie del bosco hanno finito di tessere la loro cupola verde, attraverso la quale filtra soltanto qualche raggio di sole. La quercia che si vede nella foto è la stessa apparsa nella seconda pagina di questa puntata.

La piena estate

Mentre la cupola si chiude, sul bosco discende lo splendore dell'estate. Alla primavera movimentata, piena di voci, succede la tranquilla serenità della natura, mitigata dalle lunghe ombre che gettano le foglie verdi. Di tanto in tanto l'immobilità del meriggio è rotta da un improvviso temporale. Ma per gran parte del giorno la luce del sole, filtrata dai fitti rami, macchia il pavimento del bosco. Le voci degli uccelli rimangono mute, tranne che all'alba e all'imbrunire. Sembra che tutto il bosco viva nel rapimento della sua pienezza, del suo completo sviluppo, e sia intento al lavoro per arricchire questa conquista.

Ai primi di giugno, però, l'impeto dei germogli s'è affievolito. Il tappeto di fiori tessuto dalla primavera comincia a sfaldarsi in qualche punto. Tuttavia ci sono piante, tolleranti dell'ombra, che continuano a fiorire nelle arcate ombrose. Durante i mesi di luglio e agosto il bosco appare chiazzato dalle macchie irregolari della belladonna, dai bianchi sciami della fitolacca, dai germogli arancioni dell'impaziente. In queste tranquille settimane gli alberi sono intenti a prepararsi per l'anno prossimo. I frutti maturano, gli alberi e i tronchi diventano più spessi. Il processo della fotosintesi, mediante il quale le piante convertono i materiali inorganici in amidi e zuccheri, comincia con il primo apparire delle nuove foglie e raggiunge il suo culmine in maggio. Mentre l'estate volge alla fine, il glucosio fabbricato dalle foglie viene immagazzinato dai rami, dai tronchi e dalle radici ed è destinato a costituire una riserva d'energia per il risveglio della prossima primavera. Questa fase di preparazione al prossimo inverno comincia già in maggio nel faggio e in giugno nell'acero, nell'olmo e nel frassino.

L'estate non è solo un periodo di splendore e d'abbondanza. Negli afosi silenzi del pomeriggio e nelle oscurità senza brezze della notte, le forze della distruzione hanno già dato inizio al loro costante lavoro. Su migliaia di foglie che pendono dai rami le bocche voraci degli insetti stanno tracciando le loro filigrane. I cinipi sfigurano le querce con le galle e i coleotteri infestano gli olmi. E al flagello degli insetti s'aggiunge la terribile siccità estiva, che dissecca il fogliame e lo falcia. Prima ancora che le notti diventino fredde la cupola comincia ad assottigliarsi e tutto il bosco è percorso dal presentimento della brevità della vita.





*LA SICCITÀ ESTIVA ha impoverito le acque del piccolo ruscello che attraversa il bosco di Mettler. Tuttavia, lungo le sue rive, le verdi foglie del *Symplocarpus foetidus* sono ancora in pieno rigoglio e dureranno fino alla metà di luglio.*

LO SPLENDORE DELL'ESTATE (foto a sinistra) inonda completamente il bosco in un giorno assolato. Ai piedi delle querce e degli alberi più grandi s'agitano le foglie delle pianticelle minori, accarezzate dalla calda brezza. In alto domina la luce.

UNA TARTARUGA SCATOLA (nella foto in basso) nuota in una pozza d'acqua, formatasi per un'improvvisa pioggia d'agosto. Poiché d'estate i piccoli ruscelli si prosciugano, molti animali acquatici vivono rintanati nel fango, come d'inverno.





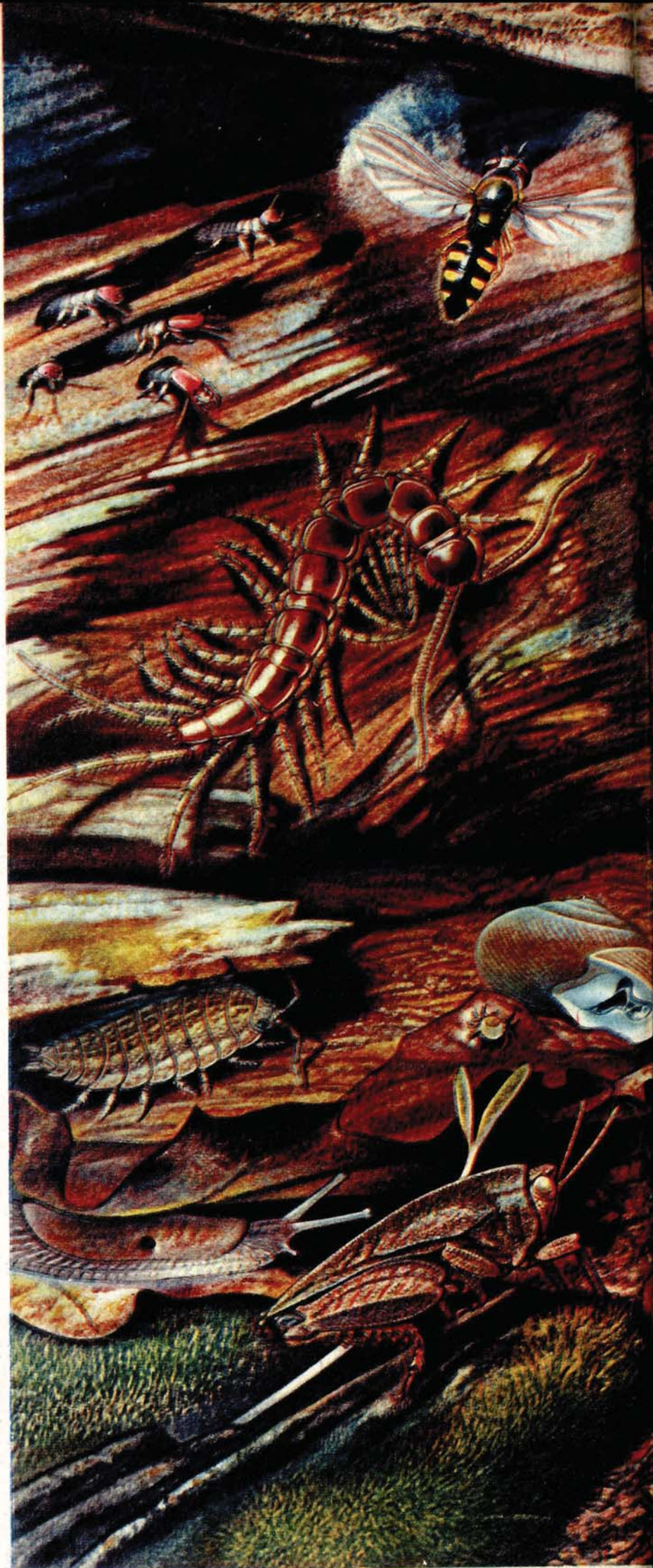
GLI AGENTI DELLA DECOMPOSIZIONE sono i funghi ed altri organismi che si trovano nel suolo. I filamenti bianchi dei funghi si intrecciano con quelli di vari microrganismi: batteri, protozoi, actinomiceti e alghe verdi (in basso a destra).

Il suolo vivente

Nel cuore dell'estate i viottoli del bosco sono immersi nel silenzio, in una calma dorata. Ma tutt'intorno s'aggirano orde invisibili di cose viventi, in quantità che l'uomo difficilmente riesce a concepire. Sono le popolazioni che vivono sul suolo della foresta, gli agenti della decomposizione. Divorando la vegetazione avvizzita, crivellando il legno degli alberi abbattuti, lavorando in accordo con i funghi e i batteri, queste minuscole creature partecipano all'interminabile processo mediante il quale il suolo viene decomposto e riabilitato.

Grande importanza in questo lavoro assumono le termiti, che traforano instancabilmente ogni albero caduto per divorare il legno morto, loro unica fonte di cibo. Le blatte del legno vivono sotto la corteccia degli alberi, mangiando legno a loro volta. La formica acrobata e i collemboli (insetti primitivi senz'ali) fanno, sotto la corteccia, addirittura il nido. Altri mangiatori di rifiuti che vivono nel terreno sono l'onisco, l'acaro, la locusta, la chiocciola, la limaccia, i nematodi e i miriapodi. Più importanti, per la struttura del suolo, sono i vermi di terra, il cui lavoro sotterraneo contribuisce a sommuovere e disgregare il suolo, accelerando il drenaggio e lo sviluppo delle radici. Oltre agli scavatori, bisogna annoverare anche numerosi insetti che volteggiano a breve distanza dal suolo, come le licene, le fulgoridi, il sirfo, la tipula, il moscerino dei funghi. Molti coleotteri, come il carabo, il cebrio e la lucciola, depongono le uova nel terreno, per cui le loro larve trovano una temporanea residenza nel suolo. Per qualcuno si tratta di una permanenza abbastanza lunga: è il caso di una cicala, che trascorre sotto terra diciassette anni di ninfosi prima di trasformarsi in adulto.

Come in ogni ambiente, la presenza di esseri viventi attira i predatori, tra i quali s'annoverano assassini come la cicindela, il serpente-verme che vive rintanato, il serpente di terra, il ragno, lo pseudoscorpione, la zecca, il centopiedi. Alcuni traforano anche le foglie cadute e il suolo. Il loro lavoro viene poi completato dai funghi, i cui fitti filamenti penetrano nei tessuti dei tronchi e delle foglie, e da invisibili batteri che, cibandosi di complesse sostanze, cui i più grossi mangiatori di rifiuti non hanno prestato attenzione, completano il processo della decomposizione.



TERMITI

LITOBIO

SIRFO

ONISCO
LIMACCIA

LOCUSTA TERRAGNOLA

CHIOCCIOLA

ZECCA



GEOFILIDI	LICENE		LIMACCIA	GEOFILIDE	MOSCHERINO DEI FUNGHI
LARVA DI COLEOTTERO	BLATTA DEL LEGNO	TIPULA		LARVA DI LUCCIOLA	AGELENIDE
LARVA DI MOSCA A TESTA VERDE	SERPENTE-VERME		CICINDELA		
POLIDESMIDE	POLIDESMIDE	COLLEMBOLO			VERME DI TERRA
ACARO	PSEUDOSCORPIONE	NEMATODE	SERPENTE TERRAGNOLO	FORMICA ACROBATA	FULGORIDE
	NINFA DI CICALA DI 17 ANNI				



FORMICHE LEGNAIOLE
CIMICE
CRISALIDE DI MACAONE

CATOCALA
BRUCO SELLATO

NINFA DEI BOSCHI
CARABO
BRUCO POLIFEMO

SFINGE CON BOZZOLI PARASSITI
VESPA VASAIA

TINGIDE
PROCESSIONARIE

Il bosco alato

Librandosi fino alla cupola, inseguendosi tra gli arbusti e i sottoboschi, innumerevoli miriadi di insetti fanno del bosco il loro dominio. Anche qui, come nella tundra e nei tropici, essi superano nel numero ogni altra forma di vita visibile e, se non altro per la loro straordinaria prolificità, contendono all'uomo quel dominio della Terra di cui egli si vanta. E se nelle regioni aperte, esposte alla furia dei venti, gli insetti arrivano al punto di costituire un serio pericolo per l'uomo, di divorarne i raccolti, di infettarne le riserve di viveri e d'acqua, di tormentarne la pelle, nei boschi riparati essi raggiungono il vertice delle loro possibilità.

Il banchetto degli insetti si svolge dappertutto, in mezzo a una verde

abbondanza, dai piedi degli alberi alla cima delle querce più alte. Tingidi e membracidi attaccano la pagina inferiore delle foglie, succhiandone il succo e provocandone il deperimento e la morte. La formica legnaiola, poco più sotto, invade i punti deboli del tronco e vi scava vaste gallerie. Alcuni cerambicidi scavano tane sotto la corteccia e vi depongono le uova, per cui le larve si diffonderanno per tutto l'albero, danneggiandolo. Più distruttive ancora sono varie specie di cocciniglie, insetti senza ali, senza zampe, che rimangono radicati allo stesso ramo, come vere e proprie incrostazioni, per tutta la loro vita e succhiano la linfa dell'albero. Spesso le cocciniglie arrivano a coprire le piante completamente, uccidendole e infestandone, poi, altre nelle vicinanze. Anche i due menestrelli della notte estiva, il grillo arboreo e la cavalletta catitide, ambedue mangiatori di foglie, producono la loro parte di danno.



IN OTTOBRE il verde delle foglie ha ceduto il posto a nuovi colori, bruni, gialli, rossastri. Le notti d'autunno, con i primi geli, hanno cominciato a spogliare i rami degli alberi. Tuttavia le foglie della quercia saranno le ultime a cadere.

I fuochi dell'autunno

A metà settembre, mentre il sole si fa sempre più fioco e le ombre si allungano, un senso di vaga inquietudine è sospeso sui boschi. Le giornate sono ancora miti, caratterizzate da dolci tramonti, ma nelle oblique luci del pomeriggio e nelle nebbie leggere che si levano a sera dal ruscello c'è una diffusa tristezza. Esternamente il bosco non sembra cambiato. Eppure nelle sue stanze nascoste la vita ha subito una svolta e c'è dappertutto come l'attesa di un evento straordinario, forse di una catastrofe imprevedibile.

Per tutta l'estate gli alberi hanno continuato a elaborare verde clorofilla. Adesso, per ragioni misteriose, quando ancora i primi freddi sono lontani, le provviste di clorofilla cominciano a mancare: il puro smeraldo delle foglie si attenua e vengono alla luce i pigmenti sottostanti, rossi e gialli. A uno a uno gli alberi mutano e non tanto perché nuove tinte si vanno ad aggiungere a quelle esistenti, quanto per il rivelarsi di colori che erano stati sempre presenti. Dapprima lentamente, poi rapidamente durante l'ottobre, il fuoco dell'autunno corre tra i legni e trasfigura i faggi e i noci tracciando sulle loro chiome aureole di fuochi d'oro. Ogni foglia si prepara a cadere: alla base del suo stelo si forma uno strato di separazione, costituito da cellule così fragili, così sottili, che basterà una lieve brezza o una goccia di pioggia a provocare il distacco. Dapprima in poche, poi a miriadi, le foglie si staccano e cadono come fiocchi di neve sul luminoso mosaico che adorna il pavimento del bosco.

È la sera dell'anno e gli animali approfittano di queste miti giornate per ingrassare e ricoprirsi degli abiti invernali, preparandosi così ai tempi austeri che s'avvicinano. Gli scoiattoli riempiono di noci e ghiande i loro granai sotterranei. Gli uccelli migratori sfrecciano verso il Sud e tutte le voci tacciono. A novembre il pavimento del bosco è ormai ricoperto fitamente di foglie color ruggine. I noci, gli olmi e gli aceri sono nudi. Solo la quercia, ostinata, è ancora ricoperta da uno scialle ormai ridotto a brandelli. Il vento si fa furioso, il cielo s'annuvola. Il bosco è senza luce, senza forma, senza colore. Già le dita del gelo si distendono nella notte e toccano il suolo con la brina.



UN PROCIONE si prepara ad affrontare l'inverno cibandosi avidamente di insetti. Esso non iberna, ma quando il cibo diventa scarso si concede sonni prolungati e sfrutta le riserve di grasso accumulate prudentemente durante l'autunno.



UN OPOSSUM fa capolino dal suo nascondiglio. Come il procione, esso si prepara a fronteggiare l'inverno mediante una sovralimentazione autunnale. Specialmente le femmine, possono resistere per settimane senza uscire dalla loro tana.

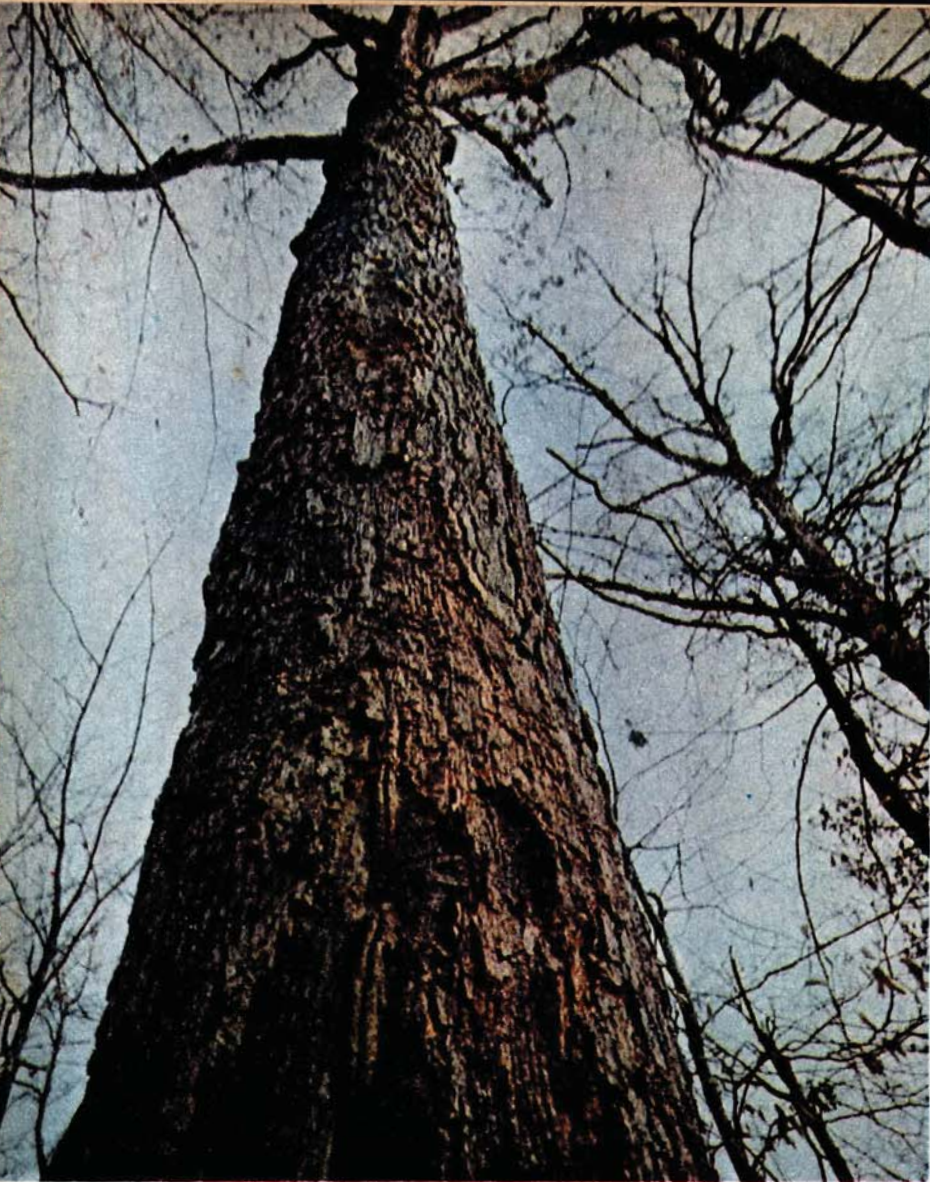


UNA VOLPE GRIGIA cerca, tra le foglie cadute, noci e bacche di cui cibarsi. Le volpi normalmente sono carnivore. In autunno, però, approfittano dell'abbondanza di frutti per variare la dieta. D'inverno tornano poi nuovamente alla caccia.



LE FOGLIE AUTUNNALI giacciono sul suolo del bosco mescolate ai frammenti di un noce abbattuto. È ottobre, si presenta l'arrivo dell'inverno. Foglie di alberi diversi, dal melo ai sassofrassi, vanno incontro a un destino comune di distru-

zione e di morte. I giorni di vento e di pioggia si fanno sempre più frequenti e s'accaniscono contro le chiome del bosco in declino. Dove poche settimane prima dominava un verde splendente, non resteranno fra breve che poveri rami spogli.



Il sonno dell'inverno

Nel periodo più gelido dell'anno i rami spogli degli alberi disegnano contro il cielo molteplici geometrie. Di giorno il pallido sole fa appena sentire il suo calore. Di notte la fredda luce delle stelle trafigge i rami degli alberi scheletrici. Il silenzio che domina le navate del bosco è tanto profondo da far pensare alla scomparsa d'ogni forma di vita. Invece, di tanto in tanto, s'avvertono i segni di un'esistenza.

Per tutto l'inverno si vedono orme di passi sulla neve. Anche quando il clima è più gelido, la volpe e la donnola si avventurano per i campi in cerca di un cibo che diventa sempre più scarso. Il coniglio, il procione e la moffetta approfittano dei giorni più miti per emergere dai loro rifugi. Lo scoiattolo rimane chiuso in casa solo quando vi è costretto dal ghiaccio che ricopre gli alberi. Gli uccelli invernali sono doppiamente attivi: essi combattono il freddo mangiando di più. La cinciallegra e il picchio volano tra i rami, cercando uova e larve di insetti. I corvi convergono ogni notte sui rami più alti, in solenne conclave. Di tutti i mammiferi del bosco, solo gli scoiattoli e la marmotta ibernano, in letargo nelle loro tane sotterranee. Invece i rettili e gli anfibi, che hanno sangue freddo, debbono dormire tutti, durante l'inverno. I serpenti e i rospi si assopiscono sotto strami di foglie o sotto tronchi caduti; le rane e le testuggini si seppelliscono nel fango, presso il ruscello gelato. Gli insetti dormono nelle fessure degli alberi, sepolti nel terreno o avvolti nei loro bozzoli di seta.

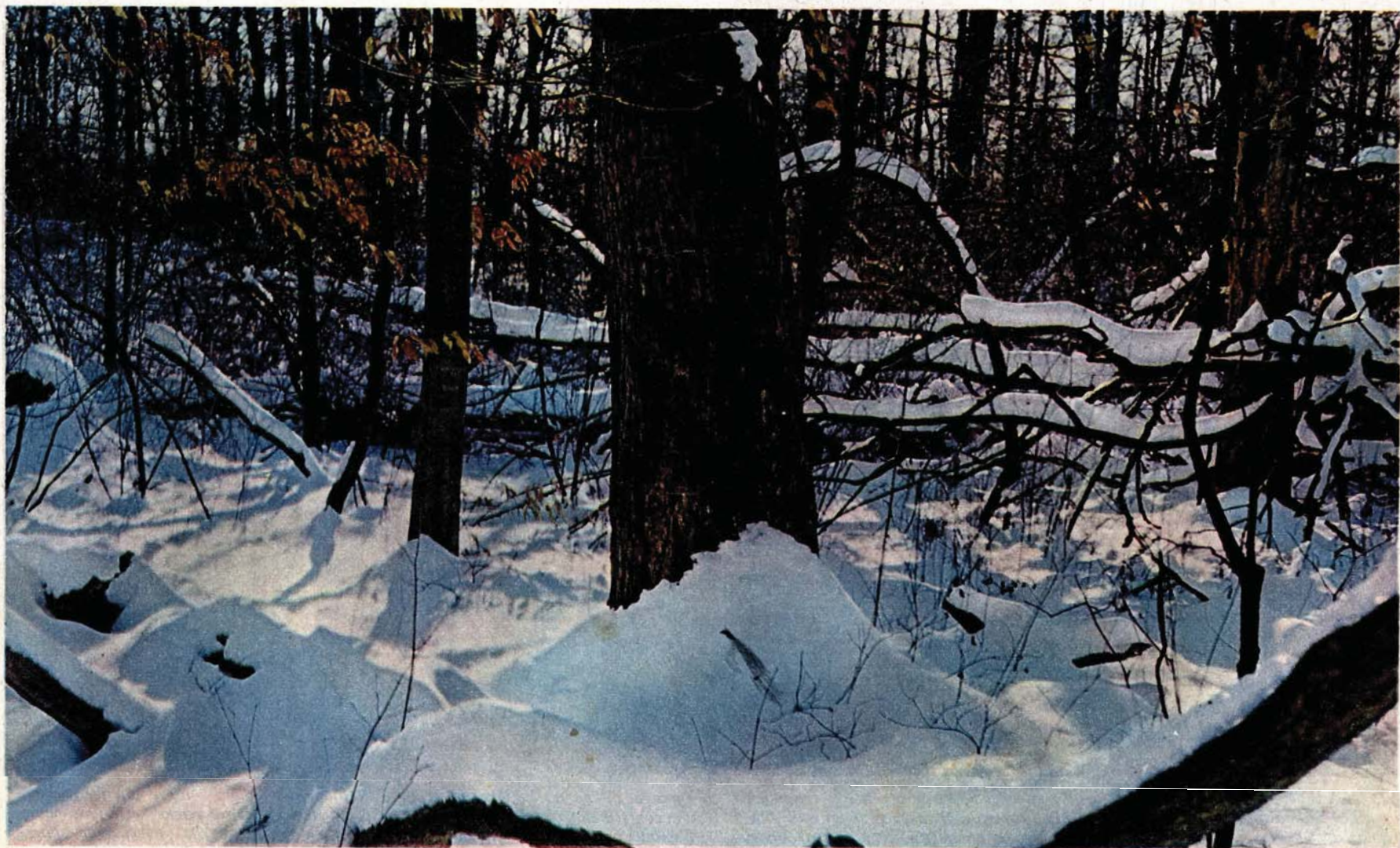
Il volto di morte dell'inverno non è che la maschera del sonno. Dappertutto, sottoterra, nella corteccia degli alberi, in innumerevoli tane, stanze segrete, ricoveri, c'è la vita sotto forma di semi, di uova, di bozzoli, di germogli, di animali che dormono, di radici che dormono, ciascuno conservando dentro di sé le forze della rinascita. Quando la primavera è ancora lontana e il ghiaccio trasparente ricopre ancora le rive del ruscello, gli animali attivi del bosco, le volpi, le moffette, i procioni, si scelgono le compagne e s'accoppiano: le oscure radici dell'istinto li avvertono che i loro figli nasceranno in un mondo ricco di frutti.

(14 - Continua)

Lincoln Barnett

IL GELIDO CIELO invernale fa da sfondo ai rami ormai completamente nudi. Anche la quercia ha perduto le sue foglie. Un altro ciclo si è concluso, nella vita del bosco. Comincia la sosta invernale, il letargo di ogni cosa sotto la neve.

IN GENNAIO, dopo una violenta nevicata, il bosco giace sotto una bianca coltre (foto in basso) e riposa, come a rigenerare le proprie energie, in attesa che il ritorno della primavera lo desti e dia l'avvio nuovamente al suo ritmo di vita.



L'universo stellato



UN'ECLISSE DI SOLE fotografata nel cielo di St. Paul, nel Minnesota, il 30 giugno 1954. Il Sole, come si vede per effetto della fotografia a esposizione multipla, si va assottigliando sempre più (da sinistra a destra) a mano a mano che

la Luna gli si sovrappone. Per alcuni istanti scompare e non se ne vede che la fiammante corona, poi la sua falce riemerge, si ingrossa, finché il fenomeno si conclude. Il Sole riappare completamente alla vista dietro la sagoma dell'albero.

La vastità del Cosmo

In tutte le epoche gli uomini di scienza hanno tenacemente indagato sul regno della natura per scoprire l'ordine segreto che si cela sotto la diversità del mondo visibile. La loro ricerca si è estesa alle profondità marine, ai deserti, alle giungle, agli strati più alti dell'atmosfera e alle gelide distese che circondano i poli terrestri. A mano a mano che la conoscenza umana è diventata più ampia, anche le prospettive del tempo e dello spazio si sono ingrandite. L'uomo ha imparato a vedere se stesso come una delle innumerevoli cose viventi che hanno popolato la superficie della Terra dal momento in cui la vita ha fatto la sua prima apparizione fino ad oggi. Ed ha anche dovuto ammettere che la sua esistenza dipende dal mondo naturale in cui vive: ha bisogno dell'aria, dell'acqua, della luce solare e deve ricorrere a numerose sostanze per placare la propria fame.

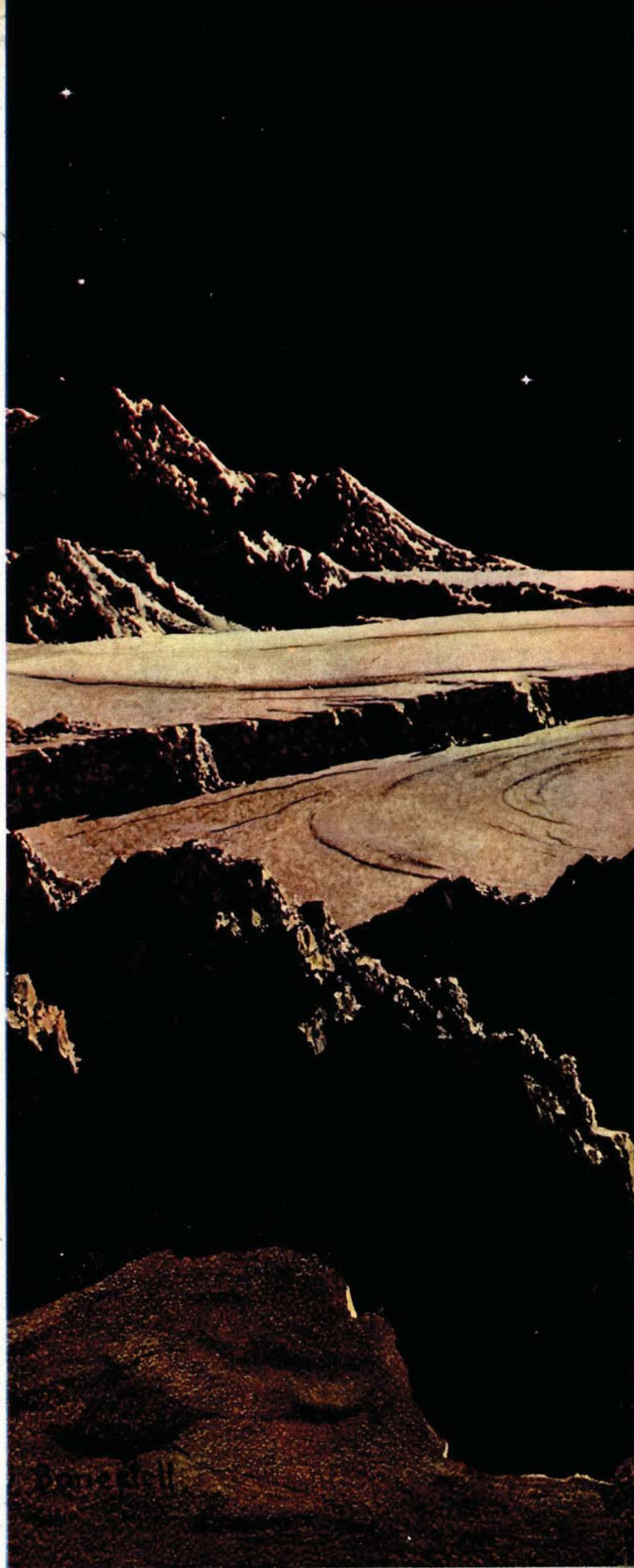
Tra tutti i rami della scienza, l'astronomia è quella che ha contribuito nella misura maggiore, con le sue più recenti scoperte, a sottolineare l'umiltà della condizione umana nel mondo naturale. Pur essendo convinto di essere il signore della Terra, l'uomo si sente insignificante quando leva lo sguardo verso il firmamento e contempla le oscure e imperscrutabili profondità dello spazio, in confronto alle quali il suo piccolo dominio è meno di un granello di sabbia. Questo concetto si è affermato lentamente e non è stato facile farlo accettare. Apparentemente la Terra sembra essere ferma, quasi un solido piedestallo intorno al quale il Sole e la Luna ruotano regolarmente da Oriente a Occidente, passando da un orizzonte all'altro, mentre l'intero cielo notturno si comporta come un'enorme coppa che gira lentamente, trascinando con sé i luminosi diamanti delle stelle fisse.

Uno dei paradossi della scienza è che gli antichi astronomi, nonostante tutti i loro errori d'impostazione, riuscirono a prevedere con esattezza i movimenti dei corpi celesti e a utilizzare queste cognizioni a fini pratici, come ad esempio la misurazione del tempo. Infatti tutte le misurazioni del tempo vengono dal cielo e sono, in effetti, misurazioni nello spazio. Ciò che chiamiamo un'ora è semplicemente un arco di 15° nell'apparente rotazione quotidiana della sfera celeste. Nel 300 a. C. gli antichi egizi formularono un calendario dividendo l'anno in 12 mesi e 365 giorni. I cinesi registrarono le eclissi già nel XII secolo a. C. e annotavano il passaggio delle comete già nel VII secolo a. C. Fu tuttavia in Grecia che alcuni uomini d'ingegno, con l'ausilio della nuova scienza della geometria, giunsero a deduzioni di grande valore. Pitagora e i suoi seguaci affermarono che la Terra, nonostante il suo aspetto piatto, è una sfera. Aristarco non solo postulò il principio che la Terra ruota intorno al Sole ma, primo fra tutti gli uomini, capì che tra il Sole e la Luna esiste un'enorme differenza di grandezza, che essi distano dalla Terra in misura diversa e che le stelle sono immensamente lontane nello spazio. Queste incredibili scoperte, però, rimasero ignorate in seguito all'affermarsi delle teorie di Tolomeo (vissuto intorno al 150 a. C.), la cui opera maggiore, l'*Almagesto*, restò per 1400 anni il testo fondamentale d'astronomia. Nel sistema tolemaico la Terra era situata al centro dell'Universo e il Sole girava intorno ad essa.

Le teorie di Tolomeo erano ancora in auge nel 1512, quando un geniale studioso polacco, Niccolò Copernico, iniziò uno studio che sarebbe durato trent'anni e in seguito al quale si convinse che la Terra segue, come gli altri pianeti, un'orbita circolare intorno al sole. Fu compito di Giovanni Keplero, nel secolo successivo, scoprire che le orbite dei pianeti sono ellittiche e spettò a Isacco Newton formulare le leggi fisiche che determinano il comportamento dei corpi celesti. Poco dopo l'invenzione del telescopio, avvenuta intorno al 1600, Galileo scoprì gran parte dei principali aspetti del sistema solare: le montagne della Luna, le fasi di Venere, i satelliti di Giove e le macchie solari. Col passare dei secoli i telescopi si sono, naturalmente, sempre più perfezionati e gli astronomi hanno avuto modo di esplorare maggiori profondità dello spazio. A poco a poco ci si è potuta fare un'idea dell'immensità del cosmo e della sterminata quantità di luci che vi risplendono.

In una notte serena è possibile vedere, a occhio nudo, circa 5000 stelle. Con un piccolo telescopio se ne scorgono più di due milioni e con il grande telescopio dell'osservatorio di Monte Palomar se ne osservano miliardi. Sebbene costellino fittamente il cielo, dove risplendono a miriadi, le stelle distano immensamente l'una dall'altra e potremmo paragonarle a fari solitari, lontani l'uno dall'altro milioni di chilometri, accesi su un mare vuoto. A parte il Sole, la stella più vicina alla Terra è Alpha Centauri, che dista da noi 4 anni luce e 1/4. (Un anno luce è la distanza che percorre la luce in un anno, vale a dire circa 9 milioni e mezzo di milioni di chilometri, per cui Alpha Centauri dista da noi più di 30 milioni di milioni di chilometri. La distanza del Sole dalla Terra è di soli otto minuti luce). Betelgeuse, la stella rossa gigante della costellazione Orione, dista 300 anni luce. E un'altra stella della stessa costellazione, Rigel, impiega 540 anni per far giungere la propria luce sulla Terra.

Tuttavia possiamo dire che questi astri siano nostri vicini: distanze simili sono centimetri, rispetto alla scala cosmica. La paurosa vastità e complessità dell'Universo si è delineata chiaramente ai nostri occhi solo nel corso degli ultimi decenni. Oggi sappiamo che il nostro sistema solare è soltanto una minuscola unità situata sul margine esterno della grande galassia di stelle che prende il nome di Via Lattea. E sappiamo anche che la Via Lattea, che un tempo si riteneva costituisse l'intero Universo, non è che una singola unità di uno sciame di galassie che, unite dalla forza di gravità, ruotano insieme nello spazio. Gli studiosi di cosmologia hanno oggi la possibilità di raggiungere un campo visivo le cui frontiere si trovano a due miliardi di anni luce da noi, vale a dire a circa 20.000.000.000.000.000.000 chilometri dalla Terra.

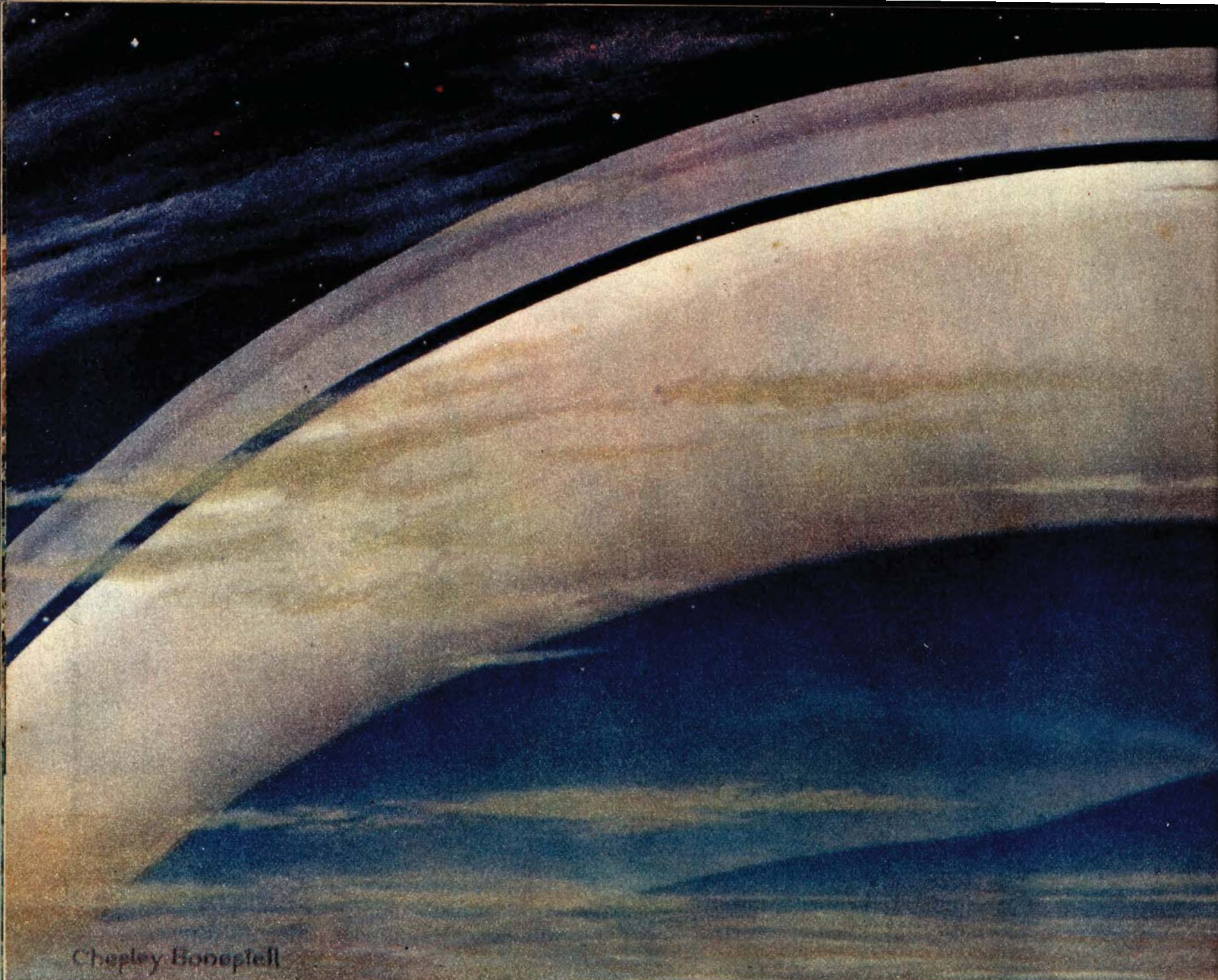


IL PAESAGGIO DI MERCURIO è squallido e desolato, molto simile a quello della Luna. Il pianeta volta sempre la stessa faccia al Sole, per cui da una parte è eternamente giorno e dall'altra è sempre notte. La superficie della faccia



rivolta al Sole raggiunge temperature elevatissime, mentre l'altra parte s'avvicina allo zero assoluto. Mercurio è privo d'acqua e di aria e presenta un paesaggio estremamente arido, con montagne formatesi nel periodo in cui il plane-

ta si solidificò. La sua massa è 29 volte inferiore a quella terrestre. Altrettanto minore è la sua forza di gravità per cui, anche se il pianeta avesse avuto inizialmente un'atmosfera, essa sarebbe sfuggita in breve tempo disperdendosi nello spazio.



GLI ANELLI DI SATURNO apparirebbero così (vedi sopra) a un osservatore che si trovasse a 20.000 chilometri dal suolo di questo gelido pianeta, distante dalla Terra quasi un miliardo di chilometri. Secondo le teorie più plausibili, gli anelli sarebbero composti di particelle isolate, rotanti intorno al pianeta centrale in maniera quasi indipendente l'una dall'altra. L'anello più ampio e luminoso è il centrale, che costituisce una fascia larga 25.000 chilometri. Gli altri due anelli, l'interno e l'esterno, sono larghi 15.000 chilometri. Il loro spessore è di pochi centimetri.

I DESERTI DI MARTE (nella pagina a destra) sono probabilmente percorsi da frequenti tempeste di sabbia, che si sollevano nell'atmosfera poco densa. Illuminato dal piccolo disco del Sole lontano, il cielo di Marte è relativamente privo di nubi. Il suolo è essenzialmente arido. Tuttavia è probabile che vi prosperino forme di vegetazione, almeno a giudicare dai mutamenti stagionali che si verificano sulla superficie del pianeta. Non si tratterebbe in ogni caso delle numerose foreste cui credevano gli astronomi di un tempo, ma di forme molto elementari di vegetazione.

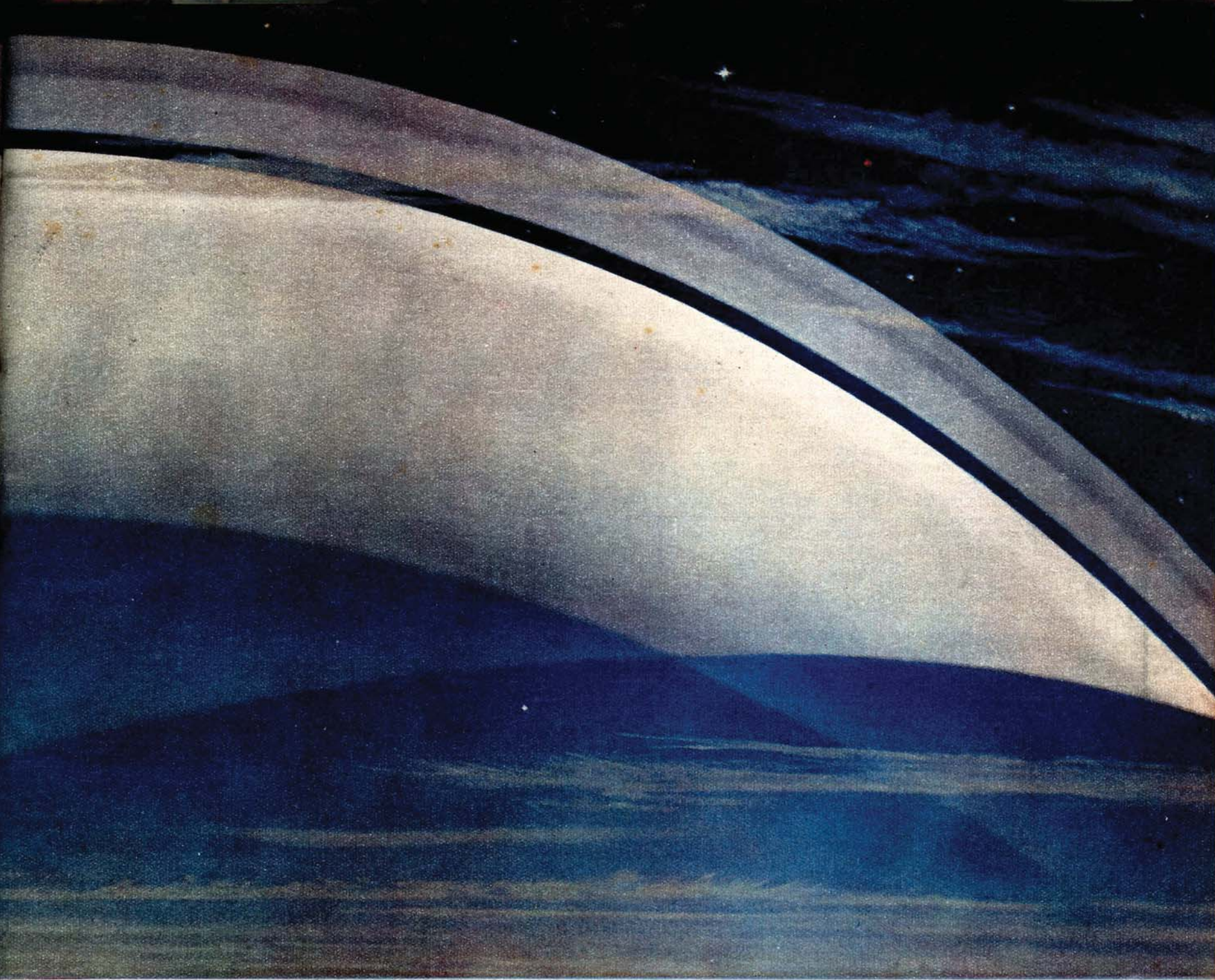
I nostri vicini nello spazio

I primi studiosi del cielo, i cui osservatori si innalzarono nelle valli dell'Eufrate e del Nilo, s'accorsero che cinque stelle luminose mutavano posizione rapidamente, da una notte all'altra, come se seguissero sentieri apparentemente dettati dal capriccio e vagassero alla deriva in mezzo alle altre costellazioni. I greci le chiamarono *planetai*, che significa *vaganti*. Oggi sappiamo che non si tratta di vere stelle, che non splendono negli spazi lontani, ma sono semplicemente freddi compagni del Sole, allo stesso modo della Terra, e brillano di luce riflessa. Sappiamo anche che, oltre ai cinque visibili ad occhio nudo, è possibile scorgerne altri tre col telescopio. Per la loro parentela con la Terra, l'uomo si è chiesto spesso se qualcuno di questi mondi vicini possa ospitare forme di vita paragonabili alla nostra.

Tutte le risposte a questo quesito si basano su un postulato fondamentale della scienza: il principio dell'uniformità della natura, il quale asserisce che gli elementi esistenti sulla Terra si ritrovano in tutto l'Universo ed obbediscono alle stesse leggi fisiche. Per questa ragione è da escludere ogni possibilità di vita nei cinque pianeti esterni del sistema solare. Essi sono troppo freddi. La temperatura della loro superficie va dai -137° di Giove ai -228°

del lontanissimo Plutone. Tutti, ad eccezione di Plutone, sono circondati da dense nuvole di gas velenosi. Neppure i due pianeti interni offrono un ambiente confortevole. Mercurio, privo di atmosfera, ha una faccia perennemente rivolta al Sole dove la temperatura arriva a $+357^{\circ}$, mentre l'altra faccia si avvicina allo zero assoluto (-273°). Venere è avvolta in una densa nube che contiene una notevole quantità di anidride carbonica, un gas che imprigiona il calore, per cui è probabile che la superficie del pianeta abbia una temperatura assai vicina al punto d'ebollizione dell'acqua.

Fra tutti i pianeti, il solo Marte sembra offrire possibilità di vita. Sebbene la sua temperatura massima raggiunga raramente i $+10^{\circ}$; su larghe zone della sua superficie sono stati osservati cambiamenti stagionali di colore analoghi a quelli della Terra. Allo stadio attuale si può dire soltanto che le condizioni di Marte sono tali da permettere lo sviluppo di una vegetazione primitiva, costituita probabilmente da muschi e licheni. Gli studi più recenti hanno infatti portato ad escludere che su questo pianeta possano esistere le immense foreste cui un tempo credevano gli astronomi. Oltre tutto, su Marte manca l'umidità che sarebbe necessaria per nutrire una vegetazione meno elementare dei muschi e dei licheni. Forme più alte di vita, se esistono, debbono essere ricercate al di fuori del sistema solare, negli spazi stellati della Via Lattea o delle altre galassie.

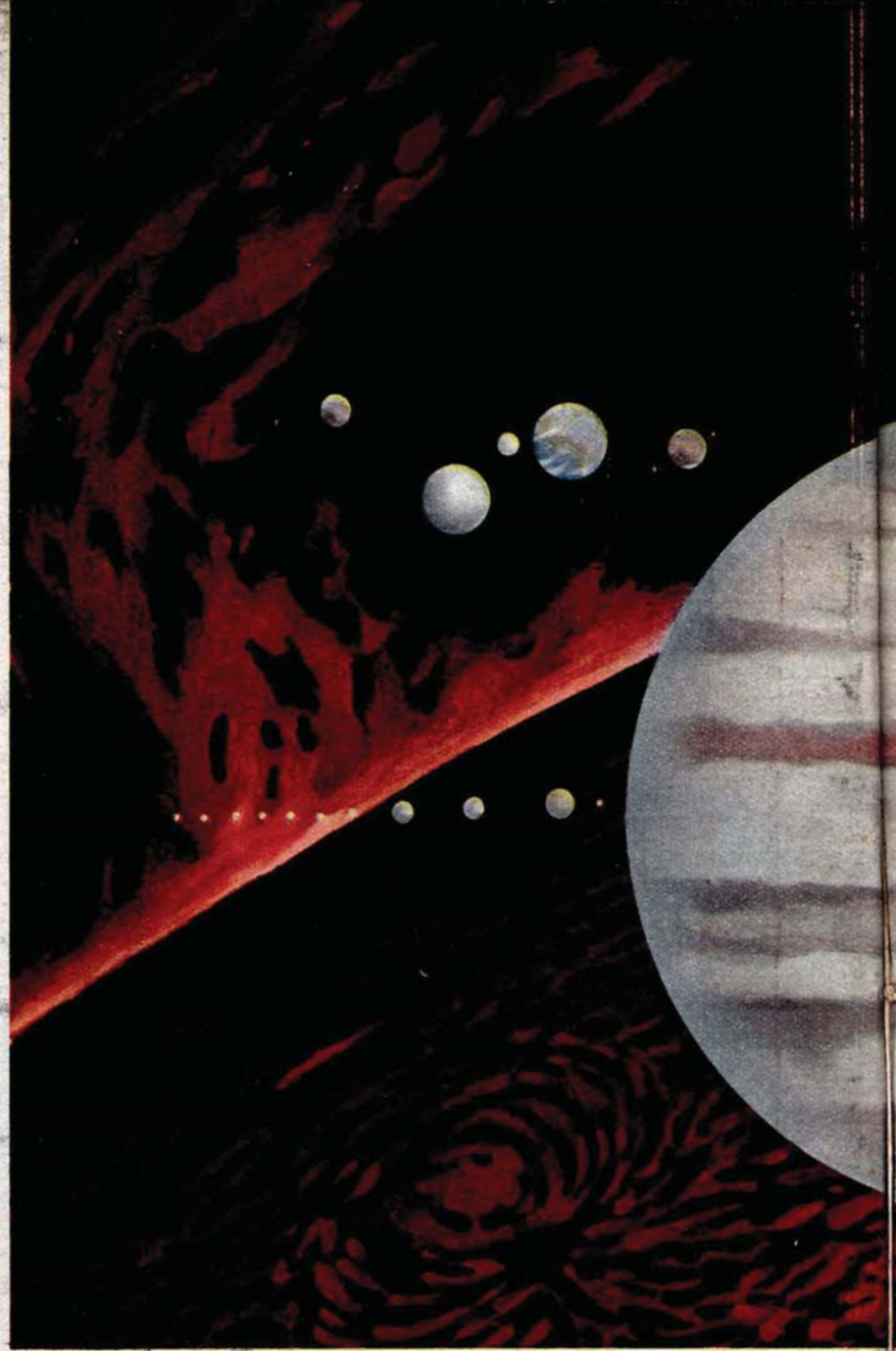


L'armonia delle sfere

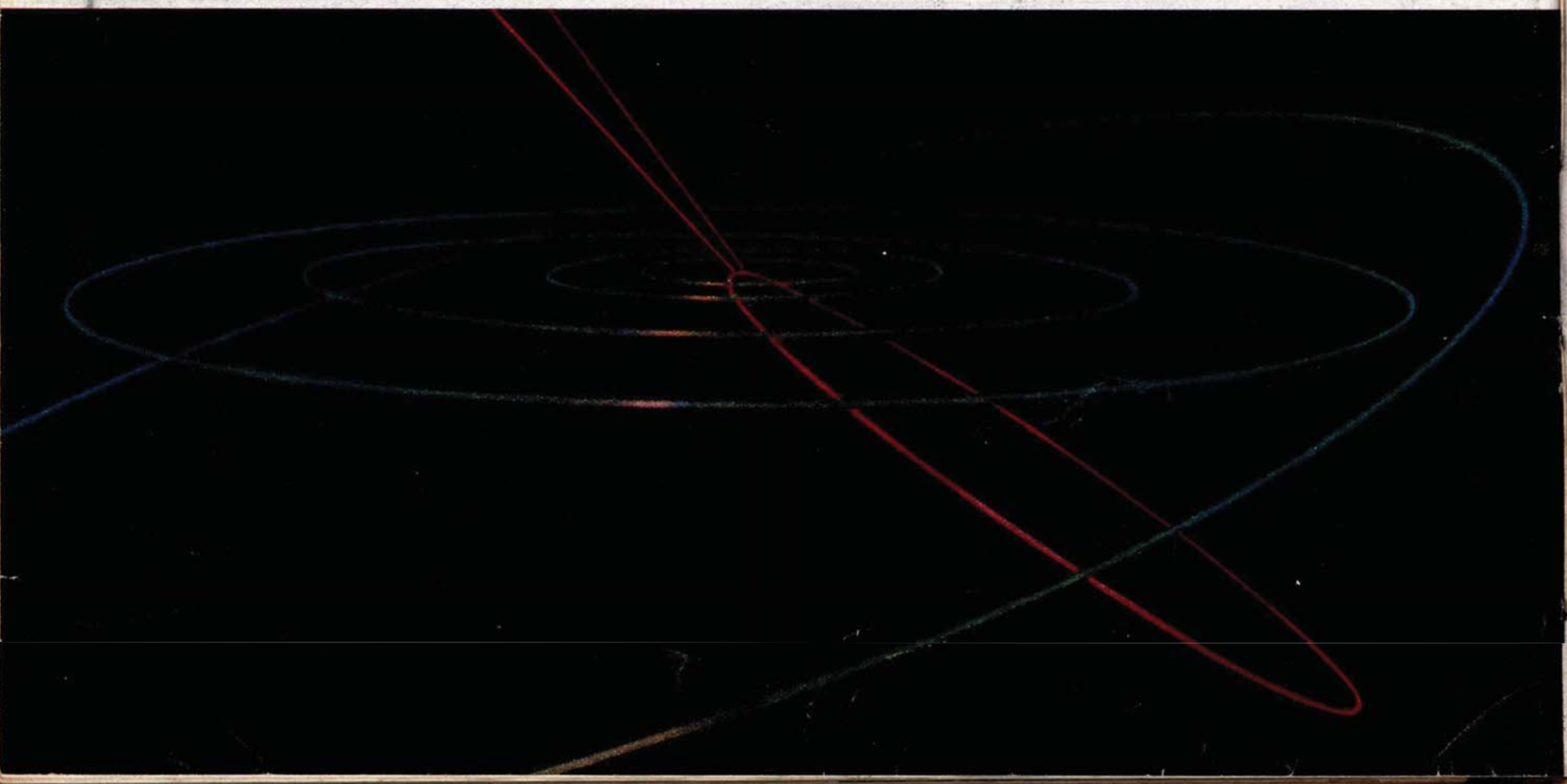
Dalla piattaforma terrestre, apparentemente stazionaria, i pianeti sembrano rotare nel cielo entro una fascia ristretta che gli antichi chiamarono Zodiaco. Oggi sappiamo che la strada dello Zodiaco è la superficie piatta di un immenso sistema a forma di disco nel quale la nostra Terra e tutti gli altri pianeti sono imprigionati per sempre dalla forza di gravità, destinati a rotare intorno alla nostra stella centrale, il Sole, per tutta la loro esistenza. Il nostro sistema solare è estremamente complesso e comprende non solo i nove pianeti ma anche 31 lune o satelliti dei pianeti, 30.000 asteroidi o pianetini, migliaia di comete e un numero incalcolabile di meteore che ogni giorno attraversano ardendo l'atmosfera terrestre.

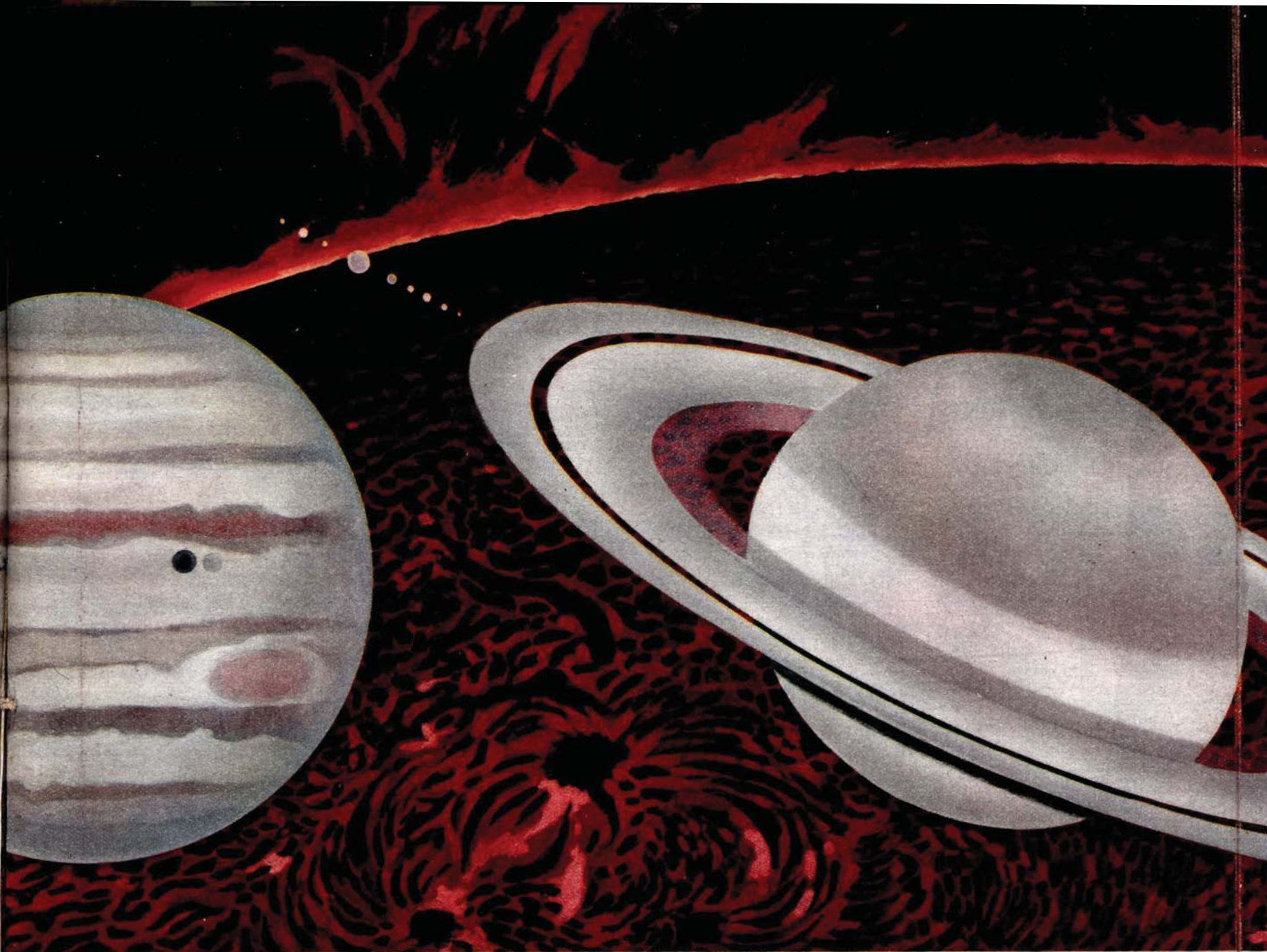
Nonostante quest'apparente complessità, il sistema solare rivela un ordine che ha sempre stupito gli scienziati e quanti studiano le armoniche leggi che regolano i movimenti dei cieli. L'illustrazione in fondo a questa pagina mostra le orbite dei pianeti interni ed esterni, da Plutone che dista dal Sole 5.920.000.000 chilometri, a Mercurio, che ne dista soltanto 58 milioni di chilometri. I pianeti seguono orbite ellittiche, con varie distanze e velocità; si muovono più velocemente quando sono più vicini al Sole e meno velocemente quando se ne allontanano. Il loro moto è governato da un delicato equilibrio tra l'inerzia (la tendenza a muoversi in linea retta) e l'attrazione gravitazionale del Sole. Ed è appunto quest'equilibrio che impedisce ai pianeti di sfuggire nello spazio o di precipitare nella massa incandescente del Sole. Le stesse leggi governano le comete: quando esse raggiungono i limiti estremi delle loro orbite allungate, l'attrazione del Sole rallenta la loro velocità e le riporta indietro; quando invece raggiungono il punto di massimo riavvicinamento al Sole, la forza d'inerzia e l'aumentata velocità permettono loro di continuare nella propria orbita senza precipitare nel Sole.

All'uomo le dimensioni del sistema solare sembrano stupefacenti. Egli vive a circa 150 milioni di chilometri dal Sole. Il suo piccolo pianeta ha un diametro di 12.756 chilometri, meno di un decimo del diametro di Giove e meno di un millesimo del diametro del Sole. In termini di volume, ci vorrebbero 1.300.000 blocchi da costruzione della grandezza della Terra per fare un Sole. E si tenga presente che il Sole non è altro che una stella di media grandezza. Se l'immaginiamo come una sfera del diametro di 15 centimetri, la Terra dovrebbe distarne circa 17 metri e Plutone si troverebbe a circa 800 metri. Le stelle più vicine sarebbero press'a poco a cinque chilometri. E si tratta di stelle che possiamo considerare, nella sterminata vastità della Via Lattea, nostre vicine. Questa vastità dell'Universo non è il solo fatto sconcertante. Più l'occhio dell'uomo penetra nello spazio, più la sua mente si trova di fronte ad enigmi che hanno costretto gli scienziati a rinunciare al tentativo di applicare alle profondità dello spazio le stesse semplici leggi fisiche che governano il nostro globo. Allora tornano a mente le parole di Schiller: « L'Universo è un pensiero di Dio ».



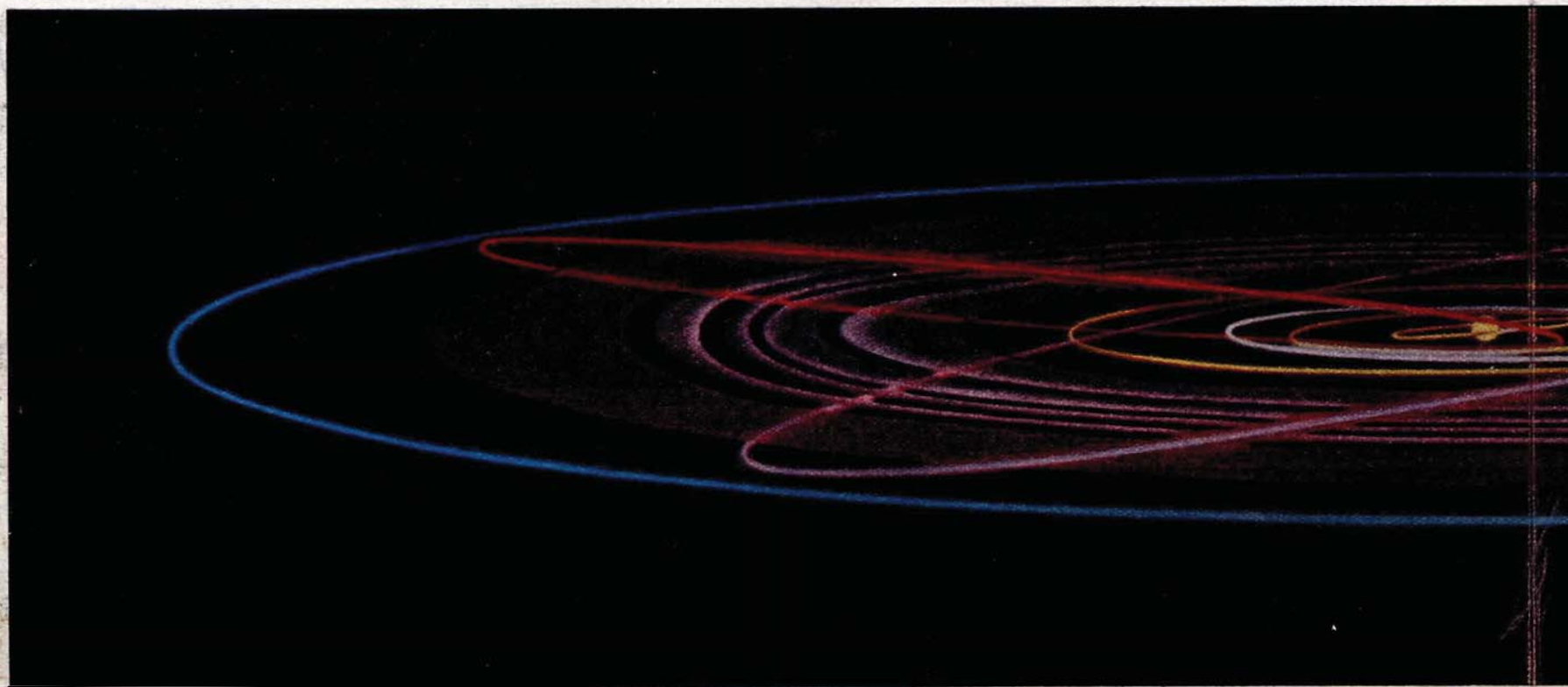
I NOVE PIANETI e i loro 31 satelliti sono qui mostrati in scala rispetto all'enorme sfera fiammeggiante del Sole. A sinistra appaiono i pianeti più vicini al Sole, a destra i più lontani. Il primo a sinistra, pertanto, è il piccolo Mercurio,





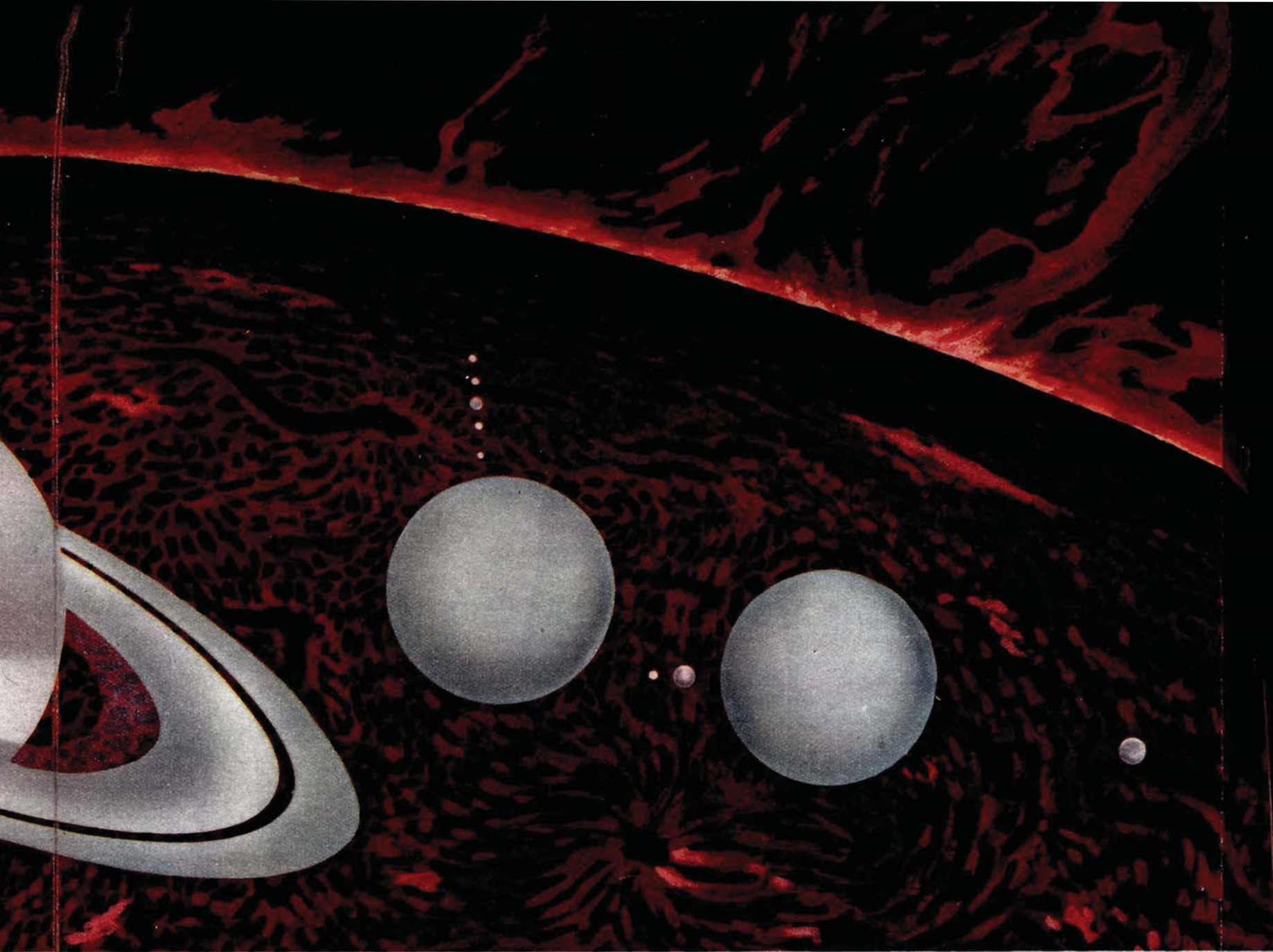
cui segue Venere, il pianeta perennemente avvolto da un fitto strato di nubi. Subito dopo si scorge la Terra, al cui fianco è rappresentato il suo unico grande satellite, la Luna. Più a destra vediamo Marte con i suoi

due piccoli satelliti. In primo piano scorgiamo i due giganti del sistema solare: Giove, accompagnato da una schiera di 12 satelliti, i cui moti sono straordinariamente complessi, e Saturno, con i suoi caratteristici tre anelli



LE ORBITE DEI PIANETI sono illustrate nelle due tavole, a sinistra e qui sopra. A sinistra vengono rappresentate le orbite dei cinque pianeti esterni (in verde) e di due comete (in rosso). Le orbite, dalla più

piccola alla più grande, sono quelle di Giove, Saturno, Urano, Nettuno e Plutone. L'orbita inferiore in rosso è quella della cometa di Halley, che riappare all'incirca ogni 77 anni. L'altra, di cui si scorge solo una parte,



e nove satelliti, uno dei quali, Titano, è più grande della nostra Luna. Gli altri tre pianeti sono stati scoperti in tempi relativamente recenti: Urano fu individuato per caso nel 1781. Nettuno fu scoperto nel 1846,

quando gli astronomi vollero cercare la causa delle perturbazioni che presentava il moto di Urano. Il piccolo, lontano Plutone può considerarsi l'ultimo arrivato: infatti la sua presenza è stata accertata soltanto nel 1930.



è quella della cometa 1910^a, che secondo i calcoli riapparirà fra quattro milioni d'anni. Qui sopra vediamo le orbite dei pianeti interni Mercurio e Venere (ambidue in giallo), della Terra (in bianco), di Marte (in giallo)

e, come termine di confronto, di Giove (in verde). Tra Giove e Marte si trovano più di 30.000 pianetini (strisce violette). La cometa di Encke (in rosso) possiede il periodo più breve (poco più di 3 anni) di ogni altra cometa.



La Via Lattea e le sue compagne

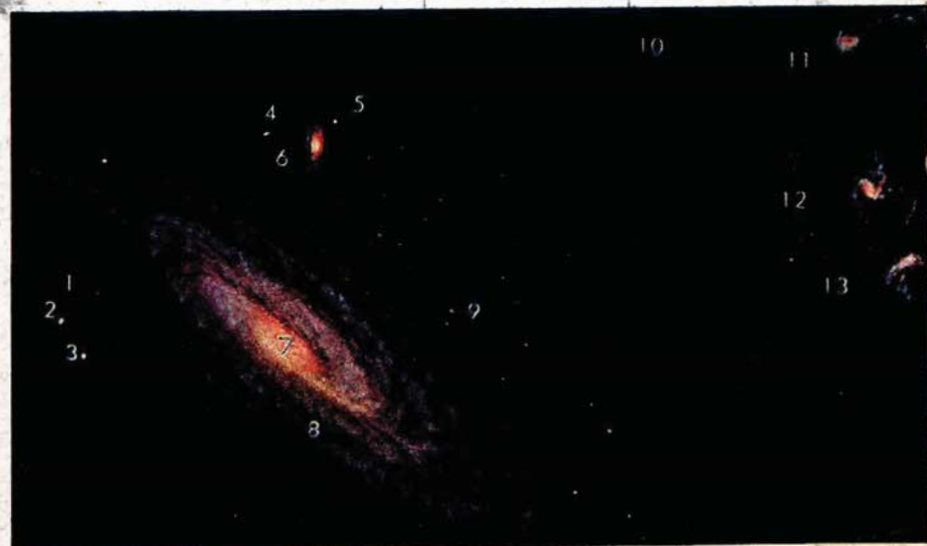
La Via Lattea avvolge i cieli da un polo all'altro come un grande anello di luce pura ed eterna. In tutte le epoche la sua luminescenza perlacea ha attratto l'immaginazione dell'uomo. Solo in tempi recenti, però, la Via Lattea è stata riconosciuta per quello che è: un immenso fiume di soli, di campi stellati, di ammassi e di nubi, che compongono la parte visibile della galassia in cui si muove il nostro sistema solare. La difficoltà di individuare con esattezza la forma della Via Lattea dipende dal fatto che noi ci troviamo *dentro* di essa. Tuttavia, nel corso di questo secolo, gli astronomi sono riusciti a superare i limiti della nostra prospettiva terrestre stabilendo che la parte visibile della Via Lattea è l'arco interno di uno stupendo aggregato di stelle a forma di lente, simile alle galassie degli spazi remoti. Dalla Terra, che è posta a circa 30.000 anni luce dal centro della nostra galassia, è possibile scorgere solo una piccola parte dei miliardi di stelle che la compongono, appena un frammento del diametro complessivo della Via Lattea che è di 100.000 anni luce.

Gran parte della materia della nostra galassia (stelle, nubi opache di polvere e gas) si trova tra il disco centrale della Via Lattea e le sue braccia disposte a spirale. La galassia ruota, compiendo una rivoluzione intorno al proprio asse in 200 milioni d'anni e trascinandosi la Terra e il Sole a una velocità di circa 950.000 chilometri l'ora. Nel suo volo attraverso lo spazio il grande disco è accompagnato da uno sciame esterno di ammassi globulari, ciascuno dei quali contiene centinaia di migliaia di stelle e ruota a sua volta intorno al centro della galassia. Insieme, la Via Lattea e la sua aureola di ammassi globulari costituiscono ciò che gli astronomi chiamano La Galassia.

Nella stupefacente prospettiva del cosmo, tuttavia, la nostra galassia è soltanto un membro di un aggregato ancora più vasto, chiamato Gruppo Locale, che include 17 o più sistemi, tenuti insieme dalla forza di gravità entro un raggio di un milione e mezzo di anni luce. Press'a poco a un'estremità di questo immenso supersistema si muove la ruota luminosa della Via Lattea, mentre all'altra estremità è situata la grande spirale della sua galassia gemella, Andromeda.

Nella tavola a sinistra il Gruppo Locale appare come potrebbe essere visto da un osservatore che si trovasse a 684.000 anni luce dal Sole. I sistemi stellari più vicini sono le due Nubi di Magellano, strane galassie informi che sembrano satelliti della Via Lattea. Tra queste, ma molto più lontana, ruota una piccola galassia conosciuta come NGC 598. La remota Andromeda arde nell'oscuro abisso dello spazio circondata, come la Via Lattea, da ammassi globulari e accompagnata da galassie satelliti minori.

In aggiunta al sistema ora illustrato, il Gruppo Locale comprende anche sei piccole galassie ellittiche (senza braccia spirali e con poca polvere o gas), quattro veli di stelle privi di struttura, analoghi alle Nubi di Magellano e probabilmente tre spirali molto lontane, sparse nel vuoto immenso. Lontanissime, eppure unite da una forza misteriosa, la gravitazione, queste galassie girano intorno a un centro sconosciuto situato tra la Via Lattea e Andromeda. Soltanto da poco l'uomo ha cominciato a vedere meno confusamente in questa immensità cosmica; in confronto alla quale il nostro sistema solare non rappresenta che una minuscola entità. Ora gli astronomi stanno indagando gli spazi per arrivare a una conoscenza più approfondita di un Universo straordinariamente ingigantitosi ai nostri occhi.



CHIAVE DELLE GALASSIE raffigurate nella tavola a sinistra. Molte sono indicate con un numero e la sigla NGC, che vuol dire "Nuovo catalogo generale". Gli oggetti che appaiono nella tavola sono: 1 - NGC 278; 2 - NGC 147; 3 - NGC 185; 4 - NGC 205; 5 - NGC 221; 6 - Andromeda; 7 - Disco principale della Via Lattea; 8 - Il Sole; 9 - Ammassi globulari; 10 - NGC 404; 11 - Piccola Nube di Magellano; 12 - NGC 598; 13 - Grande Nube di Magellano.





COLLISIONE DI DUE GALASSIE nello spazio (tavola a sinistra). La fotografia può far pensare a uno scontro, a una gigantesca catastrofe cosmica, con urti di stelle e selvagge esplosioni. In realtà, nonostante l'apparente densità delle galassie, le stelle che le compongono sono separate l'una dall'altra da miliardi di chilometri e la "collisione" non viene a turbare il loro eterno viaggio nello spazio. Uno scontro vero e proprio avviene invece tra le immense nubi di gas e polvere cosmica che accompagnano le galassie e che, per il calore prodotto dall'urto, diventano rosse. Le collisioni di questo genere sono tuttavia avvenimenti molto rari. Nella foto qui sopra vediamo una galassia barrata, col caratteristico nucleo allungato dal quale deriva la sua denominazione. Intorno alla "barra" centrale ruotano le braccia a spirale, che si fanno più larghe a mano a mano che aumenta la loro distanza dal centro. Il 30 per cento delle galassie sono di questo tipo.

Gli universi-isole

Quando l'occhio del telescopio si spinge al di là delle costellazioni a noi familiari, oltre i più remoti ammassi stellati della Via Lattea, scopre un numero sempre maggiore di nebbie luminose sospese come ragnatele nel vuoto. Sono le galassie esterne (i cosiddetti « universi-isole ») ciascuna delle quali è formata da miliardi di stelle così profondamente inabissate nello spazio che la loro luce impiega milioni di anni per giungere fino alla Terra. Nel solo campo del Gran Carro, cioè in un rettangolo che include appena la duemillesima parte dell'intero cielo, risplendono fioche luci che rivelano la presenza di un ammasso di oltre 300 galassie. In confronto ad esse, il nostro Gruppo Locale con i suoi 17 membri appare un ammasso nano. In generale le galassie più remote appaiono aggregate in comunità di circa 500 membri, cioè in galassie di galassie, tutte tenute insieme dalla forza della gravità. Spesso, nel loro smisurato vagare, arrivano a compenetrarsi.

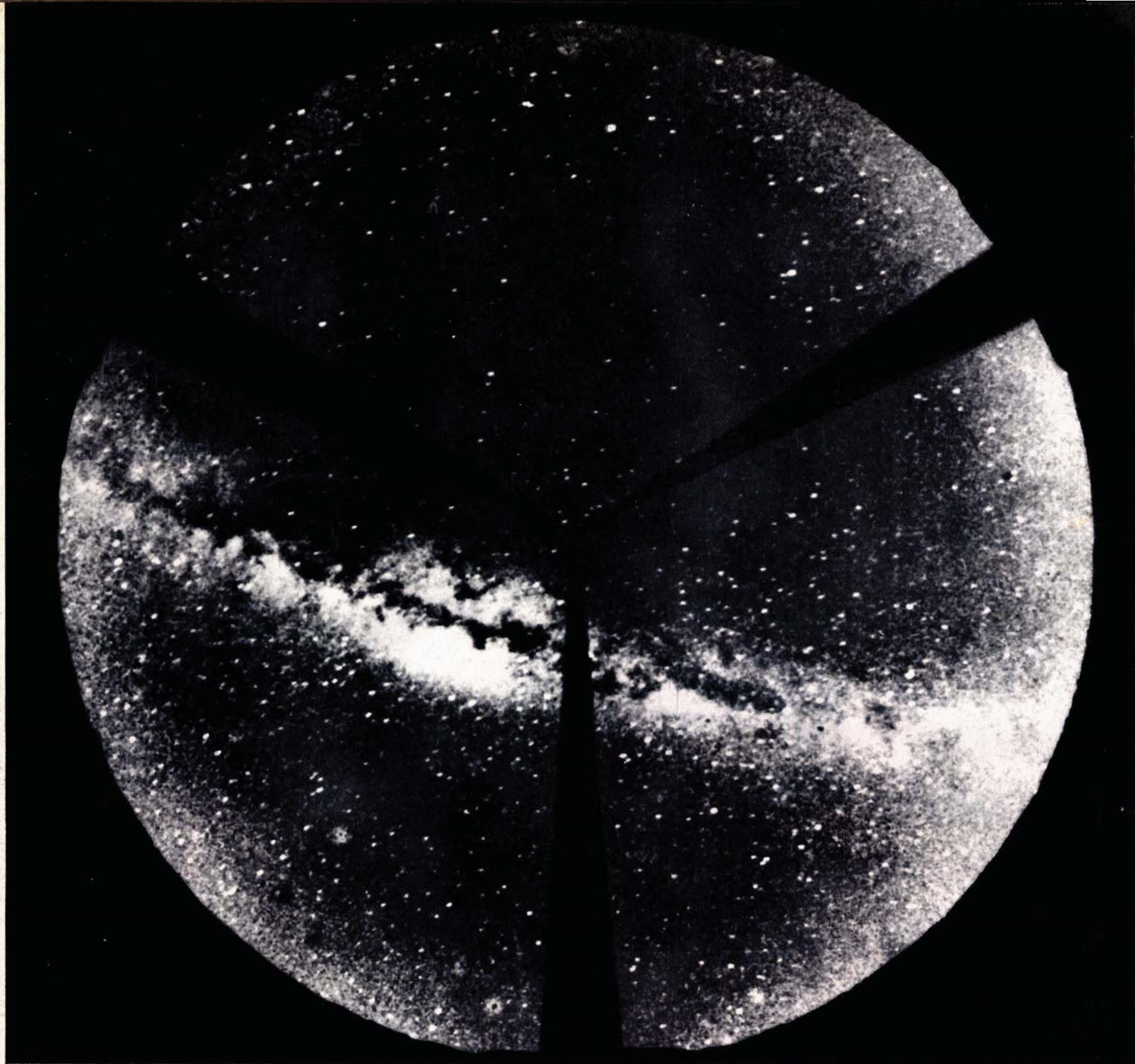
Gli astronomi ritengono che nel raggio dei nostri telescopi più potenti si trovi all'incirca un milione di milioni di galassie. Se ne riconoscono tre categorie principali: galassie ellittiche, che rappresentano il 17 per cento di quelle catalogate; a spirale, che comprendono l'80 per cento; e irregolari, che costituiscono il 3 per cento. Poiché esse ruotano a varie velocità, le forme che assumono sono diverse: le ellittiche vanno dalla sfera al disco appiattito; le spirali vanno da quelle arrotolate strettamente a quelle un po' più allentate, come la Via

Lattea, fino ai casi estremi in cui la forza centrifuga impressa dalla rapida rotazione spinge le spire ad allargarsi di molto. La maggior parte delle galassie a spirale hanno un centro rotondo, ma circa il 30 per cento sono « spirali barrate » in quanto il loro nucleo ha una forma allungata. Il terzo gruppo, quello delle galassie irregolari, è costituito da ammassi stellari informi come le Nubi di Magellano, senza nuclei e prive di un movimento rotatorio sistematico.

Alcuni astronomi moderni ritengono che sia possibile dare una spiegazione evolutiva dei vari tipi di galassie, per cui le irregolari sarebbero sistemi nati da poco e destinati a trasformarsi prima in spirali, per effetto della rotazione rapida, e infine in galassie ellittiche dai movimenti più lenti. Altri astronomi, però, ritengono che le galassie abbiano, all'incirca, tutte la stessa età e asseriscono che i vari tipi sono determinati dalle diverse velocità di rotazione impresse loro al momento della creazione e che sono state queste velocità stesse a determinare quanto della loro materia primordiale dovesse fondersi per formare le stelle quanta invece dovesse continuare a correre liberamente alla deriva sotto forma di nubi di polvere e gas. Vedremo più avanti come queste teorie si ricolleghino con le attuali indagini sulle origini dell'Universo e con le varie ipotesi avanzate dagli studiosi nel modo in cui sorsero i vari sistemi galattici e sulla loro situazione nello spazio.

(15 - Continua)

Lincoln Barnett



LA NOSTRA GALASSIA, la Via Lattea, fotografata con un filtro rosso, presenta una struttura analoga a quella delle altre galassie: il nucleo è al centro, poco al di

sotto del punto in cui si incrociano i supporti della lastra fotografica. Le braccia a spirale si estendono, allargandosi sempre più, tanto verso destra che verso sinistra.



UNA GALASSIA A SPIRALE nella costellazione della Vergine, classificata NGC 4594. Le braccia sembrano formare un anello uniforme che ruota intorno all'immenso nucleo luminoso. La fotografia fu ottenuta dall'osservatorio del Palomar.



UNA GALASSIA ELLITTICA nel gruppo di Andromeda risplende nello spazio a quasi due milioni d'anni luce da noi. Le stelle isolate che si scorgono intorno ad essa appartengono alla nostra Via Lattea e sono da 100 a 100.000 volte più vicine.

L'universo stellato

(seconda parte)



NUBI DI GAS E POLVERE COSMICA distanti da noi 4000 anni luce ruotano nello spazio in maniera disordinata. Verso l'alto la nube appare illuminata per effetto dell'azione esercitata sui suoi gas dalla grande stella, circondata da

un alone diffuso, che si scorge sul fondo. Tutte le altre stelle visibili nella fotografia sono molto più vicine alla Terra. La loro immagine appare distorta: si tratta di un effetto di rifrazione che si verifica inevitabilmente nel telescopio.



UN'ESPLOSIONE STELLARE fu registrata da astronomi cinesi nell'anno 1054 d. C. Si trattava dell'apparizione di una "supernova", della quale rimane ora una

nube di gas in fase di espansione nota col nome di Crab-Nebula o Nebulosa del Granchio. Essa si espande con l'eccezionale velocità di 1300 chilometri al secondo.

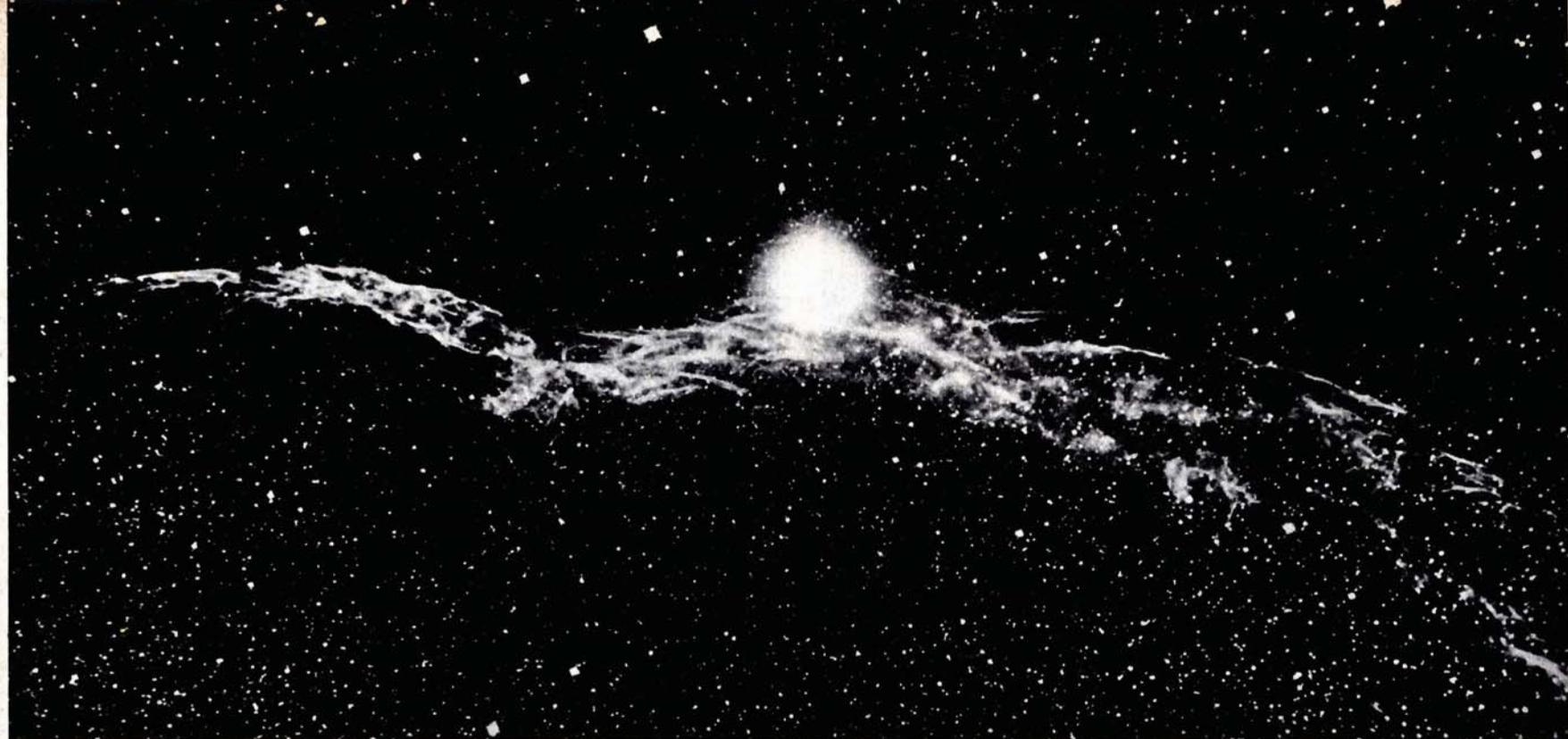
Le nubi cosmiche

Il più profondo mistero dell'Universo è forse rappresentato dagli ammassi di materia che vanno alla deriva nello spazio sotto forma di nubi di polvere e gas. Vagando tra le spirali e le galassie irregolari, questi ammassi di materia si rivelano sia usufruendo della luminosità delle stelle adiacenti sia oscurandole dietro veli opachi. La loro densità è estremamente bassa (16 atomi in poco più di 6 centimetri quadrati), al punto da superare il vuoto più perfetto che possa essere fatto sulla Terra. Tuttavia in certe regioni queste nubi sono tanto diffuse che la loro massa è uguale alla sostanza complessiva che compone le stelle di tali regioni.

Le nubi cosmiche sono importanti perché rappresentano il materiale grezzo della creazione. Circa cinque miliardi di anni fa, secondo le at-

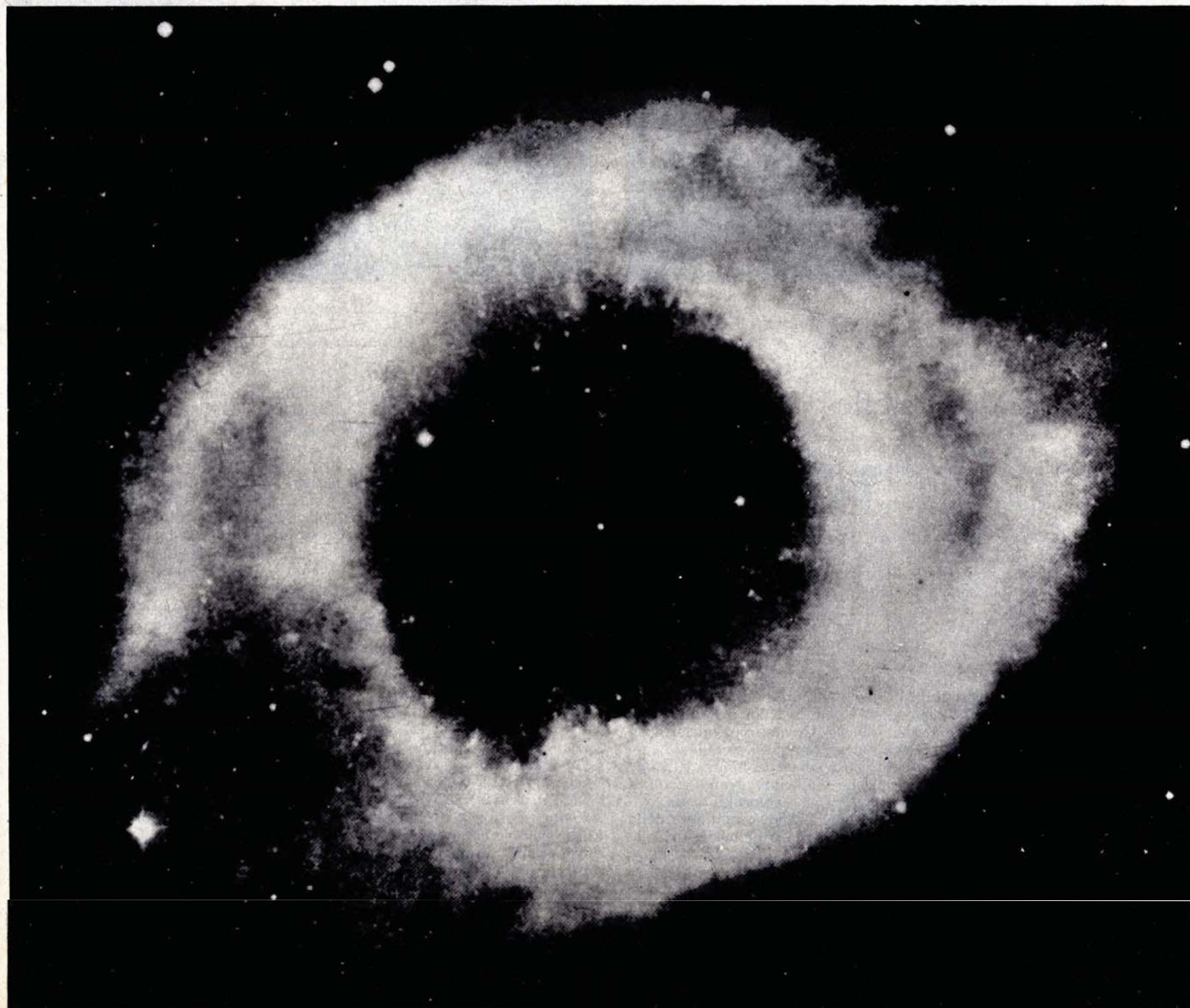
tuali teorie, la nostra galassia era un ammasso turbinante di idrogeno che ruotava invisibilmente nello spazio senza stelle. Non appena si formò la nube, quest'ammasso divenne turbolento e dette origine a numerosi vortici entro i quali la forza di gravità cominciò a saldare le varie particelle in corpi sempre più grandi. Quindi le masse in costante sviluppo, per effetto della gravitazione, videro aumentare la loro temperatura interna. In alcuni casi, nel centro caldo di ciascuna massa, i nuclei atomici cominciarono a reagire; l'idrogeno si trasformò in elio (come avviene nella bomba H) e così nacquerò le prime stelle.

In questo modo si sarebbero formate la Via Lattea e tutte le altre galassie. Pertanto gli astronomi ritengono possibile che entro le opache nuvole vaganti nelle profondità del cielo siano tuttora in corso i lenti processi della creazione stellare.



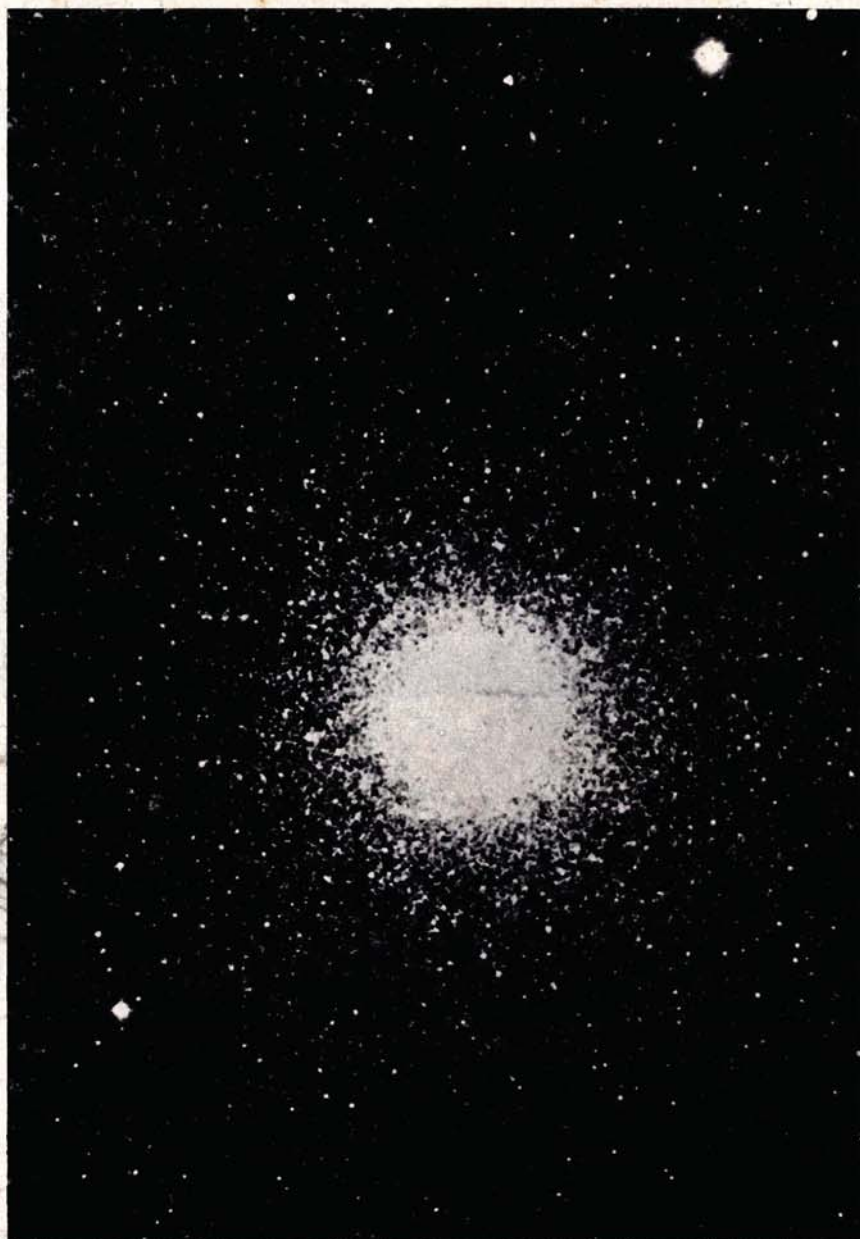
UN AMMASSO GASSOSO, fotografato nel cielo della costellazione del Cigno, passa dietro la stella luminosa visibile al centro e che appare alterata a causa della lunga esposizione fotografica. Da ammassi del genere nascono nuove stelle.

UN "ANELLO DI FUMO" (qui sotto) nella costellazione dell'Acquario. Si tratta di un ammasso di gas reso luminoso dalle stelle vicine. Lo studio di questa materia amorfa potrà fornire la risposta a molti quesiti sulla formazione delle stelle.





BRACCIA A SPIRALE di Andromeda, la galassia gemella della nostra Via Lattea. Vi si trovano molte stelle azzurre giovani della Popolazione I. Questa sezione comprende una trentesima parte di Andromeda ed è lunga quasi 11.000 anni luce.



UN AMMASSO GLOBULARE contenente un milione di stelle della Popolazione II. Il suo diametro è di circa 245 anni luce. La nostra galassia appare circondata da un centinaio di questi ammassi, ciascuno con migliaia di soli splendidi.

Vita e morte delle stelle

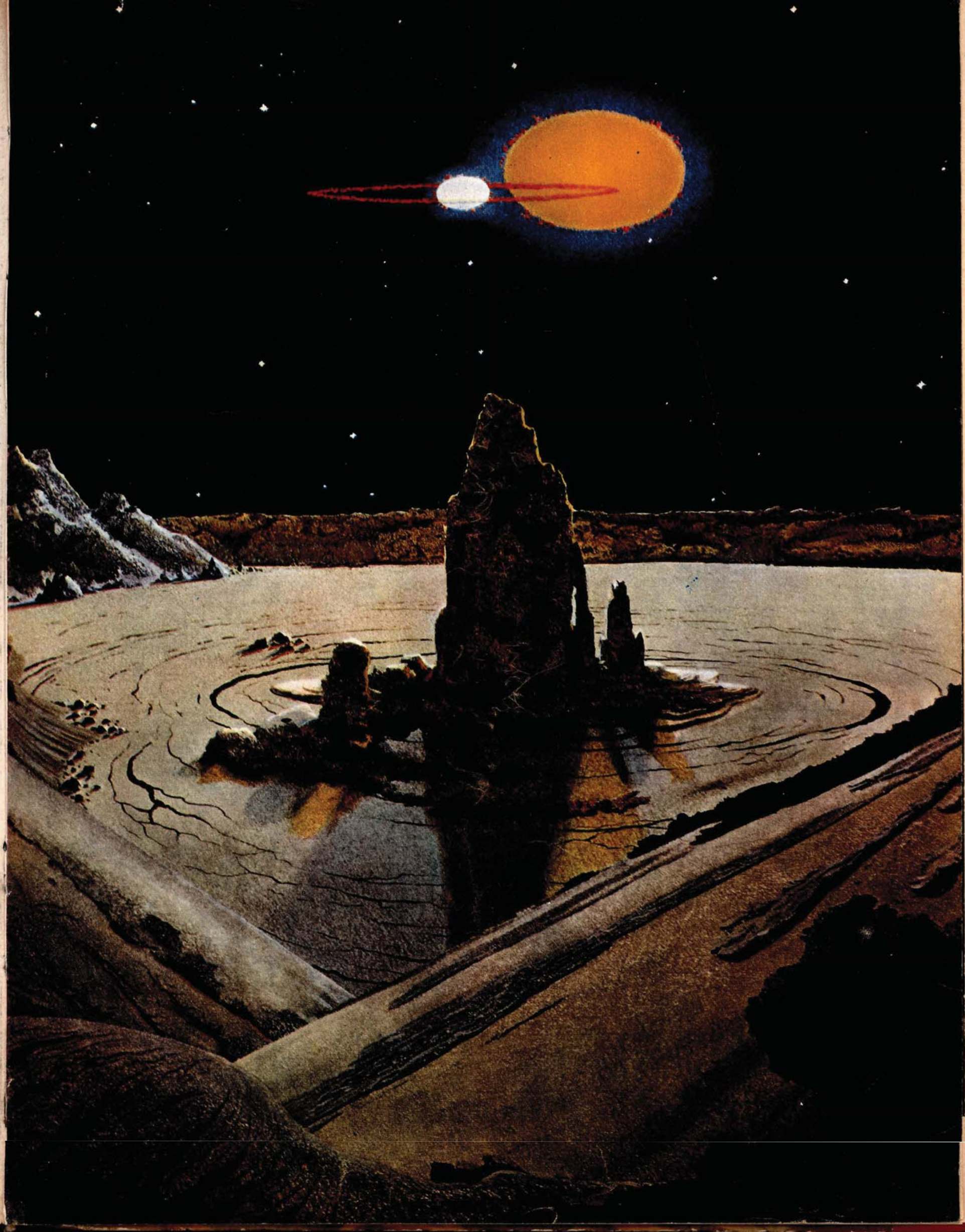
Viste a occhio nudo, le stelle sembrano zecchini d'argento che costellano l'oscuro tessuto del cielo come punti fissi, infinitamente lontani, senza presentare particolari diversità l'uno dall'altro. È solo al telescopio che emergono le varie differenze e ci si accorge che il loro splendore non è un semplice luccichio bianco ma è dato da colori che abbracciano tutte le lunghezze d'onda. E poiché le stelle sono incandescenti, il loro colore dipende dalla temperatura. Le stelle rosse come Antares e Aldebaran sono relativamente fredde, con temperatura alla superficie di circa 3.000°. Le stelle gialle come il Sole sono più calde di migliaia di gradi e le più calde, le stelle ultraviolette, possono raggiungere i 60.000°.

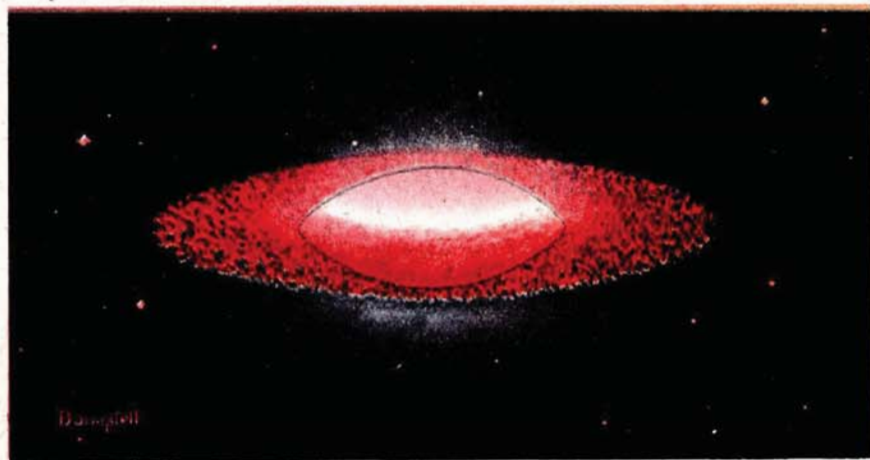
Nell'incessante sforzo di porre un ordine nell'apparente caos dei cieli, gli astronomi hanno scoperto che esiste una relazione tra il colore e la grandezza delle stelle, la loro età e la posizione che hanno nelle strutture galattiche. Perciò hanno potuto dividere tutte le stelle in due grandi categorie: la Popolazione I, costituita da stelle situate nelle braccia delle galassie a spirale e nelle galassie irregolari come le Nubi di Magellano; e la Popolazione II, composta dalle stelle che si trovano nei nuclei delle galassie a spirale, delle galassie ellittiche e degli ammassi globulari. Questa classificazione è basata non solo sulla posizione che hanno le stelle nell'Universo ma anche sui loro vari tipi. Le stelle più grandi e luminose della Popolazione I sono le azzurre giganti, che colorano di una radiazione azzurra le proprie regioni. Le stelle più grandi e luminose della Popolazione II sono le rosse giganti, che danno ai loro ambienti una caratteristica tinta arancione.

Oltre alle stelle dalla luce più vivida, ambedue i gruppi includono miriadi di stelle meno luminose, di vari tipi e colori. I legami che esistono tra le stelle della Popolazione I sono semplici ed infatti gli astronomi non hanno avuto difficoltà a individuarli. In questa categoria il colore e la grandezza sono sempre in stretta relazione: le stelle più piccole sono rosse e fredde; le più grandi, azzurre e calde. Fino a pochi decenni fa gli astronomi ritenevano che questa regola, per cui le stelle più grandi sono anche le più calde, fosse applicabile a tutte, tranne poche eccezioni. Ma quando i telescopi hanno permesso di esplorare più profondamente lo spazio, fino ai remoti ammassi globulari e alle ancor più remote galassie dello spazio esterno, sono venute alla luce intere popolazioni stellari che contravvengono a questa regola. Si sono scoperte così stelle giganti che non sono azzurre e calde, ma rosse e fredde. E si è visto, anche, che le stelle più piccole possono essere non solo estremamente fredde, ma anche estremamente calde. In esse in ogni caso non si registrano mai temperature intermedie. Inoltre si sono scoperte stelle dalle strane pulsazioni, che mutano periodicamente di grandezza e colore, oltre a singolari stelle nane bianche.

Solo lo sviluppo della fisica nucleare ha reso possibile una spiegazione di queste anomalie. In seguito alla comprensione dei processi termonucleari che si verificano nelle stelle, gli astronomi hanno potuto stabilire che i vari tipi corrispondono a stadi diversi dell'evoluzione stellare. In genere, la vita d'una stella si svolge in questo modo: 1) Finché essa non ha consumato il 15 per cento del proprio idrogeno, arde in misura costante, senza che il suo carattere subisca notevoli mutamenti. La rapidità della combustione dipende dalla sua grandezza. Le stelle grandi ardono più rapidamente delle piccole. 2) Dopo aver consumato il 15

UNA STELLA DOPPIA, R. W. Persei (nella pagina a destra) illumina il paesaggio di un suo ipotetico pianeta. Un membro della strana coppia è grande, opaco, color arancione; l'altro è molto più piccolo ma assai più luminoso. Si tratta di una stella azzurra, circondata da un anello di idrogeno incandescente. Le due stelle sono associate così strettamente da possedere un "involucro" gassoso comune, entro il quale ruotano l'una intorno all'altra. Il periodo di tale rotazione è di circa due settimane.





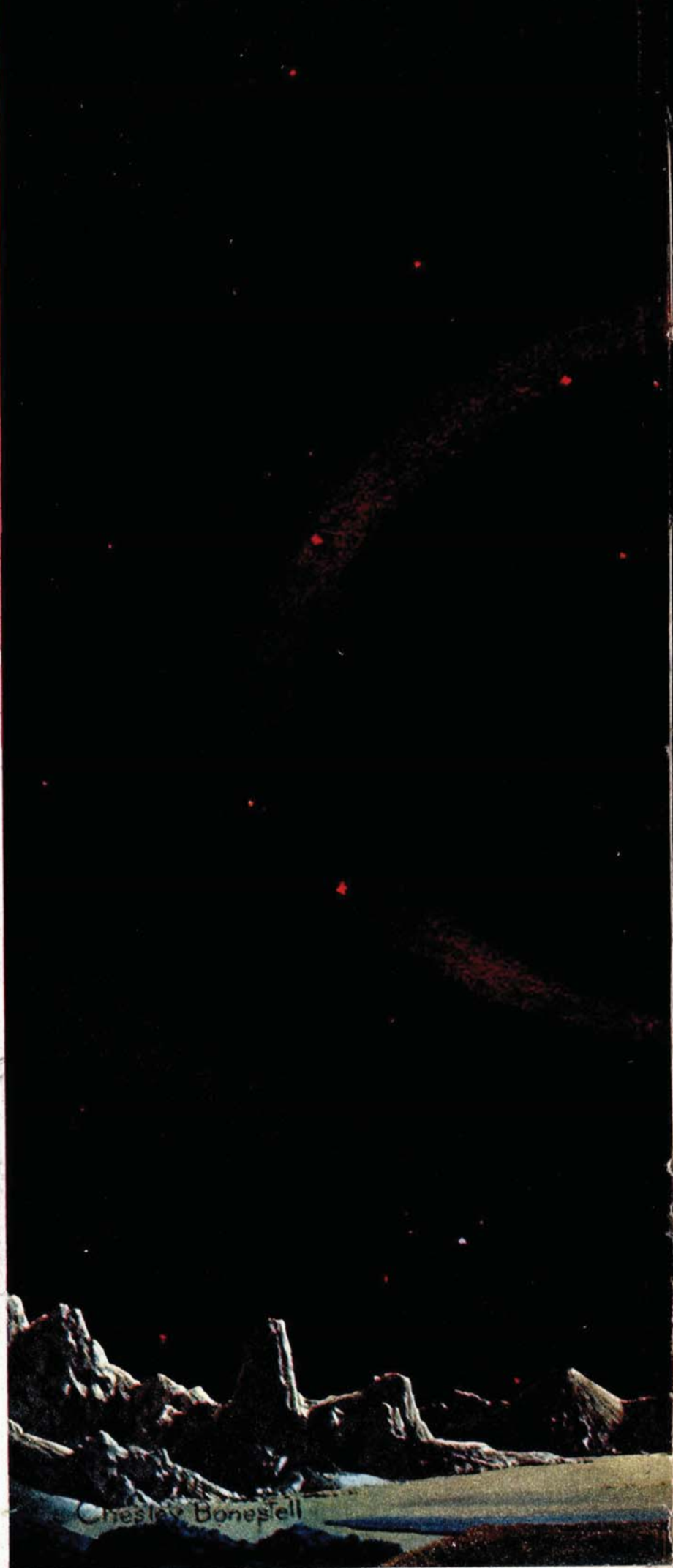
PLEIONE, una stella appartenente al gruppo delle Pleiadi, appare circondato da un anello: è l'idrogeno che l'astro scaglia nello spazio. Le Pleiadi visibili a occhio nudo sono sette. In realtà il loro ammasso è formato da 400 stelle.

per cento del proprio idrogeno, la stella si evolve. Lo sfruttamento del suo combustibile diviene molto più rapido, al punto che il restante 85 per cento si consuma quasi con la stessa rapidità del primo 15 per cento. La stella si raffredda e si espande, ingrandendosi da 50 a 100 volte e trasformandosi in una rosa gigante o in una supergigante, dal volume otto miliardi di volte maggiore di quello del Sole. 3) Quando ha sfruttato il 60 per cento del proprio idrogeno, la pressione interna comincia a diminuire e la stella si « sgonfia ». Mentre si contrae, nel suo interno avvengono complesse reazioni atomiche e la stella diviene instabile. Quindi, a seconda delle circostanze, può attraversare una fase durante la quale appare come una stella pulsante oppure può esplodere come una *nova*, prima di trasformarsi finalmente in una nana bianca estinta, il cui splendore sarà dato soltanto dal limitato calore prodotto da una lenta compressione.

Questa biografia teorica può divenire ancora più complessa nel caso che una stella sia strettamente congiunta a un'altra stella, come avviene ad esempio per RW Persei, che si vede nell'illustrazione della pagina a destra. Non tutte le stelle, in ogni caso, consumano la propria esistenza nello stesso periodo di tempo. Mentre le più grandi possono spendere le loro energie e morire in 10 milioni di anni, le più piccole possono vivere anche per 50 miliardi di anni.

La ragione per cui le stelle della Popolazione II rivelano con tanta chiarezza la loro linea evolutiva dipende dal fatto che gli ammassi globulari e le galassie ellittiche cui appartengono sono privi della polvere e dei gas che potrebbero dare origine a nuove stelle. Si può dire perciò che queste galassie si sono sviluppate nell'isolamento, seguendo dal giorno della creazione ad oggi un processo che non ha subito influenze esterne, per cui i loro individui illustrano ogni fase dello sviluppo stellare. Anche le stelle della Popolazione I sono sottoposte allo stesso processo evolutivo, con la differenza però che, come insieme, hanno subito pochi mutamenti, in quanto gli ammassi di cui fanno parte contengono quantità di polvere e gas che danno origine continuamente a nuove stelle azzurre giganti, le quali vanno a rimpiazzare le stelle estinte. Perciò la Via Lattea presenta tuttora il suo primordiale splendore azzurro. Inevitabilmente, con l'esaurirsi delle nubi cosmiche e il successivo estinguersi delle stelle azzurre giganti, anche la Via Lattea diventerà meno luminosa e più gialla. Già oggi essa include stelle minori, rosse e gialle, in numero molto più elevato delle azzurre giganti. Il suo futuro, però, è ancora lungo. Debbono passare ancora 50 miliardi d'anni prima che l'ultima fioca stella subisca il collasso finale e sulla galassia scenda la notte perenne.

Delle miriadi di stelle che compongono La Galassia, alcune, come il nostro Sole, ruotano nello spazio isolate. Più dei tre quarti, invece, appartengono a gruppi compatti che vanno dalle stelle doppie ai popolosi ammassi stellari che ruotano intorno a un comune centro di gravità. In molti di questi sistemi le stelle sono state deformate dalle loro reciproche forze d'attrazione e girano l'una intorno all'altra così rapidamente che i loro gas esterni si disperdono nello spazio. Di conseguenza può accadere che queste stelle appaiano circondate da anelli o da spirali. La prima stella multipla scoperta dagli astronomi è stata Mizar, che fa parte del Gran Carro. Due dei suoi componenti possono essere visti ad occhio nudo. La stella azzurra gigante Sirio, che fa parte del Cane Maggiore, ha un compagno che è una stella nana bianca, poco più grande della Terra ma con una massa grandissima. La più grande di tutte le stelle doppie è Epsilon Aurigae, che presenta una stella gialla supergigante, 250 volte più grande del Sole, con una compagna ancora più stupefacente, una stella nera, fredda, il cui diametro è 3.000 volte quello del Sole. La stella Polare è un sistema di tre, Castore di sei stelle. Il raddoppiarsi e triplicarsi delle stelle può avvenire in vari modi. Secondo recenti teorie, molti sistemi binari si sarebbero creati in seguito a interferenze verificatesi nei vortici della nube di gas primordiale dalla quale ebbe origine la nostra galassia.

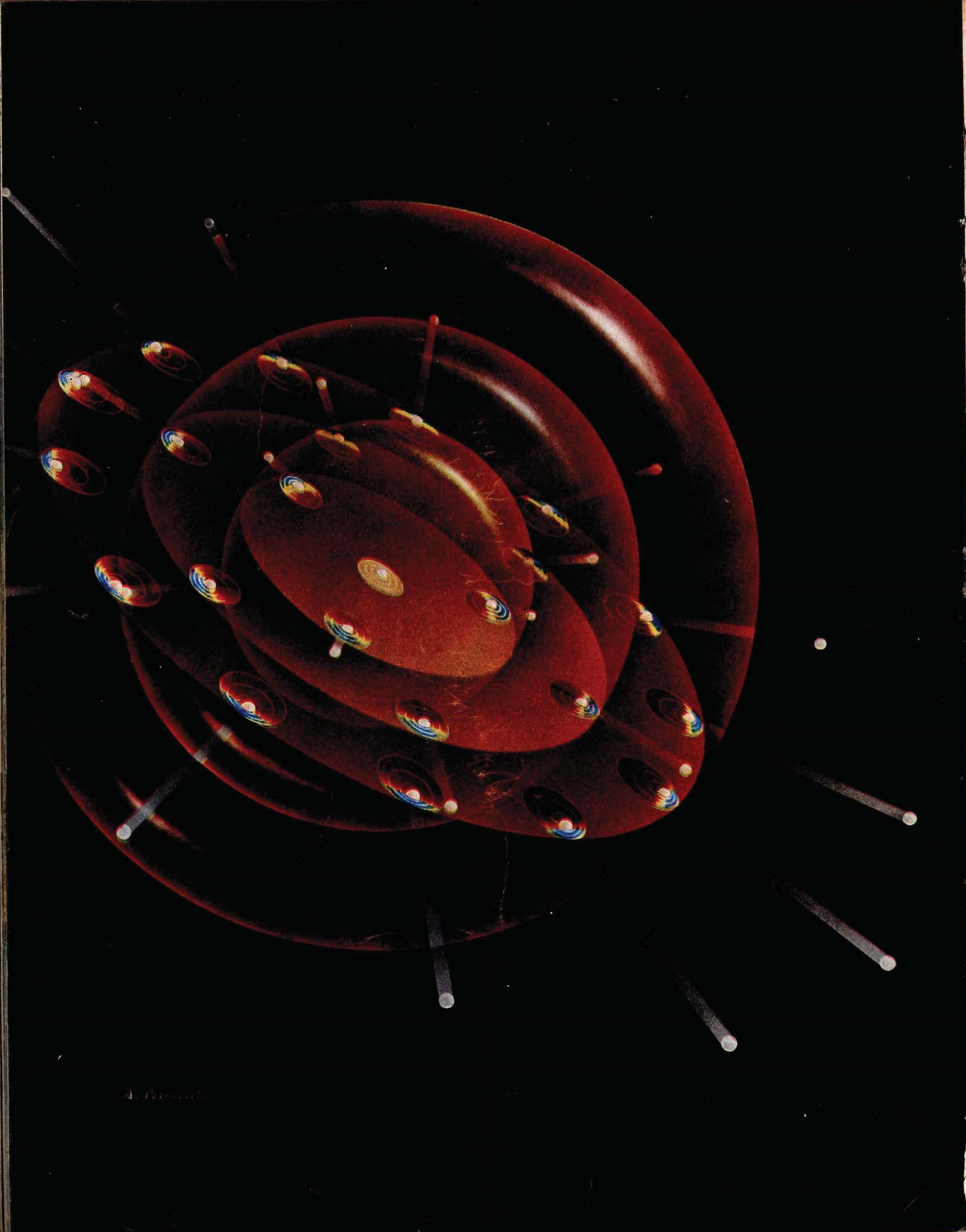


UNA SPIRALE DI IDROGENO potrebbe essere vista da un osservatore che si trovasse su un pianeta immaginario in prossimità della stella doppia conosciuta dagli astronomi col nome di Beta Lyrae. Emessa dalla stella azzurra più grande,



per effetto della forza centrifuga, il gas luminoso viene catturato dalla stella gialla di dimensioni minori che ne trattiene una parte, in modo da costituirsi una fascia rossa intorno all'equatore, e lascia poi sfuggire il resto nello

spazio. Si ha così lo strano fenomeno di questa spirale di idrogeno che circonda costantemente le due stelle e che, nell'Universo, rappresenta una particolarità: finora non si conoscono, infatti, altre stelle che abbiano lo stesso ornamento di Beta Lyrae.



A. Remondino



L'UNIVERSO VISIBILE si espande in tutte le direzioni. Nella tavola della pagina a sinistra ogni pallina rappresenta milioni di galassie che si allontanano l'una dall'altra. Al centro è rappresentato il nostro Gruppo Locale di galassie. Come si noterà, per ogni pallina sono indicate due posizioni, collegate da una striscia bianca: la posizione più vicina al centro indica il punto in cui si trovavano le galassie nel momento in cui emisero la luce che noi vediamo oggi. La seconda posizione è, invece, quella effettiva. Essa viene indicata con un disco multicolore poiché, a causa della velocità delle galassie, la loro luce presenta lunghezze d'onda minori (e quindi tendenti all'azzurro) nel senso della loro

avanzata e lunghezze d'onda maggiori, tendenti al rosso, dalla parte opposta. La velocità della recessione delle galassie viene calcolata in base a questo arrossamento della luce. Delle tre grandi sfere, quella interna indica fino a che punto gli astronomi possono calcolare questo arrossamento (circa un miliardo d'anni luce); quella intermedia indica i limiti della percezione telescopica di dieci anni or sono (circa un miliardo e mezzo d'anni luce) e l'esterna segna l'attuale orizzonte telescopico (due miliardi d'anni luce). Le più veloci galassie che l'uomo possa scorgere sono indicate, nella fotografia qui sopra, dalle frecce bianche. La loro luce ha impiegato oltre due miliardi d'anni per giungere fino alla Terra.

L'Universo in espansione

La storia dell'astronomia è un susseguirsi di orizzonti che s'allontanano. Dapprima la ritirata fu lenta: tra l'oscura età in cui l'uomo credeva che il cielo, « questo maestoso tetto cosparso d'inquieti fuochi d'oro », si trovasse a pochi chilometri dalla Terra e l'epoca in cui la sua mente intuì con apprensione la realtà delle distanze cosmiche, sono passati molti secoli. Solo agli inizi del 1900, si può dire, l'attenzione dell'astronomia si è spostata dai pianeti alle stelle. E solo negli ultimi 25 anni sono state individuate le galassie dello spazio esterno.

L'astronomo al quale va la maggior parte del merito per il mutamento avvenuto nelle nostre prospettive è Edwin Hubble, dell'Osservatorio del monte Wilson, negli Stati Uniti, il quale nel 1924 pubblicò alcune fotografie dalle quali si ricavava, in maniera definitiva, la conclusione che i lontani ammassi luminosi cui gli astronomi avevano dato il nome di nebulose e che erano ritenute masse informi di polvere e gas, in realtà erano immensi sistemi di stelle simili alla Via Lattea. Hubble si dedicò allo studio delle galassie, ne misurò le distanze, registrò la loro distribuzione nello spazio e, cosa ancora più importante, ne analizzò i movimenti. La prima strana constatazione fu che questi movimenti non apparivano casuali, come quelli delle molecole di un gas, ma estremamente schematici: ogni galassia, in qualsiasi luogo dello spazio si muovesse, pareva allontanarsi dal nostro sistema solare a una velocità direttamente proporzionale alla sua distanza. Ciò vuol dire che più la distanza della galassia è grande, più la velocità della sua fuga da noi aumenta. Hubble e un altro studioso, Milton L. Humason, studiarono insieme questa particolarità e nel 1929 pubblicarono un'equazione destinata ad assumere un'importanza fondamentale nella cosmologia. Essa oggi va sotto il nome di legge Hubble-Humason. La formula alla quale giunsero i due scienziati è la seguente: $V=38r$. Nel linguaggio abbreviato della scienza V sta ad indicare la velocità, in miglia al secondo, alla quale le galassie si allontanano, mentre r esprime la loro attuale distanza dalla Terra in unità di un milione di anni luce. Pertanto una galassia che si trovi a un milione di anni luce dalla Terra procede a una velocità di 38×100 , ossia 3.800 miglia al minuto secondo (un miglio equivale all'incirca a Km. 1,609). Invece una galassia che si trovi a 100 milioni di anni luce, procede a una velocità di 38×1000 , cioè 38.000 miglia al secondo, vale a dire circa un quinto della velocità della luce.

In base a questa descrizione, l'Universo sembra espandersi intorno a

noi in tutte le direzioni. Questo non significa che l'astronomia moderna sia tornata alla vecchia immagine antropocentrica del cosmo. L'affermazione che l'Universo si espande non implica che la Terra si trovi al centro dell'Universo stesso, così come non si trova al centro del sistema solare, della Via Lattea e del Gruppo Locale. Si pensi l'Universo come un palloncino ricoperto da tante macchie non elastiche; è chiaro che quando il palloncino si gonfia, ogni macchia tenderà ad allontanarsi dall'altra. Per fare un altro esempio, si può pensare l'Universo come una gigantesca nuvola di gas rarefatto, nella quale ogni galassia rappresenti una singola molecola. Se la nuvola si espande uniformemente, la distanza tra una molecola e l'altra raddoppierà entro un determinato periodo di tempo. Così, ammettendo che sulle altre galassie esistano osservatori dotati di intelligenza, essi ci vedrebbero allontanarci da loro esattamente come noi li vediamo allontanarsi, cioè a velocità proporzionale alla distanza.

La prova di questa fuga delle galassie ci è data dall'analisi della luce che emettono. Osservata allo spettroscopio, la luce di una galassia lontana produce le stesse linee spettrali di una sorgente luminosa statica. Ma ogni linea appare spostata verso il rosso, ossia verso le lunghezze d'onda maggiori. In più, questo spostamento sullo spettro è tanto più accentuato quanto maggiore è la distanza della galassia, cioè è direttamente proporzionato alla velocità di recessione della galassia. Questo effetto dello « spostamento verso il rosso » può essere paragonato alla diversa qualità del suono emesso da una sorgente in movimento, a seconda che s'allontani da noi o s'avvicini. Chiunque si sia fermato presso un passaggio a livello ha potuto osservare che il fischio della locomotiva sembra più intenso quando il treno s'avvicina e diviene più debole quand'esso s'allontana. La spiegazione del fenomeno sta nel fatto che le lunghezze d'onda del fischio emesso dalla locomotiva che s'avvicina vengono compresse e accorciate dal movimento in avanti della fonte che le genera, per cui l'intensità del suono aumenta. Quando il treno è passato, le lunghezze d'onda si distendono e si allungano nella sua scia e quindi l'intensità del suono diminuisce. Allo stesso modo, le onde luminose provenienti da una fonte che s'avvicina sono compresse verso l'azzurro, ossia verso le lunghezze d'onda minori dello spettro, mentre quelle irradiate da una fonte che s'allontana si allungano e si spostano verso il rosso, cioè verso le lunghezze d'onda maggiori. Di qui la deduzione che le galassie siano in fase di recessione. Poiché esistono altri fattori che possono arrossare, in vario modo, i corpi celesti, alcuni scettici hanno tentato di spiegare diversamente lo spostamento verso il rosso. A una a una, però, le loro obiezioni sono cadute e il punto di vista che la fuga delle galassie non sia un'illu-

sione ma una realtà è ammesso quasi unanimemente. Esso è senza dubbio uno dei fenomeni più sbalorditivi dell'Universo.

Il concetto di uno spazio che si espanda ha fatto sorgere, naturalmente, problemi cosmologici estremamente suggestivi. Per esempio, quando un astronomo osserva i corpi nello spazio, è evidente che il suo sguardo va indietro nel tempo. Le remote galassie, la cui antichissima luce arriva fino a noi dopo due miliardi d'anni di tempo terrestre, naturalmente non si trovano, in realtà, nel posto dove le vediamo oggi. La luce che ci permette di scorgere le loro immagini iniziò il suo immenso viaggio quando la vita sulla Terra era appena nata nei mari primordiali. Nel tempo che essa ha impiegato per giungere fino a noi, le galassie si sono allontanate nello spazio di un altro miliardo e un terzo d'anni luce. Perciò in ogni concetto dell'Universo lo spazio e il tempo diventano inseparabili e i cosmologi parlano di un continuo spazio-tempo, il che vuol dire che per definire la posizione di una galassia bisogna tener conto non solo delle tre dimensioni dello spazio ma anche della dimensione tempo. In questo senso l'Universo è quadrimensionale, e la quarta dimensione è il tempo.

Il cosmologo, pertanto, non può pensare l'Universo « qui ed ora », allo stesso modo di come si può pensare New York o la Terra. Infatti ogni oggetto celeste ha due posizioni: 1) dove lo vediamo e 2) dove è realmente. Anche nel caso di Alpha Centauri, la stella più vicina, non possiamo dire di vederla « adesso », perché la sua luce impiega poco più di quattro anni per arrivare fino a noi. Perciò, l'Alpha Centauri che noi vediamo nel 1956 è in realtà il fantasma di una stella che splendeva nel 1952. Se essa stia ancora splendendo nel 1956 potremo saperlo soltanto nel 1960. La situazione diventa ancora più complessa, naturalmente, nel caso delle galassie dello spazio esterno, non solo per la loro enorme distanza ma soprattutto a causa della loro incredibile velocità.

Se partiamo dal principio che tutte le galassie attualmente visibili hanno viaggiato nello spazio durante le epoche del tempo cosmico, seguendo le stesse rispettive direzioni e alle stesse relative velocità (le galassie più lontane rapidamente, le più vicine a minore velocità) ne deriva la conclusione che tutte partirono dallo stesso posto, nello stesso tempo. I calcoli più recenti sulla velocità della loro recessione indicano che il viaggio cosmico delle galassie ebbe inizio circa cinque miliardi di anni fa. Il fatto straordinario di questo risultato è che esso coincide con le recenti indagini sulla probabile età delle sostanze radioattive trovate nella crosta terrestre e con l'età delle stelle più antiche, stabilita in base alle moderne teorie dell'evoluzione stellare. Tutte le scoperte della scienza ci riconducono a un'epoca di creazione nella quale si accesero i fuochi cosmici ed ebbe inizio l'immenso corteo dell'Universo attuale. Tutto ciò avvenne cinque miliardi d'anni fa.

Dopo la scoperta del fenomeno dell'espansione dell'Universo, sono state avanzate molte ipotesi per spiegarlo. Una delle prime teorie fu elaborata dal cosmologo belga Le Maitre, secondo il quale la recessione delle galassie ebbe inizio in seguito a un'esplosione titanica, lo scoppio di un singolo super-atomo primordiale dal quale scorgiamo ancora i frammenti in fuga. Più recentemente il dott. George Gamov ha apportato una variazione a questo tema. Secondo Gamov, qualche tempo prima di cinque miliardi di anni fa l'Universo si trovava in una fase di contrazione, la quale durò fino al momento in cui tutta la materia e tutte le radiazioni furono condensate in un « inferno » di particelle elementari di massa e densità incredibili. Questo stato contratto della materia viene chiamato da Gamov *ylem*, una parola arcaica inglese che sta ad indicare la sostanza primordiale, elementare, di tutte le cose viventi. La temperatura di questa materia era di miliardi di gradi. Con simile calore non esistevano elementi né atomi, ma solo libere particelle atomiche in uno stato d'agitazione caotico. Subito dopo il momento cruciale della massima contrazione, la massa cosmica cominciò a espandersi. La luce e le altre radiazioni elettromagnetiche fuggirono nello spazio. La temperatura s'abbassò. Quando cadde a un miliardo di gradi, le particelle si fusero e si formarono gli atomi. E mentre il vapore primordiale si gonfiava e si raffreddava, al suo interno si originavano vortici dai quali sarebbero poi nate le galassie e gli ammassi galattici. In un primo tempo le galassie erano oscure. Gradualmente però, per il vorticare delle nubi cosmiche, si condensarono le stelle e splendettero nel vuoto.

In opposizione alla teoria di Gamov, un gruppo di cosmologi britannici ha proposto recentemente l'ipotesi di uno « stato uniforme » dell'Universo. In sostanza questi scienziati sostengono che l'Universo non fu creato da un'esplosione e che la sua nascita non può essere attribuita a niente di simile a uno scoppio, perché la creazione è un processo continuo. Secondo questa teoria, la materia si forma continuamente nello spazio e si condensa in galassie nei vuoti intergalattici creati dall'espansione. L'ipotesi è però meno accettabile di quella di Gamov. Negli ultimi anni si sono ricavati, dalle osservazioni, dati che si potrebbero addurre a sostegno del postulato secondo il quale tutte le galassie sarebbero state create nello stesso tempo. Gli astronomi hanno notato che le galassie ellittiche più remote sono molto più rosse di quelle a noi vicine e che l'intensità del loro colore non si può spiegare col fenomeno dello spostamento verso il rosso. La sola spiegazione possibile è che esse contengano stelle rosse più grandi e più luminose delle galassie vicine. In breve, contengono stelle rosse supergiganti. Noi però vediamo, delle galassie ellittiche più lontane, la luce che esse emisero uno o due miliardi d'anni fa, mentre delle più vicine vediamo la luce emessa pochi milioni d'anni or sono. Pertanto le galassie vicine vengono scorte da noi in uno stadio di sviluppo, di invecchiamento, molto più avanzato. Poiché le stelle rosse supergiganti si

evolvono ed ardono rapidamente, nelle galassie vicine e quindi più vecchie sono già scomparse, mentre nelle galassie dello spazio esterno, che noi vediamo in una fase meno avanzata di sviluppo, risplendono ancora. Le differenze di colori che esse presentano sono precisamente quelle che ci si attendeva di riscontrare in base all'ipotesi della creazione di tutte le galassie nello stesso tempo.

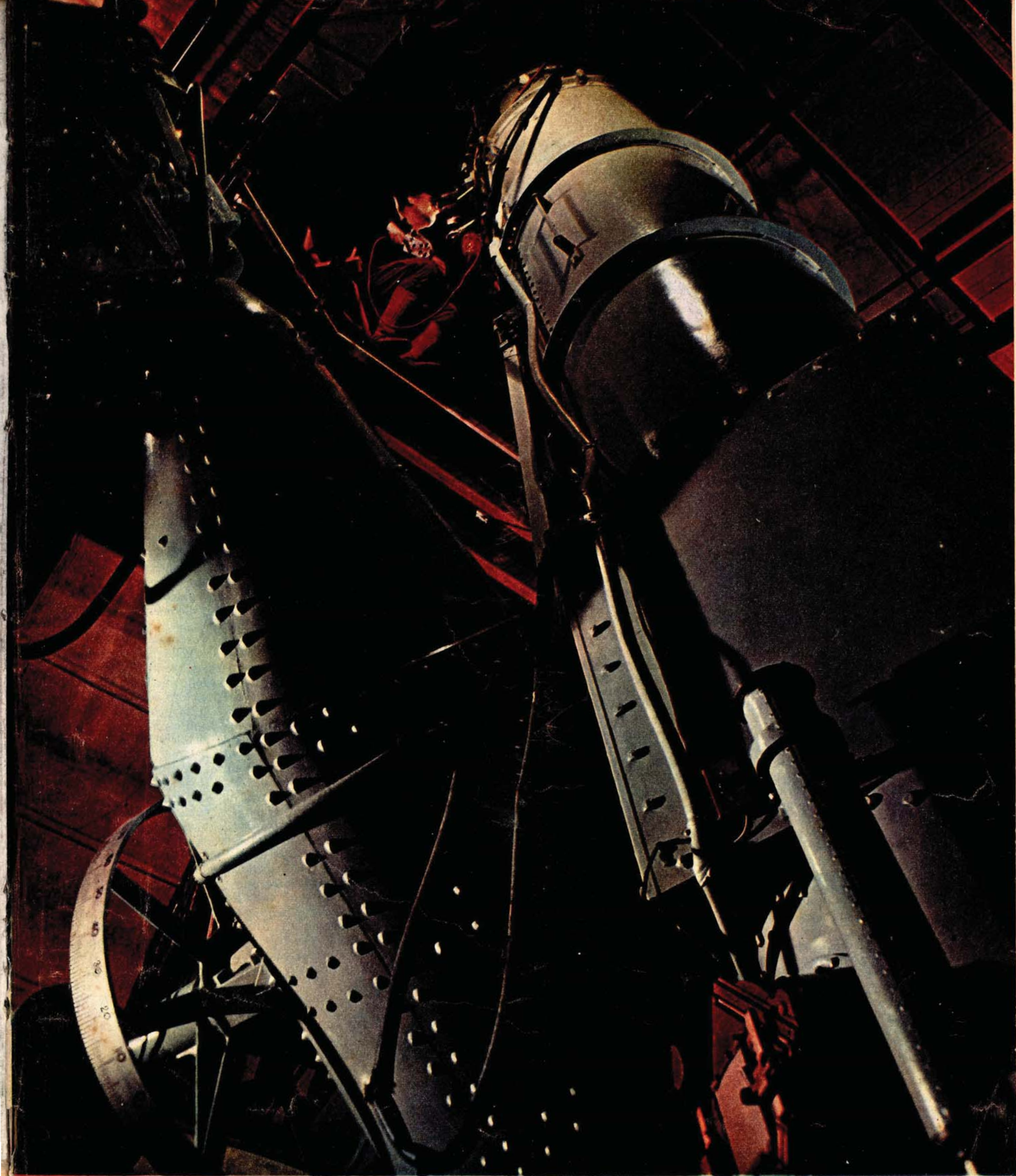
Se tentiamo di immaginare che cosa ci sia al di là dello sterminato campo visivo raggiunto dai telescopi, sorgono enigmi non meno profondi dei problemi cui ci troviamo di fronte quando guardiamo indietro nel tempo, nell'Universo in espansione. E qui che la cosmologia si lascia alle spalle il mondo della comune esperienza umana, perché nel tentativo di separare l'apparenza dalla realtà essa è entrata nel campo delle astrazioni, abbracciando concetti che non potrebbero rientrare in nessun modo nel mondo tangibile e visibile percepito dai sensi umani. Esporremo ora alcuni tra i principali strumenti della ragione mediante i quali i cosmologi debbono lavorare per tentare di rispondere alla domanda: « Che cosa c'è al di là? ». Se ricorressimo a telescopi ancora più grandi, che cosa vedremmo? Ci apparirebbero nuovi oceani di spazio vuoto e altre miriadi di galassie in fuga a velocità sempre maggiori? La domanda ci porta a uno dei più grandi paradossi della cosmologia. Infatti le galassie che vediamo a due miliardi di anni luce da noi viaggiano a una velocità pari a due terzi di quella della luce. Se l'uomo, con l'aiuto di telescopi più potenti, riuscisse a estendere il proprio campo d'osservazione a distanze di due miliardi e mezzo d'anni luce, secondo la legge Hubble-Humason egli penetrerebbe in un dominio occupato da galassie in fuga alla stessa velocità della luce. Ma potrebbe vederle? Se esse s'allontanano alla stessa velocità della luce, la fisica newtoniana ci dice che le loro radiazioni luminose non potrebbero mai giungere sulla Terra. A questo punto gli astronomi sono costretti ad abbandonare la logica comune e a ricorrere ai sottili ragionamenti espressi da Einstein nella sua teoria sulla relatività.

Un tempo gli astronomi ritenevano che lo spazio dovesse essere considerato come qualcosa di stabile, immobile, dove fosse possibile determinare il movimento « vero », assoluto, delle stelle. Questa convinzione fu rafforzata dai fisici che postularono la presenza nello spazio di una sostanza invisibile, chiamata « etere », destinata a propagare le onde luminose così come l'acqua propaga le onde del mare. Nel 1887 due fisici americani, Michelson e Morley, effettuarono un esperimento classico per provare l'esistenza dell'etere. Essi pensarono che, se la Terra si muove come una nave in mezzo a un mare immobile d'etere, la velocità di un raggio luminoso dovrebbe essere ritardata dal flusso dell'etere se il raggio è proiettato nella direzione del movimento della Terra attraverso l'etere stesso e accelerata se invece il raggio viene proiettato nella direzione opposta. Il loro strumento, chiamato interferometro, era tanto sensibile da poter registrare variazioni di frazioni di chilometri al secondo nella straordinaria velocità della luce (300.000 chilometri al secondo). L'esperimento dimostrò che il movimento della Terra non influenza la velocità della luce. Così Michelson e Morley demolirono d'un colpo l'etere e crearono nel pensiero scientifico una scissione destinata a durare un quarto di secolo.

Nel 1905, quando aveva 26 anni, Einstein pubblicò la sua Teoria Speciale della Relatività, che aprì un mondo nuovo al pensiero scientifico. Egli respinse la teoria dell'etere e con essa l'ipotesi di uno spazio fisso, nel quale sia possibile distinguere il movimento « vero » da quello relativo. Accettò invece il risultato dell'esperimento di Michelson e Morley come una prova indiscutibile del fatto che la velocità della luce non è influenzata dal movimento della Terra. Egli, anzi, assunse questo dato come la rivelazione di una legge universale. E ragionò in questo modo: se la velocità della luce è costante rispetto alla Terra, deve essere costante rispetto a qualsiasi galassia dell'Universo. Se quindi la velocità della luce non può essere aumentata né dalla fonte che l'emette né da chi la riceve, Einstein ne trasse la conclusione che nulla nell'Universo può viaggiare a velocità maggiore della luce.

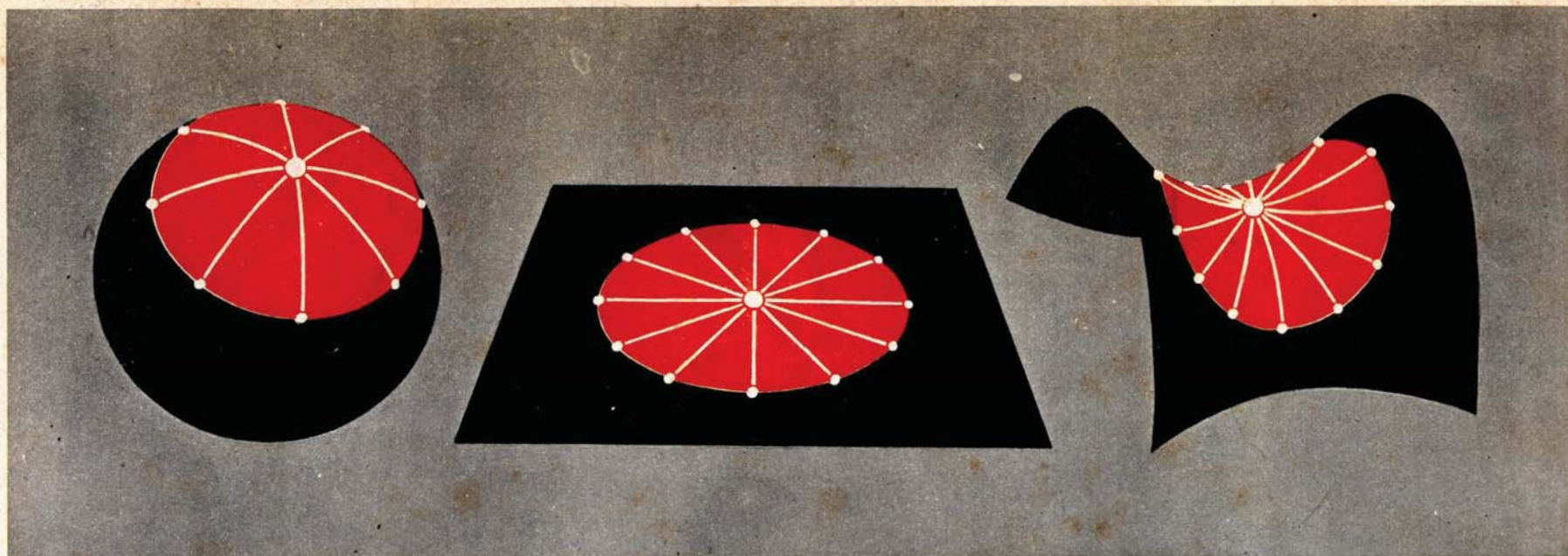
Da queste premesse Einstein ricavò una serie di equazioni che sono diventate parte sostanziale della fisica e della cosmologia moderne. In particolare, dalle sue equazioni risultò che tutte le misurazioni della distanza e del tempo variano con la velocità dell'osservatore. Per esempio, noi possiamo vedere due galassie, in due lati opposti della Terra, che s'allontanano da noi a una velocità pari a due terzi di quella della luce. Gli osservatori posti sulle due galassie si vedrebbero, di conseguenza, allontanarsi l'uno dall'altro a una velocità pari a quattro terzi di quella della luce, come si sarebbe portati a dedurre sommando le due velocità registrate da noi? Secondo la teoria della relatività, gli osservatori posti sulle due galassie misurerebbero il tempo e la distanza diversamente dagli osservatori posti sulla Terra e valuterebbero le loro velocità combinate a poco meno della velocità della luce.

Nonostante la sua apparente stranezza questo concetto è stato rispettosamente convalidato da osservazioni ed esperimenti. In cosmologia, il principio della velocità costante della luce è stato confermato dagli studi sulle stelle doppie, in quanto s'è constatato che la luce proveniente dalla stella che s'avvicina a noi, facente parte di un simile sistema rotatorio binario, arriva sulla Terra alla stessa velocità della luce proveniente dalla stella che s'allontana dal nostro pianeta. Ma la relatività è anche servita come avvertimento al cosmologo, perché non dimentichi che le sue osservazioni sono limitate dalla posizione che egli occupa nell'Universo e che egli non potrà mai essere certo delle misurazioni che effettua nelle immense profondità dello spazio e del tempo.



I TELESCOPI DELL'OSSERVATORIO DI MONTE PALOMAR, i più grandi
dei mondi, hanno permesso agli astronomi di penetrare negli abissi dello spazio
fino a profondità che appena pochi anni fa apparivano impensabili. L'uomo è così

riuscito a posare il proprio sguardo su galassie remotissime, le quali probabilmente
si allontanano da noi a una velocità di oltre 200.000 chilometri al secondo. Fino
a che punto riusciremo ad ampliare il nostro campo visivo, già così stupefacente?



TRE POSSIBILI SPECIE DI SPAZIO sono illustrate qui sopra: incurvato positivamente (a sinistra), non curvo (al centro) e incurvato "negativamente" (a destra). Le sezioni colorate rappresentano l'Universo visibile, con ai bordi le

galassie più lontane (palline bianche) e al centro la nostra Terra. Su ciascuna superficie la luce viaggia seguendo il cammino più breve (linee bianche) e tracciando perciò archi di circonferenza (a sinistra), rette (al centro) o curve varie (a destra).

Avendo ben presenti questi avvertimenti, la cosmologia moderna ha tentato cautamente di studiare quali siano le possibili dimensioni e l'architettura dell'Universo. La Relatività Speciale e la Legge Hubble-Humason fanno ritenere che il suo raggio non possa essere più grande di cinque miliardi di anni luce, perché: 1) l'Universo, a quanto pare, cominciò a espandersi cinque miliardi di anni fa; 2) da allora le galassie più lontane stanno fuggendo nello spazio a una velocità costante che s'avvicina a quella della luce; 3) la Relatività asserisce che nessun oggetto in movimento può superare la velocità della luce. Di conseguenza, le galassie che hanno viaggiato più rapidamente possono aver coperto al massimo poco meno di cinque miliardi d'anni luce dal tempo della creazione. Poiché attualmente il nostro campo visivo abbraccia soltanto i due terzi di questa distanza, possiamo presupporre che « al di là » si trovano altre galassie invisibili e che i loro scaglionamenti più veloci segnano gli attuali limiti dell'Universo.

La mente umana è restia ad accettare la nozione di un Universo che finisce in qualche posto, così come esita di fronte al concetto opposto di uno spazio che non ha mai fine. Noi siamo abituati a pensare lo spazio secondo l'immagine fornitaci dalla nostra esperienza o, più astrattamente, secondo la geometria piana di Euclide, per la quale la linea retta è la distanza più breve fra due punti e l'area di un cerchio è sempre πr^2 . Ma nell'immensità del cosmo, dove tanti concetti derivati dalla nostra esperienza terrestre perdono la loro validità, è probabile che anche la semplice geometria euclidea sia inadeguata. E come un tempo l'uomo ha creduto che la Terra fosse piatta, così ora è probabile che le nostre limitate prospettive, secondo le quali lo spazio nell'Universo sarebbe simile allo spazio che vediamo nelle nostre immediate vicinanze, rappresentino un errore. Mediante l'osservazione e la deduzione, l'uomo ha scoperto la curvatura terrestre. Con tecniche analoghe i cosmologi stanno ora tentando di scoprire se lo spazio dell'Universo sia curvo o meno.

Ancora una volta il primo indizio ci è stato fornito da Einstein quando, nel 1915, ha proposto la sua Teoria Generale della Relatività, avanzando un nuovo concetto della gravitazione. Invece di considerare la gravità come una « forza », come aveva fatto Newton, Einstein suppose che lo spazio posto intorno a ogni corpo celeste rappresenti un campo gravitazionale simile al campo magnetico intorno a un magnete. In seguito concluse che ogni corpo torce o incurva la regione dello spazio in cui si trova, per cui i raggi luminosi che passano attraverso il suo campo gravitazionale non viaggiano in linea retta ma si incurvano. Quattro anni dopo, durante un'eclisse solare, gli astronomi trovarono la conferma di questa teoria: la luce delle stelle che passava attraverso il campo gravitazionale del Sole subiva una flessione, esattamente come aveva previsto Einstein.

Dopo la trionfale conferma della previsione einsteiniana, riguardante l'incurvarsi della luce stellare, i teorici hanno cominciato a meditare sulla curvatura dell'Universo nel suo insieme. Essi postulano tre possibilità: 1) L'Universo è euclideo, cioè non è incurvato e in esso una linea retta è la distanza più breve tra due punti; 2) È incurvato positivamente, cioè la distanza più breve tra due punti è una curva chiusa, simile ai grandi cerchi che costituiscono i meridiani della superficie terrestre; 3) È incurvato negativamente, cioè è simile alla superficie di una sella, per cui in esso la distanza più breve tra due punti è una curva aperta, qualcosa

come una parabola o un'iperbole. Il compito del cosmologo è ora di scegliere tra queste tre possibilità mediante il calcolo e l'analisi della distribuzione delle galassie nello spazio. Secondo le osservazioni più recenti, la probabilità maggiore è che lo spazio sia incurvato negativamente o che non sia affatto incurvato.

Questi concetti, nonostante la loro difficoltà, sono strettamente connessi col fenomeno dell'espansione e con gli antichi dibattiti filosofici se lo spazio sia finito o infinito. Se lo spazio è euclideo, sarebbe per definizione infinito. Se è incurvato negativamente, sarebbe ugualmente infinito, poiché finita una curva ne comincerebbe un'altra, in un processo che continuerebbe indefinitamente. Ma se è incurvato positivamente, avrebbe la strana proprietà di essere insieme finito e senza limiti, come la superficie della nostra Terra che, sebbene finita, non ha confini.

Allo stato attuale della conoscenza umana, pertanto, la cosmologia ci porta sempre più lontano dal mondo familiare delle nostre impressioni sensibili. Gli studiosi sono costantemente posti di fronte all'incertezza di scegliere una ipotesi piuttosto che un'altra e vedono affollarsi di molteplici dubbi le loro attente osservazioni. Il complesso quadro delle galassie in fuga e di uno spazio che si espande appare così fantastico che gli stessi cosmologi discutono perplessi il complicato edificio di osservazioni e di deduzioni posto alla base di una simile immagine dell'Universo. Eppure non sembra esserci altra via per spiegare i fiochi bagliori luminosi che i telescopi più grandi registrano e l'innegabile tendere di questa luce verso il rosso, che si rileva dagli spettrografi.

Meno di un secolo fa gli scienziati ritenevano di aver esaurito gran parte dei propri compiti e che restasse soltanto da portare alla perfezione i sistemi di misura. Sembrava che non esistesse processo della natura che non potesse essere descritto nei termini delle leggi meccaniche e definito perfettamente mediante le equazioni di Newton. Si era convinti che, una volta conosciuta la posizione e la velocità di qualsiasi particella nell'Universo, se ne sarebbero potuti definire esattamente il passato e il futuro. Gli avvenimenti che fecero crollare quest'assunto furono lo sviluppo della relatività e il rapido progresso della scienza atomica. Perché tutte le straordinarie scoperte effettuate dai fisici moderni nei loro singoli campi hanno aumentato i problemi che l'uomo si trova a dover affrontare, aggiungendo nuovi paradossi, incertezze, dubbi nella sua visione del mondo in cui vive.

Oggi non è più possibile fare distinzioni tra le vecchie entità, mediante le quali si era soliti, una volta, descrivere l'Universo. Nella nuova scienza è apparso chiaro che la massa e l'energia sono la stessa cosa. E allo stesso modo lo spazio e il tempo sono divenuti inseparabili, al punto che è impossibile distinguere l'uno dall'altro, quando ci si inoltra nelle profondità estreme del cosmo. Limitato da concezioni inadeguate, confinato nella prigione dei propri sensi, l'uomo brancola nelle ombre dei suoi ultimi due orizzonti: da una parte l'Universo imperscrutabile delle particelle elementari e dall'altra l'Universo illimitato dello spazio e del tempo. Riuscirà a penetrarvi più profondamente? La risposta può basarsi su una speranza, non su una certezza. Perché, secondo le parole di Paolo, « noi vediamo in parte, profetizziamo in parte... e vediamo oscuramente, come attraverso un vetro ».

Lincoln Barnett

FINE

