

**Q**uando l'uomo ebbe per la prima volta la intuizione che il Sole era la fonte di ogni energia terrestre, cominciò a preoccuparsi e a chiedersi per quanto tempo ancora esso avrebbe continuato a risplendere prima di consumarsi del tutto. Considerando il Sole alla stregua di una candela, era logico supporre che un giorno si sarebbe estinto. La Terra e i pianeti non riceverebbero più nè calore, nè luce e si muoverebbero attraverso uno spazio freddo e buio.

L'uomo e tutte le altre forme di vita si estinguerebbero, su un pianeta congelato.

Oggi gli scienziati ritengono che il Sole, prima di raffreddarsi diventerà ancora più caldo. Entro 500 milioni di anni dovrebbe triplicare la sua attuale luminosità, e sarà allora tanto caldo da portare sulla Terra la temperatura media al punto di ebollizione dell'acqua. Tutte le acque finiranno per evaporare e, quindi, per affluire nell'atmosfera sicchè il nostro pianeta si trasformerà in un deserto. In quell'ambiente arroventato, l'uomo non sarà più in grado di sopravvivere ed ogni forma di vita sulla Terra dovrà scomparire.


Mentre calerà il silenzio sulla Terra, il Sole continuerà a crescere: il suo volume diventerà duecento o trecento volte più grande di quello attuale e inghiottirà Marte e Venere i pianeti che più gli sono vicini.

La Terra si ridurrà ad una massa di rocce fuse in ebollizione.

Quindi il Sole si andrà gradualmente restringendo sino a riassumere all'incirca le sue dimensioni attuali. Ma non sarà più giallo: emanerà una luce azzurra e la sua luminosità risulterà due volte più intensa.

Sul nostro globo, sotto un insolito cielo di un azzurro abbagliante, potranno comparire nuove forme di vita. Perchè si prevede, per il Sole, una evoluzione così sbalorditiva? Il grande astrofisico inglese Sir Arthur E. Eddington fu il primo a scoprire, nel 1930 una traccia delle formidabili reazioni che si determinano nell'interno del Sole. Eddington dimostrò che il Sole è costituito da una densa massa di gas estremamente caldi tanto che la sua temperatura interna, si aggira tra i 15-30 milioni di gradi. Nella bomba atomica all'idrogeno, al momento dell'esplosione si produce pressapo-

## QUANDO IL SOLE



**Mentre calerà il silenzio sulla Terra, il Sole continuerà a crescere: il suo volume diventerà duecento o trecento volte più grande di quello attuale e inghiottirà Marte e Venere, poi...**

co la stessa temperatura. Il dr. Hans A. Bethe, un fisico atomico della Cornell University, ha infatti calcolato che l'interno del sole equivale ad un'esplosione di 1.000.000.000.000.000.000 di bombe all'idrogeno.

Secondo la sua ipotesi, il Sole crea, con un processo del genere, l'immensa quantità di energia che riversa continuamente nello spazio.

Il dottor Bethe giunse a questa ipotesi servendosi dei calcoli di Sir Arthur Eddington per la determinazione della temperatura interna del Sole. Egli sapeva che una temperatura dell'ordine di 15 milioni di gradi era troppo elevata e non poteva essere il risultato di una reazione chimica, come, ad esempio, la combustione di un carburante in un'automobile o in un motore a razzo. Il limite della temperatura, per le combustioni chimiche, si aggira sui 6.000 gradi. I legami chimici tra gli atomi non contengono, infatti, energia sufficiente per la produzione di temperature più ele-

vate. Oltre i 6.000 gradi, gli atomi non riescono più a restare uniti: nel loro violento moto incontrollato le molecole si scindono nei diversi atomi. Anche i materiali più resistenti al calore, quali sono i mattoni refrattari, si vaporizzano in gas. Le collisioni tra gli atomi producono vibrazioni tali da provocare l'estromissione degli elettroni dalle loro orbite. Il gas diventa allora un miscuglio di elettroni allo stato libero, di ioni positivi e di atomi negativi.

Questo miscuglio di materia allo stato gassoso, viene chiamato « plasma ». A tale temperatura, non esistono più solidi, liquidi o gas, o perlomeno, non sono più quali noi li immaginiamo.

Il dr. Bethe sapeva che nel plasma solare i nuclei atomici privati degli elettroni viaggiano a grandissima velocità e suppose che di tanto in tanto, essi cozzassero l'uno contro l'altro. In tali collisioni ha luogo una fusione

**BRUCERÀ LA TERRA**

termonucleare, cioè lo stesso processo nucleare che si sviluppa in una bomba all'idrogeno. Nel Sole, quattro nuclei di idrogeno si trasformano in un nucleo di elio, con un elemento intermedio, il carbonio, che agisce come catalizzatore della reazione: per questo, il dr. Bethe diede al processo il nome di « Ciclo del carbonio ».

Combinandosi in un nucleo d'elio i quattro nuclei di idrogeno perdono un centesimo della loro massa, che vien convertito in energia. Secondo la teoria di Elbert Einstein, una massa minima può trasformarsi in una enorme quantità d'energia. L'equazione einsteniana afferma infatti che l'energia prodotta è uguale alla massa perduta moltiplicata per il quadrato della velocità della luce ( $E = mc^2$ ), che è una cifra veramente sbalorditiva. La trasformazione in elio di solo 100 tonnellate d'idrogeno, crea più energia di quanta ne venga utilizzata in un anno da tutta l'umanità.

Una trasformazione del genere di idrogeno in elio, viene denominata reazione termonucleare. Essa può aver luogo solo alle alte temperature, quando ogni sorta di materia può esistere soltanto allo stato di plasma.

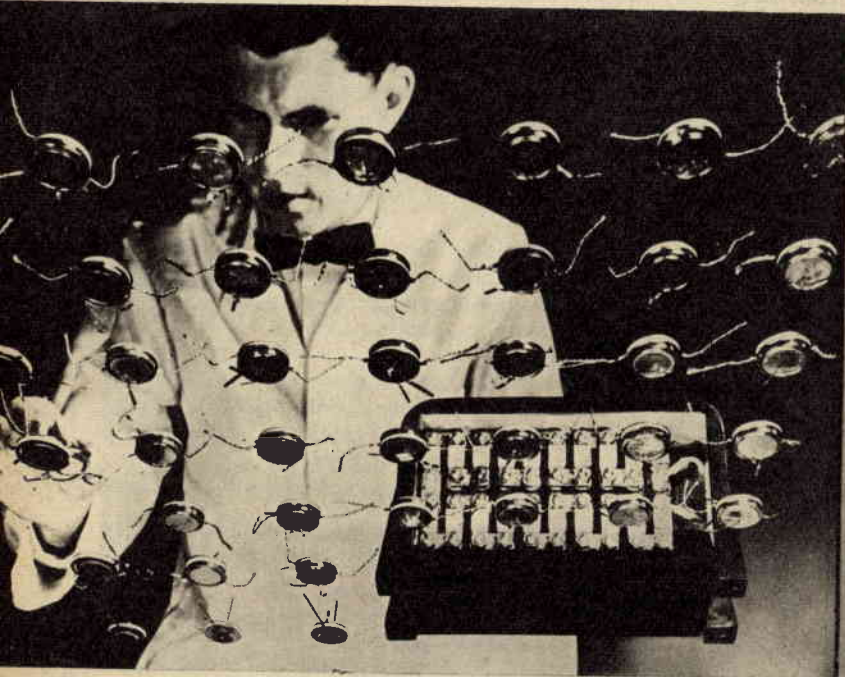
Il Sole crea queste alte temperature a causa delle pressioni che si determinano nell'interno della sua massa. Il materiale esterno del Sole preme su quello interno con tale forza da far salire la temperatura a milioni di gradi. Questo effetto della pressione è ben noto a chiunque abbia osservato il gonfiaggio delle

gomme di una bicicletta. Dopo un po' di tempo che è in funzione, la pompa si scalda a tal punto che è impossibile impugnarla.

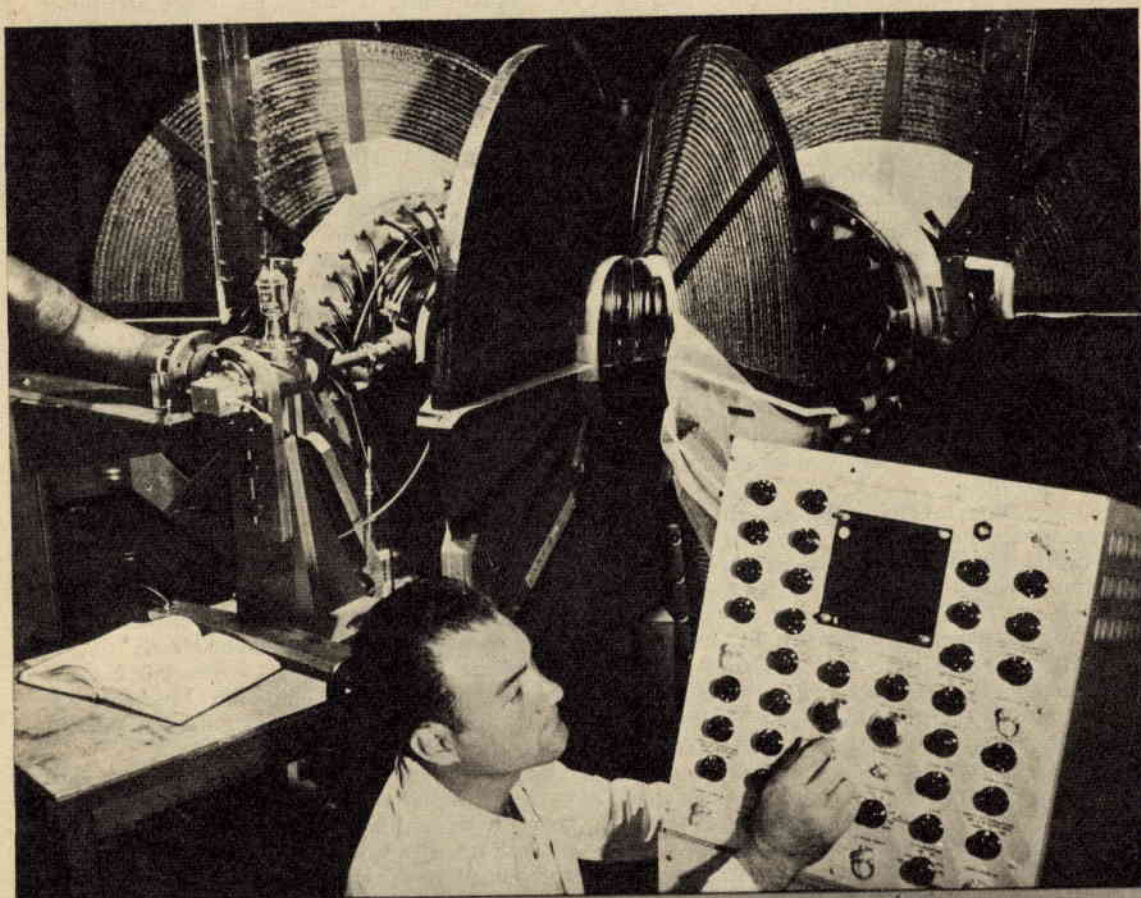
Allo stesso modo la crosta e il guscio esterno della Terra premono sulla massa interna con tale forza che le rocce di cui essa è formata si fondono in un magma incandescente, che costituisce il nucleo. Di tanto in tanto, le rocce fuse di questo nucleo della Terra pervengono alla superficie, uscendo dai crateri dei vulcani sotto forma di lava. Per fortuna, la massa della Terra non crea temperature interne tanto elevate da provocare reazioni nucleari. Se ciò avvenisse, il nostro pianeta si trasformerebbe in una piccola stella.

Basandosi su queste ipotesi, il dr. Bethe calcolò che sul Sole la conversione di idrogeno in elio avveniva con ritmo sempre più veloce. Dedusse che il Sole sarebbe diventato più grande e che quindi, una volta esauriti il carbonio e l'idrogeno, si sarebbe nuovamente rimpicciolito, trasformandosi in una stella di nuovo tipo. Questa stella avrebbe prodotto reazioni termonucleari di altro genere ed emanato una intensa luce azzurra.

Gli astronomi hanno osservato un'evoluzione analoga nella luminosità e nella temperatura di altre stelle. Alcune di esse hanno subito un aumento notevolissimo di splendore in breve lasso di tempo, seguito da un improvviso ritorno alle loro condizioni primitive. Gli astronomi hanno ricavato le variazioni delle temperature di queste stelle dalla misura del-



Uno scienziato osserva un gruppo di convertitori termionici, che trasformano in elettricità l'energia del Sole. Riuniti in un unico apparato, dispositivi a disco del genere del peso di appena 9 chili, potranno sviluppare 41 watt di elettricità, cioè una corrente che equivale a quella ottenibile con 1.000 batterie, identiche a quella qui raffigurata e del peso di oltre 6.500 chili. Installato su un veicolo spaziale, il dispositivo termionico potrà fornire l'energia elettrica occorrente per assicurare il funzionamento per un anno degli strumenti di bordo. Questi dispositivi ad energia solare sono stati recentemente realizzati dalla General Electric Company.



Si verificano con un oscilloscopio i risultati di una serie di ricerche sulla fusione con un apparato denominato « Perhapsatron S-5 ». Questo apparato sperimentale si serve del cosiddetto « effetto di contrazione o a strozzatura » per confinare, con dispositivi magnetici, la corrente dei gas incandescenti simili a quelli riscontrati sulla superficie solare, al centro di un tubo a forma di ciambella.

l'energia calorifica che esse irradiano. Secondo la legge di Stefan-Boltzmann, l'energia irradiata da un corpo è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura. Ad esempio, una sbarra di ferro arroventata sino a diventare bianca, irradia più energia di un'altra al calor rosso, perchè la sua temperatura è più elevata.

Collocando uno strumento sensibile al calore, ad esempio una termocoppia, in corrispondenza del fuoco di un telescopio puntato su una stella lontana, gli astronomi riescono a misurare la quantità d'energia che essa irradia. Ottenuto il valore di questa misurazione, per mezzo della legge di Stefan-Boltzmann si può calcolare la temperatura della stella. I cambiamenti osservati nella temperatura di numerosi astri coincidono con quelli previsti durante l'evoluzione solare.

Al raffronto con le temperature cui siamo

abituati, quelle che si sviluppano nell'interno delle stelle ci sembrano fantastiche. Eppure, per la prima volta dopo l'esplosione della bomba all'idrogeno, si ha ora la prospettiva di creare temperature del genere in laboratorio. Gli scienziati ritengono che se si riuscisse a produrre e a controllare in laboratorio un po' di plasma solare, l'uomo potrebbe disporre di una fonte quasi inesauribile di energia.

Per raggiungere questo traguardo, gli scienziati hanno cominciato a studiare il plasma, cioè lo stato nel quale si trova la materia alle altissime temperature. Con loro grande sorpresa, si sono accorti che già da tempo il plasma era stato utilizzato senza che se ne rendessero conto.

Il plasma è infatti presente ogni qualvolta l'elettricità passa attraverso un gas. Esso è composto dalle particelle dotate di carica che

trasportano l'elettricità attraverso il gas.

In tutti questi casi si producono temperature relativamente basse, nelle quali viene ionizzata soltanto una piccola percentuale degli atomi. Il plasma vero e proprio comincia a formarsi a partire da 12.000 gradi centigradi, quando molti atomi sono ionizzati. A tale temperatura tutti gli elettroni sono stati espulsi dai nuclei atomici.

Temperature dello stesso ordine vengono create da un razzo a velocità molte volte superiori a quella del suono (quest'ultima ha un valore di 1.220 km orari al livello del mare). L'onda d'urto, che accompagna il razzo nel suo moto attraverso l'aria, è in realtà un plasma la cui temperatura varia dagli 11.000 ai 28.000 gradi centigradi. Analogamente, una meteora, al passaggio attraverso l'atmosfera terrestre, crea un plasma luminoso che ne rivela il percorso.

È però difficile effettuare esperimenti servendosi dell'ogiva di un razzo. Gli scienziati stanno perciò cercando di creare e controllare tali temperature in laboratorio. Un metodo impiegato per la produzione delle alte temperature è quello dei cosiddetti forni solari, che consistono semplicemente in grandi specchi curvi per mettere a fuoco i raggi del Sole. Ma in uno dei più grandi forni solari, situato su una cima dei Pirenei, dove il Sole splende e riscalda, si raggiungono al massimo temperature di 2.500 gradi centigradi. In confronto, i gas di scarico di un razzo raggiungono temperature intorno ai 3.000 gradi. Un motore a razzo genera all'incirca la massima temperatura ottenibile con combustibili chimici. Temperature maggiori possono essere create solo mediante impiego del plasma, nel quale non sussistono legami chimici tra gli atomi.

Un metodo per la produzione di plasma caldo è quello che si basa sull'impiego del « tubo d'urto ». Questo congegno crea lo stesso tipo d'onda d'urto che si genera in corrispondenza dell'estremità anteriore di un aviogetto supersonico. Il tubo d'urto è lungo dai 3 ai 12 metri ed è diviso in due parti da un diaframma metallico: in una di esse è contenuto idrogeno e nell'altra un gas inerte, ad esempio l'argon. Quando l'idrogeno esplose nel mescolarsi con l'ossigeno, il diaframma si frantuma ed un'onda d'urto attraversa la sezione del tubo occupata dall'argon. Nell'onda, il gas è così compresso da diventare estremamente caldo. Quando l'onda colpisce un oggetto immobile (ad esempio il modello di un cono d'ogiva), il gas subisce un'ulteriore compressione ed un conseguente aumento di temperatura. Un'onda d'urto in movimento a 20 Mach (ossia a 20 volte la velocità del suono) riscalda l'aria sino a circa 6.000 gradi centigradi, cioè alla temperatura che esiste sulla superficie del Sole.

Come è noto, secondo una legge attribuita al fisico francese Jacques A. C. Charles (1746-1823), con l'aumentare della pressione d'un gas, cresce la sua temperatura. La legge di Charles, assieme a quella di Boyle, descrive il comportamento dei gas.

Comunque, un tubo d'urto può fornire solo una scarica per volta di gas ad alta temperatura. La « fiamma » continua ad alta temperatura fu creata solo alcuni anni orsono, con un dispositivo chiamato « getto di plasma ». Questo crea una vena di gas caldi ionizzati o « plasma » con temperature di oltre 15.000 gradi centigradi, ossia due volte superiore a quella esistente alla superficie del Sole ed oltre cinque volte a quella che si registra in corrispondenza dell'ugello di scarico di un razzo. Il « getto di plasma » produce la più elevata temperatura continua che sia mai stata raggiunta dall'uomo.

Il getto di plasma è in effetti un tipo speciale di arco elettrico, dotato di un circuito di raffreddamento per evitare che gli elettrodi si vaporizzino completamente ad altissima temperatura. Uno degli elettrodi è costituito da un'asta di carbone, l'altro consiste di un disco forato, anch'esso di carbone, posto sullo stesso asse del primo elettrodo. Entrambi gli elettrodi sono contenuti in un cilindro, nel cui interno scorrono acqua e gas.

Quando si gira l'interruttore che attiva l'arco, i gas diventano estremamente ionizzati. La corrente di ioni positivi scorre verso l'elettrodo a disco, che è negativo, e tende a restringersi in un getto più compatto, conformemente ad un fenomeno già scoperto da Michael Faraday più d'un secolo fa. Due fili paralleli percorsi nello stesso senso da corrente elettrica verranno attratti reciprocamente dai campi magnetici generati dalla loro corrente.

Una vena sottile di gas arroventati si comporta esattamente come un filo attraversato da corrente. Il fascio di ioni nel gas caldo si comporta come una corrente elettrica. Gli ioni subiscono un'attrazione reciproca e scorrono in un fascio ristrettissimo verso l'elettrodo a disco, che oltrepassano uscendo attraverso il foro centrale. Ne deriva un getto di plasma ad alta temperatura, lungo una trentina di centimetri e luminoso al punto da non poter essere osservato ad occhio nudo.

L'effetto di una corrente sempre più sottile di plasma arroventato è noto come « fenomeno della strozzatura ». Gli scienziati sperano di poter utilizzare questo effetto per creare un plasma all'idrogeno con temperature dell'ordine di milioni di gradi — le stesse temperature che si producono nell'interno del Sole e delle Stelle. Se si potrà giungere a tanto, sarà come se avessero imbottigliato in laboratorio un po' della massa interna del Sole.