Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
123° (2005), Vol. XXIX, t. I, pp. 143-148

GIANCARLO SETTI *

Il Cielo

Rileggendo *Il Cantico di Frate Sole*, questo straordinario inno al *«Altissimu, onnipotente, bon Signore … con tutte le tue creature»*, mi sono soffermato sui due versi *«Laudato si', mi Signore, per sora Luna e le Stelle. / In celu l'ai formate clarite e pretiose e belle»*, poiché essi si connettono immediatamente al tema di questo convegno.

Probabilmente San Francesco non potrebbe oggi godere di questa visione splendida e ispiratrice di un cielo di *stelle clarite e belle*, poiché l'inquinamento luminoso e atmosferico ha completamente alterato l'aspetto della volta celeste certamente osservabile nel 1200, quando le stelle sembrava di poterle toccare con mano e, per così dire, il cielo faceva parte dell'ambiente vicino. Credo vi siano bambini e adulti che vivono nelle città, non necessariamente solo nelle grandi metropoli, che raramente hanno occasione di verificare come il cielo stellato non sia un fenomeno passeggero legato alle vacanze in montagna (naturalmente per chi se le può permettere). La stragrande maggioranza della popolazione non ha modo di provare la profonda commozione che scaturisce dalla contemplazione di un cielo buio e terso o dal rimirare l'immagine nitida della Luna che pare staccarsi dalla volta celeste, quel contatto diretto con la bellezza e la grandezza dell'universo che probabilmente sono state alla radice dell'espressione di grandi spiritualità.

È sufficiente guardare una fotografia notturna presa da un satellite artificiale per scoprire che l'unica zona del nostro Paese ancora relativamente buia è quella del Monte Pollino in Calabria. Questa è anche la ragione, non la sola, per la quale gli astronomi sono andati alla scoperta dei pochissimi siti sul nostro pianeta adatti ad ospitare le costose apparecchiature essenziali alla ricerca astronomica moderna. Così il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) di 3.5 m di diametro è stato installato presso l'Osservatorio Internazionale del Roque de Los Muchachos a un'altitudine

* Uno dei XL. Dipartimento di Astronomia, Università di Bologna, via Ranzani 1 – 40127 Bologna. E-mail: setti@irce.cnr.it

di 2400 m nell'isola di La Palma (Canarie), dove direttive legislative del governo locale e di quello della Spagna garantiscono il mantenimento di un «buio» astronomico, nonostante la contrapposizione evidente con i forti interessi economici presenti in questo paradiso delle vacanze di massa. Così il Very Large Telescope (VLT), complesso di quattro telescopi ciascuno di 8 m di diametro dell'Osservatorio Europeo per l'Emisfero Australe (European Southern Observatory - ESO), di cui l'Italia è Stato membro, è stato insediato sul Cerro Paranal ad un'altitudine di circa 2600 m sulle Ande Cilene nel deserto di Atacama. Così pure, sempre per citare i grandi telescopi che vedono coinvolto il nostro Paese, il Large Binocular Telescope (LBT), due specchi di 8.4 m di diametro su un'unica montatura, è stato recentemente inaugurato presso l'Osservatorio Internazionale di Mt. Graham (Arizona) ad un'altitudine di circa 3400 m, dove già da vari anni opera il telescopio del Vaticano. Lasciatemi anche citare l'Antartide, dove è stata costruita la base italo-francese Dome C che, per la percentuale bassissima di vapore d'acqua atmosferico, fornisce opportunità eccezionali (condizioni quasi spaziali) per l'osservazione astronomica nell'infrarosso, anche se mi è stato riferito già vi si registrano segni d'inquinamento atmosferico (pulviscolo).

Gli altri fattori che condizionano la scelta dei siti per i telescopi sono, ovviamente, la percentuale annua di giorni e notti sereni e il cosiddetto *seeing* astronomico, cioè il grado di turbolenza dell'atmosfera che condiziona il potere risolutore dei telescopi, e quindi limita la possibilità di studi dettagliati delle strutture degli oggetti celesti. È questa stessa turbolenza che, d'altronde, è responsabile dello scintillio delle stelle, contribuendo in tal modo a una delle immagini più poetiche del cielo. Tuttavia, il ben noto riscaldamento dell'atmosfera, e soprattutto la rapidità con la quale questo avviene, possono portare (a detta degli esperti) a drastici cambiamenti nel clima del nostro pianeta ed a sconvolgimenti nell'assetto idrogeologico. Pertanto i pochi siti ancora oggi eccellenti per l'osservazione con i telescopi, potrebbero non esserlo più in un futuro non troppo lontano, con gravissimo danno per gli investimenti fatti e per la ricerca. Poca cosa, è vero, a fronte di altri danni ambientali ed economici che potrebbero essere subiti dalle popolazioni. Ma forse l'attento occhio astronomico, codificato negli archivi di decenni di osservazioni, può tornare utile, assieme a tutti gli altri strumenti d'indagine della geofisica, a registrare i cambiamenti in atto. Penso, ad esempio, agli osservatori delle Canarie, dove le condizioni favorevoli all'osservazione sono determinate dal flusso laminare dei venti alisei, oppure all'osservatorio di Paranal sulle Ande cilene dove le condizioni meteo sono strettamente correlate con il fenomeno del «El Niño», cioè la rottura del sistema oceano-atmosfera nel Pacifico tropicale con conseguenze importanti sulla meteorologia e sul clima a livello globale. Quindi gli osservatori astronomici, lasciatemi passare questa immagine, come sentinelle sparse sul globo in grado di portare informazioni sullo stato di salute dell'atmosfera.

Un'altra disciplina astronomica, che ha avuto uno sviluppo straordinario dopo la seconda guerra mondiale, è quella della radioastronomia. Questa disciplina ha

completamente rivoluzionato la nostra comprensione dell'universo. Fra le sue tante scoperte quella della radiazione universale, vero pilastro della teoria del «big bang». Se, con un volo della fantasia, ipotizzassimo l'esistenza di esseri intelligenti non vedenti, ma in grado di captare le onde radio, essi avrebbero una visione completamente diversa del cielo, ma non per questo meno affascinante: il Sole, data la sua vicinanza, risulterebbe ancora «abbagliante»; la Via Lattea risulterebbe ancora scolpita in cielo (non più per l'addensarsi delle stelle sul piano galattico, ma per l'emissione della riga alla lunghezza d'onda di 21 cm dell'idrogeno interstellare); il centro della Galassia, non più oscurato dalle polveri interstellari, apparirebbe come una sorgente intensa; fra le galassie risulterebbero prominenti quelle sedi di fenomeni violenti, come le radiogalassie e i quasar, e così via.

Tuttavia, anche in questo caso ci si scontra con il crescente inquinamento dell'ambiente, e precisamente quello che riguarda lo spazio elettromagnetico. In un primo tempo limitato alle radio frequenze, dell'ordine del metro di lunghezze d'onda per intenderci, e che ora, per la fame inarrestabile della società delle comunicazioni, si sta estendendo verso le microonde, dell'ordine del centimetro per intenderci. La battaglia dei radioastronomi per la salvaguardia di alcune bande di frequenza di vitale interesse per la ricerca, sia presso gli organismi internazionali per l'assegnazione delle frequenze sia nell'applicazione nazionale delle direttive, è diventata estremamente ardua a fronte di interessi economici prevaricanti, e che non sempre corrispondono all'interesse collettivo e alla crescita della qualità della vita. Per anni direttore dell'Istituto di Radioastronomia CNR di Bologna potrei intrattenervi a lungo sull'argomento. Vi basti sapere che l'Istituto ancora possiede una stazione mobile fra le più attrezzate in Italia per l'individuazione di emittenti «corsare» che disturbano la ricezione dei propri radiotelescopi. Per far fronte a questa invasione progressiva dello spazio elettromagnetico (radio, TV, telefonia mobile e quant'altro) i radioastronomi hanno inventato e sperimentato tecniche estremamente avanzate per la cancellazione dei segnali spuri prodotti dall'uomo, tecniche fra l'altro adottate anche dai gestori della telefonia mobile per districare l'interferenza dei vari segnali da essa stessa prodotti. Sta di fatto, comunque, che il rumore elettromagnetico di fondo limita la ricezione dei segnali estremamente deboli che ci provengono dalle profondità dello spazio (per dare un'idea, il radiotelescopio «Croce del Nord» ha una superficie d'antenna di circa tre ettari). Pertanto anche i radioastronomi sono alla ricerca di vasti territori semideserti, e quindi ancora poco disturbati, dove collocare i grandi radiotelescopi del futuro, come il progetto internazionale SKA (Square Km Array), la cui area collettrice di circa 100 ettari (e un costo stimato intorno al miliardo di €) potrà permettere indagini essenziali per lo studio dell'evoluzione dell'universo.

Centrale nel Cantico è *Frate Sole*, questa stella che ha consentito lo sviluppo della vita nel sistema solare, o quantomeno sulla Terra. Di grande importanza per l'ambiente sono gli studi sugli effetti dell'interazione Terra-Sole. Fra questi notoriamente, per la loro spettacolarità, quelli dovuti alle tempeste magnetiche sul Sole

con emissione di grandi quantità di particelle cariche che in una decina di minuti raggiungono la Terra e possono determinare serie interruzioni nelle comunicazioni e nel funzionamento delle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Sappiamo anche che le variazioni climatiche a lungo termine sono legate a variazioni degli elementi orbitali della Terra attorno al Sole, cosicché l'ammontare di radiazione solare che raggiunge zone del pianeta in una data stagione può variare anche del 10%. Ma l'aspetto del quale tutti siamo coscienti riguarda il Sole come fonte primaria di energia, e soprattutto, per quanto riguarda i problemi ambientali che ci angustiano (cioè la rapidità con la quale cresce la temperatura dell'atmosfera), come fonte primaria di energia «pulita». In Italia l'utilizzo diretto dell'energia solare è ancora molto limitato, una frazione dello 0.3% dell'attuale fabbisogno che, se non vado errato, è quanto viene ora prodotto da fonti rinnovabili. Un esperto, nel quale ripongo fiducia, mi dice che potremmo arrivare al 20% con un'adeguata politica per la diffusione del fotovoltaico. Il decreto recentemente approvato dal legislatore rappresenta un primo passo in questa direzione.

Gran parte delle fonti energetiche (sia quelle rinnovabili, come le biomasse, l'idroelettrico e l'eolico, sia quelle fossili) sono comunque legate al Sole in modo diretto o indiretto, ad eccezione del nucleare che tuttavia utilizza gli elementi pesanti prodotti nell'esplosione di altre stelle giunte al termine della loro evoluzione, cioè le supernove; questi elementi sono stati disseminati nel gas interstellare a causa delle molteplici esplosioni di supernove, e quindi erano presenti nella nube gassosa che contraendosi ha dato origine al sistema solare.

Il punto cruciale è che il Sole, così come le altre stelle, fornisce energia a bassa entropia, cioè con un contenuto relativamente basso di calore; le piante, attraverso i processi di fotosintesi clorofilliana di separazione del carbonio dall'ossigeno, mantengono bassa l'entropia permettendo la sopravvivenza di esseri organizzati, quali l'uomo e gli animali, e hanno consentito a suo tempo la formazione delle sacche di petrolio, la cui importanza non richiede certamente qui ulteriori spiegazioni. Ed è dalla ricombinazione del carbonio con l'ossigeno nei processi di combustione che viene prodotto il calore poi disperso nell'atmosfera. Potremmo considerare la Terra con la sua atmosfera come una scatola: assorbe la radiazione solare centrata nella banda del visibile e, attraverso tutte le attività che nella scatola avvengono, la espelle attraverso l'atmosfera come radiazione nella banda infrarossa. Siccome l'energia si conserva si ha un enorme aumento di entropia; in altri termini ci sono molti più fotoni nella banda infrarossa che escono dall'atmosfera nell'unità di tempo rispetto a quelli solari di maggior energia (banda ottica) che nell'unità di tempo vi entrano. È quindi la qualità della radiazione solare che conta, naturalmente assieme all'effetto di relativo intrappolamento della radiazione prodotto dall'atmosfera (effetto serra naturale), senza il quale la vita nelle forme a noi note non sarebbe possibile su questo pianeta. È chiaro qui il riferimento al secondo principio della termodinamica e alla freccia del tempo.

Ma qual è l'origine di tutto questo? La prima cosa su cui riflettere è che l'uni-

verso non è in uno stato di equilibrio. Il Sole, così come le altre stelle naturalmente, presenta una temperatura molto maggiore della temperatura media dell'universo. La temperatura della radiazione di fondo universale è di 2.7 gradi assoluti mentre la temperatura della fotosfera solare è di circa 6000 gradi, e questo è essenzialmente il risultato della liberazione di energia gravitazionale nella contrazione della nube gassosa che ha originato il Sole insieme ai rimanenti corpi del sistema planetario. Ciò vale anche, *mutatis mutandis*, per tutte le altre stelle della nostra e delle altre galassie. Quindi è la gravitazione all'origine di questo disequilibrio termodinamico. Ma qual'è l'origine di questo gas diffuso fra le stelle e fra le galassie? L'evidenza osservativa accumulata nel secolo scorso, ed in particolare nella seconda metà di esso, trova una descrizione coerente nel modello del «big bang» caldo, propugnato in particolare dall'abate Lemaître negli anni '30, il suo Atomo Primordiale. Per maggior chiarezza vale la pena di descrivere a grandi linee la cosmogenesi nell'ambito del modello del «big bang».

Nella sua fase infantile l'universo era composto di materia allo stato gassoso e ad altissima temperatura: una parte *barionica* (cioè quella di cui noi, il Sole, la terra, ecc. siamo fatti), costituita principalmente da protoni ed elettroni in stretto equilibrio termodinamico con la radiazione, e circa cinque volte tanto sotto forma di *materia oscura* (la cui natura è ancora altrettanto oscura!) che non interagisce con la materia barionica se non gravitazionalmente. A causa dell'espansione dell'universo gas e radiazione si sono raffreddati e dopo circa 300.000 anni, quando la temperatura era scesa a circa 4000 gradi, protoni ed elettroni si sono ricombinati a formare l'idrogeno (l'elemento di gran lunga più abbondante), e il gas e la radiazione si sono disaccoppiati: non più impedito dalla pressione della radiazione, il gas diffuso in tutto lo spazio ha potuto contrarsi frantumandosi sotto l'azione della forza di gravità indotta dalle fluttuazioni nella densità della materia oscura. Si formano così le galassie e le stelle che le compongono, nonché i nuclei galattici (sedi di buchi neri più o meno massicci, che hanno dato luogo alle radiogalassie e ai quasar con emissioni straordinarie di energia) e gli ammassi di galassie, cioè tutta la pletora di strutture oggetto dell'indagine astrofisica attuale. L'universo è transitato da un'era amorfa e buia a quella della luce prodotta dalle stelle; letteralmente s'è «illuminato» ed è diventato sede di fenomeni evolutivi, spesso violenti, che noi possiamo esplorare e studiare sfruttando la velocità finita di propagazione della luce (poiché registrare i segnali emessi da oggetti situati a grandi distanze significa cogliere il loro stato fisico in epoche antecedenti quella attuale).

Dopo circa 10 miliardi di anni dal «big bang», una nube di gas interstellare in prossimità di un braccio spirale della nostra Galassia si è contratta sotto l'azione della propria gravità formando la *proto-stella* Sole, e attorno a questa un disco ruotante di gas che, a sua volta, si è frantumato dando luogo al sistema planetario, e quindi alla Terra sulla quale si è accumulata l'acqua trasportata dalle comete, essenziale alla vita, così come essenziale per l'evoluzione della stessa vita sul nostro pianeta sono state e sono le mutazioni indotte dai raggi cosmici prodotti nei fenomeni violenti ai quali ho prima accennato.

Il Cielo per noi moderni non è più quello immediatamente familiare e bello di San Francesco. E questo non solo per le difficoltà legate al drammatico cambiamento delle condizioni ambientali delle quali si è prima detto, ma perché secoli di sviluppo della ricerca scientifica hanno condizionato la nostra percezione della volta celeste. È un insieme molto complesso di grandi spazi riempiti di gas estremamente tenui e di oggetti non visibili se non attraverso il prolungamento dei sensi fornitoci dalle nostre apparecchiature; gas e oggetti che possono presentare contorni di inquietante bellezza nelle immagini in falsi colori consentite dalle nostre tecnologie che riproducono le forme rivelate nelle varie bande osservative (infrarosso, ottico, ultravioletto, onde radio, raggi X e gamma). Ma ancora più sconvolgenti e inquietanti sono le osservazioni che ci indicano che la materia di cui noi siamo fatti, e che riveliamo con i telescopi, rappresenta solo il 4-5% di tutta la materia-energia presente nell'universo. La nostra visione del cielo si è dilatata assumendo i contorni del «big bang», regolato dalle leggi fondamentali della fisica, in un quadro unitario, quantunque non ancora compiutamente compreso, nel quale sono impresse le nostre origini. Io credo che in questa avventura della mente umana, tesa verso la conoscenza delle leggi fondamentali che regolano l'universo e della nostra posizione in esso, stia un elevato senso di spiritualità.