



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
123° (2005), Vol. XXIX, t. I, pp. 187-194

LUCIANO MAIANI*

I fuochi dell'Universo e la vita sul Pianeta

*Laudato si, mi Signore, per frate Focu,
per lo quale ennallumini la nocte:
ed ello è bello et iocundo et robustoso et forte.*

Un discorso sul tema del *fuoco* offre la possibilità di illustrare alcuni degli aspetti più interessanti della fisica fondamentale di oggi, ma anche di fare qualche riflessione sul tema dell'energia, un tema di importanza fondamentale per il futuro del nostro Paese e quello del Pianeta Terra.

Vorrei ringraziare, quindi, l'amico Gian Tommaso Scarascia Mugnozza e l'Accademia dei XL per questa occasione, in un quadro denso di emozioni e di significati come il Santuario di Francesco di Assisi.

1. Il Big-Bang

Una delle scoperte più drammatiche del secolo appena passato è che il nostro Universo è nato da un grande fuoco, il fuoco più grande di tutti i fuochi possibili: il Big Bang.

Il primo suggerimento è venuto dalla scoperta di E. Hubble (negli anni 1923-1929), che le galassie si allontanano da noi, e l'una dall'altra, con velocità che cresce proporzionalmente alla distanza: $v=Hd$. Se estrapoliamo all'indietro il moto delle galassie, esse dovrebbero provenire dallo stesso punto nello spazio, da una grande esplosione. Il valore osservato della costante di Hubble, H , colloca l'origine del nostro Universo a circa 12 Miliardi di anni fa (12By).

Nel 1948 George Gamow e i suoi collaboratori, Ralph Alpher e Robert Herman, analizzavano il Big-Bang alla luce delle conoscenze raggiunte dalla fisica atomica e nucleare ed arrivavano ad una conclusione sorprendente: l'esistenza di una radiazione elettromagnetica che riempie tutto il Cosmo, il residuo della grande esplosione. La radiazione era, quando si è formata, ad una temperatura altissima,

* Socio dell'Accademia. Dipartimento di Fisica «G. Marconi», Università degli Studi di Roma «La Sapienza». E-mail: luciano.maiani@roma1.infn.it

dell'ordine di alcune migliaia di gradi, ma oggi si è raffreddata quasi allo zero assoluto a causa dell'espansione.

Nel 1964, R. Penzias ed A. Wilson scoprivano una radiazione diffusa nelle micro-onde (Micro-Wave Cosmic Background Radiation) alla temperatura di circa 3 gradi assoluti ovvero circa -270°C . Era la brillante conferma delle idee di Gamow (a lui si deve il nome suggestivo di Big-Bang) e l'inizio della Cosmologia moderna.

Da dove provengono i fotoni della radiazione cosmica? Ciascuno di essi ha viaggiato fino a noi per 12 Miliardi di anni, quindi è nato da una superficie che possiamo immaginare nel cielo alla distanza di 12 Miliardi di anni-luce. Questa superficie segna, nel passato, il momento in cui elettroni e protoni del plasma primordiale si sono combinati per dare atomi di idrogeno elettricamente neutri, cosa che ha reso l'Universo trasparente alla luce e che permette ai fotoni allora presenti di giungere fino a noi.

Tuttavia la radiazione cosmica non può essere ad una temperatura completamente uniforme, come pensavano Gamow e collaboratori. Devono esserci fluttuazioni di temperatura che segnalano le fluttuazioni di densità dell'Universo primordiale da cui sono nate le strutture che osserviamo oggi: ammassi di galassie, galassie, sistemi solari, sistemi planetari ... Nei decenni scorsi, misure sempre più raffinate hanno cercato di mettere in evidenza queste fluttuazioni.

La prima osservazione delle fluttuazioni di temperatura della MCBR è dovuta all'esperimento su satellite COBE (1992).

A COBE ha fatto seguito un esperimento su pallone effettuato in Antartide, BOOMERANG (2002), con una significativa partecipazione di un gruppo della Università di Roma La Sapienza. Il nostro Dipartimento ha una tradizione di lunga data in queste ricerche, iniziate da Francesco Melchiorri a Firenze, poi trasferite a Roma, in competizione con i ricercatori più all'avanguardia nel mondo, e oggi portate avanti brillantemente dalla sua scuola. BOOMERANG ha permesso di determinare la distribuzione angolare delle fluttuazioni, una misura di fondamentale importanza cosmologica.

Le misure più precise, sono dovute all'esperimento su satellite WMAP, vedi Fig. 1.

Le variazioni di temperatura nel CMBR sono piccolissime, circa qualche parte per milione, che spiega le difficoltà estreme che si sono incontrate per metterle in risalto ... e pone un problema alle teorie cosmologiche. Come ho detto, queste fluttuazioni sono i semi delle strutture di oggi: galassie, ammassi di galassie, etc. Per sviluppare queste importanti strutture nel tempo a disposizione (i 12 By di cui sopra), i calcoli richiedono fluttuazioni dell'ordine di qualche *parte per mille*.

La soluzione più naturale sembra essere che quello che vediamo non sono le fluttuazioni complete: ci dovrebbero essere fluttuazioni mille volte più importanti di una componente di materia che non è sensibile alla radiazione elettromagnetica (la «materia oscura») e che quindi non si vede nel MCBR. Le fluttuazioni nella materia oscura avrebbero per così dire «aperto la strada» alla materia normale nella formazione delle strutture nell'Universo.

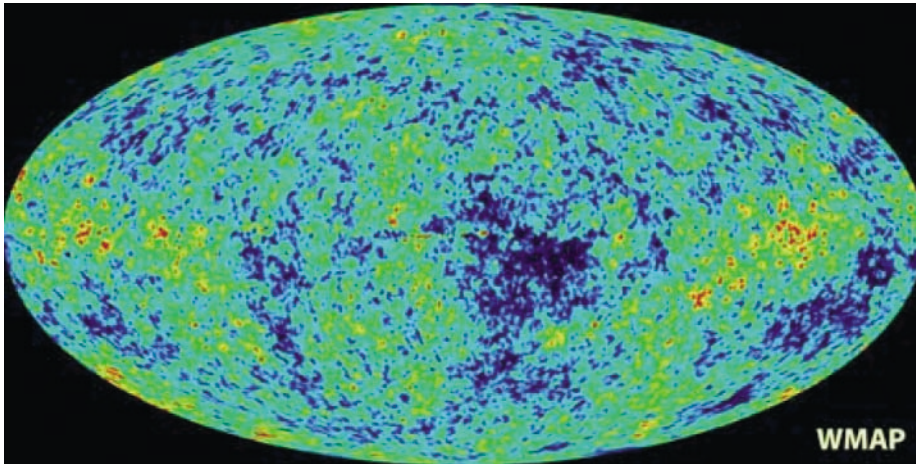


Fig. 1 - Esperimento WMAP (2005). Mappa delle fluttuazioni di temperatura del MCBR. I colori codificano la temperatura: rosso = caldo, blu = freddo.

Altre osservazioni astrofisiche confermano che la materia presente nell'Universo è costituita, in maniera predominante, da materia oscura: probabilmente particelle pesanti elettricamente neutre, residuo dei tempi del Big-Bang quando la temperatura era talmente grande da permettere l'esistenza su grande scala di tutti i costituenti elementari. La materia «barionica», protoni, neutroni e nuclei atomici, insomma i costituenti di cui noi stessi siamo fatti, rende conto solo di circa 1/6 della materia esistente.

La conferma di questa interpretazione dei dati, naturalmente, richiede l'osservazione diretta della materia oscura, uno dei problemi centrali della Fisica delle Particelle di oggi.

L'Universo primordiale è passato attraverso fasi diverse nella sua storia, che sappiamo descrivere fino ad un certo punto. Guardare sempre più lontano nell'Universo equivale percorrere un viaggio nel tempo verso il Big-Bang. Il viaggio presenta delle tappe importanti.

– 300.000 anni dal Big-Bang, si forma l'idrogeno, l'energia rilasciata è un *fuoco chimico*.

Se andiamo più indietro incontriamo un plasma di elettroni e nuclei leggeri, che si è formato a circa:

– 3 minuti dal Big-Bang. L'abbondanza nell'Universo dei nuclei leggeri (He, Li, Be) ci dà informazioni sullo stato dell'Universo stesso a quei tempi. L'energia rilasciata nella nucleosintesi è un *fuoco nucleare*.

– 1 milionesimo di secondo dal Big-Bang: a questi tempi le condizioni erano tali da non permettere nemmeno l'esistenza del protone, l'Universo era riempito da un

plasma costituito da quark leggeri e gluoni, le particelle che legano i quark stessi all'interno del protone e del neutrone. L'energia rilasciata per ricomporre le particelle subnucleari è l'energia legata alle forze subnucleari, un *fuoco adronico*.

Poter descrivere le condizioni della materia alle temperature e densità del plasma di quark e gluoni è conquista recente, resa possibile dal progresso delle conoscenze nella Fisica delle Particelle Elementari. Con le conoscenze acquisite finora, possiamo spingerci fino ad 1/10 di milardesimo di secondo dal Big Bang.

Cosa c'era prima? Possiamo cercare di rispondere spingendo ancora più in alto l'energia delle macchine acceleratrici di particelle. Gli acceleratori di particelle sono vere e proprie *macchine del tempo* che riproducono le condizioni dei primi istanti dell'Universo e ci permetteranno di comprendere le fluttuazioni primordiali da cui si è sviluppato l'Universo come lo conosciamo oggi.

2. Il controllo in Laboratorio delle energie della Natura

L'uomo è riuscito a controllare in laboratorio i tre fuochi esistenti in Natura.

L'impiego dell'energia chimica, il fuoco, ha segnato l'inizio della civilizzazione. L'uso su grande scala del combustibile fossile ha reso possibile la rivoluzione industriale ed il mondo moderno. Non c'è bisogno di ricordare che si tratta di un fenomeno recente, che si è sviluppato in un arco di tempo trascurabile rispetto alla lunga evoluzione della civilizzazione dell'Uomo.

Un grafico del consumo umano di energia da combustione in funzione del tempo si trova in recente discorso di Carlo Rubbia¹ ed è riportata nella Fig. 2. La figura si commenta da sè. I combustibili fossili non sono che un episodio della storia umana, destinati ad esaurirsi in una scala di tempo tutto sommato trascurabile, anche rispetto alla scala dei tempi storici che ognuno di noi ha ben presente alla mente. Il grafico ci richiama al dovere di preparare sin da oggi i mezzi necessari per la sopravvivenza dei nostri figli e nipoti.

Il secolo ventesimo ha visto la conquista del fuoco nucleare: l'energia sviluppata dalla fissione nucleare dell'Uranio e del Plutonio, con il primo reattore nucleare realizzato a Chicago da Enrico Fermi e collaboratori il 2 Dicembre 1942, nonché l'energia derivante dalla fusione dell'idrogeno in nuclei leggeri. Senza dimenticare le circostanze drammatiche in cui il mondo ha appreso dell'esistenza di questa energia nel 1945 (Hiroshima, Nagasaki, la bomba a idrogeno) il controllo delle forze nucleari ed il loro impiego per usi pacifici è una conquista straordinaria, che potenzialmente fornisce all'Umanità i mezzi per superare la barriera dell'esaurimento dei combustibili fossili indicata in Fig. 2. Ne parlerò più estesamente nel prossimo Capitolo.

¹ Carlo Rubbia, *The Future of Energy*, Opening remarks, 18th IAEA Fusion Energy Conference, Sorrento, Italy, 4th October 2000.

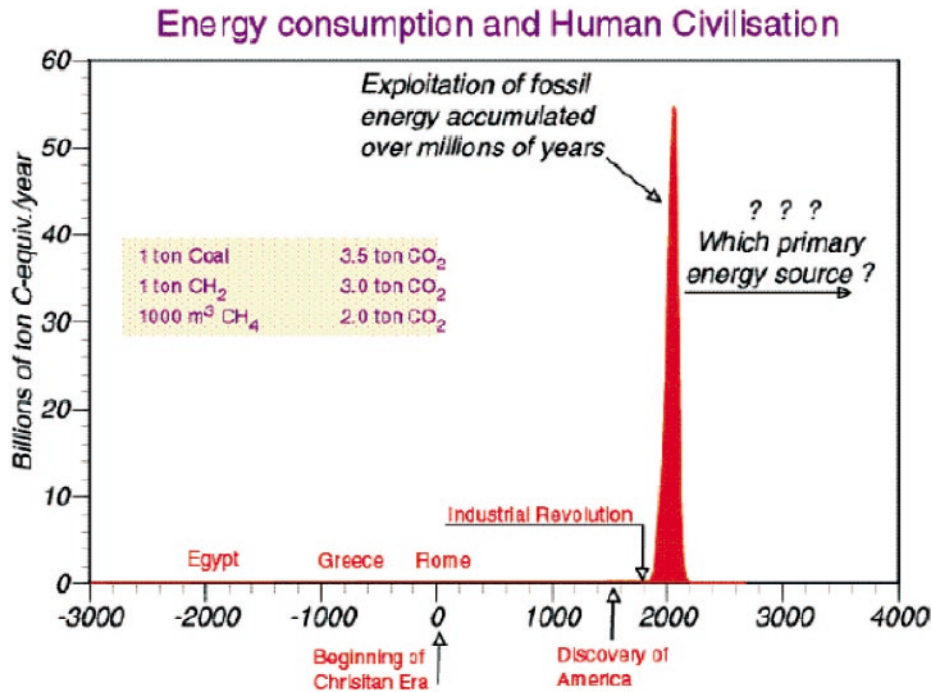


Fig. 2 - Consumo di energia ed evoluzione della civilizzazione umana.

La transizione da un gas di particelle subnucleari (protoni, neutroni, mesoni etc.) ad un plasma di quark e gluoni (Quark-Gluon Plasma, QGP) è stata osservata solo di recente nelle collisioni tra nuclei pesanti di alta energia.

La prima evidenza del QGP è stata ottenuta al CERN di Ginevra con la macchina acceleratrice SPS (nel Febbraio del 2001, ho avuto l'onore di presentare i risultati della campagna di studi effettuati al CERN con la macchina SPS).

Nel 2003, la campagna di studi alla macchina RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider, Brookhaven, USA) ha ottenuto risultati molto abbondanti sulla creazione del QGP, dando inizio allo studio sistematico di questo nuovo stato della materia.

All'aumentare dell'energia disponibile, le condizioni del QGP che possiamo riprodurre in Laboratorio si avvicinano sempre di più a quelle che esistevano nell'Universo, circa 1 milionesimo di secondo dopo il Big-Bang.

Il Large Hadron Collider del CERN (LHC) è un collisore protone-protone di nuova generazione, attualmente in fase di installazione, che entrerà in funzione nel 2007. LHC può accelerare ioni pesanti, oltre che protoni, e ci porterà molto vicino alle condizioni del QGP primordiale. La Fig. 3 mostra una fase dei lavori di installazione di LHC.



Fig. 3 - Lavori di installazione dei magneti superconduttori di LHC (le strutture in blu) nel tunnel sotterraneo del CERN.

3. Il fossato dell'energia

La Fig. 4 mostra una recente statistica dei consumi pro-capite di energia, in alcuni Paesi del mondo².

Lo squilibrio tra paesi avanzati e paesi in via di sviluppo è eclatante. Nel mio recente mandato di Direttore del CERN ho avuto contatti diretti con molti paesi, in particolare in Asia, e posso dire di avere visto di persona il significato della differenza tra il 25 degli USA, il 12 della Unione Europea e del Giappone, e lo 0,8 dell'India o l'1,6 della Cina, in termini di sofferenza, fatica, malattie, ignoranza.

Un fossato profondo, la barriera dell'energia, divide questi Paesi dai nostri. Siamo in molti a pensare che questo squilibrio, prevalentemente Nord-Sud, sia una delle cause principali, se non *la* causa principale, delle tensioni e dei conflitti che oggi affliggono il mondo.

Le quantità di energia che si devono rendere disponibili per colmare il fossato

² World Oil & Gas Review 2004, ENI, Italia, <http://www.eni.it>

Oil

Per capita consumption ■ Consumo pro capite

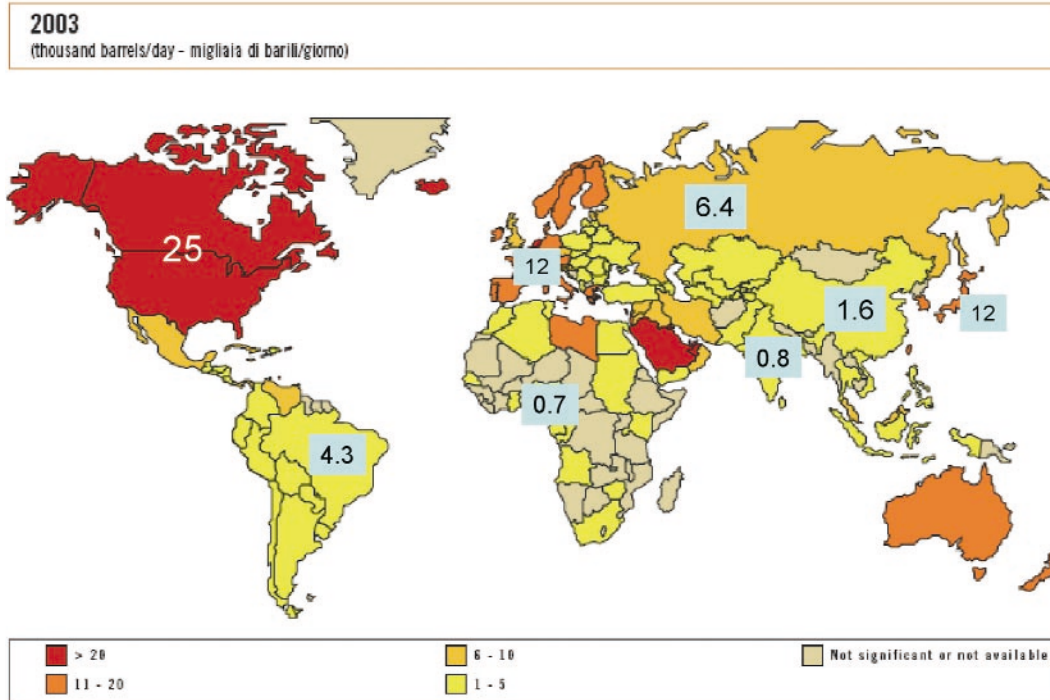


Fig. 4 - Consumi pro-capite di gas e petrolio (migliaia di barili al giorno), Oil&Gas Review, ENI. Dati 2003.

dell'energia tra noi e paesi come la Cina, l'India, il Brasile, sono enormi. Se vogliamo essere realisti e sgombrare il campo da ideologie più o meno *politically correct* ma scientificamente e socialmente infondate, dobbiamo riconoscere che *non si potrà fare a meno dell'energia nucleare da fissione*, almeno nel medio-termine finché non sarà disponibile l'energia da fusione. La scelta del nucleare, in effetti, è già stata fatta in India, in Pakistan e sarà seguita da altri paesi in Asia e in America Latina, che *noi lo si voglia o no*.

Un corollario di questo semplice fatto è che i paesi avanzati, Europa e Italia in particolare, non possono restare fuori dal processo, ma anzi hanno il dovere di guidare la ricerca verso forme più affidabili e meno proliferanti della produzione di energia da fissione, la prevenzione degli incidenti, la gestione ed eliminazione delle scorie nucleari. L'alternativa è un mondo privo di regole in cui i paesi poveri rincorreranno opzioni nucleari «sporche», facendo ricorso a tecnologie arretrate, disponibili sul mercato a basso costo.

L'umanità deve trovare il modo di controllare il fuoco nucleare. La sfida nucleare si può vincere con un impegno dei Governi *a lungo termine* (oggi diremmo «bipartisan») uno sforzo coerente, che abbia presente la posta in gioco e che superi le, pur giuste, riserve che la popolazione nutre nei confronti del «nucleare». È necessaria una nuova politica per:

- investire in educazione e ricerca fondamentale;
- accelerare la ricerca di nuove tecnologie per la produzione di energia nucleare e per il condizionamento dei rifiuti (e.g. trasmutazione con acceleratori);
- riguadagnare la fiducia del pubblico sulla serietà dei controlli di Stato per quanto riguarda la sicurezza degli impianti e la protezione della popolazione.

Questi aspetti sono particolarmente importanti per il nostro Paese, che deve recuperare gravi ritardi.

4. *In conclusione*

Le comunità che si riconoscono in Assisi stanno facendo molto per promuovere la comprensione tra i popoli e la pace nel mondo. Sono convinto che il riequilibrio delle condizioni di vita, e per esse della disponibilità di energia, siano condizioni *sine qua non* per la pace ed il benessere del Pianeta.

La sfida nucleare si può vincere, con maggior consapevolezza dei problemi, più ricerca, e un impegno a lungo termine dei Governi. Politica energetica e riequilibrio delle condizioni di vita sulla Terra sono questioni troppo serie per essere affidate esclusivamente alle forze del mercato.