

## **Robert Bussard e il futuro della fusione nucleare**

*Le ricerche di un illustre fisico americano promettono di risolvere una volta per tutte, e nel rispetto dell'ambiente, i problemi energetici della Terra, e di rendere finalmente possibile l'esplorazione umana del sistema solare*

*2008 Nembo Buldrini*

Caratteristica quasi immancabile di una nave della flotta stellare sono i famosi *collettori di Bussard*, riconoscibili dalle pittoresche calotte rosse presenti nella parte anteriore delle gondole di curvatura. Questi dispositivi traggono ispirazione da un concetto di motore spaziale risalente al 1960, quando il fisico *Robert W. Bussard* descrisse la possibilità di utilizzare un campo magnetico per raccogliere l'idrogeno interstellare, comprimerlo e convogliarlo in un reattore nucleare, per produrre l'energia necessaria alla propulsione di una navicella. A questo concetto futuristico è stato dato il nome di *ramjet* interstellare, per la sua somiglianza con un tipo di motore supersonico per velivoli atmosferici, nel quale è l'aria ad essere compressa per effetto della velocità di avanzamento e, miscelata assieme al combustibile, utilizzata per generare spinta.

Nato nel 1928, il Dr. Robert Bussard ha dedicato la sua carriera allo studio di sistemi nucleari per la produzione di energia e per la propulsione spaziale. È stato vice direttore dell'*United States Atomic Energy Commission (AEC)*, nell'ambito della quale, insieme al direttore Robert Hirsch, ha dato vita al principale programma di ricerca sulla fusione nucleare negli Stati Uniti. Nel 1984 ha fondato, insieme alla moglie Dolly H. Gray, l'*Energy Matter Conversion Corporation (EMC<sup>2</sup>)*, una compagnia che si occupa di tecnologie di frontiera nel campo dell'energia. Nel corso degli ultimi 20 anni, ha portato avanti un progetto di ricerca per lo sviluppo di un tipo speciale di reattore a fusione nucleare che, se condotto a termine secondo le sue aspettative, potrebbe aprire le porte ad un'esplorazione spaziale veloce ed efficiente e, cosa certo non meno importante, risolvere una volta per tutte i problemi di fabbisogno energetico dell'intero pianeta Terra.

Attualmente, come si sa, la maggior parte dell'energia di cui ci serviamo viene prodotta bruciando combustibili fossili. Ciò presenta un gran numero

di effetti collaterali ormai ben noti, come l'emissione di sostanze inquinanti, che causano piogge acide e mutamenti climatici a lungo termine. Per di più, la corsa all'approvvigionamento di questi combustibili porta sovente a conflitti politici ed instabilità economiche. E non dimentichiamo che le riserve sul nostro pianeta sono molto limitate: la produzione di petrolio subirà un declino inesorabile già a partire dal prossimo decennio e, considerando l'attuale incremento del tasso di consumo, i giacimenti mondiali sembrano destinati a prosciugarsi entro i prossimi cento anni.

Per fortuna esistono alcune alternative. Per esempio le fonti rinnovabili, tra le quali spiccano l'energia solare e quella eolica. Ma esse, da sole, - se si escludono inaspettati sviluppi - sono in grado di produrre solo una frazione dell'energia di cui abbiamo bisogno.

C'è poi il nucleare. E qui occorre fare un'importante distinzione. Esistono, infatti, due metodi per produrre energia dal nucleo. Ed essi sono, in un certo senso, diametralmente opposti. Uno è chiamato *fissione*, ed è quello attualmente sfruttato nelle centrali nucleari. In esso, il nucleo di un elemento pesante, per esempio l'uranio, viene scisso in due nuclei più leggeri (di qui il termine 'fissione'). Durante questo processo si libera una grande quantità di energia utile, nonché radiazioni e prodotti radioattivi. Si liberano anche neutroni, che come proiettili causano a loro volta la scissione di altri nuclei di uranio (reazione a catena). La reazione si autosostiene, dunque, e deve essere controllata mediante particolari accorgimenti, altrimenti la produzione di energia procederebbe in maniera catastrofica, causando l'esplosione del reattore, come è avvenuto nel caso di Chernobyl. Sebbene le moderne centrali nucleari siano costruite in modo da renderle immuni da malfunzionamenti ed incidenti con ripercussioni ambientali, resta sempre il problema delle scorie radioattive. Recentemente sono stati escogitati metodi sicuri e razionali per lo stoccaggio di questi materiali pericolosi. Nonostante ciò, il solo fatto che vengano prodotte sostanze potenzialmente dannose ha contribuito a rendere i reattori a fissione impopolari e disprezzati dall'opinione pubblica.

L'altro metodo esistente per estrarre energia dal nucleo è chiamato *fusione nucleare*. Esso presenta numerosi vantaggi rispetto alla fissione, primi fra tutti l'intrinseca sicurezza di funzionamento del reattore (assenza di reazioni a catena) e la ridotta (se non inesistente) produzione di scorie radioattive. Inoltre, il combustibile principale utilizzato per la fusione, il deuterio (idrogeno "pesante"), è di facile ed estesa reperibilità, visto che si può ricavare direttamente dall'acqua.

Eppure, nonostante decenni di intensa ricerca, non si è ancora riusciti a sviluppare un reattore a fusione funzionante in maniera continuativa per la produzione di energia.

Ma vediamo di capire cos'è realmente la fusione nucleare e perché è di così difficile implementazione pratica.

Tra i processi naturali che consentono la produzione di energia, quello della fusione è senza dubbio uno dei più diffusi nell'universo. Basta alzare lo sguardo al cielo: la luce prodotta da tutte le stelle del firmamento (compreso il nostro Sole) trae origine da differenti processi di fusione nucleare. La fusione nucleare avviene quando due nuclei atomici leggeri sono portati sufficientemente vicini in modo che possa avvenire la reciproca fusione in un unico nucleo. Detta così sembrerebbe un'operazione piuttosto semplice. Dove sta dunque la difficoltà? Innanzitutto i nuclei atomici hanno carica positiva; di conseguenza, due di essi, essendo dotati della stessa carica, tendono a respingersi sempre di più a mano a mano che li si avvicina. E' un po' come quando si cerca di far combaciare due calamite che si respingono. Ciò potrebbe far pensare che sia impossibile procedere alla fusione dei nuclei, visto che la forza di repulsione aumenta sempre di più col diminuire della distanza. Per fortuna esiste un altro tipo di forza, che entra in gioco quando le distanze tra i nuclei diventano piccolissime: è la cosiddetta forza nucleare forte. Questa forza, sulle piccole distanze, è talmente elevata da superare la forza di repulsione elettrostatica e consentire l'aggregarsi di particelle dotate di carica dello stesso segno.

Una volta che due nuclei leggeri si sono fusi, si riscontra che la massa del singolo nucleo così ottenuto è minore della somma delle masse dei nuclei prima della fusione. Che fine ha fatto dunque la massa mancante?

Ebbene, si è trasformata in energia, secondo la famosa legge  $E=mc^2$ ! E siccome il numero  $c^2$  (velocità della luce al quadrato) è un numero molto grande, basta una piccola quantità di massa mancante per dare origine ad un'enorme quantità di energia.

Per portare due nuclei talmente vicini da far sì che la forza nucleare forte prenda il sopravvento sulla repulsione elettrostatica, occorrono temperature e densità elevatissime. Nelle stelle tali condizioni vengono raggiunte grazie all'azione della forza di gravità: il peso degli strati esterni di una stella preme sul nucleo (inteso qui come il centro della stella), creandovi lo stato critico per l'innesco del processo di fusione. La luce accecante del Sole, è prodotta quindi nel cuore della nostra stella sotto forma di energia nucleare, la quale raggiunge la superficie solo dopo essersi fatta strada attraverso densi strati di gas.

Visto che qui sulla Terra non siamo ancora in grado di generare e controllare la forza di gravità, dobbiamo fare affidamento su altre forze della natura che sappiamo gestire meglio, come quelle elettromagnetiche.

Un campo magnetico generato da giganteschi elettromagneti superconduttori può essere utilizzato per confinare in uno spazio toroidale (a forma di ciambella) una certa quantità di gas ad altissima temperatura composto dagli elementi che si vogliono utilizzare per la fusione. Alle macchine che si basano su questo principio viene dato anche il nome di *tokamak*. Il gas si troverebbe in uno stato di plasma, dotato di una temperatura così elevata che nessun materiale potrebbe contenerlo senza disintegrarsi; di qui la necessità di utilizzare un campo di forze immateriale. Il sistema a confinamento magnetico, tuttavia, presenta innumerevoli inconvenienti. Le reazioni attuabili con questo metodo generano una grande quantità di neutroni veloci, che non possono essere schermati dai campi magnetici e che porterebbero ad un sicuro danneggiamento del reattore. Quando un neutrone veloce colpisce la materia, oltre a causarne il deterioramento, vi induce anche radioattività. Lo sviluppo di uno schermo capace di arrestare i neutroni in maniera efficace è dunque di vitale importanza per la realizzazione di un reattore durevole. Inoltre, il plasma ad alta temperatura disperde una enorme quantità di radiazione dovuta al movimento spiraleggiante delle particelle

confinare dal campo magnetico ed ai loro reciproci urti: questa radiazione, sebbene facilmente schermabile, provoca delle perdite di potenza intollerabili, che portano ad un bilancio negativo tra energia immessa nel sistema ed energia utile prodotta.

Eppure, la quasi totalità della ricerca attuale sulla fusione nucleare è incentrata su questo approccio, che tarda a dare frutti e che, a detta persino di chi ci ha direttamente lavorato, presenta problemi di base che sembrano addirittura irrisolvibili. Su di esso si basa il progetto denominato *ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)*, nel quale si stanno investendo fior di quattrini. La sua realizzazione, secondo i piani, sarà portata a termine entro 2016 e verrà a costare la bellezza di 15 miliardi di dollari. Esso è solo un progetto pilota, che servirà cioè a studiare alcuni aspetti del processo di fusione e che – forse – porterà alla realizzazione di una centrale vera e propria fra 30-40 anni.

Un altro metodo di confinamento è quello elettrostatico (in gergo inglese *Inertial Electrostatic Confinement*, o *IEC*). Ed è questa la strada seguita da Bussard. In questo caso viene impiegato un campo elettrico (prodotto, per esempio, da una griglia carica a forma di sfera) per tenere insieme i gas di reazione e far loro raggiungere le condizioni di fusione. Un campo elettrico può assumere la stessa forma di un campo gravitazionale, in cui la forza punta sempre verso il centro (cosa che non si applica ad un campo magnetico), ed è perciò possibile ottenere un tipo di confinamento sferico, che più si avvicina a quello che si realizza naturalmente in una stella. I vantaggi di questo approccio sono molteplici. Per prima cosa, vengono eliminate le caratteristiche negative tipiche dei tokamak, quali le grandi perdite per radiazione e l'uso di pesanti ed enormi elettromagneti per il confinamento. Quest'ultimo fattore consente di ridurre drasticamente il peso e l'ingombro del reattore e ne fa un candidato ideale per l'impiego su veicoli aerospaziali, dove il fattore massa deve essere mantenuto entro certi limiti.

Inoltre, un reattore a confinamento elettrostatico può essere configurato in modo da produrre direttamente elettricità, senza passaggi intermedi e perdite di energia, sfruttando un tipo di reazione particolare che genera energia sottoforma di particelle cariche veloci. Queste particelle possono

essere raccolte da apposite griglie collettrici, dando origine ad un flusso continuo di corrente elettrica ad alto voltaggio.

Questo tipo di reazione possiede un'altra caratteristica rimarchevole: non genera neutroni (è chiamata fusione *aneutronica*), né scorie radioattive! L'unica sostanza di scarto è l'elio, un gas inerte (e peraltro molto utile per l'industria). Gli elementi impiegati per la fusione sono l'idrogeno e il boro, entrambi facilmente ricavabili dall'acqua di mare. Le scorte presenti nell'oceano sarebbero sufficienti per sostenere il nostro fabbisogno energetico per un miliardo di anni, e non sarebbero oggetto di monopolio da parte di potenze politiche o economiche.

L'energia prodotta dai reattori a fusione, porterebbe anche ad una rivoluzione nel campo dei trasporti terrestri, perché consentirebbe di produrre combustibili ecologici (idrogeno e alcol etilico) a costi ridotti, eliminando la dipendenza dal petrolio e riducendo a zero l'emissione di gas inquinanti. Permetterebbe anche la costruzione di impianti per la desalinizzazione dell'acqua di mare ad un cinquantesimo del costo attuale, favorendo lo sviluppo dell'agricoltura in regioni ora desertiche (in Arabia Saudita, per esempio).

Parlando delle applicazioni in ambito spaziale, la fusione di Bussard renderebbe possibile l'esplorazione umana del nostro sistema solare. Sia i costi, sia i tempi di viaggio verrebbero abbattuti. Mettere in orbita un solo chilogrammo di carico utile costa oggi ben 5000 dollari. Impiegando un motore a fusione, il costo si ridurrebbe a meri 25 dollari al chilo. Arrivare su Marte richiederebbe un viaggio di sole tre settimane, mentre per raggiungere Titano, la maggiore luna di Saturno, occorrerebbero 76 giorni (un tempo irrisorio, se si confronta con i 3-4 anni impiegati dalle sonde Voyager). Rimanendo più vicino a casa, i viaggi sulla Luna diverrebbero routine, e permetterebbero l'installazione di colonie permanenti sul nostro satellite naturale.

Naturalmente anche la fusione a confinamento elettrostatico non è esente da difficoltà di realizzazione pratica, altrimenti saremmo già circondati da centrali a fusione perfettamente funzionanti. Uno dei punti deboli è costituito dalle griglie utilizzate per il confinamento del combustibile, le

quali, colpite incessantemente dalle particelle ad alta energia, si surriscaldano e portano ad enormi perdite di potenza. Bussard ha deciso di risolvere il problema eliminando le griglie e sostituendole con una barriera di elettroni a formare una griglia virtuale che, essendo immateriale, non dà origine a perdite per urto. Affinando questo concetto nel corso degli anni con simulazioni ed esperimenti, Bussard ed il suo team sono riusciti a dimostrare la validità e la consistenza di questa nuova soluzione.

Il prof. Bussard ha tenuto nel Novembre 2006 una conferenza sponsorizzata da Google (sì, il motore di ricerca!) in cui per la prima volta ha reso noti al grande pubblico i risultati degli esperimenti conseguiti durante gli ultimi 11 anni. Ciò non era stato possibile prima, a causa di un embargo sulle pubblicazioni imposto dall'U.S. Navy, la principale fonte di finanziamento del progetto (nonostante ciò, durante quel periodo Bussard riuscì a pubblicare una serie di otto articoli su come rendere pratico ed economico il volo spaziale utilizzando reattori a fusione).

Ora che non esiste più alcuna restrizione sulla divulgazione dei risultati, è prevista la pubblicazione di un corposo dossier tecnico, con tutti i dettagli riguardanti gli esperimenti. Qualcosa di parziale è già stato presentato da Bussard alla "57th International Aeronautical Conference", tenutasi dal 2 al 6 Ottobre 2006 in Valencia, Spagna.

Diventando di dominio pubblico, come si conviene ad una ricerca scientifica degna di questo nome, si spera che lo studio condotto da Bussard e collaboratori venga preso in seria considerazione dall'establishment scientifico. Certo, gli ostacoli sono tanti, primo fra tutti l'inerzia tipica della macchina scientifico-economica, dove l'interesse di diversi gruppi di persone viene messo a serio rischio. Ciò, a sua volta, crea diffidenza in eventuali finanziatori, che si trovano dinnanzi al dubbio amletico se investire o no per primi in un progetto decisamente costoso. Parlando di costi, comunque, lo stesso Bussard fa notare che mentre per la ricerca sui tokamak sono stati spesi, solo in USA, 18 miliardi di dollari (e senza ottenere risultati che indichino serie prospettive per il futuro), la realizzazione di un reattore "alla Bussard" dimostrativo da 40 Megawatt verrebbe a costare 200 milioni di dollari (circa 100 volte di meno!).

Tra i paesi che vengono citati da Bussard come possibili candidati per lo sviluppo del reattore a fusione compare anche l'Italia. Per quale ragione? Beh, un ottimo motivo potrebbe essere che attualmente l'Italia produce solo il 14% dell'energia che consuma; il resto viene importato dall'estero. La disponibilità di una risorsa di energia economica e praticamente illimitata ci libererebbe dalla dipendenza energetica, favorendo lo sviluppo del paese su tutti i fronti.

Per concludere, possiamo senz'altro affermare che Robert Bussard, con le sue ricerche, ha compiuto un importante passo verso la realizzazione del sogno di Gene Roddenberry. L'energia a basso costo prodotta dal suo reattore a fusione porterebbe ad un sereno ed omogeneo sviluppo dell'umanità, nella salvaguardia del nostro pianeta, eliminando una volta per tutte i conflitti per l'approvvigionamento delle risorse. Il motore spaziale a fusione, poi, offrirebbe la possibilità di esplorare il nostro sistema solare non solo con le sonde, ma anche con equipaggi umani, aprendo le porte alla colonizzazione umana dello spazio.

Robert Bussard è venuto a mancare solo pochi mesi fa, il 6 Ottobre 2007, all'età di 79 anni, lasciando una ricca eredità di risultati sperimentali e di entusiasmo. Due mesi prima della sua morte, anche grazie alla pubblicità prodotta da Google e da pubblicazioni varie, nonché da numerosi riconoscimenti conferitigli negli ultimi anni, sono stati stanziati ulteriori finanziamenti, che permetteranno al suo team di portare avanti questa importante e promettente ricerca.

#### Riferimenti:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Robert\\_W.\\_Bussard](http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_W._Bussard)

<http://www.askmar.com/ConferenceNotes/Should Google Go Nuclear.pdf>

<http://www.askmar.com/Robert Bussard/2007-10 Robert Bussard Interview.pdf>

Video conferenza di Bussard: <http://video.google.com/videoplay?docid=1996321846673788606>