

L'ANTIMATERIA SARÀ LA BENZINA INTERSTELLARE

Oggi costerebbe 25 miliardi di dollari al grammo e non si saprebbe come immagazzinarla e utilizzarla. Ma domani, chissà... Qualche pagina da "Il mistero delle sette sfere", il nuovo libro di Giovanni F. Bignami, presidente dell'Istituto Nazionale di Astrofisica

Per affrontare un viaggio interstellare l'*Homo sapiens* avrà bisogno di un'astronave che corra a molte migliaia di km/s, cioè una frazione già misurabile della velocità della luce, una frazione il più grande possibile. Anche così ci vorrà molto tempo ad andare (e forse tornare?) anche solo ad Alpha Centauri, o Epsilon Eridani o Tau Ceti. Ma almeno abbiamo un progetto nel quale possiamo pensare (sognare) di imbarcarci, magari contando su due generazioni a bordo... Volutamente, lasciamo nel vago i tempi. Vediamo solo come fare, concettualmente, a spingere un'astronave (che immaginiamo con una massa di qualche migliaio di tonnellate) ad una frazione significativa della velocità della luce. La risposta è: annichilazione di materia-antimateria.

L'idea di usare l'antimateria come sorgente di energia per un veicolo spaziale circola da molto tempo. E la cosa non deve sorprendere: l'annichilazione di una particella di quella che noi (inguaribili antropocentristi) chiamiamo «materia» (elettrone, protone...) e della sua omologa fatta di antimateria (positrone, antiprotone...) ha il più alto rapporto attualmente conosciuto in fisica tra l'energia prodotta e la massa utilizzata. «Annichilazione», in questo caso, vuol proprio dire che quando materia e antimateria si incontrano, entrambe spariscono e ne resta l'equivalente in energia, secondo la equazione di Einstein: $E = mc^2$. E proprio la moltiplicazione per quel numero grande che è la velocità della luce, c , per di più messa al quadrato, fa subito capire che anche una piccola quantità di massa può dar luogo a tantissima energia. Naturalmente, c'è un problema, anzi, ce ne sono diversi.

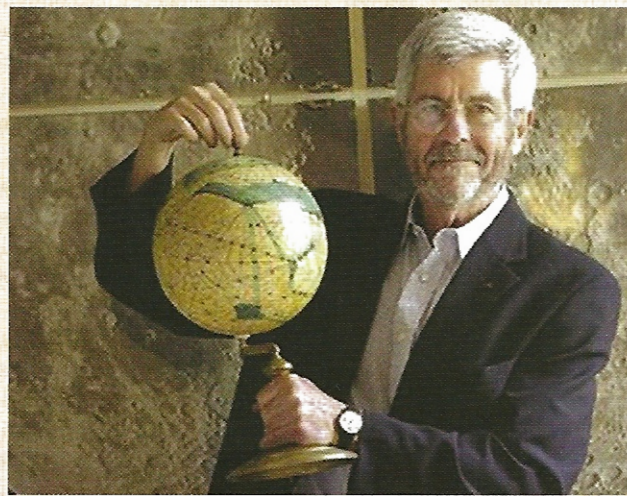
Anzitutto, l'energia di cui parla l'equazione di Einstein viene emessa soprattutto in forma di radiazione elettromagnetica, cioè fotoni, con una lunghezza d'onda legata allo specifico processo considerato (elettrone-positrone, protone-antiprotone, ecc.). Si tratta però di raggi gamma, fotoni difficili da sfruttare, insieme ai quali vengono create anche particelle cariche per lo più instabili (ad esempio mesoni) e particelle neutre, anch'esse difficili da sfruttare. E poi anche un sacco di neutrini, che portano via energia e non servono a niente. E quindi, per sfruttare l'annichilazione, energeticamente efficientissima, devo subito immaginare cosa farmene di tutta quell'energia in raggi gamma e particelle, meglio se cariche, e non è facile. I neutrini, invece, meglio lasciarli perdere.

Un secondo problema, forse ancora più grave, viene dalla difficoltà di produrre antimateria, che purtroppo non si trova in giro, neanche sottoterra, come il petrolio per produrre la benzina o l'uranio per generare la fissione, o nell'acqua, come idrogeno e deuterio per creare la fusione. Per produrre antimateria bisogna usare tantissima energia.

Sulla nostra Terra, fatta di normalissima materia, l'unico modo è far «nascere» l'antimateria usando il processo opposto all'annichilazione: la creazione (in parti uguali) di materia e antimateria dall'energia. È una condizione molto difficile da raggiungere, che richiede di accelerare particelle (di materia) a energie altissime, poi farle sbattere (cioè, più elegantemente, interagire) e sfruttare i prodotti dell'interazione, tra i quali c'è la preziosissima antimateria. Si può fare, lo sappiamo

Presidente dell'Inaf, Istituto nazionale di astrofisica, Giovanni Fabrizio Bignami è uno scienziato da sempre molto attento alla divulgazione. "Il mistero delle sette sfere" (Mondadori, 240 pagine, 17,30 euro) è il suo ultimo libro: qui ne presentiamo qualche pagina tratta dall'ultimo capitolo per gentile concessione dell'Autore e dell'Editore.

"Il mistero delle sette sfere" racconta la straordinaria storia passata, presente, ma soprattutto futura, dell'esplorazione umana, scandita attraverso sette sfere concentriche (dalla più vicina alla più distante dalla Terra). Ci accompagnano in questo viaggio, tra finzione e realtà, due guide d'eccezione: Jules Verne e Wernher von Braun. Si parte dalla sfera 0, quella della superficie terrestre, dove oggi rimane ben poco da scoprire. È invece quasi tutta da esplorare la sfera -1, o dell'Oceano, con i suoi tesori e i suoi misteri. E lo stesso vale per la sfera -2, il centro fuso della Terra. Allontanandoci dal nostro pianeta, ecco la sfera +1, quella del cielo a 300 km sopra di noi, dove orbita la Stazione spaziale. Le tappe successive, le sfere +2 e +3, sono quelle della Luna



Giovanni F. Bignami, presidente dell'Inaf, Premio "le Stelle" 2012.

e di Marte. Infine, l'ultima sfera, + 4, o "delle stelle fisse", fino ad Alpha Centauri, a cui arriveremo con velocità pari a una frazione della velocità della luce. Oggi non sappiamo come andarci, ma sappiamo perché andarci: per trovare un pianeta simile alla Terra, la Nuova America.

Bignami si è laureato in fisica all'Università di Milano ed è professore ordinario di astrofisica all'Università di Pavia. Esplorazione spaziale e astrofisica delle alte energie sono i settori nei quali ha svolto gran parte della sua ricerca. È stato direttore scientifico dell'Agenzia spaziale italiana, del Centro di studi spaziali di Tolosa, presidente dello Space Science Advisory Committee dell'Agenzia spaziale europea. Nel luglio 2010, dopo una selezione mondiale, è stato eletto (primo italiano), presidente del Comitato Mondiale per la Ricerca Spaziale (Cospar).



fare, ma è un processo per ora lento, scarsamente efficace e costosissimo.

Un terzo problema, non meno grave dei precedenti, è cosa fare della antimateria una volta creata. Questo non è un romanzo di Dan Brown, non possiamo permetterci (troppi) voli di fantasia e inventare una specie di thermos magnetico o giù di lì da riempire di antimateria. Come è ormai chiaro, mettila a contatto con la materia di un qualsiasi contenitore «terreno», e *puff!*, l'antimateria (e un po' di materia) non c'è più. Quindi bisogna inventarsi diavolerie basate sul vuoto, sul freddo e sui campi magnetici per tenerla quasi ferma, senza niente intorno e in qualche modo «levitante»... e per fortuna che parliamo di antimateria carica, tipicamente antiprotoni o positroni.

Insomma, creare, conservare e usare l'antimateria come forma di energia è difficilissimo (e quindi costosissimo). Del resto,

che l'antimateria, pur così energeticamente efficiente, non sia facile da usare, lo si capisce subito: non ci abbiamo ancora fatto una bomba, da tirare in testa agli «altri» (chiunque essi siano, bisogna ben inventarseli per fabbricare le bombe...). Sarebbe stato logico aspettarsela una bomba ad antimateria: l'*Homo sapiens* ha subito fatto bombe, dopo la scoperta delle reazioni chimiche nella polvere da sparo o nella dinamite, ovvero delle reazioni fisiche nell'uranio (bomba atomica) o nell'idrogeno-deuterio (bomba H). Tutte fonti di energia grazie alle quali, appena possibile, il nostro *sapiens* fa: *un, due, tre: BOOM!!*, con risultati più o meno spettacolari, sempre micidiali e in un continuo crescendo. Ma non disperiamo (mi rivolgo a eventuali lettori guerrafondai): anche al momento di costruire la prima bomba atomica l'impresa di produrre abbastanza uranio 235 con purezza *bomb-grade*, cioè

adatto a costruire una bomba, sembrava impossibile. Si trattava di estrarre dalla massa di uranio naturale, composta soprattutto dall'isotopo 238, quello 0,7% circa che è l'isotopo 235. Il metodo di estrazione sembrava, letteralmente, procedere atomo per atomo, e prima di arrivare ad avere i chili necessari a una massa critica ce ne vogliono di atomi... Invece, in circa due anni si riuscì perfettamente, ed era la prima volta.

Quindi, anche la produzione massiccia di antimateria, se diventasse di vero interesse per scopi militari, potrebbe giungere ad una importante svolta. Fabbricare una superbomba per poter costruire astronavi, allora? No, grazie, cerchiamo di imparare dagli errori del passato. Studiamo come sfruttare l'antimateria come forma potenzialmente fantastica di sorgente energetica, e anche per farci l'esplorazione interstellare, ma finiamola lì.



Per ora l'antimateria al CERN (Ginevra) e al Fermilab (Usa) si produce in quantità irrisorie. Ma domani?

Vediamo allora come si può pensare di adoperare questo carburante assolutamente magico (ma vero), dal quale possiamo aspettarci efficienze enormi. Per ogni grammo di antimateria, la sua annichilazione produce un miliardo di volte più energia di un grammo di benzina e mille volte di più di un grammo di uranio in un reattore a fissione. Sembra proprio il carburante giusto per viaggiare lontano, cioè per andare molto veloci.

Ci sono modi diversi di sfruttare il processo di annichilazione. Il più facile (un po' banale) è una specie di locomotiva a vapore: si scalda un qualunque fluido con l'energia di annichilazione e poi si usa questo fluido caldo come propulsore per l'astronave. Le velocità ottenibili in questo modo (meno di 100 km/s) sono paragonabili al motore Rubbia a fissione: eccellenti, ma non interstellari, e comunque il motore Rubbia è infinitamente più facile da realizzare e molto meno costoso. Questo metodo di sfruttare l'annichilazione, purtroppo, non ci può interessare, se vogliamo andare a trovare E.T. Un altro sistema usa gli antiprotoni per «catalizzare», in qualche modo, reazioni di fissione nucleare sparando antiprotoni nell'uranio. Le reazioni di fissione, a loro volta (ed ecco emergere la tradizione militare in questi studi!) vengono usate per innescare la fusione con deuterio-trizio, e una volta accesa la fusione, la nave va... a poco più di 100 km/s, però. In alternativa, si salta il primo stadio «bomba atomica» per passare subito ad innescare la fusione. Questo metodo (più di tipo Diesel che di vaporiera) permette di ottenere velocità più alte del precedente, tipiche dei motori a fusione (1000 km/s) ma sembra solo un modo complicato di ottenere la fusione. Forse non vale la pena.

E il consumo? Interessante però, per questi ultimi due casi. Riguardo al primo (innesco fissione-fusione), sono stati fatti calcoli precisi: per portare un carico utile di 100 tonnellate fino a Giove e ritorno, in un anno bastano 10 microgrammi (millesimi di grammo) di antimateria. Con il secondo (innesco solo fusione) si potrebbe immaginare un giro per la nube di Oort (la nube di comete di lungo periodo, ai confini del Sistema solare) e ritorno, in 50 anni (!) con 100 microgrammi del preziosissimo carburante. Non male, ma teniamo a mente il problema consumi: l'antimateria è di gran lunga la «cosa» (o l'anticosa?) più costosa che esista.

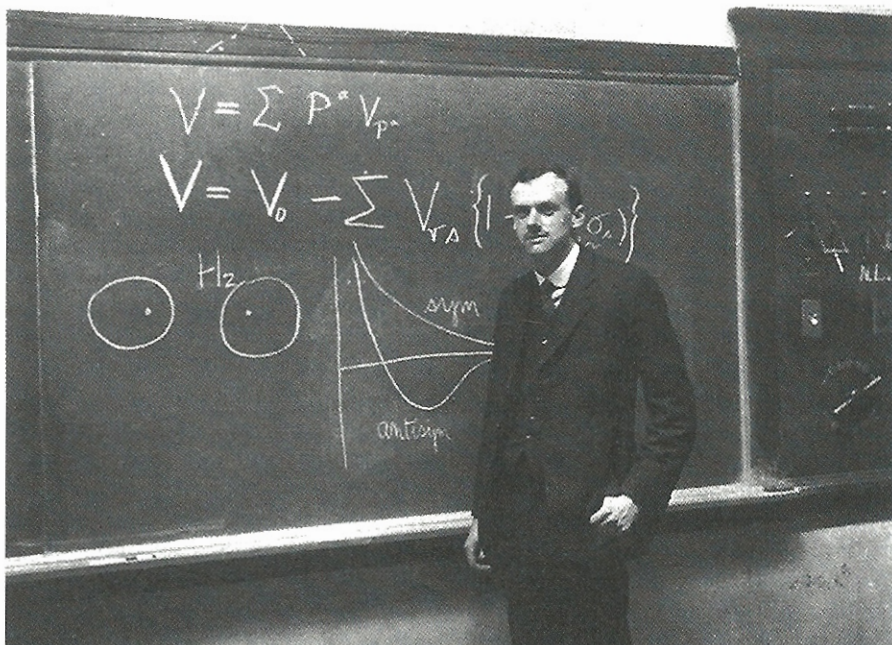
Veniamo ora al metodo più promettente per lo sfruttamento di antimateria nella propulsione spaziale, che è anche quello più studiato e progettato in dettaglio ormai da più di un ventennio. Si chiama «beamed core», ovvero a nucleo irradiato. Qui il segreto è che si saltano tutti gli intermediari e si sfruttano, direttamente, i prodotti dell'annichilazione. O meglio, si sfruttano quelli più facili, cioè le particelle cariche. Queste vengono create a velocità vicine a quella della luce, dopodiché tutto il segreto consiste nel cercare di farle uscire proprio con queste alte velocità, ben collimate, se possibile, dall'ugello

di scarico del razzo. La chiave sta nella collimazione, da realizzare con un ugello magnetico, che fino a poco fa sembrava ancora tutto da inventare.

Invece, con brillanti lavori di ingegneria fisica alla Kent State University (Ohio), basati su simulazioni al computer, si sta arrivando oggi a progettare un ugello magnetico realistico ed efficiente: lungo quattro metri e largo uno e mezzo, sembra fatto apposta per un'astronave. Con valori di campo magnetico già ottenibili oggi (meno di 200 tesla, bazzecole per gli amatori del genere), la configurazione proposta arriva a efficienze quasi del 40%, assolutamente interessanti. Insomma, tutto l'ugello, cioè la parte essenziale del motore, potrebbe già essere costruita oggi.

Attenzione attenzione: con questo progetto, la velocità delle particelle espulse sarebbe uno sbalorditivo 0,7 c, e 0,7 della velocità della luce: significa 210.000 km/s!

Calma, però. Questo non significa la stessa velocità per l'astronave. Ci sono molti fattori da considerare, come la massa da trasportare sotto forma sia di carico utile sia di carburante, e poi ci sono quelle maledette perdite di efficienza nel raccogliere l'energia della annichilazione, lega-



Paul Maurice Dirac intorno al 1930 prevede l'esistenza dell'antimateria nei suoi lavori teorici sulla meccanica quantistica.

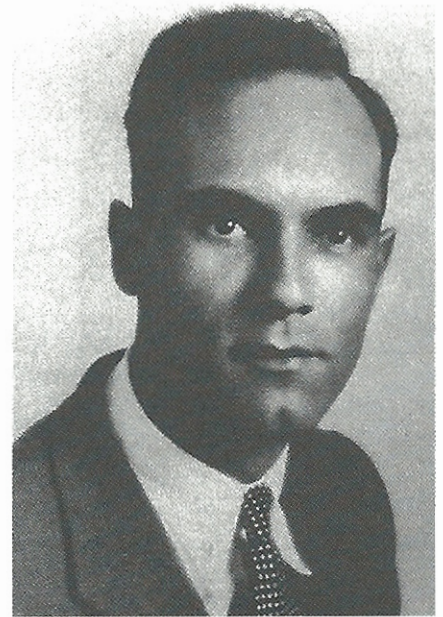
ta alle particelle neutre che se ne fregano del campo magnetico e con la loro velocità e la loro massa portano via energia per niente. E poi ci sono i maledettissimi neutrini, che di massa ne hanno pochina, ma sono tanti. Su di loro non c'è niente da fare: comunque sia, ti portano via quasi la metà del budget energetico.

Per le neutre con massa (tipo neutroni ecc.), invece, abbiamo una speranza di immaginare un qualche schermo assorbitore che non le faccia scappare e ci permetta così di recuperare un po' di energia. Alla fine, facendo conti realistici, si può pensare di arrivare a velocità comunque relativistiche, diciamo un terzo di c , 100.000 km/s. E.T., arriviamo noi! Eh sì, perché se queste velocità diventano possibili, l'accesso alla sfera delle stelle fino a 20 anni luce da noi diventa pensabile, anche se su tempi scala di decine di anni. Come velocità ottenibile, insomma, cominciamo a ragionare. Purtroppo il motore ad antimateria è solo uno dei problemi da risolvere. La produzione di antimateria, cioè del carburante necessario è il vero ostacolo, al momento, apparentemente insor-

montabile. Se pensiamo però alla storia della missilistica, in tema di ostacoli insormontabili troviamo un precedente incoraggiante. Circa un secolo fa, alcuni visionari immaginarono l'uso di propellente liquido per i razzi come un grande passo avanti rispetto a quello solido, inventato già dai cinesi molti secoli fa. Anzi, fu subito chiaro che, come dicevamo, l'ideale per la spinta chimica sarebbe stato avere ossigeno e idrogeno liquidi, per via del grande potenziale energetico della molecola dell'acqua. Solo che, mentre per avere l'ossigeno in forma liquida non ci sono grandi difficoltà, per l'idrogeno liquido il caso è molto diverso. Sembrava, all'epoca, già un miracolo che pochi anni prima, nel 1898, sir James Dewar avesse liquefatto per la prima volta una piccolissima quantità di idrogeno. Ma produrne abbastanza per un razzo, portarlo in giro liquido (a $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$) e gestirlo in un motore con tubi, valvole, ecc. sembrava una follia iper-costosa e iperpericolosa, non molto diversa dal problema della produzione in massa e gestione dell'antimateria di oggi. Invece, mezzo secolo dopo Dewar, l'uso corrente

di idrogeno liquido era diventato realtà. Anzi, l'epopea del Saturno V alla Luna o dello Shuttle alla ISS sono oggi già storia, basata proprio su tonnellate e tonnellate di idrogeno liquido.

A che punto siamo, innanzi tutto, con la produzione di antimateria? Piuttosto indietro. Siamo ancora al punto che le particelle di antimateria che produciamo, quasi solo antiprotoni (i protoni negativi) o positroni (gli elettroni positivi), vengono contate una per una, come i primi atomi di uranio 235 quando si inventava la separazione dal 238. Inoltre, le antiparticelle vengono prodotte solo nei grandi acceleratori, soprattutto il Fermilab



Carl Anderson nel 1932 scoprì il positrone, prima particella di antimateria, studiando i raggi cosmici.

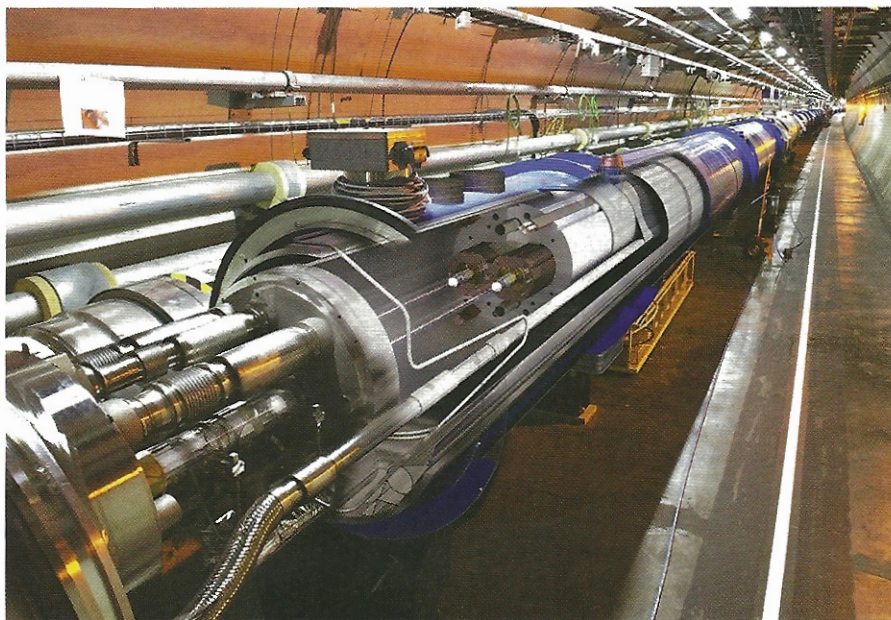
di Chicago e il CERN di Ginevra. Al CERN, si arriva attualmente a 10 elevato alla 15 antiprotoni all'anno (un milione di miliardi). A questo ritmo, per fare un grammo di antimateria ci vogliono cento milioni di anni o giù di lì. Non ci siamo, anche se al CERN sono un po' più bravi con i positroni, che però, energeticamente, «rendono» duemila volte meno degli antiprotoni. Al Fermilab, dove sono più interessati al problema specifico e perciò hanno approntato macchine dedicate, fanno un po' meglio, circa nell'ordine di una grandezza.

Insomma, se mirassimo ad avere qualche microgrammo (e non sarebbe poco, per cominciare), in teoria col Fermilab di oggi in qualche decina di anni ci si potrebbe arrivare.

Non dimentichiamo che nel mezzo secolo che ci separa dalla loro scoperta, l'intensità dei fasci di antiprotoni è aumentata di oltre diecimila volte e questa è storia della scienza, ben documentata, non fantasia. E l'aumento non è stato lineare, ma fortemente accelerato. Chissà dove saranno arrivati, di cosa saranno capaci, i fisici degli acceleratori fra mezzo secolo, in termini di produzione di antiprotoni, se ci si mettono. Poi c'è il problema, già citato e non meno spinoso, della conservazione degli



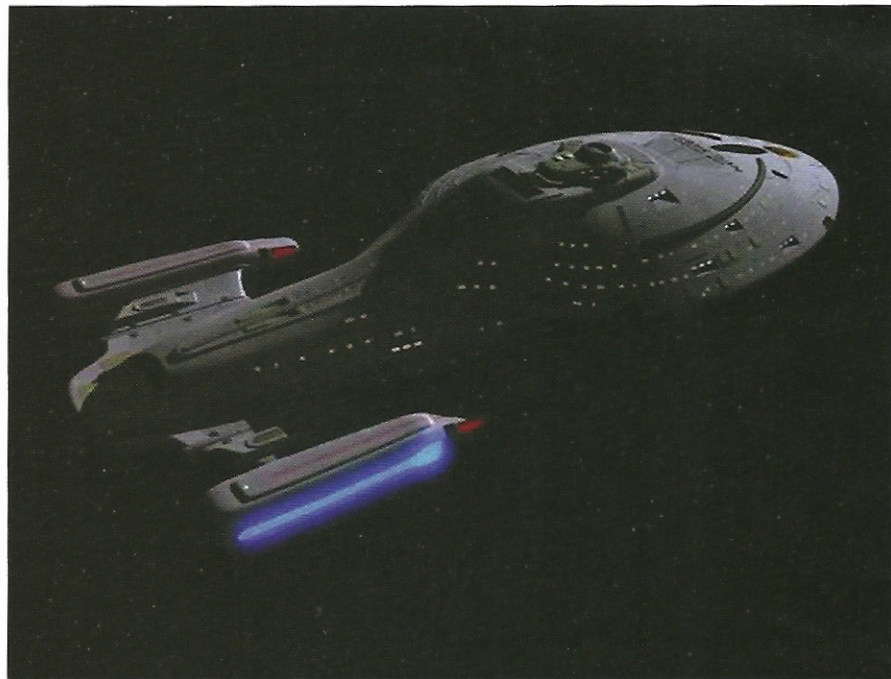
Emilio Segrè, allievo di Fermi, nel 1955, con Chamberlain, scoprì l'antiprotone e per questo fu loro assegnato il Nobel nel 1959.



Uno scorcio dell'acceleratore LHC, Large Hadron Collider, un anello di magneti lungo 27 km al CERN di Ginevra.

antiprotoni, una volta creati. Fermilab e CERN qualcosa riescono a fare con speciali «trappole di Penning» (dal nome dell'inventore), ma quantitativamente stiamo ancora peggio che per la creazione. Al problema della conservazione di antimateria, però, sta lavorando quatta quatta anche la NASA, con risultati per ora mo-

destissimi eppure, sembra, incoraggianti. Pare che riesca a stoccare un miliardo di antiprotoni per un anno... molto lontano dalle necessità vere per un'astronave interstellare, purtroppo, ma è un inizio. Per non parlare, poi, dei costi: pur immaginando un aumento dell'efficienza produttiva nei prossimi anni, il costo ri-



Un'immaginaria astronave ad annichilazione di materia e antimateria.

mane sempre altino: 25 miliardi di dollari a grammo. Anche se sembra incredibile, però, ricordiamo che un grammo di antimateria costerebbe, grosso modo, tanto quanto mille pieni dello Shuttle e produrrebbe la stessa quantità di energia. Visto così, in fondo, il problema assume un altro aspetto, quello di andare in produzione e stoccaggio il più rapidamente possibile, ed evitare di farlo sapere a quelli che ci farebbero una bomba. Che però lo sanno già, temo.

Ammessi di farcela, come organizzeremo una missione a una stella vicina? Come la finanzieremo? Solo andata, o andata e ritorno?

Quelli che pensano a solo andata incredibilmente non mancano. Molti pensano che andare su un altro pianeta sia come fu per i coloni inglesi emigrare in Nord America o in Australia, quando c'erano ancora continenti vuoti (di *sapiens* col viso pallido...) da riempire. Credo proprio che sia più prudente predisporre una missione di andata e ritorno, anche se della durata complessiva di decenni. No, non osiamo addentrarci nelle complessità pratiche, psicologiche, sociali e altro (religiose?) di un'avventura del genere. Possiamo solo dire che l'*Homo sapiens* arriverà al gran balzo che lo farà diventare *sidereus* assai meglio preparato di quanto non lo siamo noi adesso. Grazie ai progressi dell'astronomia avremo dati molto più dettagliati e precisi sui sistemi stellari e planetari esterni al nostro; avremo già in mano i risultati di una o più missioni spaziali robotiche esplorative, quelle sì di sola andata; avremo accumulato una grande esperienza sul volo interplanetario in tutti i suoi numerosi aspetti interdisciplinari, a cominciare dalla propulsione.

Proprio per quanto riguarda la propulsione, la ricerca di base in fisica del plasma e delle particelle, come la ricerca fondamentale tutta, avrà finalmente messo alla nostra portata, o meglio alla portata dei nostri ingegneri, gli ultimi due grandi processi energetici della natura che ancora ci mancano, fusione e annichilazione. Oggi sappiamo che cosa sono. Non sappiamo ancora riprodurli abbastanza bene per poterli usare, ma impareremo, e ne avremo grande utilità, così nell'esplorazione spaziale come sulla Terra. ■