

I reattori a fusione nucleare: NULLA di ciò che vogliono farci credere.

By Daniel Jassby
Edizione italiana (Nov 2017)

I reattori "a fusione" sono stati a lungo pubblicizzati come la fonte di energia "perfetta". I sostenitori affermano che, sviluppando reattori commerciali a fusione nucleare, si produrrebbero enormi quantità di energia con scarsi scarti radioattivi, formando poco se non addirittura nessun sottoprodotto di plutonio che potrebbe essere usato per le armi nucleari.

Questi sostenitori "pro-fusion" affermano anche che i *reattori a fusione* non sarebbero in grado di generare le pericolose reazioni a catena che portano ad un meltdown ("fusione"... del nocciolo radioattivo in un reattore nucleare), come tutti gli inconvenienti degli attuali schemi di fissione nelle centrali nucleari. E, come con la fissione, un reattore nucleare alimentato a fusione avrebbe l'enorme vantaggio di produrre energia senza emettere carbone per riscaldare l'atmosfera del nostro pianeta.

Ma c'è un intoppo: mentre, relativamente parlando, è piuttosto semplice dividere un atomo per produrre energia (che è ciò che accade nella fissione), è una "*grande sfida scientifica*" fondere due nuclei di idrogeno insieme per creare isotopi di elio (come avviene in fusione). Il nostro Sole fa continuamente reazioni di fusione, bruciando l'idrogeno ordinario a enormi densità e temperature. Ma per replicare quel processo di *fusione* qui sulla Terra — dove non abbiamo l'intensa pressione creata dalla gravità del nucleo del Sole — avremmo bisogno di una temperatura di almeno 100 milioni di gradi Celsius, o circa sei volte più calda del Sole. Negli esperimenti condotti fino ad oggi l'input di energia richiesto per produrre le temperature e le pressioni che consentono significative reazioni di fusione negli isotopi di idrogeno ha di gran lunga superato l'energia di fusione generata.

Ma attraverso l'uso di tecnologie di fusione promettenti come il confinamento magnetico e il confinamento inerziale basato su laser, l'umanità si sta muovendo molto più vicino ad aggirare quel problema e raggiungere quel momento di svolta quando la quantità di energia che esce da un reattore a fusione supererà in modo sostenibile la quantità di ingresso, producendo energia netta. Il progetto collaborativo e multinazionale di fisica in quest'area include l'esperimento di fusione congiunta ***Thermonuclear Experimental Reactor*** (ITER) in Francia, che ha aperto le sue prime strutture di supporto nel 2010, con i primi esperimenti sulla fusione, o tokamak, che dovrebbe iniziare nel 2025.

Mentre ci avviciniamo al nostro obiettivo, tuttavia, è ora di chiedersi: **la fusione è davvero una fonte di energia "perfetta"?**

Dopo aver lavorato su esperimenti di fusione nucleare per 25 anni al Princeton Plasma

Physics Lab, ho iniziato a guardare più spassionatamente all'impresa della fusione durante il mio pensionamento. **Ho concluso che un reattore a fusione sarebbe ben lungi dall'essere perfetto, e in qualche modo più vicino al contrario.**



Ridimensionamento/miniaturizzazione del Sole.

Come notato sopra, le reazioni di fusione nel Sole bruciano l'idrogeno ordinario ad enormi densità e temperature sostenute da un tempo di confinamento effettivamente infinito, e i prodotti della reazione sono isotopi di elio benigni. Gli schemi di fusione artificiale (terrestre), d'altra parte, sono limitati a densità di particelle molto più basse e confinamento di energia molto più fugace, e sono quindi costretti a usare gli isotopi più pesanti ricchi di neutroni di idrogeno conosciuti come deuterio e trizio - che sono 24 ordini di grandezza più reattivi rispetto all'idrogeno normale (Pensate al numero uno con 24 zeri dopo di esso). Questo gigantesco vantaggio nella reattività della fusione consente agli *assembly di fusione* fatti dall'uomo di essere lavorabili con una densità di particelle miliardi di volte inferiore e con un trillione di confinamento energetico più povero rispetto ai livelli di cui gode il Sole.

I supporters dei *reattori a fusione* affermano che quando saranno sviluppati, i reattori,

costituiranno una fonte di energia "perfetta" che non condividerà nessuno degli inconvenienti significativi dei tanto criticati reattori a fissione.

Ma a differenza di ciò che accade nella fusione solare — che utilizza l'idrogeno ordinario — i reattori a fusione "*terrestri*" che bruciano isotopi ricchi di neutroni hanno **sottoprodotti tutt'altro che innocui**: i flussi energetici di neutroni comprendono l'80% della produzione di energia di fusione delle reazioni di deuterio-tritio e il 35 per cento delle reazioni deuterio-deuterio.

Ora, una fonte di energia costituita da flussi di neutroni energetici all'80 per cento può essere la perfetta fonte di neutroni, ma è davvero bizzarro che sarebbe mai stata salutata come la *fonte di energia elettrica ideale*.

In effetti, questi flussi di neutroni portano direttamente a quattro problemi deplorabili con l'energia nucleare: danni da radiazioni; scorie radioattive; la necessità di schermatura biologica; e il potenziale per la produzione di plutonio 239 per uso militare, aggiungendo così la minaccia della proliferazione delle armi nucleari, non diminuendola, come avrebbero fatto i sostenitori della "fusione".

Inoltre, se i reattori a fusione sono effettivamente fattibili — come si assume qui — essi **condivideranno alcuni degli altri seri problemi che affliggono i reattori a fissione, tra cui il rilascio di trizio, le domande scoraggianti di refrigerante e gli alti costi operativi.**

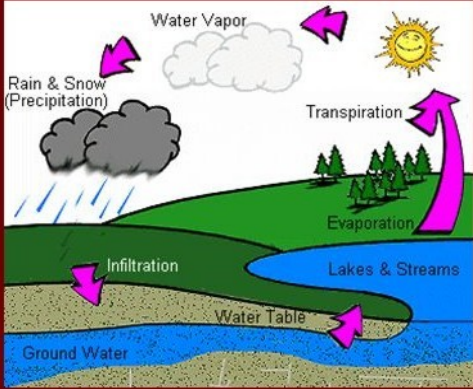
Vi saranno inoltre ulteriori inconvenienti che sono peculiari ai dispositivi di fusione: l'uso di combustibile (tritio) che non si trova in natura e deve essere reintegrato dal reattore stesso; e gli inevitabili scarichi di alimentazione in loco che riducono drasticamente

l'energia elettrica disponibile per la vendita.

Tutti questi problemi sono endemici per qualsiasi tipo di fusione

The Tritium Cycle

- Tritium is most commonly found as tritiated water, tritiated methane and tritiated molecular hydrogen.
- Tritiated water moves through the water cycle as normal water does, moving through water bodies, atmosphere, soils, groundwater, largely ending up in oceans.



The diagram illustrates the water cycle with various stages: Rain & Snow (Precipitation) falling from clouds; Water Vapor rising from the atmosphere; Transpiration from trees and Evaporation from lakes and streams; Infiltration into the ground; and Ground Water flowing through the Water Table. A URL is provided at the bottom: <http://dnr.wi.gov/org/caer/ce/eeek/earth/groundwater/imagess/groundwater.gif>

e a confinamento magnetico o reattore di fusione a confinamento inerziale (in inglese

Inertial confinement fusion, in breve ICF) che viene alimentato con deuterio-trizio o solo deuterio.

(Come suggerisce il nome stesso, nella *fusione a confinamento magnetico*, i campi magnetici ed elettrici sono utilizzati per controllare il combustibile a fusione calda, un materiale che assume una forma ingombrante e difficile da maneggiare, noto come plasma. fasci di ioni sono usati per letteralmente spremere e riscaldare il plasma).

L'esempio più noto di fusione a confinamento magnetico è il tokamak, a forma di ciambella, in costruzione nel sito di ITER; la fusione a confinamento inerziale è esemplificata dalle microesplosioni indotte dal laser che si svolgono presso la National Ignition Facility, con sede negli Stati Uniti.

Tritium. Il trizio, come combustibile, ha problemi di completo rifornimento.

La reazione deuterio-trizio è quella privilegiata dagli sviluppatori delle tecniche di *fusione* perché la sua reattività è 20 volte maggiore di una reazione deuterio-deuterio, la prima reazione è più forte di un terzo della temperatura necessaria per la fusione deuterio. In effetti, una miscela approssimativamente uguale di deuterio e trizio può essere l'unico combustibile di fusione fattibile per il prevedibile futuro.

Mentre il deuterio è facilmente reperibile nell'acqua comune, il trizio non esiste in natura, perché questo isotopo è radioattivo con un'emivita di soli 12,3 anni. **La principale fonte di trizio è costituita dai reattori nucleari a fissione.**

Se adottata, la tecnica di fusione basata sul deuterio-trizio sarebbe l'unica fonte di energia elettrica che non sfrutta un combustibile presente in natura o convertirà una fonte di energia naturale come radiazione solare, vento, acqua in caduta o geotermia. In modo univoco, il componente trizio del combustibile da fusione deve essere generato nel reattore a fusione stesso.

Il trizio utilizzato nel processo di fusione può *teoricamente* essere completamente rigenerato al fine di sostenere le reazioni nucleari. Per raggiungere questo obiettivo, un "blanket" contenente litio deve essere posizionato attorno al mezzo reagente, un gas estremamente caldo e completamente ionizzato chiamato plasma. I neutroni prodotti dalla reazione di fusione irradieranno il litio, "allevando" così il trizio.

[Il "blanket", [noto anche come "lithium blanket"](#), è uno strato che circonda il vessel in una centrale a fusione nucleare. Assorbe l'energia dai neutroni di fusione prodotti nel plasma, l'acqua bollente attraverso uno scambiatore di calore, che verrà poi utilizzata per azionare una turbina a vapore e produrre elettricità.]

Ma c'è una grossa difficoltà: il "Lithium Blanket" può circondare solo parzialmente il reattore, a causa delle distanze richieste per il pompaggio, il fascio e l'iniezione di combustibile nei reattori a fusione a confinamento magnetico, e per i fasci del conducente e la rimozione dei detriti nei reattori a confinamento inerziale. Le analisi più complete indicano che può esserci un surplus del 15 percento nel rigenerare il trizio. Ma, in pratica, sarà necessario un surplus per accogliere l'estrazione e la lavorazione del trizio allevato nel blanket.

Sostituire il trizio bruciato in un reattore a fusione, tuttavia, affronta solo una piccola parte del problema fondamentale di rifornire un impianto di un combustibile come il

trizio. Meno del 10% del carburante iniettato verrà effettivamente utilizzato in un dispositivo di fusione a confinamento magnetico prima che esso possa sfuggire alla regione di reazione.

La stragrande maggioranza del trizio iniettato deve quindi essere prelevato dalle superfici e dagli interni dei miriadi di sottosistemi del reattore e reiniettato da 10 a 20 volte prima che possa essere completamente utilizzato, quindi bruciato.

Se solo l'1% del trizio non bruciato non viene recuperato e reiniettato, anche il più grande surplus nel processo di rigenerazione del litio non può compensare il trizio perduto. A titolo di confronto, nei due impianti di fusione a confinamento magnetico in cui è stato utilizzato il trizio (il reattore di prova Tokamak Fusion di Princeton e il Joint European Torus), circa il 10% del trizio iniettato non è mai stato recuperato.

Per compensare le inevitabili carenze nel recupero di trizio incombusto da utilizzare come combustibile in un reattore a fusione, i reattori a fissione devono continuare ad essere utilizzati per produrre sufficienti scorte di trizio - una situazione che implica una dipendenza perpetua dai reattori a fissione, con tutta la loro sicurezza e problemi di proliferazione nucleare. Poiché la produzione esterna di trizio è enormemente costosa, è probabile invece che solo i reattori a fusione alimentati esclusivamente con deuterio possano mai essere pratici dal punto di vista dell'approvvigionamento di carburante. Questa circostanza aggrava il problema della proliferazione nucleare discusso più avanti.

Un enorme consumo di "energia parassita".

Oltre ai problemi di rifornimento, i reattori a fusione affrontano un altro problema: consumano una buona parte della stessa potenza che producono, come quella che nell'industria elettrica chiamano "scarico di energia parassitaria", su una scala sconosciuta a qualsiasi altra fonte di energia elettrica. I reattori a fusione devono ospitare due classi di drenaggio parassita: in primo luogo, una serie di sistemi ausiliari essenziali esterni al reattore deve essere mantenuta costantemente in attività anche quando il plasma di fusione è dormiente (cioè, in caso di interruzioni pianificate o non pianificate). Da 75 a 100 MWe (megawatt elettrici) vengono consumati continuamente da impianti di raffreddamento ad elio liquido; pompaggio dell'acqua; riscaldamento, ventilazione e aria condizionata per numerosi edifici; trasformazione del trizio; e così via, come esemplificato dalle strutture per il progetto di fusione ITER in Francia. Quando il



processo di fusione viene interrotto per qualsiasi motivo, questa potenza deve essere acquistata dalla rete regionale.

La seconda categoria di drenaggio *parassita* è la potenza necessaria per controllare il plasma nei sistemi di fusione a confinamento magnetico (e per attivare le capsule di combustibile nei sistemi a fusione inerziale). I plasmi di fusione a confinamento magnetico richiedono l'iniezione di una potenza significativa in fasci atomici o energia elettromagnetica per stabilizzare la combustione della fusione, mentre la potenza addizionale viene consumata dalle bobine magnetiche che aiutano a controllare la posizione e la stabilità del plasma reagente. Lo scarico di energia elettrica totale per questo scopo ammonta ad almeno il 6 percento della potenza di fusione generata, e la potenza elettrica richiesta per pompare il liquido di raffreddamento è in genere del 2 percento della potenza di fusione. La potenza elettrica lorda può essere pari al 40 percento della potenza di fusione, quindi la potenza circolante ammonta a circa il 20 percento della potenza elettrica.

Nella fusione a confinamento inerziale e nei reattori ibridi a confinamento inerziale / magnetico, dopo ogni impulso di fusione, la corrente elettrica deve caricare sistemi di accumulo dell'energia come i banchi di condensazione che alimentano i fasci laser o ionici o implodenti.

Le richieste sulla potenza di circolazione sono almeno paragonabili a quelle per la fusione a confinamento magnetico.

Gli scarichi di energia sopra descritti derivano dalla potenza elettrica del reattore e determinano limiti inferiori alle dimensioni del reattore. Se la potenza di fusione è di 300 megawatt, l'intera potenza elettrica di 120 MWe **fornisce a malapena le esigenze in loco**. Con l'aumento della potenza di fusione, il consumo sul posto diventa in proporzione sempre più ridotta dell'elettricità, che scende a metà quando la potenza di fusione è di 830 megawatt. Per avere qualche possibilità di funzionamento economico che debba ripagare i costi operativi e di capitale, la potenza di fusione deve essere aumentata a migliaia di megawatt in modo che il consumo totale di energia parassita sia relativamente ridotto.

In poche parole, al di sotto di una certa potenza (circa 1.000 MWe) di energia parassita, è antieconomico eseguire una centrale elettrica a fusione.

I problemi legati al consumo di energia parassita e al rifornimento di carburante sono significativi. Ma i reattori a fusione hanno altri seri problemi che affliggono anche i reattori a fissione di oggi, compresi i danni da radiazioni di neutroni e rifiuti radioattivi, il potenziale rilascio di trizio, l'onere per le risorse di refrigerante, i costi operativi eccessivi e l'aumento dei rischi di proliferazione delle armi nucleari.

Danni da radiazioni e scorie radioattive.

Per produrre calore utilizzabile, le correnti di neutroni che trasportano l'80% dell'energia da fusione di deuterio-trizio devono essere decelerate e raffreddate dalla struttura del reattore, dalla sua struttura "Lithium Blanket" circostante contenente litio e dal

refrigerante.

Si prevede che il danno da radiazione di neutroni nella parete del Vessel sia peggiore rispetto ai reattori a fissione a causa delle maggiori energie di neutroni. I neutroni di fusione battono gli atomi fuori dalle loro solite posizioni, causando gonfiore e frattura della struttura. Inoltre, le reazioni indotte da neutroni generano grandi quantità di elio interstiziale e idrogeno, formando sacche di gas che portano a gonfiore, infragilimento e affaticamento aggiuntivi. **Questi fenomeni mettono l'integrità del Vessel di reazione in pericolo.**

Nei reattori con rifornimento di solo deuterio (che è molto più difficile da innescare rispetto ad una miscela di deuterio-tritio), il prodotto di reazione neutronica ha un'energia cinque volte inferiore e le correnti di neutroni sono sostanzialmente meno dannose per le strutture. **Ma gli effetti deleteri saranno ancora rovinosi su una scala temporale più lunga.**

Il problema delle strutture degradate con neutroni può essere alleviato nei concetti di reattore a fusione in cui la capsula del combustibile di fusione è racchiusa in una sfera o cilindro di litio liquido di 1 metro di spessore. **Ma gli stessi gruppi di combustibile saranno trasformati in tonnellate di rifiuti radioattivi da rimuovere annualmente da ciascun reattore. Il litio fuso presenta anche un rischio di incendio ed esplosione, introducendo un inconveniente comune ai reattori a fissione raffreddati a metallo liquido.**

Il bombardamento da parte dei neutroni di fusione allontana gli atomi dalle loro posizioni strutturali rendendoli radioattivi e indebolendo la struttura, che deve essere sostituita periodicamente.

Ciò si traduce in enormi quantità di materiale altamente radioattivo che alla fine deve essere trasportato fuori sede per la sepoltura.

Molti componenti non strutturali all'interno dell'impianto di reazione e nella "Lithium Blanket" diventeranno anch'essi altamente radioattivi mediante l'attivazione di neutroni.

Mentre il livello di radioattività per chilogrammo di rifiuti sarebbe molto più piccolo che per i rifiuti del reattore di fissione, **il volume e la massa dei rifiuti sarebbero molte volte più grandi.** Inoltre, parte del **danno da radiazioni** e della produzione di rifiuti radioattivi è destinato a non finire, perché una parte della potenza di fusione è generata unicamente per compensare gli irriducibili scarichi di energia sul sito.

Scienziati dei materiali e della componentistica stanno tentando di sviluppare leghe strutturali a bassa attivazione che consentano ai materiali dei reattori scartati di qualificarsi come rifiuti radioattivi a basso livello che potrebbero essere smaltiti mediante interrimento superficiale. Anche se tali leghe diventeranno disponibili su scala commerciale, pochissimi comuni o regioni accetteranno probabilmente discariche per rifiuti radioattivi a "basso livello". Ci sono solo uno o due depositi per tali rifiuti in ogni nazione, il che significa che i rifiuti radioattivi dai reattori a fusione dovrebbero essere trasportati attraverso i paesi a caro prezzo e salvaguardati dalla diversione.

Per ridurre l'esposizione alle radiazioni dei lavoratori delle centrali "a fusione", è necessaria la schermatura biologica anche quando il reattore non funziona. Nell'ambiente intensamente radioattivo, saranno necessari equipaggiamenti per la movimentazione a distanza e robot per tutti i lavori di manutenzione sui componenti del reattore e per la loro sostituzione a causa di danni da radiazioni, erosione delle particelle o fusione.

Questi vincoli causano tempi di fermo prolungati anche per piccole riparazioni.

Proliferazione di armi nucleari. Nuclear weapons proliferation.

La produzione "legale" o clandestina del plutonio 239 è possibile in un reattore a fusione semplicemente collocando l'ossido di uranio naturale o impoverito in qualsiasi luogo in cui volano i neutroni di qualsiasi energia.

Il vero e proprio oceano di neutroni a rallentamento che deriva dalla dispersione dei neutroni da fusione nel Vessel di reazione permea ogni angolo e parte interna del reattore, incluse le appendici al recipiente di reazione.

I neutroni più lenti saranno prontamente assorbiti dall'uranio 238, la cui sezione trasversale per l'assorbimento dei neutroni aumenta con la diminuzione dell'energia dei neutroni.

Considerate le dubbie prospettive in merito al rifornimento di trizio, i reattori a fusione potrebbero dover essere alimentati dalle due reazioni di deuterio-deuterio che hanno sostanzialmente la stessa probabilità, una delle quali produce neutroni ed elio 3, mentre l'altra produce protoni e trizio. Poiché non è richiesto il trizio, tutti i neutroni da fusione sono disponibili per qualsiasi uso, compresa la produzione di plutonio 239 dall'uranio 238.

È estremamente difficile affrontare il pareggio di energia con le reazioni di deuterio-deuterio perché la loro reattività totale è 20 volte inferiore a quella del deuterio-trizio, anche a temperature molto più elevate. Ma un "reattore di prova" alimentato con deuterio con 50 megawatt di potenza di riscaldamento e che produce solo 5 megawatt di energia da fusione di deuterio e deuterio potrebbe produrre circa 3 chilogrammi di plutonio 239 in un anno assorbendo solo il 10 per cento dell'output di neutroni nell'uranio 238.

La maggior parte del trizio dalla seconda reazione di deuterio-deuterio potrebbe essere recuperato e bruciato e i neutroni di deuterio-trizio produrranno ancora più plutonio 239, per un totale di forse 5 chilogrammi. In effetti, il reattore trasforma la potenza di ingresso elettrica in neutroni e trizio "free-agent", così che un reattore a fusione alimentato con deuterio può essere **uno strumento singolarmente pericoloso** per la proliferazione nucleare.

Un reattore alimentato con deuterio-trizio o soltanto deuterio avrà un inventario di molti chilogrammi di trizio, fornendo opportunità di diversione per l'uso nelle armi nucleari.

Come per i reattori a fissione, sarebbero necessarie salvaguardie dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica per prevenire la produzione di plutonio o la diversione del trizio.

Ulteriori svantaggi condivisi con i reattori a fissione.

Il trizio sarà disperso sulle superfici del vessel, iniettori di particelle, condotti di pompaggio e altre appendici. La corrosione nel sistema di scambio di calore o una rottura dei condotti del reattore potrebbero causare il rilascio di trizio radioattivo nell'atmosfera o le risorse idriche locali. Scambi di trizio con idrogeno per produrre acqua triziata, che è biologicamente pericolosa. La maggior parte dei reattori a fissione contiene piccole quantità di trizio (meno di 1 grammo) rispetto ai chilogrammi nei reattori di fusione putativi. Ma il rilascio anche di piccole quantità di trizio radioattivo dai reattori a fissione nelle falde acquifere provoca costernazione pubblica.

Evitare la permeazione del trizio attraverso determinate classi di solidi rimane un problema irrisolto. Per alcuni anni, l'Amministrazione nazionale per la sicurezza nucleare - una branca del

Dipartimento per l'energia degli Stati Uniti - ha prodotto trizio in almeno un reattore di fissione di proprietà della Tennessee Valley Administration assorbendo neutroni in barre di controllo sostitutive contenenti litio. C'è stata una perdita significativa e apparentemente irriducibile del trizio dalle barre nell'acqua di raffreddamento del reattore che è stata rilasciata nell'ambiente, per queste ragioni la produzione annuale di trizio è stata drasticamente ridotta.

Inoltre, ci sono problemi di richieste di refrigerante e scarsa efficienza idrica. Un reattore a fusione è una centrale termica **che richiede immense risorse idriche per il circuito di raffreddamento** secondario che genera vapore e per rimuovere il calore da altri sottosistemi del reattore come le componenti refrigeranti e pompe criogeniche. Peggio ancora, le centinaia di megawatt o più di energia termica che devono essere generati esclusivamente per soddisfare le due classi di drenaggio di energia elettrica parassita pone una domanda aggiuntiva di risorse idriche per il raffreddamento che non è affrontata da nessun altro tipo di centrale termoelettrica. In effetti, **un reattore a fusione avrebbe la più bassa efficienza idrica di qualsiasi tipo di centrale termica, sia fossile che nucleare**. Con le condizioni di siccità che si intensificano in varie regioni del mondo, molti paesi non potrebbero sostenere fisicamente grandi reattori a fusione.

Numerosi refrigeranti alternativi per il ciclo di rimozione del calore primario sono stati studiati sia per i reattori a fissione che a fusione, e le pareti di litio liquido spesse un metro possono essere essenziali per i sistemi di fusione a confinamento inerziale per resistere al carico impulsivo. Tuttavia, l'acqua è stata utilizzata quasi esclusivamente nei reattori commerciali a fissione negli ultimi 60 anni, compresi tutti quelli attualmente in costruzione in tutto il mondo. Questa circostanza indica che l'implementazione di qualsiasi sostituto per il refrigerante dell'acqua come l'elio o il metallo liquido non sarà praticabile nei sistemi di fusione a confinamento magnetico.

Tutto quanto sopra evidenziato significa che qualsiasi reattore a fusione dovrà affrontare costi eccessivi di operatività.

L'operatività del reattore a fusione nucleare richiederà personale il cui know-how è stato precedentemente richiesto solo per il lavoro negli impianti di fissione, come esperti di sicurezza per il monitoraggio di questioni di salvaguardia e lavoratori specializzati nello smaltimento di scorie radioattive. Sarà necessario personale addizionale per far funzionare i sottosistemi più complessi di un reattore a fusione, tra cui la criogenia, il trattamento del trizio, le apparecchiature per il riscaldamento al plasma e la diagnostica elaborata. I reattori a fissione negli Stati Uniti di solito richiedono almeno 500 impiegati fissi su quattro turni settimanali, e i reattori a fusione richiedono un valore prossimo a 1.000.

Al contrario, solo una manciata di persone è richiesta per far funzionare impianti idroelettrici, impianti a gas naturale, turbine eoliche, centrali solari e altre fonti di energia.

Un'altra spesa operativa irrisolvibile è rappresentata dai 75-100 megawatt di energia elettrica parassitaria consumati continuamente dalle strutture di supporto in loco che devono essere acquistati dalla rete regionale quando la fonte di fusione non è operativa.

Le spese ricorrenti multiple includono la sostituzione di componenti danneggiate da radiazioni e plasma-eroso nella fusione di confinamento magnetico e la produzione di milioni di capsule di combustibile per ciascun reattore a fusione a confinamento inerziale ogni anno. E ogni tipo di centrale nucleare deve stanziare fondi per la disattivazione di fine vita e lo smaltimento periodico di rifiuti radioattivi.

È inconcepibile che i costi operativi complessivi di un reattore a fusione siano inferiori a quelli di un reattore a fissione e pertanto il costo di capitale di un reattore a fusione vitale deve essere vicino allo zero (o fortemente sovvenzionato) in luoghi in cui i soli costi operativi dei reattori a fissione non sono competitivi con il costo dell'elettricità prodotta da energia non nucleare e hanno portato alla chiusura delle centrali nucleari.

Riassumendo, i reattori a fusione affrontano alcuni problemi unici: una mancanza di rifornimento di combustibile naturale (trizio) e drenaggi di energia elettrica estremamente elevati e irriducibili da compensare. Poiché l'80 per cento dell'energia in ogni reattore alimentato da deuterio e trizio appare sotto forma di flussi di neutroni, **è inevitabile che tali reattori condividano molti degli inconvenienti dei reattori a fissione, compresa la produzione di grandi quantità di scorie radioattive e gravi danni da radiazioni ai componenti del reattore.**

Questi problemi sono endemici per qualsiasi tipo di reattore a fusione alimentato con deuterio-trizio, quindi abbandonare i tokamak per qualche altro concetto di isolamento non può dare sollievo.

Se i reattori possono essere fatti funzionare usando solo combustibile di deuterio, allora il problema del rifornimento di trizio svanisce e il danno della radiazione di neutroni viene alleviato. Ma **gli altri inconvenienti rimangono** - e i reattori che richiedono solo il rifornimento di carburante per il deuterio avranno notevolmente potenziato il potenziale di **proliferazione delle armi nucleari**.

Questi impedimenti - insieme a un investimento colossale di capitali e a molti altri svantaggi condivisi con i reattori a fissione - renderanno i reattori a fusione più esigenti per costruire e far funzionare, o raggiungere la praticità economica, più di qualsiasi altro tipo di generatore di energia elettrica.

Le dure realtà della fusione smentiscono le affermazioni dei suoi sostenitori di "energia illimitata, pulita, sicura ed economica".

L'energia da fusione nucleare "terrestre" non è la fonte di energia ideale esaltata dai suoi sostenitori, ma al contrario: è **qualcosa da evitare**.

Daniel Jassby

Original Source: [Bulletin of the Atomic Scientists](#) - [Fusion reactors: Not what they're cracked up to be - April 19 2017](#)

Daniel Jassby was a principal research physicist at the Princeton Plasma Physics Lab until 1999. For 25 years he worked in areas of plasma physics and neutron production related to fusion energy research and development. He holds a PhD in astrophysical sciences from Princeton University.

Versione in Italiano: traduzione di Massimo Greco - RNA Italy