

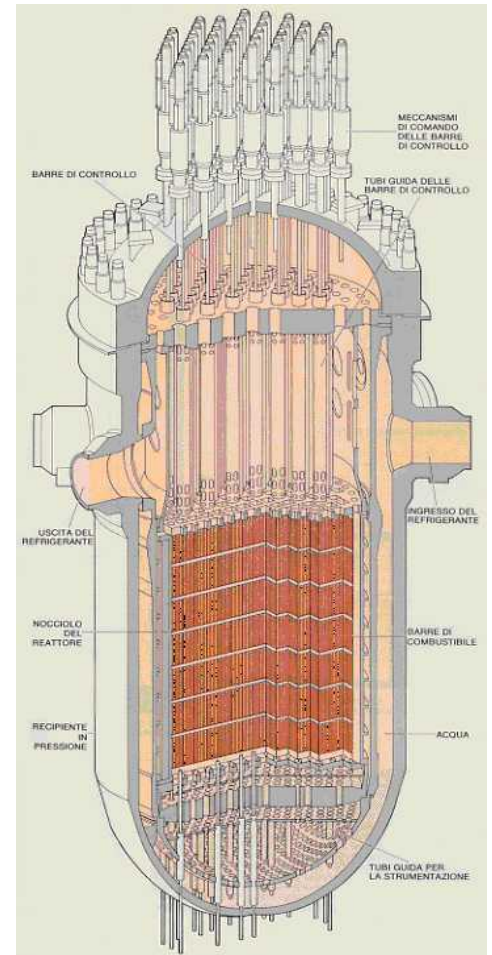
ENERGIA NUCLEARE - Elementi e notizie

Il problema delle scorie radioattive è probabilmente il più critico per l'industria nucleare a FISSIONE. Il combustibile esausto estratto dai reattori contiene ancora una grandissima quantità di elementi fertili (torio, uranio 238...) e fissili (uranio 233, 235, plutonio) potenzialmente utilizzabili.

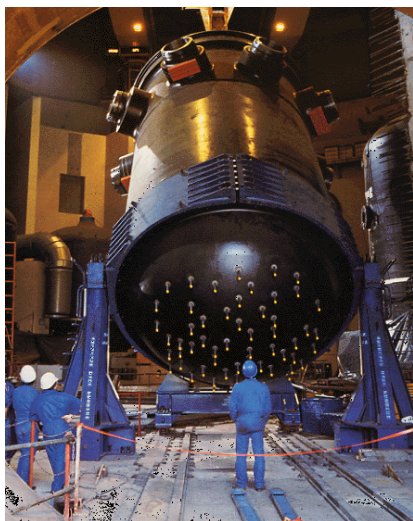
In particolare le **scorie** degli attuali reattori (2° e 3° generazione funzionanti ad uranio) contengono una grandissima quantità di U238 (94%), una piccola quantità di U235 e di plutonio P239 (2%) una ancor minore quantità di altri nuclei pesanti (attinoidi) mentre un 3-4% è dato dagli atomi "spezzati" cioè dai prodotti di fissione (che oltre al plutonio sono il vero pericolo).

Lo "spreco" risorse è assai evidente se consideriamo che il combustibile atomico parte da una composizione di circa il 3% U235 ed il 94% U238 e finisce dopo circa un anno di utilizzo, nella composizione sopra indicata (2% U235 e plutonio P239, 94% U238).

Quindi schematizzando al massimo, la centrale nucleare funziona per un anno usando di fatto solo 1% di U235. Il resto sono tutte conseguenze della sua trasformazione, chiaramente le barre e gli altri materiali non sono più "puri", ed è il costo del loro riprocessamento che li rende inutilizzabili pur essendo la barra di combustibile sostanzialmente stata utilizzata per una piccolissima percentuale, la definizione di scoria del 94% del combustibile di partenza fa riflettere sullo sfruttamento di un minerale che tra l'altro non è inesauribile.



Un reattore tipo Three Mile Island (PWR 900 MWe) contiene c.a. 100 tonnellate di ossido di uranio, distribuite in decine di migliaia di barre di combustibile.



il nocciolo di un reattore PWR da 1,3 GW
Lo spessore delle pareti in acciaio speciale varia da 15 a 30 cm (BWR o PWR)

Il procedimento di fissione nucleare produce materiali residui ad elevata radioattività che rimangono estremamente pericolosi per periodi lunghissimi. Questo materiale, emettendo delle radiazioni penetranti, è molto radiotossico e richiede dunque severe precauzioni nel trattamento e nello smaltimento. Ad oggi applicazioni pratiche di soluzioni realmente definitive non sono ancora state realizzate e collaudate dal tempo.

Un altro problema del combustibile nucleare esausto (le scorie radioattive comunemente dette) è il decadimento radioattivo. Il decadimento radioattivo produce energia attraverso l'emissione di raggi beta (decadimento beta), e per questo è importante raffreddare le barre di combustibile nucleare dopo lo spegnimento di un reattore o quando diventano non più utilizzabili per produrre energia.

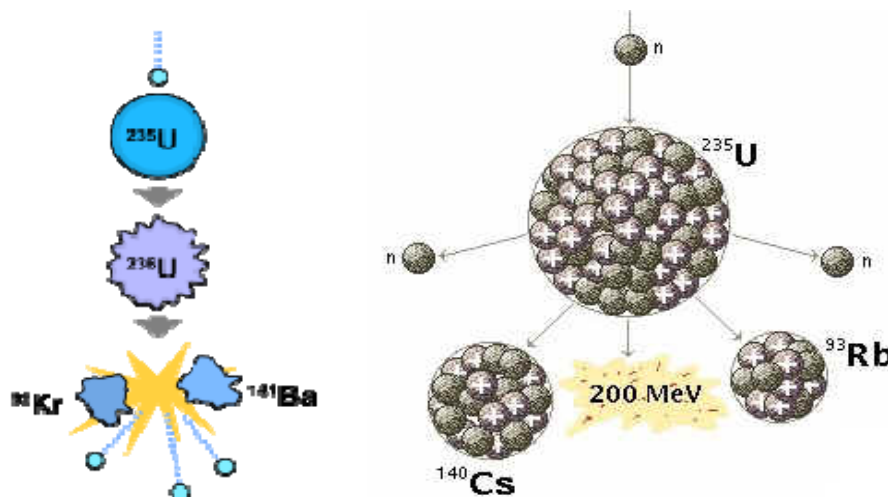
Nel caso della FUSIONE nucleare, invece, la produzione di energia avviene senza emissioni di gas nocivi o gas serra, e con la produzione di minime quantità di trizio: un isotopo dell'idrogeno con un tempo di dimezzamento di 12,33 anni la cui radioattività non supera la barriera della pelle umana, e che non è quindi pericoloso per l'uomo se non viene ingerito. In ogni caso, i tempi di dimezzamento della radioattività residua sarebbero confrontabili con la vita media della centrale (decine d'anni).

Energia atomica

L'energia atomica da fissione si basa sul principio fisico del difetto di massa, in cui si spezza un nucleo atomico pesante (in genere Uranio-235), in due nuclei più piccoli (ad esempio: Bario 141, Krypton 92, Cesio 140, Rubidio 93), che pesano meno del nucleo originario.

La piccola differenza di massa è in grado di produrre una enorme quantità di energia (172 MeV per singola reazione).

Questa enorme densità di energia si traduce in una minore necessità di combustibile: una centrale elettrica convenzionale da 1 gigawatt richiede 1.400.000 tonnellate di petrolio in un anno (circa 100 super-petroliere), oppure solo 35 tonnellate all'anno di ossido d'uranio, UO_2 , cioè 210 tonnellate di minerale grezzo (2 vagoni merci).

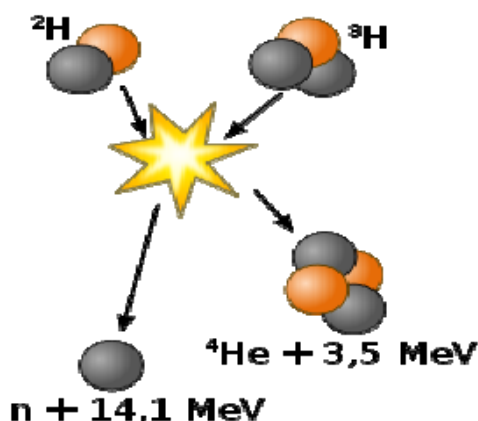


L'energia atomica da fusione

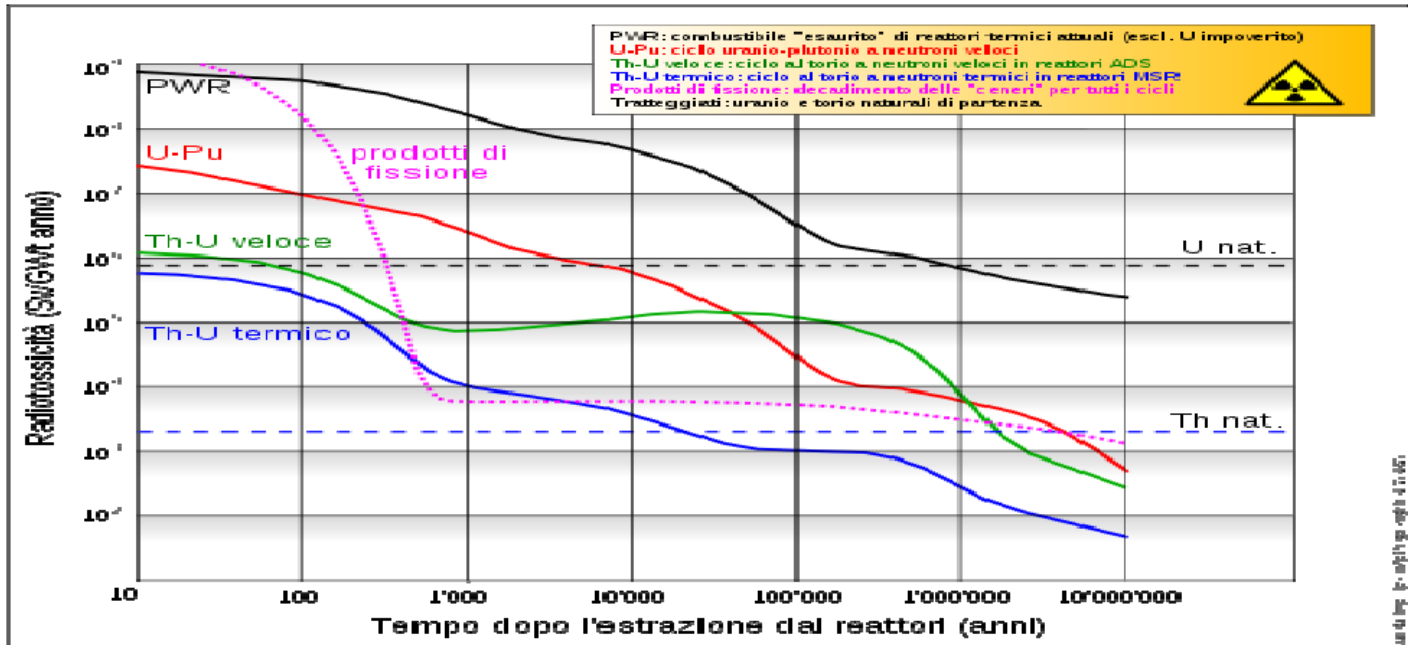
La reazione Deuterio-trizio è caratterizzata da una densità di energia addirittura maggiore di quelle di fissione. Riprendendo il confronto fatto per la fissione nucleare, un'ipotetica centrale a fusione da 1 gigawatt potrebbe funzionare con soli 100 kg di deuterio e 150 kg di trizio all'anno, da confrontare con le 1.400.000 tonnellate di petrolio di una centrale termoelettrica. Inoltre, l'unica scoria prodotta dalla reazione di fusione è l'Elio, un gas nobile per nulla radioattivo.

Questo rappresenta un vantaggio fondamentale della fusione rispetto alla fissione nucleare, dove i prodotti di reazione sono essi stessi radioattivi.

la reazione che attualmente si spera di riprodurre coinvolge due isotopi dell'idrogeno, il deuterio (D) e il trizio (T), con produzione di elio e un neutrone secondo il diagramma della reazione D-T:

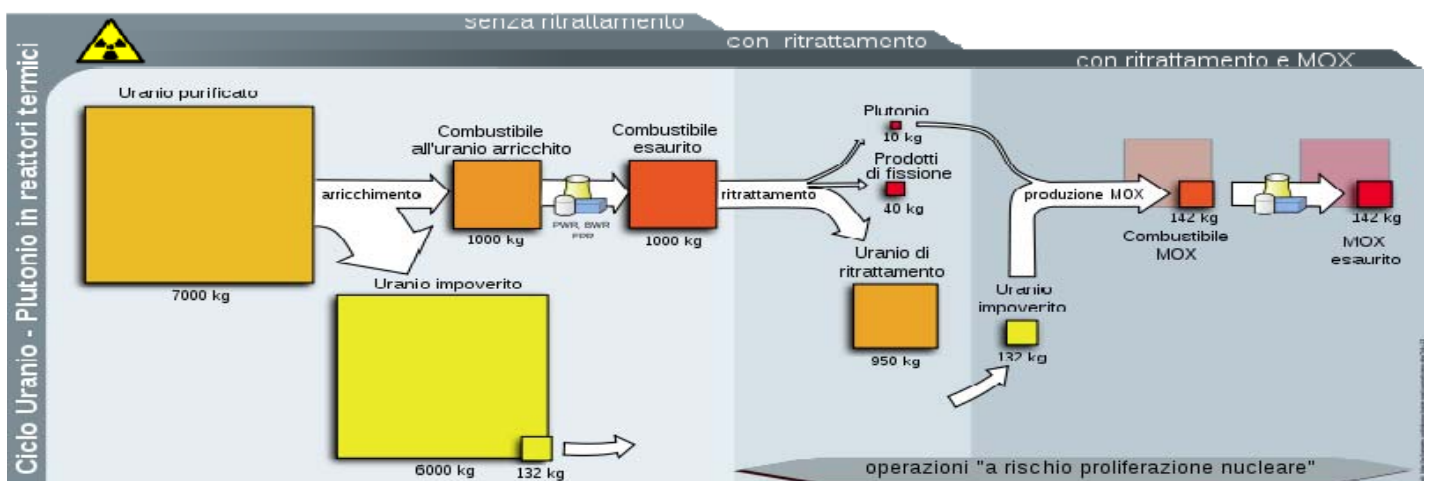


Ciclo del combustibile nucleare all'uranio per 1000 kg in reattori a neutroni termici.



A partire dall'uranio purificato, si ottiene il combustibile arricchito (al 3.5% di U235) ed una grande quantità di uranio impoverito di scarto.

Dopo l'uso in reattori, si ottiene il "combustibile esaurito" (linea nera continua del grafico delle radiotossicità sopra riportato) che è estremamente più pericoloso e radiotossico dell'uranio di partenza. La maggior parte dei paesi dotati di impianti nucleari (per es. gli USA) considerano il combustibile esaurito come scorie nucleari da smaltire. Il combustibile esaurito può essere riprocessato per separarne le componenti, con particolare interesse per il plutonio, considerando come scorie solamente i prodotti di fissione (linea rosa del grafico delle radiotossicità); si ricava anche una gran quantità di uranio di ritrattamento che tuttavia non è adatto al riutilizzo in reattori nucleari in quanto contaminato da altri atomi pesanti (attinoidi). Il riprocessamento può essere effettuato a scopo civile o militare, in quest'ultimo caso a scopo di ottenere materiale per la costruzione di armi atomiche. A partire dagli anni ottanta, specialmente in Francia, è stato messo a punto un combustibile costituito da plutonio ed uranio impoverito, denominato MOX; attualmente viene prodotto in quantitativi solo dalla Francia ed usato in una trentina di reattori europei: tuttavia Belgio, Germania e Svizzera ne cesseranno l'uso appena terminate le riserve acquistate negli anni novanta. Il MOX esaurito, rispetto al combustibile esaurito bruciato una sola volta, contiene un tenore ancora più elevato di Pu (Plutonio) 240 ed isotopi superiori, rendendo più problematico e quindi più antieconomico un ulteriore ritrattamento.



Opinioni PRO nucleare

I residui prodotti da una centrale nucleare vengono classificati in tre categorie, in base al livello di radioattività che contengono e al tempo necessario affinché essa torni a valori inferiori a quelli della radioattività naturale.

Residui a bassa attività – Sono costituiti da carta, stracci e arnesi da lavoro, indumenti di protezione e filtri. Costituiscono circa il 90% dei residui in volume e hanno tempi di decadimento dell'ordine di 20-30 anni.

Residui a media attività - Sono prevalentemente costituiti da componenti del reattore e da prodotti derivanti dal riprocessamento del combustibile. Rappresentano il 7% dei residui in volume e hanno tempi di decadimento che possono arrivare a circa 300 anni.

Residui ad alta attività – In pratica sono costituiti dal combustibile esaurito. In termini di volume costituiscono meno del 3% dei residui totali, ma hanno tempi di decadimento dell'ordine delle migliaia di anni.

Per avere un'idea delle quantità dei residui prodotti, ogni anno un impianto di tipo EPR da 1.600 MW (cioè del tipo proposto da Enel per l'Italia) produce circa 80 m³ di residui a bassa e media attività e 15 m³ di residui ad alta attività nell'ipotesi massima, cioè nel caso di combustibile non riprocessato (quantità quest'ultima che corrisponde ad un container da 12 metri ogni 4 anni di attività).

I residui a bassa e media attività vengono incorporati in cemento o altri materiali solidi e collocati in appositi contenitori che ne garantiscono l'integrità per un lungo periodo di tempo. Vengono quindi sistemati in depositi superficiali situati o nelle centrali o in apposite strutture.

I residui ad alta attività possono essere collocati in modo permanente in un deposito oppure possono essere riprocessati, cioè i vari elementi chimici possono essere separati e parzialmente riutilizzati per la fabbricazione di nuovo combustibile nucleare.

In ogni caso, alla fine rimane una certa quantità di residui che, nonostante sia sostanzialmente ridotta, deve essere sistemata in un deposito permanente. Per esempio, per i rifiuti ad alta attività, si parla di stoccaggio in formazioni geologiche naturali che si sono dimostrate stabili per milioni di anni, come le miniere saline, le strutture in granito e alcune formazioni argillose.

Un deposito geologico definitivo è in costruzione in Finlandia, mentre numerosi Paesi (Svezia, Francia, Germania, Regno Unito, Stati Uniti, Russia, Giappone e altri) stanno studiando le sedi per i propri siti.

Negli Stati Uniti è già in esercizio un deposito definitivo in una formazione salina del New Mexico, a 600 metri di profondità, dove vengono smaltiti tutti i rifiuti ad alta attività provenienti dai cicli militari.

Inoltre, sono in corso in tutto il mondo numerose ricerche per sviluppare soluzioni innovative al problema dei residui nucleari. Per esempio reattori in grado di usare i residui ad alta attività come combustibile, con una forte riduzione sia della quantità dei residui finali, sia della loro radioattività.

Un altro filone di ricerca è quello della trasmutazione, un processo che promette di ridurre il tempo di decadimento della radioattività da migliaia ad alcune centinaia di anni.

La gestione dei residui radioattivi è un aspetto che l'industria nucleare si è posta fin dall'inizio con l'obiettivo di giungere a soluzioni affidabili e sicure.

Le attività industriali generano residui: nel mondo vengono prodotte enormi quantità di residui definiti "pericolosi" (si stima circa 400 milioni di tonnellate l'anno), contenenti materiali chimici

ed elementi tossici per l'uomo e per l'ambiente, che restano pericolosi per sempre. La soluzione per il loro smaltimento è il deposito in discariche controllate, con sistemi studiati per evitare che possano contaminare l'aria, l'acqua o il suolo.

Nel caso dei residui nucleari il processo generale è simile. Ma con due vantaggi. La quantità, che è estremamente ridotta, ed il fatto che la radioattività diminuisce col tempo.

La radioattività è infatti un fenomeno naturale presente in ogni luogo, anche nel corpo umano, e – a differenza degli elementi chimici - non è eterna, ma decade nel tempo, fino a tornare a valori compatibili con quelli ambientali.

Circa il 90% di tutti i residui prodotti dalle centrali nucleari è caratterizzato da una radioattività che decade a valori ambientali in tempi che variano da pochi secondi ad alcuni anni ed è quindi gestibile in maniera piuttosto semplice. Per il 7% dei residui il tempo necessario sale fino ad un massimo di 300 anni. Solo il 3% ha tempi di decadimento più lunghi, fino a migliaia di anni, tali da richiedere appositi depositi geologici.

Inoltre è importante sottolineare che la gestione dei residui nucleari non è legata solo alla produzione di energia. Residui radioattivi sono infatti prodotti costantemente, anche in Italia, da diverse attività umane, fra cui soprattutto il sistema sanitario, ma anche laboratori di ricerca, strutture militari e numerose industrie manifatturiere. Insomma, la costruzione di nuove centrali potrà cambiare la quantità (comunque modesta) dei residui da gestire, ma non aggiunge né toglie nulla alla necessità di trovare una soluzione definitiva.----

Opinioni PRO nucleare

Da «21st Century Science and Technology» (Estate 2005)

Non sono "rifiuti"- Il combustibile nucleare è rinnovabile - **di Marjorie Mazel Hecht**

La prima cosa da sapere sui rifiuti nucleari è che essi non sono affatto "rifiuti", ma una risorsa rinnovabile che, opportunamente riciclata (ritrattata), può offrire nuovo combustibile fissile e isotopi preziosi per molte applicazioni. La principale ragione per cui sono chiamati "rifiuti", è che la lobby anti-tecnologica non vuole far sapere al pubblico che è possibile riciclarli. Trasformando il carburante esausto nel fantasma di un problema minaccioso e insolubile, la fazione anti-nucleare ha inteso e intende bloccare la diffusione dell'energia nucleare nel mondo. Il problema è che senza l'energia nucleare, il mondo non potrà industrializzarsi, pertanto la popolazione mondiale non potrà crescere: questo è il sogno dei malthusiani.

La verità è che, con l'ingresso dell'umanità nell'era del nucleare, da subito la possibilità di riciclare il combustibile fissile parve essere la grande promessa di un modo di produzione dell'energia allo stesso tempo poco costoso e efficiente. Si pensò subito che le nazioni facenti uso dell'energia nucleare avrebbero riprocessato il combustibile esausto, completando il ciclo di rinnovamento dell'uranio inizialmente arricchito, dopo essere stato "bruciato" nei reattori.

Quando le altre fonti di energia moderne – legno, carbone, petrolio, gas – sono bruciate, non rimane altro che cenere e prodotti aeriformi inquinanti, effetto estraneo ad una centrale nucleare. Al contrario il fissile esausto, alla fine della reazione nucleare conserva un 95-99% di uranio inutilizzato, disponibile al riciclaggio.

Questo significa che se gli Stati Uniti sotterrano 70000 tonnellate di fissile esausto, si sciupano circa 66000 tonnellate di uranio 238. Significa, inoltre, che si sciupano anche 1200 tonnellate di uranio 235 fissile e di plutonio 239. A causa dell'altissima energia contenuta nei nuclei atomici, queste quantità relativamente piccole di fissile (sarebbero contenute nel volume di una piccola villetta) è energeticamente equivalente al 20% delle riserve petrolifere degli Stati Uniti.

Fino al 96% del fissile esausto può essere convertito in nuovo combustibile. Il 4% dei cosiddetti rifiuti pesa circa 2500 tonnellate, e consiste di materiali altamente radioattivi, i quali pure sono ancora sfruttabili. Tra di essi vi sono circa 80 tonnellate di cesio 137 e stronzio 90 che, separati, possono essere impiegati in applicazioni mediche quali la sterilizzazione delle attrezzature.

Usando le tecniche di separazione isotopica e la trasmutazione per bombardamento con neutroni veloci (tecnologie in cui gli Stati Uniti furono pionieri, prima di decidere di non svilupparle ulteriormente), si possono separare tutti i tipi di isotopi, come l'americio (impiegato negli allarmi antifumo) o quelli usati nelle diagnosi e nelle terapie mediche.

Risulta che, oggi, gli Stati Uniti devono importare il 90% degli isotopi ad uso medico, impiegati in 40000 procedure mediche quotidiane. Anziché estrarre gli isotopi dalle cosiddette scorie, gli Stati Uniti riforniscono altre nazioni di uranio arricchito, per permettere a queste di processarlo e spedire indietro gli isotopi medici necessari!

Come il combustibile diventa "esausto"

Il fissile resta per diversi anni dentro al nocciolo del reattore nucleare, fino a che la concentrazione dell'uranio 235 si è ridotta al di sotto dell'1%, soglia che impedisce la prosecuzione della reazione a catena. Un impianto di 1000 MW deve pertanto sostituire un terzo del suo fissile circa ogni diciotto mesi.

Inizialmente, il fissile sostituito è molto caldo, e deve essere depositato in piscine d'acqua che lo raffreddino e al contempo fungano da schermatura contro le radiazioni. Passato un anno in acqua, la radioattività totale diventa circa il 12% di quella riscontrata al termine delle operazioni di sostituzione. Dopo cinque anni, essa diventa circa il 5%.

A differenza di altri rifiuti tossici, gli isotopi radioattivi nel tempo perdono la loro pericolosità. Questo processo di decadimento è misurato in unità di "vita media", che indica il tempo necessario a metà della massa iniziale per decadere in qualcosa di diverso, talvolta non più radioattivo. Benché pochi siano gli isotopi con vite medie di migliaia di anni, la maggior parte dei componenti dei rifiuti nucleari decadono a livelli di radiotossicità inferiori a quello dell'uranio naturale in poche centinaia di anni.

Il fissile esausto comprende uranio e plutonio, e altre varietà di prodotti della fissione, e un piccolo quantitativo di elementi transuranici (cioè più pesanti dell'uranio stesso: gli attinidi), che hanno lunghi tempi di dimezzamento. Se questo fissile non è riciclato, bisogna aspettare centinaia di anni affinché per via naturale la sua tossicità scenda ai livelli dell'uranio naturale.

Opinioni CONTRO nucleare

www.federicopistono.org/blog/centrali-nucleari-italia-faq

Noi compriamo l'energia nucleare dalla Francia perché loro hanno il nucleare e noi no

Falso. L'ultimo reattore americano è stato costruito nel 1979, trent'anni fa. Negli Stati Uniti, il paese in cui è nato il nucleare, conta appena il 20% nella produzione energetica. In Francia sì è il [78%](#) ma i costi altissimi dei loro 59 reattori sono stati sostenuti di fatto dal governo, dallo Stato, per mantenere l'arsenale atomico.

Il nucleare in Italia ridurrà il costo dell'energia.

Falso. I costi aumenteranno. Il nucleare in Germania, per esempio, costa due volte e mezzo quello che costa in Francia, dove i costi sono attutiti dal contribuente. Secondo un recente studio svizzero citato dal prof. Carlo Rubbia oggi il nucleare non conviene dal punto di vista economico-energetico. Anche nella remota ipotesi in cui riuscissimo a costruire una centrale per regione attutiremmo il costo in 50 anni e forniremmo non più del 10% dell'energia che ci servirà.

Il nucleare sicuro non da grossi problemi di scorie.

Falso. In tutto il mondo il problema dei residui nucleari è grave e attualmente con difficile risoluzione, anche negli stati più tecnologicamente avanzati. In Italia, dove abbiamo ancora delle scorie per i vecchi impianti chiusi che continuano a produrre residui, non abbiamo nemmeno un piano per gestire i pochi residui che abbiamo e dobbiamo spedire il tutto in Germania. **Non esiste un nucleare sicuro.** O a bassa produzione di scorie. Esiste un calcolo delle probabilità, per cui ogni cento anni un incidente nucleare è possibile: e questo evidentemente aumenta con il numero delle centrali. Si può parlare, semmai, di un nucleare innovativo.

L'uranio è un metallo molto abbondante in natura quindi possiamo avere energia nucleare per un lungo tempo

Falso. L'isotopo dell'uranio che può essere utilizzato nelle centrali nucleari, l'uranio 235, è solo lo 0.3% dell'uranio totale ed è in esaurimento. Tutti i combustibili nucleari stanno aumentando di prezzo perché sempre più scarsi,

anche nella remota ipotesi secondo la quale riuscissimo a costruire le centrali nucleari quando saranno pronte il combustibile costerà talmente tanto che non sarà più conveniente.

Allora potremmo utilizzare il cosiddetto "carbone pulito"

Il carbone è la fonte energetica più inquinante, più pericolosa per la salute dell'umanità. Ma non si risolve il problema nascondendo l'anidride carbonica sotto terra. In realtà nessuno dice quanto tempo debba restare, eppure la CO₂ dura in media fino a 30 mila anni, contro i 22 mila del plutonio. Il ritorno al carbone sarebbe drammatico, disastroso.

Senza nucleare e carbone non avremo abbastanza energia

Falso. Circa il 75% dell'energia viene dispersa nelle centrali elettriche. Inoltre i nostri elettrodomestici e le nostre case non sono a norma per il risparmio energetico, anche lì oltre il 50% dell'energia viene sprecata per una mancata coibentazione, assenza di integrazione con sistemi alternativi e un piano energetico di consumo consapevole e responsabile come avviene in alcune comunità della Germania, dove il consumo avviene a secondo della produzione e non viceversa. Esempio: esistono dei piccoli robot "maggior-domi" dell'energia che costano molto poco e organizzano lavatrice, lavastoviglie, etc. nelle case nel corso della giornata in base alle previsioni di produzione locale di energia tramite solare, geotermica, eolica etc...

Queste soluzioni alternative sono impraticabili nel breve termine, meglio fare una cosa concreta come il nucleare

Falso. L'impianto per la produzione di energia solare costruito nel deserto del Nevada su progetto spagnolo è costato 140 milioni di euro, produce 64 megawatt e per realizzarlo occorrono solo 18 mesi. Con 20 impianti di questo genere, si produce un terzo dell'elettricità di una centrale nucleare da un gigawatt. E i costi, oggi ancora elevati, si potranno ridurre considerevolmente quando verranno costruiti in gran quantità. Il nucleare costa almeno 5 miliardi € a centrale, sia realizza in dieci anni, ha molti rischi incerti e il problema delle scorie certo.

Ma noi, in Italia e in Europa, non abbiamo i deserti, non possiamo fare il solare in modo efficace

Falso. Noi possiamo sviluppare la tecnologia e costruire impianti di questo genere nelle nostre regioni meridionali o anche in Africa, per trasportare poi l'energia nel nostro Paese. Anche gli antichi romani dicevano che l'uva arrivava da Cartagine. Basti pensare che un ipotetico quadrato di specchi, lungo 200 chilometri per ogni lato, potrebbe produrre tutta l'energia necessaria all'intero pianeta. E un'area di queste dimensioni equivale appena allo 0,1 per cento delle zone desertiche del cosiddetto sun-belt. Per rifornire di elettricità un terzo dell'Italia, un'area equivalente a 15 centrali nucleari da un gigawatt, basterebbe un anello solare grande come il raccordo di Roma.

Il sole però non è costato quindi non possiamo utilizzarlo

Falso. I nuovi impianti solari termodinamici a concentrazione catturano l'energia e la trattengono in speciali contenitori fino a quando serve. Poi, attraverso uno scambiatore di calore, si produce il vapore che muove le turbine. Né più né meno come una diga che, negli impianti idroelettrici, ferma l'acqua e al momento opportuno la rilascia per alimentare la corrente. Ciò che serve capire è che non è possibile utilizzare energia in modo sconsiderato, sperperandola, sprecandola per la maggior parte e poi lamentarsi che non ne abbiamo abbastanza.

Conclusioni

L'attuale tecnologia del nucleare non conviene da nessun punto di vista, almeno per quanto riguarda l'Italia, non risolve alcun problema, costa moltissimo, ha il problema delle scorie tossiche e l'uranio va in esaurimento. La soluzione risiede in: un incentivo all'ottimizzazione del consumo energetico, micro e macroproduzione tramite fonti rinnovabili come il solare e il geotermico, aumentando i fondi per la ricerca, anche nucleare se necessario. In attesa di una tecnologia migliore iniziamo a fare quello che possiamo fare meglio, ovvero il solare. -----

Carlo Rubbia, premio Nobel per la fisica nel 1984, è uno dei maggiori esperti mondiali di energia. Dirige il CERN dal 1989 al 1993. Dal 1971 al 1988 insegna anche fisica presso l'Harvard University. Dal 1999 è Presidente dell'ENEA. Le sue ricerche coprono molti aspetti della fisica delle particelle elementari in cui è estremamente attivo. Negli anni dopo il Nobel comincia a interessarsi ai problemi energetici e studia un reattore a fissione sicuro in cui i neutroni della reazione a catena vengono prodotti tramite un acceleratore di particelle. Il reattore resta però allo stadio di progetto. Attualmente è trasferito in Spagna per costruire le prime centrali solari termiche che mirano a sostituire le attuali centrali elettriche.

Rubbia: Il nucleare in Italia? Non risolverebbe il problema dei costi energetici

"Si pensa che il nucleare possa ridurre il costo dell'energia. Questo non è vero: un recente studio ha dimostrato, per esempio, che i costi per il nucleare in Svizzera continueranno ad aumentare.

I costi per il nucleare variano notevolmente da paese a paese: in Germania ha un prezzo di circa due volte e mezzo

in più rispetto a quello francese. Ciò è dovuto al fatto che il nucleare in Francia è stato finanziato per anni dallo Stato, quindi dai cittadini. Ancora oggi, le 30.000 persone che lavorano per il nucleare francese sono pagate grazie agli investimenti massivi dello Stato. L'aumento del numero di centrali atomiche nel mondo in questi ultimi anni ha causato, inoltre, un considerevole aumento del costo dell'Uranio, che difficilmente tornerà a scendere. Il nucleare è dunque molto costoso, anche nel lungo periodo."

«Io penso che se davvero noi volessimo adottare il nucleare in Italia lo potremmo fare, ma dovremmo organizzare procedure di contorno per supportare questa iniziativa. La quantità di energia richiesta dall'Italia è paragonabile a quella francese. Se dunque volessimo produrre il 30% dell'energia elettrica con il nucleare, come succede anche in Spagna, Germania e Inghilterra, ci servirebbero 15 – 20 centrali nucleari. In pratica una per regione. Ciascuna di queste centrali produrrà una certa quantità di scorie, un problema estremamente serio. In America la questione è di stretta attualità. Sia Obama che Clinton hanno affermato chiaramente che Yucca Mountain – il più grande deposito di scorie in USA – andrebbe eliminato per trovare un sito più adatto per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi. La soluzione di isolarli e soterrarli non è infatti efficace come si vorrebbe.

«Mi chiedo dunque: se non si riesce a risolvere il problema della costruzione di un inceneritore per riuscire a bruciare l'immondizia, come riusciremo a sistemare queste grandissime quantità di scorie nucleari che nessuno al mondo sa ancora smaltire?

In realtà, la risposta tecnicamente c'era per recuperare le scorie e renderle innocue. Io avevo un bellissimo programma per implementare questa tecnologia, per bruciare le scorie con gli acceleratori di materia. Il programma è stata bocciato e non finanziato dall'Italia, tanto da spingermi ad emigrare in Spagna».

Rubbia: "L'errore nucleare. Il futuro è nel sole" – (29 novembre 2009)

ROMA - Come Scilla e Cariddi, sia il nucleare che i combustibili fossili rischiano di spedire sugli scogli la nave del nostro sviluppo. Per risolvere il problema dell'energia, secondo il premio Nobel Carlo Rubbia, bisogna rivoluzionare completamente la rotta. "In che modo? Tagliando il nodo gordiano e iniziando a guardare in una direzione diversa. Perché da un lato, con i combustibili fossili, abbiamo i problemi ambientali che minacciano di farci gran brutti scherzi. E dall'altro, se guardiamo al nucleare, ci accorgiamo che siamo di fronte alle stesse difficoltà irrisolte di un quarto di secolo fa. La strada promettente è piuttosto il solare, che sta crescendo al ritmo del 40% ogni anno nel mondo e dimostra di saper superare gli ostacoli tecnici che gli capitano davanti. Ovviamente non parlo dell'Italia. I paesi in cui si concentrano i progressi sono altri: Spagna, Cile, Messico, Cina, India Germania. Stati Uniti".

La vena di amarezza che ha nella voce Carlo Rubbia quando parla dell'Italia non è casuale. Gli studi di fisica al Cern di Ginevra e gli incarichi di consulenza in campo energetico in Spagna, Germania, presso Nazioni unite e Comunità europea lo hanno allontanato dal nostro paese. Ma in questi giorni il premio Nobel è a Roma, dove ha tenuto un'affollatissima conferenza su materia ed energia oscura nella mostra "Astri e Particelle", allestita al Palazzo delle Esposizioni da Infn, Inaf e Asi.

Un'esibizione scientifica che in un mese ha già raccolto 34mila visitatori. Accanto all'energia oscura che domina nell'universo, c'è l'energia che è sempre più carente sul nostro pianeta. Il governo italiano ha deciso di imboccare di nuovo la strada del nucleare.

Cosa ne pensa?

"Si sa dove costruire gli impianti? Come smaltire le scorie? Si è consapevoli del fatto che per realizzare una centrale occorrono almeno dieci anni? Ci si rende conto che quattro o otto centrali sono come una rondine in primavera e non risolvono il problema, perché la Francia per esempio va avanti con più di cinquanta impianti? E che gli stessi francesi stanno rivedendo i loro programmi sulla tecnologia delle centrali Epr, tanto che si preferisce ristrutturare i reattori vecchi piuttosto che costruirne di nuovi? Se non c'è risposta a queste domande, diventa difficile anche solo discutere del nucleare italiano".

Lei è il padre degli impianti a energia solare termodinamica. A Priolo, vicino Siracusa, c'è la prima centrale in via di realizzazione. Questa non è una buona notizia?

"Sì, ma non dimentichiamo che quella tecnologia, sviluppata quando ero alla guida dell'Enea, a Priolo sarà in grado di produrre 4 megawatt di energia, 1 mentre la Spagna ha già in via di realizzazione impianti per 14mila megawatt e si è dimostrata capace di avviare una grossa centrale solare nell'arco di 18 mesi. Tutto questo mentre noi passiamo il tempo a ipotizzare reattori nucleari che avranno bisogno di un decennio di lavori. Dei passi avanti nel solare li sta muovendo anche l'amministrazione americana, insieme alle nazioni latino-americane, asiatiche, a Israele e molti paesi arabi. L'unico dubbio ormai non è se l'energia solare si svilupperà, ma se a vincere la gara saranno cinesi o statunitensi".

Anche per il solare non mancano i problemi. Basta che arrivi una nuvola...

"Non con il solare termodinamico, che è capace di accumulare l'energia raccolta durante le ore di sole. La soluzione di sali fusi utilizzata al posto della semplice acqua riesce infatti a raggiungere i 600 gradi e il calore viene rilasciato durante le ore di buio o di nuvole. In fondo, il successo dell'idroelettrico come unica vera fonte rinnovabile è dovuto al fatto che una diga ci permette di ammassare l'energia e regolarne il suo rilascio. Anche gli impianti solari termodinamici - a differenza di pale eoliche e pannelli fotovoltaici - sono in grado di risolvere il problema dell'accumulo".

La costruzione di grandi centrali solari nel deserto ha un futuro?

"Certo, i tedeschi hanno già iniziato a investire grandi capitali nel progetto Desertec. La difficoltà è che per muovere le turbine è necessaria molta acqua. Perfino le centrali nucleari in Europa durante l'estate hanno problemi. E nei paesi desertici reperire acqua a sufficienza è davvero un problema. Ecco perché in Spagna stiamo sviluppando nuovi impianti solari che funzionano come i motori a reazione degli aerei: riscaldando aria compressa. I jet sono ormai macchine affidabili e semplici da costruire. Così diventeranno anche le centrali solari del futuro, se ci sarà la volontà politica di farlo". -----

Dopo il gravissimo incidente alla centrale giapponese di Fukushima, il mondo si interroga sulla pericolosità e l'opportunità di continuare ad affidarsi al nucleare. Nel frattempo la Cina sta studiando degli innovativi progetti per la realizzazione di nuove centrali nucleari al Torio, ideate dall'italiano Carlo Rubbia, nobel per la fisica.

Secondo il fisico, il torio (che verrebbe usato al posto dell'uranio) presenterebbe numerosi vantaggi, cinque in particolare:

- Grazie all'uso di questo elemento chimico, le centrali nucleari produrrebbero un millesimo delle scorie radioattive che si producono attualmente e le stesse scorie avrebbero una radioattività di soli 30 anni (contro i 30.000 di quelle attuali);
- L'uso del torio permette di produrre 200 volte più energia a parità di materiale fissile;
- E' una tecnologia inutilizzabile per la costruzione delle armi nucleari;
- Le centrali alimentate a torio avrebbero il primato di essere molto più sicure;
- Il torio, come materia prima, è dieci volte più abbondante dell'uranio;

Ma nonostante questi (apparenti) vantaggi, sono ancora pochissimi i Paesi che hanno preso in seria considerazione l'idea delle centrali nucleari alimentate a torio; tra questi l'India, la Cina e il Canada.

D'altro canto, dopo la terribile crisi nucleare in Giappone, il primo intervento "sarà di fare piccole modifiche, di mettere le pompe più in alto per proteggerle dallo tsunami. - ha detto il premio Nobel Carlo Rubbia in un'intervista al Corriere della Sera - Ma il problema è diverso: le centrali di oggi si fondano su modelli probabilistici, i quali dicono che ci vorrebbero 100 mila reattori per avere un incidente grave all'anno. Invece non è così, perché la concatenazione di eventi l'incidente lo fa succedere. Occorre passare a un modello deterministico, dove l'incidente non può succedere".

"Anche quando si parla di reattori di terza generazione - ha continuato il premio nobel - si parla di cambiamenti cosmetici, serve altro. Piuttosto che investire 30 miliardi nel nucleare vecchio, l'Italia farebbe bene a investire 3 in questa tecnologia".

Secondo Rubbia infatti, come abbiamo visto, le centrali al torio hanno diversi vantaggi, ma secondo gli esperti ci vorranno comunque 20-30 anni prima che siano disponibili.

"Quella del torio è una tecnologia più che di domani di dopodomani - ha spiegato Stefano Monti dell'Enea - alcuni esperimenti sono stati fatti in tutto il mondo, compresa l'Italia che lo studiava nella sede Enea di Rotondella, ma ci sono ancora alcuni problemi di ricerca e sviluppo. Se ci fosse un impegno massiccio politico e finanziario sarebbero ostacoli superabili, ma comunque in un arco di tempo di decenni".

Insomma, il torio è più facilmente reperibile dell'uranio, le centrali alimentate con questo elemento producono meno residui e le scorie sono radioattive per molto meno tempo, ma restano i dubbi sulla sicurezza: chi ci garantisce che queste centrali siano sicure?

Teoria della relatività (fonte Wikipedia)

In fisica, con il termine **relatività** si fa riferimento genericamente alle trasformazioni matematiche che devono essere applicate alle descrizioni dei fenomeni nel passaggio tra due sistemi di riferimento in moto relativo. L'espressione **teoria della relatività** è usata per riferirsi alla teoria della relatività speciale e generale che Einstein ha elaborato tra il 1905 e il 1913, le quali hanno come elemento fondante il principio di relatività.

La scienza moderna comincia con l'assunto fondamentale, dovuto a Galileo Galilei, che le leggi della fisica abbiano la stessa forma matematica rispetto a qualunque sistema di riferimento nel quale valga il principio di inerzia. Questo assunto definito nel 1609, è oggi chiamato principio di relatività galileiano, ed è tuttora valido. Esso si basa sulla grande intuizione di Galileo della composizione dei moti e quindi della legge di somma vettoriale delle velocità: se due osservatori sono in moto relativo tra loro e ognuno di loro si sposta senza accelerazioni, in modo che la velocità relativa sia costante, misureranno spazi differenti rispetto allo stesso evento, ma la "forma" delle loro osservazioni ha la stessa veste algebrica. Nulla tuttavia si dice sui tempi.

Il concetto che il tempo sia legato al sistema di riferimento è il fondamento della relatività ristretta. Newton, leggendo e studiando con accuratezza sia il *Dialogo sopra i Massimi Sistemi*, sia i *Discorsi sopra una Nuova Scienza*, interpretò le intuizioni originali presenti a livello geometrico negli scritti di Galileo, le assimilò e le fece proprie, originando così la forma matematica e fisica della meccanica. Quando si trovò di fronte al principio di relatività, gli fu chiaro che la sua adozione implicasse in modo necessario un riferimento in cui il primo principio della dinamica, ossia il principio di inerzia di Galileo, dovesse avere piena validità. Il vero problema tuttavia era e rimane dove collocare tale sistema di riferimento: risolse il dilemma asserendo che tutti gli spazi misurati si riferissero ad uno spazio assoluto, il solo esistente invariato e immutabile, e che l'immutabilità dello spazio assoluto fosse associato con l'esistenza di un tempo assoluto, che scorre uniformemente, pervadendo tutto lo spazio assoluto.

La soluzione di Newton fu brillante e diventò un paradigma destinato a durare per secoli. Già Galileo, tuttavia, con i suoi tentativi di misurare la velocità della luce, esprimeva dubbi non risolti per l'epoca su come si dovesse intendere il principio di relatività e quindi il principio di inerzia ad esso strettamente correlato. Questi dubbi rimasero sopiti, offuscati dal fulgore del grande successo della meccanica newtoniana, fino al 1905. Con l'avvento delle equazioni di Maxwell, delle trasformazioni di Lorentz e infine della teoria della relatività di Einstein viene meno il concetto, fino ad allora dato per scontato, di tempo assoluto. Il tempo e lo spazio sono legati insieme a formare quello che viene chiamato spaziotempo. La relatività generale postula invece l'uguaglianza della massa gravitazionale e della massa inerziale, e ricava la metrica generale dello spaziotempo.

Con Albert Einstein, la teoria della relatività ebbe un ulteriore sviluppo ed oggi si tende ad associare a tale teoria il nome del fisico tedesco. La sua teoria si compone di due distinti modelli matematici, che passano sotto il nome di:

- Teoria della relatività speciale o ristretta
- Relatività generale

La relatività ristretta, chiamata anche relatività speciale, fu la prima ad essere presentata da Einstein, con l'articolo *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (elettrodinamica dei corpi in movimento) del 1905, per conciliare il principio di relatività galileiano con le equazioni delle onde elettromagnetiche.

Precedentemente, a tal fine, erano state proposte alcune teorie che si basavano sull'esistenza di un mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche, chiamato *etere*; tuttavia, nessun esperimento era riuscito a misurare la velocità di un corpo rispetto all'etere. In particolare, grazie all'esperimento di Michelson-Morley fu dimostrato che la velocità della luce è costante in tutte le direzioni, indipendentemente dal moto della Terra, non risentendo così del cosiddetto *vento di etere*; la teoria di Einstein scarta del tutto il concetto di etere, che oggi non viene più utilizzato dai fisici.

Relatività speciale o ristretta:

- **primo postulato** (principio di relatività): tutte le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali;
- **secondo postulato** (invarianza della luce): la velocità della luce nel vuoto ha lo stesso valore in tutti i sistemi di riferimento inerziali, indipendentemente dalla velocità dell'osservatore o dalla velocità della sorgente di luce.

La nota formula relativistica $E = mc^2$ prende in considerazione:

- E = energia cinetica, espressa in joule ($= N \cdot m = W \cdot s = kg \cdot m^2/s^2$);
- m = massa, espressa in chilogrammi (kg);
- c = velocità della luce, espressa in m/s (299 792 458 m/s, generalmente approssimata a 300 000 000 m/s). Pertanto $c^2 \approx 9 \times 10^{16} m^2/s^2$.

Diventa quindi facile capire come massa ed energia si equivalgano e come esse siano due facce della stessa medaglia. La teoria della relatività ci fornisce, quindi, un'altra sorpresa: poiché la massa non è altro che una forma di energia, essa non si conserva separatamente, ma si aggiunge all'energia cinetica e all'energia potenziale nell'enunciare la conservazione dell'energia meccanica.

L'enorme fattore di conversione che lega la massa e l'energia spiega come concentrando un grosso quantitativo di energia si possa creare una piccola quantità di materia ($= E/c^2$), e anche come partendo da una piccolissima massa si possa ottenere molta energia. Basti pensare che un solo grammo di materia equivale a 90.000 miliardi di joule ($9 \times 10^{13} J = 90.000.000 MJ = 90.000 GJ = 90 TJ$). Poiché 1 kWh = $3,6 \times 10^6$ joule = 3.600.000 joule, un grammo di materia equivale a 25.000.000 kWh (= 25.000 MWh = **25 GW h**).

La conversione di 10 Kg di materia (equivalente a **900.000 TJ**, ossia a 250 miliardi di kWh = 250.000.000 MWh = 250.000 GWh, coprirebbe, in pratica, il *consumo annuale* di energia **(NB: solo elettrica)** in Italia, che nel 2009 è stata di 320.268 GWh, tale valore comprende anche le perdite di rete, calcolate intorno ai 20.353 GWh circa. La parte rimanente, 299.915 GWh, rappresenta il consumo di energia degli utenti finali.

L'equivalenza massa – energia ha dimostrato la sua potenza, in maniera devastante, con le bombe atomiche. La bomba di Hiroshima ha sprigionato una potenza di 13 kilotoni, che equivalgono a 54,6 TJ ($13 \times 4,2 \times 10^{12} J$); ma questa energia rappresenta soltanto il 60% di quella che sarebbe sprigionata dalla conversione di un solo grammo di materia (90 TJ).

In effetti persino durante l'esplosione di una bomba atomica solo la minima parte della massa totale del materiale fissile viene convertita in energia. Il fenomeno della completa e immediata conversione della materia in energia potrebbe verificarsi soltanto nel caso in cui la materia entrasse in contatto con l'antimateria, annichilandosi completamente.

Da sottolineare che l'equazione di Einstein è valida ed è stata costantemente verificata nei fenomeni fisici macroscopici: ad es. nel Sole ogni secondo 4.500.000 tonnellate di idrogeno si trasformano, mediante il processo di fusione nucleare, direttamente in energia, ossia in radiazione elettromagnetica, per l'astronomico valore di 405×10^{24} joule, che espresso in wattora equivale a 112.500.000.000 TWh (nel 2005 la produzione mondiale di energia elettrica è stata di 17.907 TWh, equivalenti a 716,28 kg di materia). Ma l'equazione vale anche a livello subatomico (fisica quantistica): le collisioni tra particelle elementari (elettroni, protoni e neutroni) generano nuove particelle aventi complessivamente la stessa energia (massa), così come dagli urti tra fotoni scaturiscono coppie elettrone-positrone, che si annichiliscono tra loro trasformandosi nuovamente in fotoni (energia).

Nei processi fisici che non coinvolgono reazioni nucleari è possibile enunciare una legge di conservazione della massa, scoperta da Lavoisier, e della legge di conservazione dell'energia (primo principio della

termodinamica), alla cui scoperta hanno contribuito nella seconda metà del 1800 diversi scienziati (Joule, Carnot, Thomson, Clausius e Faraday): *nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma*. Einstein, però, ha compreso e dimostrato che il principio di conservazione, complessivamente inteso, coinvolge la materia-energia, considerate non più come due realtà separate bensì unitariamente, dato che l'una può trasformarsi nell'altra secondo una precisa relazione matematica.

La massa è qui intesa come massa relativistica del corpo, da distinguere dalla massa inerziale m . La massa inerziale può essere considerata una proprietà del corpo, poiché in un moto inerziale essa rimane inalterata. Il concetto di massa relativistica, estende il concetto di massa gravitazionale.

Con queste considerazioni ha senso definire una massa che dipende dalla velocità

In altre parole, la massa relativistica non è una proprietà indipendente dalla velocità v , ma cresce con questa. Quando la velocità si approssima a quella della luce, la massa del corpo tende all'infinito.

Per accelerare un corpo, avente massa diversa da zero, da riposo alla velocità della luce sarebbe necessaria un'energia infinita.

Una seconda motivazione, per la quale non può essere superata la velocità della luce, deriva dalle equazioni che spiegano la contrazione/dilatazione dello spazio-tempo nella relatività ristretta.

Relatività generale

La teoria della relatività generale venne presentata come serie di lecture presso l'Accademia Prussiana delle Scienze, a partire dal 25 novembre 1915, dopo una lunga fase di elaborazione. Esiste un'annosa polemica sulla pubblicazione delle equazioni di campo tra il matematico tedesco David Hilbert ed Einstein; tuttavia, alcuni documenti attribuiscono con una certa sicurezza il primato ad Einstein.

Il fondamento della relatività generale è l'assunto, noto come principio di equivalenza, che un'accelerazione sia indistinguibile localmente dagli effetti di un campo gravitazionale, e dunque che la massa inerziale sia uguale alla massa gravitazionale. Gli strumenti matematici necessari a sviluppare la relatività generale erano stati introdotti in precedenza da Gregorio Ricci Curbastro (1853-1925) che sostanzialmente introdusse quello che oggi è noto come calcolo tensoriale^[2].

Pur dimostrandosi nel tempo estremamente accurata, la relatività generale si è sviluppata indipendentemente dalla meccanica quantistica e finora mai riconciliata con essa. D'altro canto, la fisica quantistica, pur potendo includere la relatività ristretta, non tiene conto degli aspetti della relatività generale.

fai esempi e vedi qualche disegno.....