

Liceo Scientifico Statale “Leonardo Da Vinci”



Via Possidonea 14, Reggio Calabria – Tel. 0965 – 29911

www.liceovinci.rc.it

Progetto Quaderni di Matematica e Fisica a. s. 2005 – 2006

UNA DELLE GRANDEZZE PIU' IMPORTANTI

DELLA NOSTRA ERA: “L'ENERGIA”

Prof. Domenico Sergio Santoro

*“ Mentre nessun esperimento positivo
può darmi definitivamente ragione,
un solo esperimento negativo ,
può darmi definitivamente torto”*

Albert Eistein

“Ai miei figli,

Luce dei miei occhi e orgoglio del mio cuore.

Con Amore, papà.”

Domenico Sergio Santoro

UNA DELLE GRANDEZZE PIU'
IMPORTANTI DELLA NOSTRA ERA:
“L'ENERGIA”

Premessa

Da sempre l'uomo, per garantire la propria sopravvivenza e per migliorare le proprie condizioni di vita, ha dovuto compiere lavori: zappare la terra, trasportare il raccolto, costruire case, ponti, dighe. In un primo tempo, per svolgere tali lavori, egli utilizzò la propria forza muscolare e quella degli animali; in seguito incominciò ad impiegare mezzi meccanici sempre più complessi, che lo misero in grado di eseguire con più rapidità e minore fatica gli stessi lavori.

Prima l'uomo e poi le macchine, per poter compiere lavoro avevano bisogno l'uno di cibo, le altre di combustibile o di tutto ciò che è indispensabile per la produzione di ciò che comunemente viene chiamata *energia*.

“ Tutti i corpi che possono compiere un lavoro possiedono energia.”

La rivoluzione tecnologica degli ultimi due secoli, che ha cambiato la vita dell'uomo, ha comportato un sempre crescente bisogno di energia e tale bisogno ha spinto l'uomo verso la ricerca di fonti energetiche di ogni tipo e in ogni dove, cercando anche di non alterare l'ecosistema che ci circonda.

Che cos'è l'**Energia**?

Deriva dal latino *energia* e dal greco *enérgeia*, da *èrg-on* opera, azione e da *energòs*, in atto di operare. “L'Energia è la capacità di un corpo o di un sistema di compiere lavoro”.

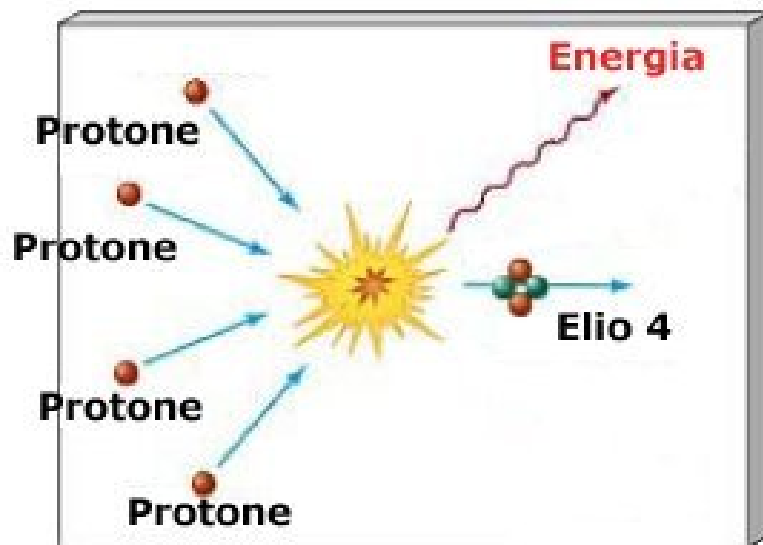
L'Energia non si crea né si distrugge, ma si trasforma soltanto. Ce ne accorgiamo vedendo che l'energia elettrica della presa fa funzionare sia il frullatore, che lo scaldabagno, che la lampadina! Si trasforma, cioè, in energia meccanica, energia termica ed energia luminosa. Si provi a riflettere sulle conseguenze che un fatto molto semplice, come quello di un guasto alla

rete elettrica, può avere non solo nelle case, ma negli uffici, nelle fabbriche, negli ospedali, nel settore delle comunicazioni. Certamente, si concluderà, che in un periodo in cui si parla tanto di libertà, si è tutti schiavi del progresso e delle comodità che noi stessi ci siamo creati: siamo diventati schiavi dell'energia elettrica. E' questa, infatti la forma di energia che l'uomo moderno maggiormente richiede: è una energia comoda, pulita, che spesso risolve i nostri problemi solo inserendo una spina e premendo un interruttore. L'energia elettrica però non è un'energia *primaria*, cioè non si trova liberamente in natura, ma deve essere prodotta artificialmente nelle centrali elettriche e i metodi per prepararla spesso non sono né comodi né puliti. Oggi tutto richiede energia e tutte le sue forme, ad eccezione di quella nucleare, traggono origine direttamente o indirettamente dal Sole!

Dal Sole ci arriva la forma di energia più diffusa sul nostro pianeta, disponibile ovunque, in modo gratuito ed in quantità ampiamente superiore al fabbisogno dell'intera umanità: ***in un solo giorno la terra riceve dal sole una quantità di energia 30 volte superiore a quella consumata da tutta la popolazione mondiale in un intero anno!***

Il Sole è una stella e ciò significa che, a differenza della Terra, sulla quale la costituzione chimica delle rocce è definita ed avvengono solo trasformazioni molto lente e a livello locale, nel Sole la materia si trasforma continuamente, in modo rapido e violento. Le reazioni avvengono a temperature molto elevate coinvolgendo la struttura interna degli elementi, cioè il nucleo degli atomi. Durante queste reazioni, che prendono il nome di fusione nucleare , si svolge una enorme quantità di energia, che si propaga in tutte le direzioni e raggiunge tutti i pianeti del sistema solare, quindi anche la Terra.

L'origine dell'energia solare non è altro che energia nucleare presente negli atomi di idrogeno, che costituiscono la maggior parte della massa solare e vanno man mano trasformandosi in un altro elemento chimico: l'**elio** .



L'energia solare è abbondante, ma non facilmente sfruttabile. Si tratta in parte di energia luminosa, in parte di energia termica a bassa temperatura, molto dispersa e ricevuta in modo discontinuo (basti pensare al giorno e alla notte). Inoltre la Terra riflette la radiazione solare sotto forma di radiazione infrarossa, che viene assorbita dall'atmosfera, che in tal modo si riscalda; uno sfruttamento massiccio dell'energia solare impedirebbe questo fenomeno, alterando profondamente le condizioni climatiche locali e l'ecosistema.

Fonti di energia alternative

Una prima fonte è quella che si ha ogni qualvolta si riesce ad usare meno energia sia attraverso migliorie tecnologiche che attraverso l'eliminazione di eventuali sprechi: si ottiene un quantitativo di energia in più a disposizione, visto che non è andato perso! Anche questa è una vera e propria fonte di energia.....pulita ed economica.

Fonti di energia rinnovabile: Si definiscono fonti "rinnovabili" quelle fonti non convenzionali che hanno un tempo di riproduzione minore o uguale a quella del loro utilizzo e pertanto possono essere considerate virtualmente inesauribili. Appartengono a questa categoria l'Energia Solare e tutte quelle forme di energia derivanti da questa (Energia Idraulica, Energia Eolica, Energia dalle biomasse, Energia dalle onde, dalle correnti e dalle maree), a

cui si aggiunge l'Energia Geotermica. I dispositivi che consentono di ricavare direttamente energia dal sole sono gli *impianti fotovoltaici* per la produzione di energia elettrica e i *pannelli solari* per la produzione di acqua calda. L'energia proveniente dal Sole, a tutt'oggi, ha trovato un impiego molto limitato in relazione alle potenzialità di tale fonte energetica. Alcuni dati fanno comprendere come, in futuro, il problema dell'approvvigionamento energetico non possa fare a meno di tale "inesauribile" risorsa: infatti si sa che il Sole invia sulla Terra, in un mese, una quantità di energia termica equivalente a quella fornita da 10^{13} tonnellate di carbone. Vale a dire l'equivalente di tutte le risorse fossili presenti sulla Terra! Inoltre, l'energia che il Sole invia sulla Terra in un anno è pari all'incirca a 10^{18} kWh, cioè una quantità di gran lunga superiore al consumo energetico annuale del nostro pianeta. Ciononostante, come detto all'inizio, l'impiego di tale enorme risorsa è limitato, per motivi tecnici ed economici, a pochi campi di applicazione. Gli impianti fotovoltaici sfruttano la cosiddetta **conversione fotovoltaica**. Si tratta della possibilità di trasformare direttamente la luce proveniente dal Sole in energia elettrica. In sintesi il processo è il seguente:

la luce è composta di **fotoni**; quando i fotoni colpiscono un opportuno materiale (celle solari) liberano delle cariche elettriche. Una cella solare è una piastrina di silicio trattata in modo che possa dare luogo ad una corrente elettrica tramite le cariche liberate dai fotoni. Quanto maggiore è la quantità di luce che colpisce la cella, tanto più intensa è la corrente generata.

Sono allo studio progetti per catturare l'energia solare fuori dall'atmosfera terrestre, dove l'irraggiamento solare è più intenso e disponibile 24 ore al giorno, mediante satelliti. Il concetto di **satellite solare elettrico** consiste nel trasformare l'energia solare o usando centrali termoelettriche simili a quelle esistenti sulla Terra, con turbine ed alternatori o sistemando nello spazio schiere di celle solari che convertano direttamente la luce in energia elettrica ed il cui rendimento sarebbe circa 10 volte maggiore del corrispondente rendimento sulla Terra.

Esiste il problema del trasporto dell'energia dallo spazio alla Terra: l'energia elettrica prodotta nello spazio verrebbe trasformata in microonde, per essere trasmessa a Terra da un'antenna; sulla Terra le microonde verrebbero raccolte da un'altra antenna di grandi dimensioni, per essere nuovamente convertite in energia elettrica. Il rendimento globale dell'operazione sarebbe dell'ordine del 55%, ma restano gli altissimi costi per il trasporto delle stazioni solari nello spazio, la possibilità di inquinamento da microonde e la difficoltà di reperire decine di migliaia di ettari di terreno necessari alla costruzione delle antenne terrestri che devono essere molto ampie (per evitare che le microonde arrivino sulla Terra troppo concentrate) e vicine alle zone industriali.

Tra le fonti di energia alternativa, l'Energia Eolica si distingue per questi fattori:

- è continuamente disponibile, sia di giorno che di notte;
- può essere utilizzata per compiere svariati lavori: meccanici ed elettrici;
- i meccanismi che la sfruttano non richiedono necessariamente tecnologie d'avanguardia;
- non è assolutamente inquinante e non influisce sugli ecosistemi in cui è inserita.

In pratica l'energia eolica utilizza l'energia cinetica del vento per far muovere le pale di un'elica montata su asse orizzontale, disposte perpendicolarmente o inclinate rispetto alla direzione del vento, oppure un rotore verticale, che gira nella direzione del vento ed è direttamente collegato al generatore di corrente.

I rotori verticali sono più solidi e di più semplice costruzione, ma necessitano di una maggiore velocità del vento. In generale, gli aerogeneratori forniscono piccole quantità di energia e sono adatti soprattutto nelle isole o in località isolate, dove non esiste altra rete elettrica.

Ancora, altra fonte energetica alternativa è l'Energia dalle biomasse cioè di piante – che sono la fonte più comune; possono essere coltivate appositamente per la produzione di energia o possono essere raccolte dall'ambiente naturale -, rifiuti industriali – ad esempio la “*sansa*” esausta che è un rifiuto delle lavorazioni olivicole o il “*pastazzo*” d'agrumi, residuo delle industrie agrumicole –, i rifiuti agricoli – fonte di grandi quantità di biomassa: essi comprendono gli scarti dei raccolti

(tra cui quello della selvicoltura), le produzioni danneggiate o in eccesso, i residui di potatura e lo sterco animale. Se i residui e gli scarti di produzione di canna da zucchero, selvicoltura e grano, oltre al letame, fossero convertiti in energia, si potrebbe soddisfare con essi il 30% della richiesta mondiale!

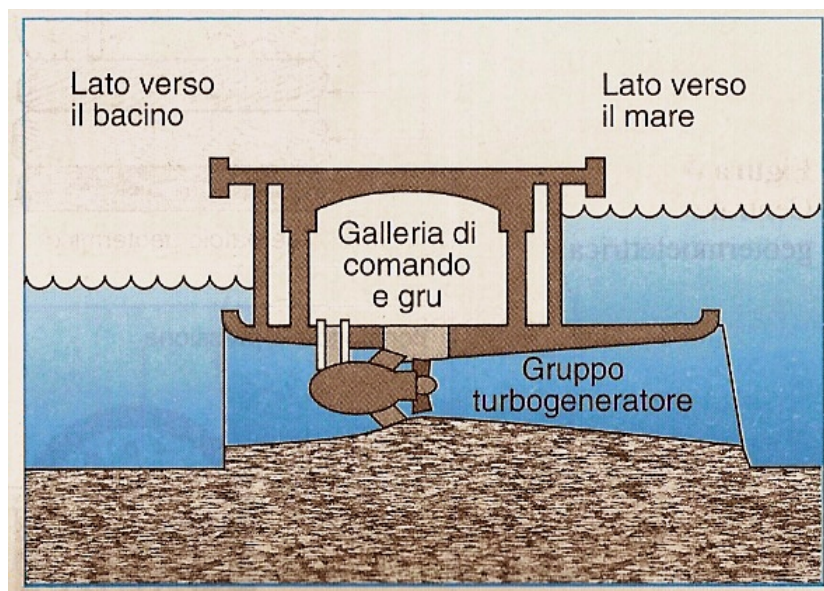
L'estrazione dell'energia dal moto ondoso è una tecnologia relativamente recente che è nata da una trentina di anni ma che ha ricevuto, negli ultimi anni, uno slancio notevole. Le onde del mare costituiscono, già oggi, una fonte di energia inesauribile e “pulita”. La fonte della generazione è il vento che abbattendosi più o meno violentemente sulla superficie del mare lo mette in movimento generando il moto ondoso. L'energia così immagazzinata dalle onde viene rilasciata solo quando queste raggiungono le coste, spesso con effetti disastrosi.

Aspetti generali

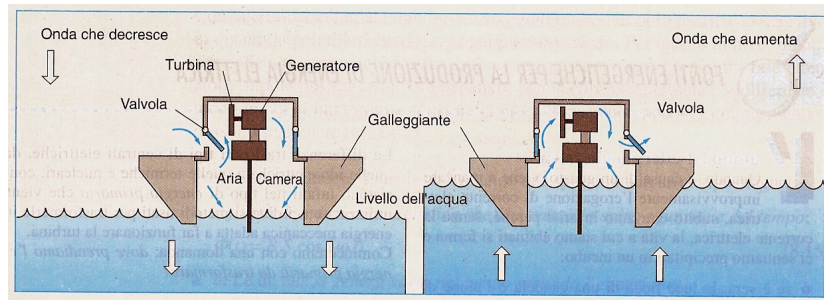
- I tre quarti della superficie del pianeta sono coperti dal mare e rappresentano una vastissima distesa di energia sotto forma di onde.
- Il World Energy Council ha stimato che una quantità altissima di energia, pari al doppio dell'energia elettrica oggi prodotta in tutto il mondo, potrebbe essere tratta dagli oceani. (Nel solo Regno Unito è stato stimato che ricavando energia dal moto ondoso si coprirebbe il fabbisogno dell'intera nazione con un surplus non indifferente).

- Se meno del 0.1% dell'energia rinnovabile degli oceani potesse essere convertita in energia elettrica questa potrebbe soddisfare più che ampiamente la domanda mondiale corrente.

Per sfruttare l'Energia delle Onde dalle maree occorre che il dislivello tra alta e bassa marea sia superiore a 5 metri; è necessario costruire una diga per trattenere l'acqua entrata nel bacino durante l'alta marea e far sì che essa, entrando e uscendo, faccia ruotare le turbine.

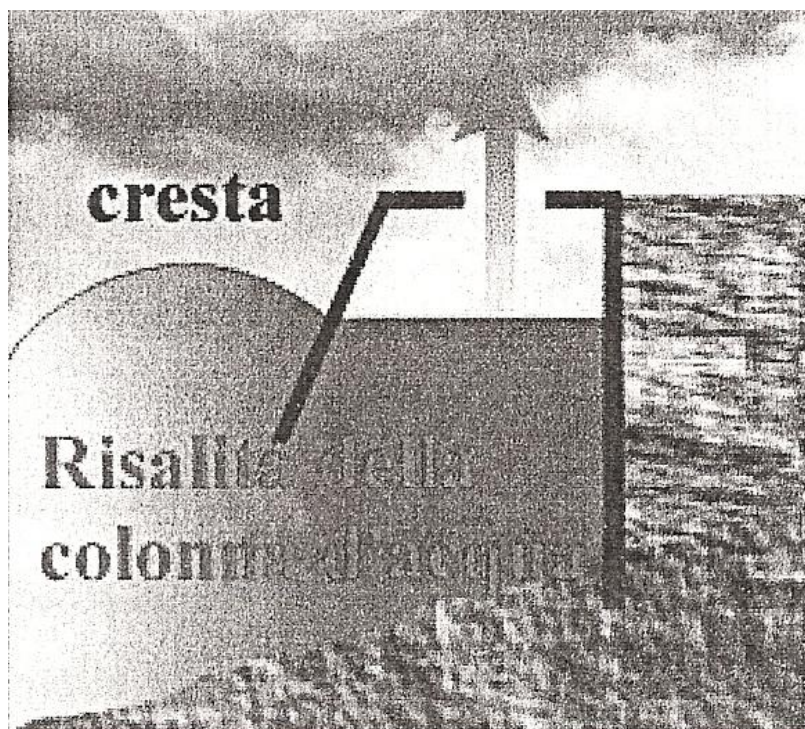


Sono stati fatti tentativi anche per convertire in energia elettrica l'energia delle onde del mare, utilizzando una camera divisa in due settori, in cui l'aria viene compressa quando l'onda si alza e si espande quando l'onda si abbassa; il flusso di aria da un settore all'altro, causato dalle differenze di pressione, fa ruotare le turbine

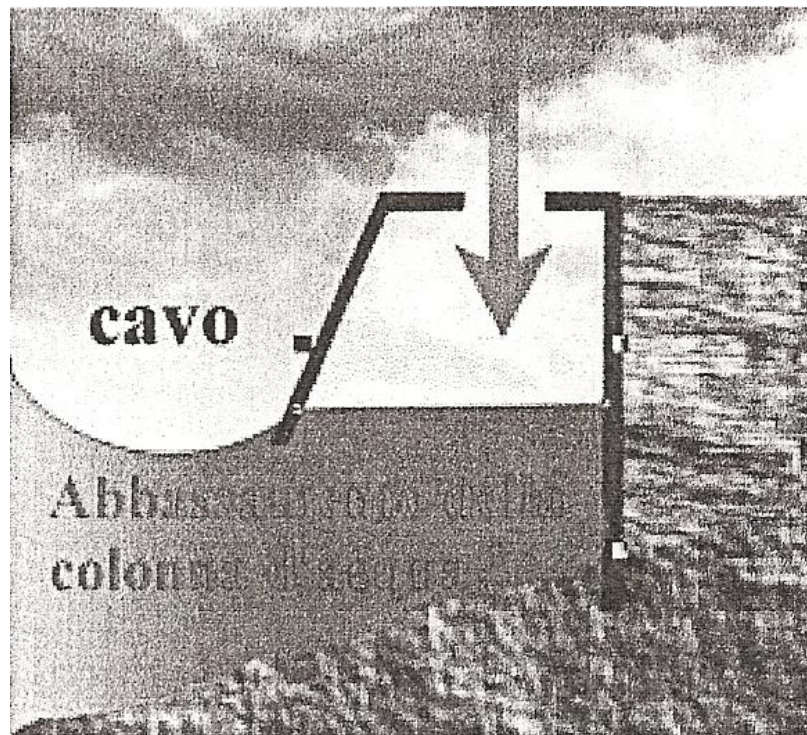


Il progetto, di partecipazione internazionale, è stato realizzato al largo delle coste giapponesi, ma la difficoltà di costruire e ancorare nell’oceano grandi piattaforme galleggianti fa sì che il costo dell’energia elettrica così prodotta, senza considerare il successivo trasporto sulla terraferma, sia triplo di quella prodotta nelle centrali nucleari.

Gli unici tipi di impianti ad oggi installati ed efficienti sono gli **OWC**. Il primo impianto fu inaugurato nel Novembre del 2000, nell’isola di Islay, in Scozia ed è stato definito come “il primo impianto nel mondo commercialmente riuscito”. Gli OWC (Oscillating Water Column) sono costituiti da due componenti di base: un collettore per catturare l’energia delle onde ed un generatore a turbina per trasformare l’energia delle onde in energia elettrica.



Principio della colonna d'acqua oscillante



Il collettore è costituito da una camera parzialmente immersa nella quale l'acqua del mare è libera di entrare e andare via. Il fatto che l'acqua entra ed esca comporta che il livello dell'acqua nella camera sale e scende. Una colonna d'aria che si trova racchiusa tra la superficie dell'acqua e le pareti della camera, risulta alternativamente compressa e decompressa in seguito a questa oscillazione della superficie. Si generano così dei flussi alternati di

aria ad alte velocità. Se si intercettano questi getti d'aria con una turbina è possibile estrarre energia dal sistema ed usarla per generare elettricità.

Per fornire potenza ai generatori di energia elettrica vengono usate delle turbine di Wells. Dette turbine hanno la peculiarità di ruotare sempre nello stesso verso, quale che sia la direzione del flusso dell'aria. Così le turbine continuano a girare sia quando il livello nella camera "collettore" sale che quando il livello scende. La turbina aziona il generatore che converte questa energia in elettricità.

A partire dagli anni '70 tra le risorse maggiormente prese in considerazione troviamo l'Energia Nucleare. Tale scelta ad opera dei Paesi maggiormente industrializzati portò con sé accese polemiche sull'opportunità o meno di spingere in direzione di programmi nucleari di sempre più vasta portata. L'incidente avvenuto nel 1979 alla centrale americana di Three Miles Island diede nuovo impulso e maggiori argomentazioni alle posizioni dei movimenti antinuclearisti dei diversi Paesi. Polemiche che furono solo in parte placate dai risultati della conferenza di Venezia del 1981 sulla sicurezza nucleare, che metteva in primo piano la sicurezza degli impianti.

Il Parlamento italiano, in tale quadro nazionale ed internazionale, approvò alla fine del 1981 il Piano Energetico Nazionale (PEN), il quale prevedeva la costruzione entro il 1990 di quattro centrali elettronucleari in aggiunta a quelle già funzionanti di Caorso e a quella in costruzione di Montalto di Castro. Esso prevedeva, inoltre, la costruzione di nuove centrali a carbone e la conversione, sempre a carbone, di altre centrali funzionanti ad olio combustibile. Tale piano, anche se intralciato da intoppi di varia natura, fu avviato a realizzazione. Ma un nuovo incidente, ben più drammatico di Three Miles Island, rimise tutto in discussione. Si tratta del noto incidente di Chernobyl, al quale fece seguito un'ondata emotiva di paura in tutto il mondo e che portò in Italia i movimenti antinuclearisti ad indurre la polemica e l'opposizione ai progetti nucleari. Fu promosso un referendum che, pur riguardando solo questioni attinenti la costruzione di impianti e gli impegni

del nostro Paese nel settore, si tramutò in una vera e propria indicazione sull'opzione nucleare da parte di coloro che si presentarono al voto. Tutti sanno che gli oppositori al nucleare riportarono una netta vittoria. Il referendum aveva dimostrato che lo sfruttamento dell'energia nucleare desta preoccupazione se non paura. Ma al di là del risultato della consultazione popolare, esponiamo alcuni aspetti della controversia, senza alcuna pretesa di fornire conclusioni.

Si dice da parte dei sostenitori dello sviluppo nucleare che tutte le innovazioni tecnologiche hanno comportato per l'umanità rischi e anche altissimi costi in vite umane: basta pensare al vero e proprio massacro che si perpetua ogni anno a causa dell'uso dell'automobile, agli incidenti aerei, ai morti e agli ustionati per scosse elettriche, ecc.

Le centrali nucleari, nonostante gli incidenti citati, finora non hanno dato luogo a nulla di simile. In Italia le centrali che hanno funzionato non hanno mai dato luogo ad alcuna vittima né in forma diretta né in forma indiretta.

Le radiazioni, che incutono tanto timore, sono emesse dalle centrali in percentuali così basse che non hanno alcun effetto pratico sugli organismi viventi. In ogni caso sono in quantità del tutto trascurabili se confrontate con quelle di varia natura che quotidianamente riceviamo dall'ambiente: raggi X, raggi cosmici, radiazioni solari di vario tipo, ecc.

Gli impianti sono soggetti ad efficaci dispositivi di sicurezza che ne vincolano la costruzione, a differenza di quanto avviene in altri settori industriali, quali, ad esempio, il settore chimico e petrolchimico. Proprio le industrie di tali settori hanno fatto registrare incidenti catastrofici, che hanno colpito sia gli addetti ai lavori sia le popolazioni limitrofe.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale, tutti gli esperti sanno benissimo che i danni all'habitat provocati dalla combustione del petrolio o del carbone sono di gran lunga superiori a quelli che a parità d'impianti provocano le centrali nucleari. Ad esempio, una centrale termoelettrica a carbone da 1000 megawatt espelle dalle ciminiere qualcosa come 270 kg di anidride carbonica al secondo, con effetti estremamente compromettenti sul clima terrestre, e

grandi quantità di anidride solforosa, che molti studiosi ed esperti ritengono responsabile sia di decessi che di un gran numero di malattie dell'apparato respiratorio.

Anche il problema delle scorie radioattive, che pure esiste, non può essere un valido argomento di preclusione. E' dimostrato che le scorie possono essere confinate, con buona sicurezza, entro formazioni rocciose profonde. Altre ricerche in merito sono in atto e non vi sono motivi per ritenere che tale problema non trovi una soddisfacente soluzione nel prossimo futuro.

E veniamo alle obiezioni degli antinuclearisti.

Essi sostengono, innanzitutto, che se è vero che l'introduzione di ogni nuova tecnologia ha sempre comportato rischi in passato, da ciò non segue che le cose non possano andare diversamente in futuro. Se poi si pensa che i rischi, nel caso in esame, sono sproporzionati rispetto agli ipotetici benefici che se ne possono ricavare, appare ancor più assurdo essere rassegnati ad affrontarli. In parole povere, il nucleare non serve! E' vero, essi dicono, che una centrale che funzioni normalmente non comporta pericoli. Il fatto è, però, che bisogna preoccuparsi di quando le cose vanno male. Gli incidenti, anche se limitati nel numero, dimostrano quanto meno che con gli attuali standard di sicurezza la possibilità di incidenti non è remota. Inoltre il loro numero limitato è anche conseguenza del basso numero di centrali in funzione. Se queste dovessero moltiplicarsi, aumenterebbero anche le possibilità di rischio.

Con gli attuali reattori, inoltre, l'odierna riserva di uranio sarebbe destinata ad esaurirsi nell'arco di qualche decennio. Bisognerà, quindi, fare un ricorso sempre più massiccio alle cosiddette centrali autofertilizzanti, di rendimento molto più elevato. Ciò comporterà un impiego sempre più corposo di plutonio, che è un elemento altamente radioattivo, molto tossico e persistente nel tempo.

Per quanto riguarda, infine, il problema della conservazione delle scorie, soprattutto di quelle fortemente radioattive, tutti i sistemi utilizzati finora sono altamente rischiosi: vengono ricordate, in proposito, le perdite registrate

nei depositi di scorie nei punti di raccolta degli Stati Uniti, nonostante le scorie siano custodite in doppi contenitori di metallo sepolti nel cemento.

Reazioni nucleari

Nel 1939, il radiochimico tedesco Otto Hahn, insieme a Fritz Strassman, ottiene del materiale radioattivo bombardando l'uranio con neutroni. Analizzando chimicamente il prodotto ottenuto, nota che si è formato del bario radioattivo, con numero atomico 56, cioè un elemento la cui massa è molto più piccola di quella dell'uranio, che ha $Z = 92$.

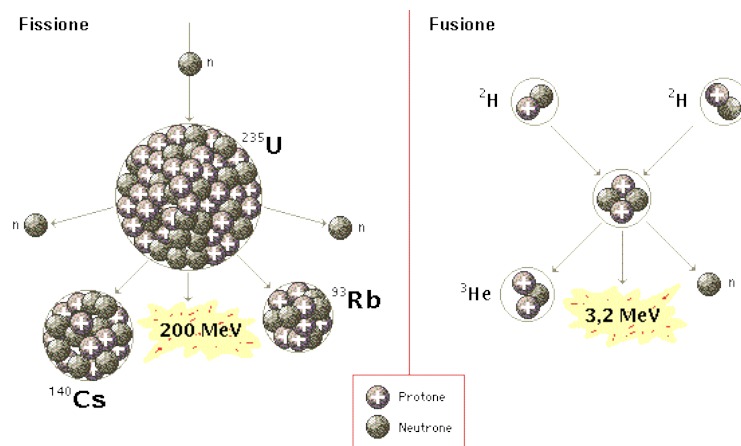
Due fisici tedeschi, che per motivi politici si erano rifugiati in Svezia, Otto Frisch e Lise Meitner, formulano l'ipotesi che l'atomo di uranio si sia spezzato in due frammenti più leggeri, ma di massa quasi uguale.

La reazione in questo caso può essere:



Una reazione di questo tipo, caratterizzata dalla scissione di un nucleo in due parti all'incirca uguali, viene chiamata **fissione nucleare**.

nucleare.



L'energia di legame di un nucleo con $A = 120$ è circa 8,5 MeV per nucleone, mentre un nucleo più pesante, per esempio con massa doppia $A = 240$, è di soli 7,5 MeV per nucleone. Il fatto che l'energia di legame, oltre un certo punto diminuisca all'aumentare del numero di massa, significa che, quando il nucleo pesante si spezza, si libera una notevole quantità di energia.

L'energia che si sviluppa durante la fissione nucleare è dovuta al fatto che la massa complessiva dei nuclei prodotti in seguito alla scissione è minore della

massa del nucleo iniziale. L'energia sviluppata è appunto equivalente alla massa scomparsa, secondo l'**equazione di Einstein**: $E = m c^2$

dove c è la velocità della luce ($c = 300000 \text{ km/s}$).

Per avere un'idea dell'energia che si rende disponibile durante il processo di fissione, si pensi che alla scomparsa di un grammo di massa viene liberata un'energia pari a 25 milioni di kilowattora. Infatti:

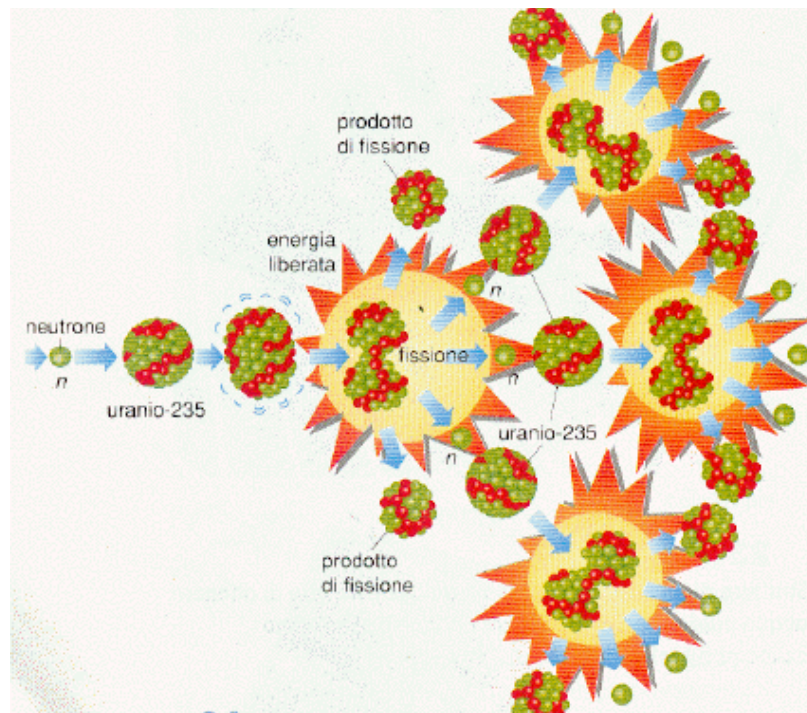
$$\begin{aligned} E = mc^2 &= 1g * (300000 \text{ km/s})^2 = 10^{-3} \text{ kg} * (3 * 10^8 \text{ m/s})^2 = \\ &= 10^{-3} * 9 * 10^{16} \text{ J} = 9 * 10^{13} \text{ J} \end{aligned}$$

e poiché: $1 \text{ W} * h(\text{wattora}) = 3600 \text{ J}$, abbiamo:

$$E = (9 * 10^{13} / 36 * 10^2) \text{ Wh} = 25 * 10^9 \text{ Wh} = 25 * 10^6 \text{ kWh}$$

La probabilità di una fissione spontanea è molto piccola (tempo di dimezzamento circa 10^{17} anni nel caso di U^{235}), ma se si fornisce al nucleo pesante un po' di energia mediante un neutrone che viene catturato, la probabilità aumenta notevolmente (tempo di dimezzamento 10^{-21} s) e si ha la **fissione indotta da neutroni**, ma in genere i frammenti non sono uguali tra loro.

Il fatto che durante la fissione si liberino alcuni neutroni, fa sì che una volta innescata, la reazione si autosostenga e si abbia una **reazione a catena**: i neutroni liberati colpiscono altri nuclei e provocano altre fissioni, liberando una quantità enorme di energia (*bomba nucleare*) in modo rapido ed esplosivo.



Tuttavia, se la massa del materiale non supera una certa *massa critica*, la reazione a catena non avviene: troppi neutroni sfuggono dal sistema e la potenza liberata è troppo piccola per avere l'esplosione; si ha così una *reazione controllata*, come quella che viene utilizzata nei *reattori nucleari*, detti *pile atomiche*.

In pratica si elimina una parte dei neutroni facendoli assorbire da materiali inerti usando sbarre di cadmio che possono essere inserite più o meno numerose nel reattore.

Un'altra reazione possibile è la **fusione nucleare**, che è l'esatto opposto della fissione: consiste nell'unire tra loro due o più nuclei leggeri per formarne uno più pesante, liberando l'energia di legame. Questa cresce rapidamente all'aumentare del numero atomico per gli elementi leggeri; quindi sono gli elementi leggeri che, fusi tra loro, possono emettere grandi quantità di energia.

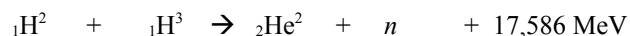
Queste reazioni, che avvengono continuamente nelle stelle, sono teoricamente semplici, ma non certo facili da realizzare.

E' necessario avvicinare le due parti in modo da fare entrare in azione le forze nucleari a corto raggio d'azione (10^{-15} m), ma si oppongono le forze repulsive tra protoni; pertanto il materiale deve essere mantenuto sotto forma

di plasma alla temperatura di 10^{17} K e non conosciamo per ora alcun materiale capace di resistere a questa temperatura per costruire il contenitore. Finora si è riusciti a realizzare la fusione solo per scopi bellici (*bomba H*), dove lo scopo è distruggere e non ha importanza che fine farà il contenitore.

Tre strade per fondere gli atomi: Ecco quali sono le reazioni di fusione nucleare sulle quali si punta maggiormente per ottenere energia pulita dagli atomi

Massima efficienza

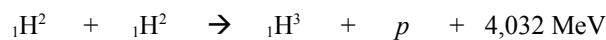


deuterio + trizio \rightarrow elio-4 + neutrone + energia

PRO Facile da realizzare e produce molta energia, qui espressa in MeV (ci vogliono 20 miliardi di miliardi di MeV per fare un kWh)

CONTRO Il trizio non esiste in natura in quantità apprezzabili e quindi deve essere prodotto in laboratorio.

Combustibile abbondante

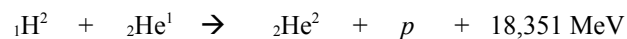


deuterio + deuterio \rightarrow trizio + protone + energia

PRO Il deuterio è abbondante nell'acqua di mare (circa 30 g/m³), quindi il combustibile non dà problemi di produzione.

CONTRO Richiede elevatissime energie per innescare la reazione (8,5 volte la precedente) e produce meno energia.

Radioattività zero



deuterio + elio-3 \rightarrow elio-4 + protone + energia

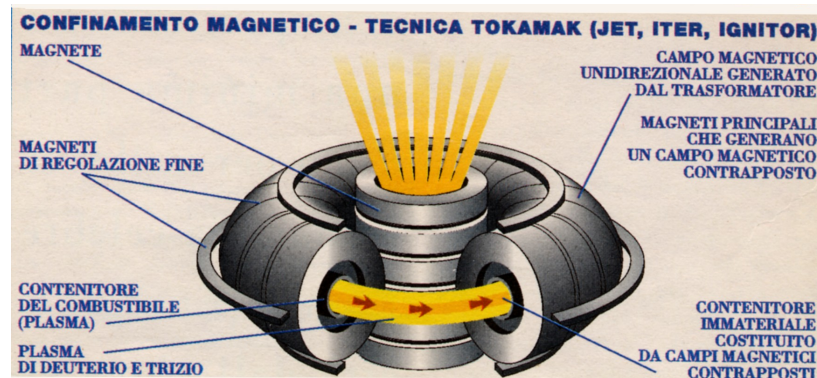
PRO Non produce neutroni (che rendono radioattivi i materiali del reattore) né trizio (che è di per sé radioattivo).

CONTRO Per innescare la reazione richiede 7,5 volte l'energia del primo caso. Inoltre l'elio-3 è relativamente raro.

La situazione oggi

Fu la ex-Unione Sovietica a costruire i primi modelli di reattori per la fusione nucleare, detti *Tokamak* (dalla parola russa che significa "camera toroidale",

cioè della forma a ciambella) e usati ancora oggi.



Al momento, l'energia usata per confinare e tenere in movimento il plasma è enormemente superiore a quella ottenuta dalla fusione. Questi impianti, dunque, non serviranno mai a produrre energia utilizzabile praticamente. Una delle più grandi macchine sperimentali di questo tipo è il Jet (Joint European Torus) che si trova a Culham (Gran Bretagna), una “ciambella” con il raggio maggiore di quasi tre metri, che ha più volte dimostrato che la fusione nucleare controllata in laboratorio è possibile.

L'attuale obiettivo dei ricercatori è quello di raggiungere l'“ignizione” ossia la condizione in cui la reazione di fusione si autosostiene (produce cioè più energia di quella che riceve). A queste macchine, che utilizzano il sistema chiamato “ a confinamento magnetico”, si sono recentemente affiancate quelle “a confinamento inerziale”. In esse, il deuterio e il trizio contenuti in una capsula sono bombardati da un fascio di particelle accelerate (o da un raggio laser) che causa l'implosione del materiale. In un milionesimo di secondo la sua densità aumenta di 10 mila volte, avvicinando i nuclei tanto da farli fondere. E' lo stesso metodo utilizzato nella bomba all'idrogeno, ma senza l'esplosione. Al contrario, il problema è che la reazione si spegne quasi

subito, perché il trizio e il deuterio si allontanano, e quindi vengono meno le condizioni per la fusione. Leader del settore è il Lawrence Livermore Laboratory (California). In Europa vi è un progetto francese che segue la medesima strada, il Laser Megajoule.

Una terza pista è seguita al Sandia National Laboratories di Albuquerque, New Mexico. I ricercatori utilizzano la “Z machine”, una macchina che sviluppa un impulso elettrico da 50 mila miliardi di watt. La corrente viaggia in verticale lungo l’asse Z (da qui il nome dell’apparecchiatura) verso un contenitore di metallo di 4 cm per 2 cm, le cui pareti interne sono rivestite d’oro. All’interno del recipiente si trovano centinaia di fili di tungsteno, più sottili di un capello, che al passaggio della corrente si trasformano in plasma. La medesima corrente genera un campo magnetico tra i fili di plasma e le pareti del contenitore che comprime il plasma stesso fino a farne fondere i nuclei. O, almeno, così sperano i ricercatori.

Nonostante gli sforzi tecnologici ed economici la fusione nucleare sembra ancora difficile da addomesticare. Perché allora si continua ad investire nella ricerca?

Spiega Arturo Romer dell’Università della Svizzera italiana: << La risposta sta nei numeri: la fissione di 1 kg di uranio-235 produce $2,3 \cdot 10^{13}$ kWh, mentre 400 g di trizio e 600 g di deuterio producono un’energia 5 volte superiore >>.

L’utilizzo della fusione nucleare, inoltre, taglierebbe completamente le emissioni di anidride carbonica e di altri prodotti nocivi che oggi si originano dalla combustione degli idrocarburi (il sistema utilizzato da gran parte delle centrali energetiche esistenti).

Spiega ancora Romer: << L’altro grande pregio della fusione nucleare è la mancanza assoluta di scorie radioattive, perché, anche se in realtà il trizio è radioattivo, il suo tempo di dimezzamento molto rapido (di soli 12,3 anni) permette di produrlo e consumarlo in un ciclo chiuso.

In caso di calamità naturale o bellica, inoltre, la distruzione di un impianto a fusione nucleare non disperderebbe radioattività nell’ambiente, perché al

cessare dell'afflusso di energia all'apparato di fusione si bloccherebbe ogni reazione. E i materiali di partenza non sono radioattivi>>.

NUMERI

100 milioni di °C : La temperatura per innescare la fusione.

10^{-13} : La distanza alla quale i nuclei si fondono.

13 Tesla : L'intensità del campo magnetico per il confinamento (25 volte il campo magnetico terrestre).

30 anni : Il tempo previsto nel 2003 per ottenere energia commerciabile dalla fusione.

2 tonnellate : Il carbone necessario per produrre tanta energia quanto quella ottenibile (con la fusione) da una tazza d'acqua.

L'inconveniente di più grande ostacolo al processo della fusione nucleare è l'altissima temperatura a cui bisogna fare ricorso per la sua realizzazione; a seguito di ciò, gli scienziati hanno cercato di trovare una strada più semplice per rendere attuabile il processo e, all'inizio del nuovo millennio, all'Oak Ridge National Laboratory, tempio della ricerca atomica americana, Rusi Taleyarkhan assieme a Fred Becchetti dell'Università del Michigan e a Robert Nigmatulin dell'Accademia delle scienze russa avrebbero ottenuto <<promettenti segnali di fusione>> da

un nuovo tipo di esperimento.



Nei nuovi test è stata impiegata una soluzione di acetone mischiata a deuterio dentro la quale sono state generate con onde sonore delle bolle. Queste, colpite da un successivo flusso ondulatorio, implodono generando alta pressione e calore in grande quantità. Gli atomi del deuterio nella bolla

fondono in trizio, liberando luce e neutroni: ciò confermerebbe l'avvenuta fusione tra gli atomi di deuterio. Il tutto avviene a temperatura ambiente.

Il fenomeno delle bolle che implodono in un liquido emettendo energia luminosa è noto da decenni col nome di <<sono-luminescenza>>. Nell'occasione verrebbe sfruttato per favorire in certe condizioni la mitica fusione fredda.

Prof. SANTORO Domenico Sergio