

Nazzareno Gottardi

ANALISI SULLA SCELTA ENERGETICA

Queste riflessioni sono state generate come reazione ad una dichiarazione alla stampa fatta da Luigi Paganetto, presidente dell'ENEA il 10 aprile scorso, e lasciate decantare ma ora, dopo il recente annuncio dell'onorevole Scajola, sull'auspicato ritorno al nucleare, penso che sia mio dovere esternarle, anche se nel contenuto non porteranno molto di più di altre reazioni simili.

Credo però che in queste mie note ci sia un elemento che ho trovato rarissimamente nei dibattiti economici e tecnici sull'energia: la morale.

Conoscendo l'abituale reazione a quando si parla di morale e/o religione ho comunque deciso di rischiare il ridicolo, ma di aggiungere questo ingrediente anche quando parlo di energia perché ritengo che la situazione dell'Umanità sia grave.

Considero infatti che per certi aspetti, se si fanno i debiti raffronti storici, ci si ritrova in una situazione di equilibrio instabile simile a quella precedente le due guerre mondiali.

Nella presente situazione l'energia costituisce il fulcro dell'instabilità economica che, a causa della persistente pressione di gruppi internazionali di interesse finanziario, che hanno come solo obiettivo il loro profitto materiale, incuranti della sofferenza della maggior parte degli esseri umani, può rovesciare il sistema da un momento all'altro e coinvolgere tutti in un nuovo conflitto globale.

Una grande differenza però con quell'epoca è che da più di 60 anni viviamo miracolosamente nell'era nucleare con un arsenale, che nel frattempo, ha raggiunto le 27 mila testate nucleari o termonucleari (Laurence Krauss: *Closer to Armageddon*. New Scientist. 17.02.2007 p. 18.) una parte delle quali superano i 50 megaton (*milioni di tonnellate di TNT*) di potenza distruttiva.

Abbastanza da far apparire, in confronto, la tanto temuta bomba iraniana un "petardo" (*comunque sia, sempre da una ventina di chilotonnellate di tritolo!*). Personalmente, alla luce di fatti recenti della nostra storia, dove i più dei possessori di quelle armi usano, invece della morale, la politica del "dopo di me il diluvio!", non mi sento di credere a nessuno di essi circa la promessa che non saranno utilizzate e quindi temo che più che il "terzo" questo possa essere l'ultimo conflitto mondiale.

Non possiamo permetterci che per l'egoismo e l'ambizione di pochi, l'intera Umanità paghi.

Può darsi che il fatto che io, con più di 47 anni di nucleare (fissione, fusione e salvaguardia), dia questo tipo di allarme susciti il dubbio di un effetto di senescenza. Spero però che qualcuno veda invece la probabilità, tutt'altro che nulla, che io e qualche altro si diventi delle Cassandre. Se ciò avverrà sarà ovviamente troppo tardi.

Per evitare ciò bisogna che il problema energetico sia risolto "subito" ed in modo soddisfacente per tutta l'umanità in modo che esso smetta di essere un pretesto pericoloso. Ecco perché propongo che tutti coloro che anche marginalmente vengono ad essere coinvolti nella questione energetica abbandonino qualsiasi impulso di interesse personale (che può spaziare dal profitto economico, al potere politico ed anche all'orgoglio scientifico) per una scelta morale a favore di tutta la comunità umana. *Con questo non voglio dire che questo concetto debba essere relegato al problema energetico. Tutt'altro, basta nominare: sfruttamento delle risorse in generale, l'acqua, il cibo, l'ambiente, medicina, bioingegneria e genetica, etc....*

Venendo alla dichiarazione del Professor Paganetto, dopo aver riflettuto trovo che, tutto considerato, sia positiva per la chiara intenzione di stimolare l'ambiente scientifico italiano alla ricerca nel campo nucleare e, quindi, in generale in altri domini ad alto contenuto tecnologico. Ciononostante non la condivido sui punti che andrò analizzando qui sotto.

Se si osserva il dibattito sulla crisi energetica ed ambientale con un certo distacco si vede che, mentre sono tutti d'accordo che il problema è l'energia, gli argomenti addotti dai più, a parte le

poche eccezioni degli “ambientalisti sinceri”, per la scelta del tipo da adottare sono per lo più accentrati su: quanto costa, che influenza avrà sull’economia, quanto è tecnicamente migliore, quanto è utile al nostro gruppo finanziario, alla nostra industria, alla nostra ricerca scientifica, e simili. Tutti hanno una soluzione da proporre e ragioni ben precise per suffragare le loro tesi. Resta da vedere quante di esse siano veramente indirizzate a risolvere il problema in modo che sia di vantaggio alla maggioranza degli esseri umani ed al Pianeta

Se evitiamo di prendere in considerazione visioni poetico-filosofiche che vedono la Terra, esseri viventi di ogni specie inclusi, come una mitica creatura (Gaia?) e la consideriamo nel suo aspetto più materialistico, come corpo siderale fluttuante nello spazio, ci si può subito dimenticare del problema del nostro pianeta di per se stesso, poichè, qualunque sia la temperatura che esso raggiungerà o per quanto piccola diventerà la superficie delle terre emerse, esso sopravviverà fino a quando, tra qualche miliardo di anni sarà inghiottito dalla nostra stella. Il guaio è che a bordo di questo pianeta, una sorta di bioastronave, c’è il genere umano che, come ho accennato più sopra, può scomparire da un momento all’altro.

Il problema della scelta della sorgente di energia ideale quindi, è essenzialmente umano e qualsiasi soluzione deve essere rapida e sufficientemente “abbondante” per garantire il futuro benessere di tutti.

Ecco quindi che bisogna aggiungere alla lista degli argomenti obbiettivi del dibattito energetico, quelli del tempo e della disponibilità entrambi imposti sia dall’enorme crescita della domanda di energia da parte di noi classici utilizzatori occidentali che quella delle nuove rapide “economie” rampanti ed anche di quella parte di essa che bisognerà finalmente dare al resto del mondo che non ha mai avuto niente.

Ma c’è ancora un altro argomento di valutazione della scelta della sorgente energetica a cui pochi pensano o non vogliono considerare: la morale.

L’umanità per vivere deve supplire ad alcune necessità materiali di base come aria, acqua, cibo etc. Poter soddisfare queste necessità è un diritto fondamentale per tutti, senza distinzione di razza, genere e credo. Negare ad un essere umano l’accesso a questi diritti è immorale. Ne consegue quindi che qualsiasi azione volta all’approvvigionamento dell’energia, che è la principale necessità di base dell’Umanità, deve essere guidata dalla morale. Morale di una religione o di un’altra o laica poco importa, importante è che il rispetto delle sue regole garantisca la sopravvivenza ed il benessere dell’Umanità.

Per quanto stonata suoni questa affermazione in un contesto che sembra puramente tecnico-economico è la sola che indichi una via che permetta di prendere decisioni immediate in momenti critici come l’attuale dove, ripeto, i fattori tempo e disponibilità ci impongono di non tergiversare lasciandoci coinvolgere in futili dispute che possono solo giovare a piccoli potenti gruppi che continuano a controllare questo bene universale.

Per inciso: forse è superfluo, perché chiaramente sottinteso, ma preferisco sottolineare espressamente, che con quello che si sa sui danni ambientali ed altro e sapendo con certezza dell’esistenza di altre fonti di energia, pulite e, sulla scala temporale umana, praticamente inesauribili, il continuare l’uso del fossile (carbone e petrolio) come fonte di energia è assolutamente immorale.

Il fattore tempo è importante per tutti coloro che credono nell’umanità come un corpo dinamico che si sviluppa di generazione in generazione lungo l’asse dei tempi e non soltanto un’entità limitata alla nostra breve esistenza. Con questa idea in mente si vede la necessità di agire immediatamente non solo perchè sulle generazioni future peseranno le conseguenze climatiche e perchè ad esse non rimarrà neanche una goccia della preziosa materia prima, “petrolio”, che ostinatamente continuiamo a bruciare, rassicurati da questa o quella notizia sul ritrovamento di nuovi giacimenti, ma anche perchè il perdurare della situazione mondiale degli ultimi sette anni, potrebbe condurre ad un conflitto di proporzioni gigantesche per l’accaparramento delle risorse

energetiche. E questo, sarebbe veramente un atto di estrema assurda immoralità se si considera che “là fuori” c’è energia solare (diretta od eolica) pulita a portata di mano per migliaia di volte di più di quella che l’umanità necessita.

Con essa si risolverebbe quindi non solo il problema della disponibilità, ma anche la questione morale, poichè, grazie all’abbondanza ed alla “relativa facilità di approvvigionamento”, finalmente il suo impiego può favorire tutti gli esseri umani.

Tornando al tempo: sappiamo benissimo che si dovrebbe produrre energia solare subito, ma è materialmente impossibile... è già tardi, perché ci vorranno comunque decenni per completare tutti gli impianti che ci permettano di rovesciare la dipendenza dal combustibile fossile. Certo è che si deve cominciare immediatamente e su ampia scala.

Rispetto ad altre fonti infatti, come per esempio le centrali nucleari, che devono essere fornite in unità complete che richiedono lunghi periodi di costruzione e sono basate su tecnologie speciali, l’energia solare (fotovoltaica o a concentrazione) ha il vantaggio della crescita continua o modulare su piccola e/o grande scala. Vale a dire che, se per esempio, ci si riferisce alla raccolta mediante captatori fotovoltaici, si può cominciare immediatamente partendo da piccole aree e continuare a costruire le successive, mentre si utilizzano quelle già pronte, parte per alimentare il consumo pubblico e parte per fornire energia per la costruzione dei moduli successivi. Inoltre, poiché il knowhow è di dominio pubblico, essa sarebbe alla portata di tutte le Nazioni, anche a quelle con limitate conoscenze tecnologiche; esse sono normalmente le più povere e, guarda caso, con enormi disponibilità di terre aride.

Se un giorno la ricerca scientifica ci darà nuovi captatori più efficienti, non si farà altro che installarli direttamente e/o sostituire quelli più vecchi, quando questi avranno esaurito la loro funzione. Quelli attuali sono facilmente disponibili e, sebbene con un massimo di efficienza di conversione solare-elettrico del 15%, sono “più che sufficienti” per soddisfare le necessità globali giocando sull’aumento di superficie esposta: l’abbondanza dei territori utili per la raccolta di questa energia è infatti, enorme, anche escludendo i grandi deserti che ovviamente potrebbero risolvere il problema all’eccesso.

Non faccio mistero che, se nel proiettarmi sulla visione di un lontano futuro, nel mio concetto di soluzione energetica penso essenzialmente all’Umanità come ad un tutt’uno, non mi proibisco di preoccuparmi anche della realtà europea e di quella italiana.

Prediamo appunto il caso del nostro Paese: secondo le statistiche fornite dai nostri ministeri all’ONU, nel sud e nelle isole abbiamo 16000 km² di zone aride e semiaride.

Con calcoli che mi sembrano abbastanza ragionevoli si può valutare che, con le favorevoli costanti di insolazione alle loro latitudini, per ogni 100 km² coperti con il materiale PV attuale ci si può aspettare una produzione di energia elettrica continua equivalente a quella prodotta da una centrale da un GW_{el}. Questo dato tiene anche conto dello stoccaggio temporaneo di idrogeno od altro vettore energetico per compensare mediante riconversione la periodicità e variabilità di questa fonte. Per tutto il territorio nominato si potrebbe ottenere quindi l’equivalente di 160 GW_{el} di potenza continua installata. Naturalmente se si usano parametri più ottimisti, nuovi tipi di captatori ed impiego diurno diretto dell’elettricità per attività macro-energivore (esempio: industria pesante e fonderie) essi potrebbero aumentare considerevolmente. Questa produzione, come vedremo tra poco, potrebbe coprire il fabbisogno nazionale.

Tutto ciò è sicuramente alla portata delle nostre conoscenze, essenzialmente di fisica dello stato solido ed elettrotecnica di base, e delle nostre capacità tecniche ed industriali poiché si tratta di carpenteria metallica leggera per le strutture o pesante quando si passa alla costruzione di compressori, di turbine ed alternatori che fa comunque parte del nostro bagaglio tecnico (qui sto parlando del nostro Paese).

Ben diverso è il caso del nucleare: una tecnologia stupenda ed utile se non ci sono altre alternative come è il caso ora nella fase di transizione tra il passato fossile e l’inevitabile futuro

alternativo. La realtà infatti è che nel mondo ci sono circa 400 centrali che contribuiscono a circa il 16% della produzione di elettricità nel mondo.

È quindi buona cosa utilizzarle e, poiché per quanto lentamente dovranno essere chiuse per vecchiaia, mentre il traguardo di funzionamento a sola energia alternativa è ancora piuttosto lontano, a causa dei freni imposti essenzialmente dal “business del fossile”, il “buonsenso nucleare” suggerisce che, sarebbe bene rimpiazzarle.

Rimpiazzarle con cosa? La mia proposta è di sostituirle con centrali che usano nuovi reattori PWR, ma ancora della cosiddetta generazione II o III, che sono tra le migliori in Europa, e non quelli della IV generazione, ancora in stadio di sviluppo.

Qui sta quindi un punto di dissenso dalla dichiarazione del presidente dell'ENEA secondo la quale se l'Italia rientrando nel nucleare non si dedicasse a questa nuova tecnologia, che promette più “efficienza e più sicurezza” (l'enfasi è mia), si rischierebbe di produrre centrali che sarebbero “obsolete nel giro di vent'anni”.

Secondo me, supposto che ci si possa mettere a fabbricare centrali nucleari a spron battuto per essere pronti a sostituire il combustibile fossile per il 2050 la soluzione più pratica sarebbe quella di costruire proprio quelle centrali che “tra vent anni sarebbero obsolete”. Questo per due motivi: il knowhow tecnico e le capacità industriali sono ancora a disposizione (anche se non direttamente in Italia) e, soprattutto, perché con almeno 6000 anni-reattore di esperienza della II generazione è la soluzione più “sicura”. Nel frattempo si può anche continuare a costruire e sviluppare i reattori della III e III + (per intenderci il tipo EPR), perché con le loro caratteristiche dichiarate non si discostano di molto da quelle della precedente, mentre avranno certamente una migliore efficienza (http://www.youtube.com/watch?v=mPi2kT_RbCI).

La loro temperatura, per esempio, rimane sempre molto al disotto del punto critico di 373°C e non è molto lontana da quella di una vecchia locomotiva. Una situazione completamente diversa si presenta con i reattori della IV generazione. Per ragioni di spazio non posso qui enumerare le caratteristiche dei sistemi presentati, per esempio, nel documento del DOE (*A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems: US DOE Report GIF-002-00*, http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/gen_iv_roadmap.pdf) dove tra l'altro vengono definiti “più promettenti”. Essi avrebbero efficienze superiori a quelle della generazione precedente e la maggior parte di essi, essendo autofertilizzanti permetterebbero di prolungare l'utilizzo del combustibile nucleare al di là della fine dell'U235.

Mi limito a segnalare soltanto che, mentre mi trovo abbastanza propenso ad accettare, purché sia dotato di una statistica soddisfacente di “assenza di incidenti”, uno di essi, il modello SCWR, Supercritical-Water-Cooled Reactor, il cui circuito primario viene raffreddato ad acqua che all'uscita si trova in condizione di supercriticità con una temperatura di 510°C, mi oppongo a tutti gli altri, perché ritengo che siano tutti al limite delle conoscenze acquisite della tecnologia mondiale attuale.

Ne cito soltanto due: il VHTR, Very-High Temperature Reactor (Fig. 1), che è un reattore termico che viene alimentato con uranio arricchito al 20% ed il GFR, Gas-Cooled Fast Reactor che è un reattore veloce (per intenderci come lo era il vecchio Phénix) da cui differisce per il raffreddamento ad elio e non al sodio. Entrambi marciano a temperature superiori ai 1000 °C!

L'acciaio ad ottocento gradi emette una luce color rosso cupo ed a 1000°C è di un bell'arancione. Non vedo proprio la necessità di mettere uranio in macchine funzionanti a quella temperatura anche se, come nel caso del GFR, ci generano la metà del plutonio necessario per alimentare un secondo reattore. Io certamente, pro nucleare convinto (se non c'è altro), sarò sempre scettico! Queste macchine vengono propagandate sia per la supposta altissima efficienza nel produrre energia elettrica, anche > 50% rispetto a “solo” 32-35% dei vecchi PWR, che per la capacità di produrre “idrogeno”: la parola magica che dovrebbe presentare questi “Mostri” come valida alternativa..... alle energie alternative.

Per controbattere l'assurdità di questa tesi ricordo solo che l'idrogeno prodotto con un reattore

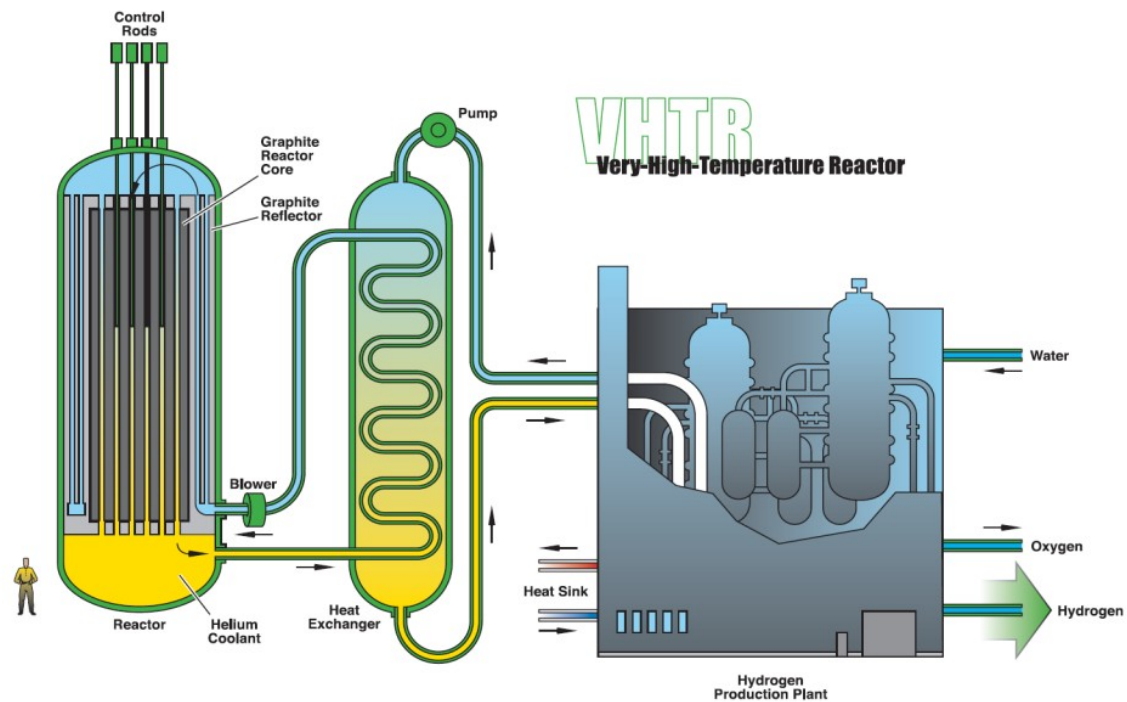


Fig. 1: Schema di Reattore ad Altissima Temperatura della IV generazione.

From DOE; Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems

nucleare, in contrasto con quello prodotto, per esempio con l'energia solare, inquinerà termicamente il pianeta mettendo in circolo con il sistema di raffreddamento una quantità di energia molto più grande di quella immagazzinata e contribuirà all'inevitabile produzione di scorie radioattive. Un bilancio assolutamente negativo.

Si ha il sospetto che tali proposte vengano fatte con l'intento di mantenere la produzione di energia del dopo-petrolio nelle mani del pugno di Nazioni che hanno la conoscenza tecnologica per gestire, a rischio, tali macchine.

L'espressione "sistemi più promettenti", infatti, che compare nel documento citato significa che questi reattori sono ancora in fase di ricerca. Nonostante le dichiarazioni di "sicurezza", quando uno di questi modelli potrà fornire una "sufficiente" garanzia basata sul funzionamento reale, il petrolio sarà probabilmente finito da qualche decennio.

Questo detto però non mi impedisce di trovare positiva la proposta del presidente dell'ENEA che i nostri ricercatori si dedichino allo studio di questo tipo di reattori che certamente, purtroppo, verranno costruiti in altre nazioni.

L'importante è che nel nello sviluppare ed/od acquisire questo speciale know-how nucleare, che comunque potrà avere una ricaduta positiva sulle nostre conoscenze scientifiche, essi non pesino sulle casse della nostra ricerca con un anacronistico impianto sperimentale. Spero soprattutto che non si finisca per far da cavie comperando una simile centrale che, anche se dichiarata collaudata, rimane un esperimento per quanto riguarda la sicurezza.

Certo l'U235 finirà presto ed il Pu239, come sottoprodotto dei LWR, anche ma c'è certamente la tecnologia bene e lungamente sperimentata e "non a rischio" dei CANDU che funzionano normalmente ad uranio naturale con acqua pesante come moderatore (HWR). Essi possono anche produrre e/o consumare plutonio, ma soprattutto possono fertilizzare il Th232 ad U233 prolungando la durata del combustibile nucleare di altre migliaia di anni senza passare per i reattori veloci. Nel campo dei reattori fertilizzanti c'è anche la possibilità reale (sebbene remota

per ora) di produrre gli stessi combustibili menzionati per il CANDU con i reattori ibridi fusione-fissione a cui accennerò più sotto.

Ora, mantenendomi sul favorevole per la provvisoria sostituzione dei vecchi reattori con quelli della III generazione per quelle Nazioni che ne dispongono, quanti ne dovremmo far costruire perché l'Italia possa staccarsi dalla dipendenza dal combustibile fossile per produrre energia elettrica? Secondo alcune statistiche, avremmo bisogno grosso modo di 45 GW_{el} di potenza installata. Questo vorrebbe dire che, trascurando l'eventuale aumento della domanda, da qui al 2050 avremmo bisogno di almeno 40 centrali, vecchia generazione, o qualcuna di meno se si produrranno quelle della III generazione.

Se poi si volesse sostituire il fossile anche per trazione, riscaldamento etc. via idrogeno od altro vettore energetico, senza prendere in considerazione le perdite termodinamiche per la produzione di detto vettore, avremmo bisogno di un'ulteriore iniezione di 220 GW, vale a dire circa 190 centrali.

Tornando agli EPR, che non sono ancora in funzione a causa del tempo di progettazione, dell'iter amministrativo per l'accettazione pubblica e della costruzione vera e propria dei prototipi, anche se per i successivi il tempo di realizzazione si riducesse a quello delle centrali con reattori della vecchia generazione sarà sempre dell'ordine di qualche anno.....

Non credo che nessuno potrà sostenere che nel nostro Paese, dopo decenni di stillicidio antinucleare con conseguente decimazione di ingegneri, tecnici e maestranze qualificate si sia in grado di raggiungere questo obiettivo.

A chi proponesse di far costruire queste centrali all'estero dove la situazione ingegneristica ed industriale in questo settore è decisamente migliore (grazie anche all'impiego di molti nostri scienziati e tecnici) si ricorda che il problema della conversione energetica è globale. Con rapidi calcoli si ha che per soddisfare le necessità mondiali, senza prendere in considerazione lo sviluppo rapidissimo delle potenze industriali emergenti, si ha bisogno di più di 13.000 reattori. Centrale più, centrale meno questi sono dati difficilmente confutabili. Bisognerebbe costruire un reattore al giorno.

(Le due frasi che seguono tra virgolette facevano anche parte delle riflessioni dell'aprile scorso. Le ho lasciate sottolineate perché, dopo la proposta governativa di ritorno al nucleare, sono quelle che mi hanno stimolato a render pubbliche queste idee).

“È evidente che la fissione, per quanto migliore sia tra i fornitori di energie non rinnovabili, non è la soluzione. Spero che i responsabili della nostra economia non si lasceranno tentare di dire alla popolazione il contrario”

Anche l'eventuale argomento che il nucleare costi meno del solare non regge più perché, essendo l'energia un diritto fondamentale, dovrebbe essere garantita dalla comunità.

Come tale i confronti fra i diversi sistemi di produzione non devono essere fatti valutando i costi ed i profitti in denaro, che dipendono da fattori essenzialmente di mercato, ma in puri termini energetici usando il rapporto EROEI (Energy Return On Energy Invested). Purtroppo anche questo criterio, che per me è il più morale, si presta a manipolazioni. Bisogna quindi verificare la sorgente di questo calcolo. Nel caso del nucleare per esempio io sono convinto che sebbene sia migliore di quello delle energie fossili (Energia Nucleare: Una Soluzione?

<http://www.aspoitalia.net/images/stories/ugo/aspoitalianucleare.pdf>) non è certamente superiore a quello del solare fotovoltaico e, questo, nell'ipotesi di non avere incidenti basandosi sul positivo ruolino di marcia dei reattori della presente generazione. Chi potrebbe altrimenti, calcolare a priori il “prezzo in energia” della rimessa in sesto dell'ambiente a seguito di un incidente nucleare che invece, per sua natura, il solare non avrà mai?

Un'altra leggera critica alle dichiarazioni del Presidente dell'ENEA riguarda l'entusiasmo per la fusione termonucleare rappresentata dal progetto ITER, che a suo tempo era stato il simbolo di

una nuova epoca di cooperazione mondiale alla fine della guerra fredda.

È triste vederlo presentare, dopo oltre un decennio di boicotto da parte di "certe Nazioni" e conseguente ritardo sulla sua partenza, come la soluzione energetica globale quando si sa già che realisticamente non sarà pronto prima di 20 anni. Penso che sia utile ricordare che si tratta di un esperimento intermedio, una macchina che se tutto va bene avrà un Q (*rapporto tra la potenza prodotta dalla fusione e quella immessa dall'esterno per scaldare il plasma*) di 10, ancora piuttosto lontano da quello di un reattore di potenza.

Visti gli antecedenti della ricerca sui Tokamak di potenza non è difficile prevedere che ci vorranno altri 25 anni prima di avere il primo reattore, Demo, e molto di più, prima di avere un vero reattore produttore di energia. Con il Q aumentano i problemi legati all'enorme flusso di particelle verso la prima parete della macchina e che, anche tralasciando il problema della generazione di impurezze che raffreddano il plasma, la sottopongono a stress sconosciuti a qualsiasi altro materiale finora prodotto.

Detto questo devo quindi aggiungere che, mentre si è quasi certi di un successo per una Tokamak a basso Q come ITER rimane comunque il dubbio se veramente la scienza dei materiali farà nei prossimi decenni un salto di qualità sufficiente per darci il materiale adatto per costruire la prima parete di un vero reattore di potenza, con un $Q > 30$, che possa resistere a quei flussi per qualche anno di funzionamento regolare.

Certamente (per me) questo materiale non ci sarà comunque quando si arriverà all'ignizione, il sogno di tutti gli addetti ai lavori.

Essa corrisponde alla situazione in cui il plasma viene riscaldato direttamente dalle particelle alfa generate dalla fusione senza iniezione di energia dall'esterno. Questa condizione, tuttavia, non è necessaria per avere un reattore di potenza redditizio.

Quello che pochi sanno però è che una macchina a fusione a basso Q sarebbe già sufficiente per diventare un generatore di energia nucleare di potenza se la si ricoprisse con un opportuno mantello (blanket) contenente per esempio U238.

Un tale congegno viene chiamato "reattore ibrido fusione-fissione" in cui i parametri della parte fusione sono molto simili a quelli di ITER. Ne accenno perché in questi giorni, sull'"onda nucleare", da più parti vengono proposti, o riproposti sotto nuovi nomi, progetti di reattori già esaminati nel passato e che, vista l'urgenza attuale di produrre energia, e.... pulita dovrebbero restare solamente a livello di informazione accademica.

Un reattore ibrido fusione-fissione costituisce un dispositivo nucleare formato da una sorgente di neutroni (il reattore a fusione stesso) ed un mantello (blanket) contenente per esempio U238. Esso si comporta come un moltiplicatore della sorgente di neutroni ad alta energia provenienti dal plasma della fusione che agiscono sull'U238 contenuto nel mantello sia producendo fissioni, e quindi nuovi neutroni, sia per mantenere la reazione energetica, che per procedere alla trasformazione dell'uranio in Pu239 (Fig. 2).

L'idea della sua costruzione data dal 1955, agli albori della fusione, con Lawson, quando $Q=1$ era ancora un sogno. È stato riproposto da Bethe nel 1979 (H.Bethe: *The Fusion Hybrid*. Physics to day. 05.1979. http://www.physicstoday.org/vol-32/vol32no5p44_51.pdf) e, dopo il raggiungimento di $Q=1$ in Tokamak come l'europeo JET, continua ad essere oggetto di studio da parte di pochi come alternativa promettente.

Basterebbe che la parte fusione abbia un guadagno Q di 5 ed il mantello (blanket) fornisca un fattore di moltiplicazione di fissione di 5 per arrivare ad un fattore di moltiplicazione complessivo di energia di 25, valore sufficiente per un generatore di energia proficuo (Paul Rebut: *Reflexions on Fusion Future*. EC Report XII-109/96.

http://fire.pppl.gov/eu_hybrid_rebut_1996.pdf).

Per quanto riguarda la "sicurezza", la parte a fissione di questa configurazione corrisponde a quella di un "insieme sottocritico" moltiplicatore di neutroni nella fase lineare, quindi non

divergente, intrinsecamente sicuro:
se il plasma si spegne allora $Q=0$ quindi $0 \cdot 5=0$ segue che il reattore si spegne.

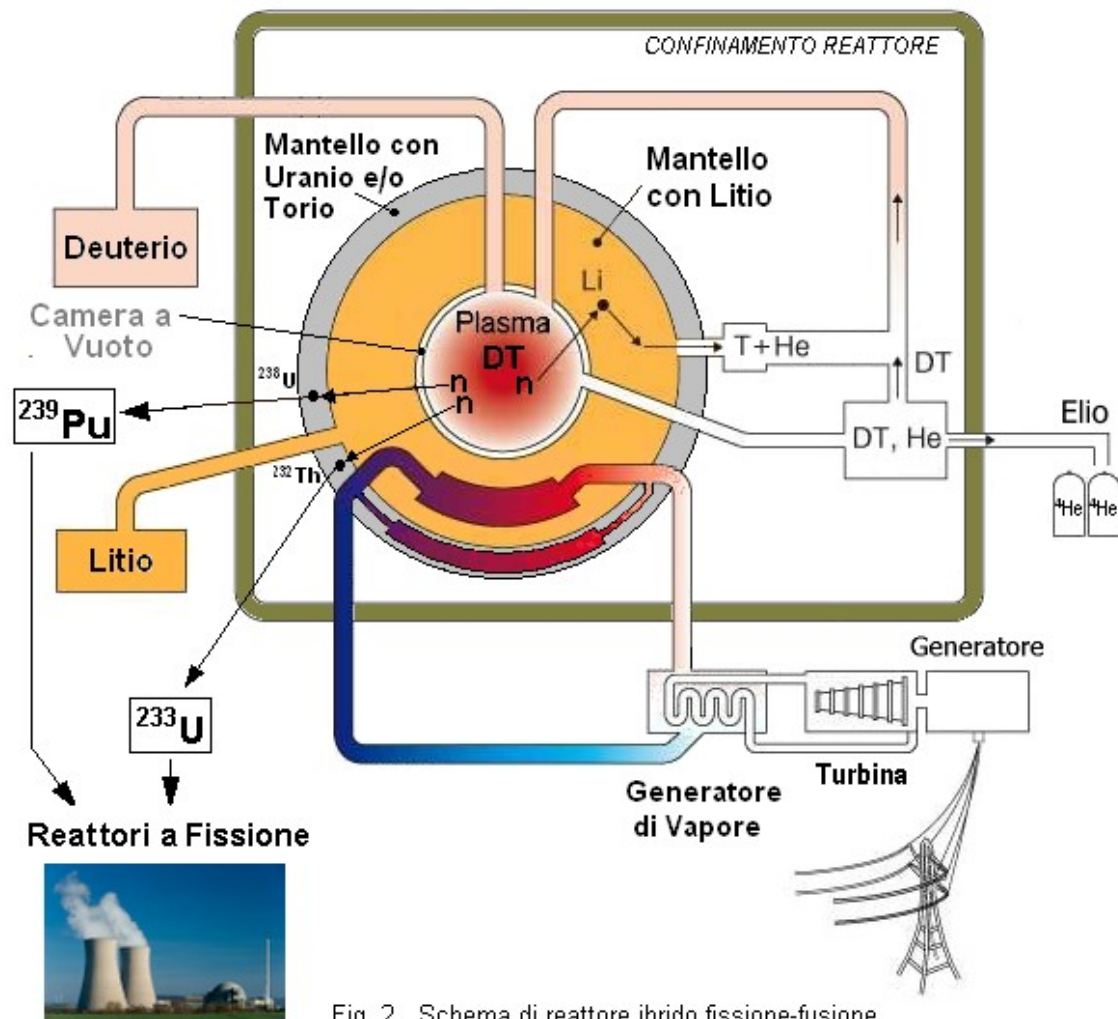


Fig. 2 Schema di reattore ibrido fissione-fusione

Giocando sul contenuto del blanket si può quindi scegliere se usare questa macchina come produttore diretto di energia o come fertilizzante, che cioè produce Pu239 a partire dall'U238 od U233 a partire dal Th232 per i reattori della terza generazione per molto di più di 10 mila anni!

Un'altra caratteristica è quella di poter degradare, per bombardamento neutronico nel mantello, i temuti prodotti di fissione a vita breve e gli attinidi generati dai reattori a fissione convenzionali.

Per quanto meravigliose possano essere queste macchine avranno un senso soltanto in un lontanissimo futuro, per esempio, come backup dei generatori solari in caso di una catastrofe naturale che bloccherebbe la produzione di elettricità dal solare per un certo tempo. In quel caso esse potranno intervenire direttamente nella fase di emergenza, per sopperire l'idrogeno mancante insieme ai reattori nucleari convenzionali per i quali esse avranno prodotto in anticipo il combustibile nucleare necessario.

Suona un po' fantascienza, ma esse saranno veramente il backup dell'energia rinnovabile futura.

Tornando alla morale ed alla realtà attuale: per tutto quel che ho detto più sopra, un impiego di capitali, di energia fossile e di cervelli per questo o altri tipi di ricerche non orientate a togliere nel più breve tempo possibile l'umanità dalla pessima situazione in cui ci troviamo è immorale.

Non vedo infatti una ragione giustificabile per continuare a proporre soluzioni tecnologiche eccezionali (non solo nucleari) quando, come accennato più sopra, con il solare abbiamo a disposizione ben 8500 volte più energia di quanto l'intera Umanità ne abbisogna, e questo solo

come "solare diretto" senza considerare che l'eolico ce ne darebbe un'altra grossa fetta, particolarmente interessante per le regioni dove il solare non è utilizzabile.

Per fare questo bisogna partire immediatamente con la costruzione di impianti modulari. Nella staffetta energetica ci vorranno almeno 40 anni di lavoro a livello mondiale per arrivare a prendere il testimone lasciato dal petrolio in esaurimento per ripartire verso l'indipendenza energetica totale dal fossile.

Bisogna guardare in faccia la realtà e produrre qualcosa per la comunità. Bisogna inoltre prendere la determinazione di mettere da parte l'appoggio a tutte le proposte che nascondono degli interessi personali.

Per fare qualcosa di concreto a livello nazionale io propongo che il nostro Governo consideri di la "colonizzazione" dei summenzionati 16000 km² di terre aride e/o semi-aride per raccogliere energia.

Con un progetto del genere si potrebbero creare un'enorme numero di posti di lavoro e molte opportunità per la nostra industria. Dalla produzione dei cristalli di silicio alle celle a combustibile; dalla rete di distribuzione a basse perdite alla sua gestione basata su tecniche IT; dai compressori ad alta pressione alle turbine per i generatori elettrici; dalle strutture di supporto in carpenteria leggera ai giganteschi serbatoi di stoccaggio dell'idrogeno; dagli alternatori ai rifasatori; dalle reti di distribuzione dell'idrogeno allo studio, lo sviluppo e la realizzazione della conversione generale di tutti i "motori" od utilizzatori di energia attuali verso il tutto-alternativo via elettrico, idrogeno, e/o altro vettore energetico, eccetera.

E la morale? Per essa c'è spazio in abbondanza: a partire dalle scelte tecniche che devono essere fatte immediatamente fino alla realizzazione finale: ogni passaggio presenta per le persone coinvolte una scelta morale...dallo scienziato, al politico, all'amministratore, all'ingegnere, al capo di un'industria, al proprietario terriero, alle banche, al tecnico, al singolo operaio....non ho bisogno di scendere in particolari.

Tutti coloro che come me si sono resi conto ed ora sono convinti della realtà del solare e dell'eolico hanno il dovere morale di insistere a passare questo messaggio, indifferenti al rischio di essere messi in ridicolo.

Messi in ridicolo.... da chi? Comunque sia, i detrattori riusciranno a ritardare questo processo di rinnovamento energetico di qualche decennio (sempre che il loro contributo all'instabilità economica non sia troppo grande da causare la nostra scomparsa): questa del solare (e dell'eolico) sarà la soluzione finale. Vi suona un po' Rifkin? E perché no?

L'Umanità ha bisogno di energia e pulita: ce n'è in eccesso. Diamoci sinceramente da fare per dargliela!

Nazzareno Gottardi, Laureato in Fisica all'Università di Milano è nato nel '41 (*Milano*) e vive in Lussemburgo. Ha un'esperienza nucleare (*fissione e fusione termonucleare*) di quasi mezzo secolo. Ha svolto ricerche nei due campi al Politecnico di Milano, al Max Planck Institut für Plasma Physik und Extraterrestrische Physik di Garching (*Germania*), alla General Atomics, per la macchina Tokamak da fusione termonucleare "DIII.D", di S. Diego (*California - USA*) ed al Tokamak "JET" (*Joint European Torus*) del progetto di fusione termonucleare della Commissione Europea a Culham (*Gran Bretagna*). All'Euratom (Commissione Europea) si è occupato per 12 anni di salvaguardia nucleare degli impianti dei Paesi dell'UE, in particolare come responsabile del gruppo d'ispezione dei reattori di Francia, Inghilterra, Olanda e Spagna. Parallelamente all'attività di ricerca è stato insegnante in corsi di specializzazione post-universitaria e titolare, come professore a contratto, del corso di "Diagnostiche per macchine da fusione termonucleare" del Politecnico milanese. Dal 2006 è in pensione.

Glossario:	
LWR: Light Water Reactor, Reattori ad acqua leggera	HWR: Heavy Water Reactor, Reattori ad acqua pesante
PWR: Pressurized Water Reactor, Reattore ad acqua in pressione	EPR: European Pressurized water Reactor, Reattore europeo ad acqua in pressione.
PV: Photo Voltaic, fotovoltaico.	TNT: TriNitroToluolo, tritolo.
DOE : Department Of Energy, Ministero dell'energia del Governo U.S.A.	CANDU: CANadian Deuterium Uranium reactor.
ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor.	JET: Joint European Torus