

Tecnologia nucleare... Qualche altro fatto

di V. Romanello¹

Scrivo queste brevi note per argomentare, fatti alla mano, qualche altra notizia in merito all'utilizzo pacifico dell'energia nucleare, tanto per contrapporre un pò di verità alle tante dicerie che si sentono in questi giorni (molto spesso per partito preso, o semplicemente perché il lavoro paziente ed incessante di anni di taluni ha cominciato a dare i suoi sperati frutti: a forza di ripetere incessantemente una accozzaglia di menzogne se ne sono fatte, nell'opinione pubblica, delle verità – o quasi). Cerco qui allora – come tante altre volte ho cercato di fare, seppur nel mio piccolo, di dare qualche altra 'picconata' alla 'torre di Babele' che è stata eretta.

Occasione è stata la mia partecipazione ad un meeting, tenutosi a Dresda dal 12 al 14 maggio 2009: lo *Jahrestagung Kerntechnik*.

Vorrei estrapolare e condividere alcuni fatti.

Ovviamente era presente a protestare l'immane gruppo ambientalista (ma sinceramente, lo dico senza polemica e senza animosità alcuna, mi aspettavo qualcosa di meglio da parte loro, ovvero di più incisivo – Fig.1²).



Fig.1 – Manifestazione ambientalista di fronte al *Congress Centrum* di Dresda il 12 maggio 2009

Una 'contromossa' molto efficace l'hanno messa in piedi gli organizzatori del convegno: di fronte al centro congressi hanno posto un pallone che rappresentava il volume occupato da una tonnellata di anidride carbonica (CO₂). I conti si fanno presto: una tonnellata di CO₂ corrisponde ad un cubo di spigolo pari a circa 8 metri.

In Fig.2 è visibile per confronto la dimensione di una persona; credo sia un dato abbastanza impressionante ed efficace. L'industria nucleare tedesca evita l'immissione in atmosfera di 150'000'000 (lo scrivo anche a lettere: 150 **milioni!**) di quei cubi di anidride carbonica **ogni anno** (ovvero un volume superiore a quello di 46'000 torri di 63,5 metri di base per 411 di altezza³)!

Ognuno poi è libero di pensare che chiudere gli impianti nucleari sia una cosa buona (!), o che aprirne di nuovi non lo sia (!!!), ma intanto questi sono i semplici fatti.

Vorrei poi segnalare un'altra questione. Ho sentito dire spesso (o visto scrivere, che è ancora peggio!) che nessun impianto nucleare nel mondo è mai stato smantellato, e che quindi, giunto a fine vita, di un

¹ Ingegnere nucleare, orientamento impianti nucleari innovativi, dottorato di ricerca in Ingegneria dei Materiali, attualmente ricercatore presso il Forschungszentrum di Karlsruhe (Germania).

² Per chi volesse prendere visione delle loro istanze: <http://www.robinwood.de/> (in tedesco)

³ Dati ricavati da quelli delle *Twin Towers* di New York.

impianto nucleare non si sa cosa farsene e come gestirlo. Ho risposto spesso a questa sciocchezza con esempi concreti e dimostrando che il costo peraltro non è affatto così drammatico (citando ad esempio il caso del reattore di *Fort Saint Vrain, Trojan, Yankee Rowe* e tanti altri), tanto più se l'operazione la si effettua con razionalità.

Un esempio filmato di quello che è stato fatto in Europa, l'ho trovato proprio allo *Jahrestagung Kerntechnik*, allo stand della *Nukem*. Il CD che veniva distribuito gratuitamente si intitola "**The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building**".



Fig.2 – Volume occupato da 1 tonnellata di CO₂. Sulla faccia a destra è scritto: “Qui è contenuta 1 tonnellata di sola CO₂”; sulla faccia a sinistra “Gli impianti nucleari tedeschi risparmiano l'immissione 150'000'000 di tonnellate di CO₂ ogni anno – la nostra risposta alla tematica del cambiamento climatico”.

L'impianto nucleare di Kahl fu il primo ad essere costruito in Germania: trattasi di un reattore ad acqua bollente, che ha iniziato l'esercizio nel 1961 e lo ha terminato nel 1985 - dopo aver prodotto circa 2000 GWh (ovvero 2 miliardi di kWh) di energia -, e che fu costruito dalla *General Electric* (Fig.3).

La *Nukem Technologies GmbH* ha vinto la commessa per lo smantellamento nel 2001. L'edificio reattore (il quale presentava un raggio esterno di 15,2 per 50,8 metri di altezza) fu smantellato fra il 2004 ed il 2006; l'impegno principale nell'opera di smantellamento da parte dell'azienda coinvolta ha riguardato l'esclusione della contaminazione di qualsiasi tipo sia della popolazione che dell'ambiente; la priorità successiva è stata quella di minimizzare il più possibile la quantità di rifiuto prodotto (come richiesto dalle vigenti normative tedesche si sono dovuti riciclare il più possibile i materiali di risulta dello smantellamento).

L'intera operazione è stata condotta in tre fasi:

- i) smantellamento delle strutture interne
- ii) poi il guscio esterno di calcestruzzo dell'edificio reattore
- iii) infine il liner metallico interno (la cui funzione era quella di contenere la radioattività nel malaugurato caso di un malfunzionamento con conseguente rilascio, impedendone la liberazione nell'ambiente circostante).

Durante lo svolgimento delle operazioni nuove tecniche sono state sviluppate ad hoc, ed è stato eseguito un monitoraggio costante dei radionuclidi (quali il cobalto-60 o il cesio-137) presenti nei materiali. Tutto il calcestruzzo è stato sminuzzato e raccolto in 14'000 fusti, controllati poi accuratamente per mezzo di sofisticate misure *in-situ*. Il verdetto finale è stato: *Uneingeschränkte Freigabe* (libero rilascio, ovvero nessun pericolo radiologico).

L'acciaio smantellato è stato accuratamente misurato radiologicamente per mezzo di misuratori gamma; il contenitore interno è stato decontaminato, misurato ed accuratamente mappato punto per punto.

Il contenitore esterno di sicurezza in calcestruzzo è stato finalmente smantellato previo preventivo sezionamento in 45 diversi blocchi, ognuno di un peso compreso fra 20 e 47 tonnellate (operazione condotta per mezzo seghe circolari verticali azionate da presse idrauliche). I blocchi sono tutti stati misurati *in-situ* da un punto di vista radiologico; finalmente sono stati ridotti in pezzi del diametro medio di 15 millimetri; l'Ente di Controllo ha approvato il loro riutilizzo per applicazioni quali ad esempio la realizzazione di strade.

La prima operazione per la rimozione del liner interno di acciaio è consistita nello smontaggio della 'testa' dello stesso; dopodiché è stato rimosso il montacarichi, previa preventivo impacchettamento (per successiva verifica radiologica). Successivamente l'intero liner è stato tagliato in pezzi e misurato radiologicamente: le 350 tonnellate di acciaio risultante si sono rivelate adeguate per il riciclaggio convenzionale in altoforno (Fig. 4-16).



Fig.3 – Impianto nucleare di Kahl (sito a *Karlstein am Main* – fonte: <http://www.nuclear-free.com/thomas/kahl.htm>)

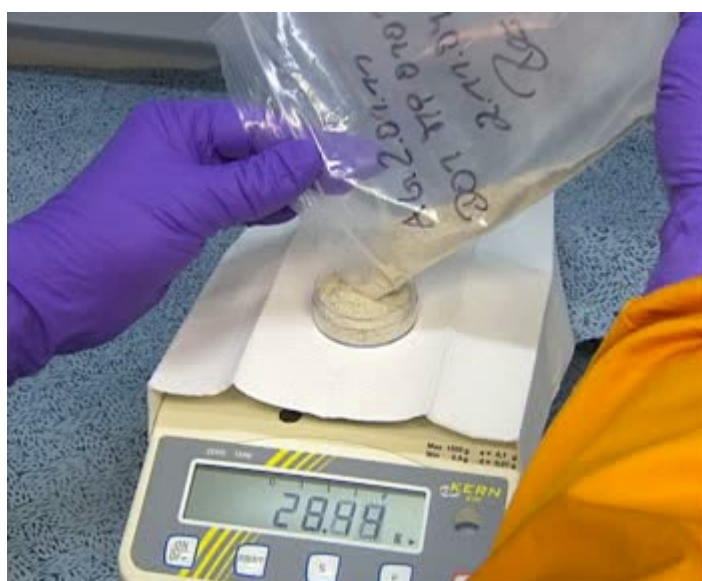


Fig.4 – Analisi dei campioni prelevati dallo smantellamento della centrale nucleare di Kahl (fonte: “*The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building*”, NUKEM GmbH)

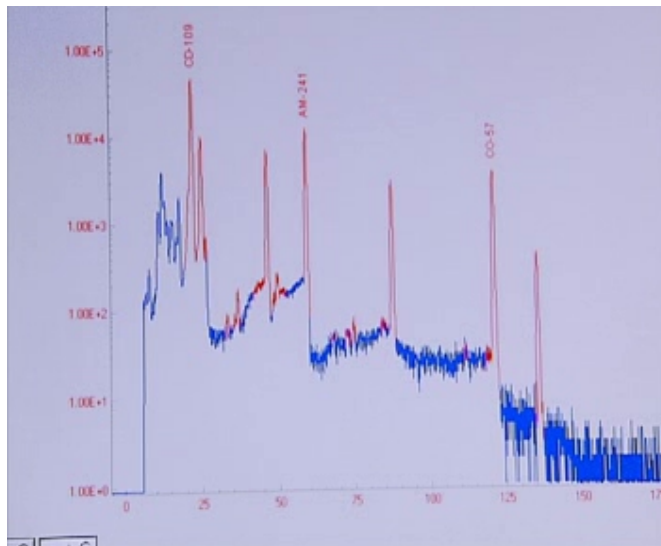


Fig. 5 – Analisi radiologica dettagliata dei campioni del sito in corso di smantellamento
 (fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig. 6 – Impacchettamento del materiale di risulta
 (fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.7 – Mappatura dettagliata del contenitore interno di sicurezza
 (fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.8 – Valutazione della contaminazione superficiale dei campioni
 (fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.9 – Risposta finale dell’Ente di Controllo: “libero rilascio”
 (fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.10 - Operazioni di taglio e rimozione del guscio esterno di calcestruzzo del contenimento
(fonte: "The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building", NUKEM GmbH)



Fig.11 - Riduzione in pezzi del calcestruzzo del contenimento, con successiva analisi e responso dell'Ente di Controllo: “libero rilascio”
(fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.12– Recupero dell'acciaio nelle operazioni di smantellamento del sito per applicazioni convenzionali, previa preventiva verifica con rivelatori gamma
(fonte: “*The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building*”, NUKEM GmbH)

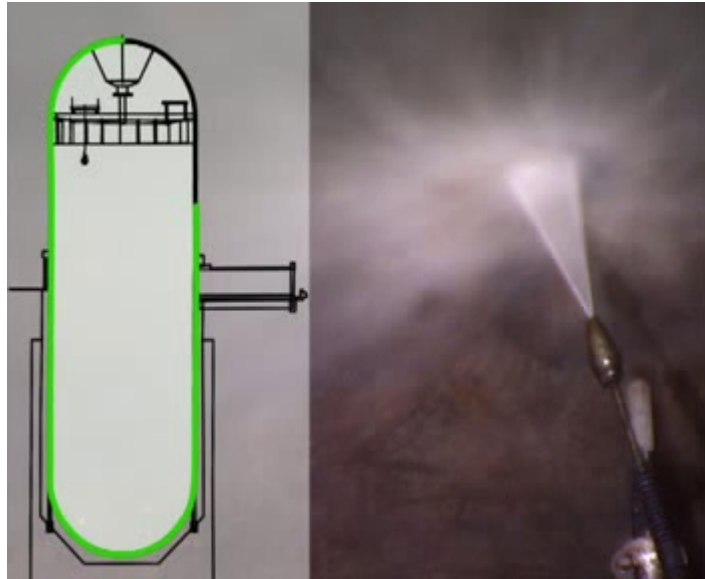


Fig.13 – Preventiva operazione di decontaminazione del liner interno prima del taglio
(fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.14 - Liner di acciaio rimanente dopo la rimozione del contenitore esterno di calcestruzzo
(fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.15 – Taglio del liner interno dell’impianto di Kahl
(fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)



Fig.16 - Rimozione del montacarichi, previa preventivo impaccettamento
(fonte: “The Kahl nuclear power test plant – Dismantling the reactor building”, NUKEM GmbH)

Tanto per dare qualche altra ‘picconata’ poi, vorrei mostrare e commentare qualche altra figura. In figura 17 è mostrato il confronto per diverse fonti di energia del consumo di materiali per GWh prodotto. Appare evidente la forte convenienza della fonte nucleare (la quarta in figura partendo da sinistra) rispetto alla fonte eolica o – più che mai – rispetto a quella fotovoltaica. Il nucleare risulta meno conveniente rispetto alle fonti tradizionali (fossile ed idroelettrica) in merito al consumo di rame e bauxite (minerale dell’alluminio), ma molto più conveniente in merito al consumo di ferro. Se si confronta ad esempio la fonte nucleare con il gas a ciclo combinato, e si considera un prezzo indicativo del ferro di 400 \$/tonnellata, del rame di 4300 \$/tonnellata, e dell’alluminio di 1500 dollari/tonnellata, si ottiene un guadagno per il GWh nucleare pari a circa 180 \$ (il punto di pareggio, rimanendo costanti i prezzi del rame e dell’alluminio, si ha per un prezzo del ferro di circa 60 \$/tonnellata). In figura 18 è riportato il confronto degli *Accumulated Energy Requirements* (AER) – ovvero il numero di kWh di energia primaria usata per kWh elettrico prodotto - per le diverse fonti considerate: si nota che il nucleare è secondo solo alla fonte idroelettrica (seppur di poco), e seguito quasi a pari merito dalla fonte eolica. In figura 19 infine si riporta l’*Energy Payback Time* (EPP) – ovvero la quantità di tempo richiesta per un dato sistema energetico per produrre la stessa energia utilizzata per la sua realizzazione – delle varie fonti di cui sopra: la fonte nucleare si attesta ad un valore medio rispetto a quelle fossili.

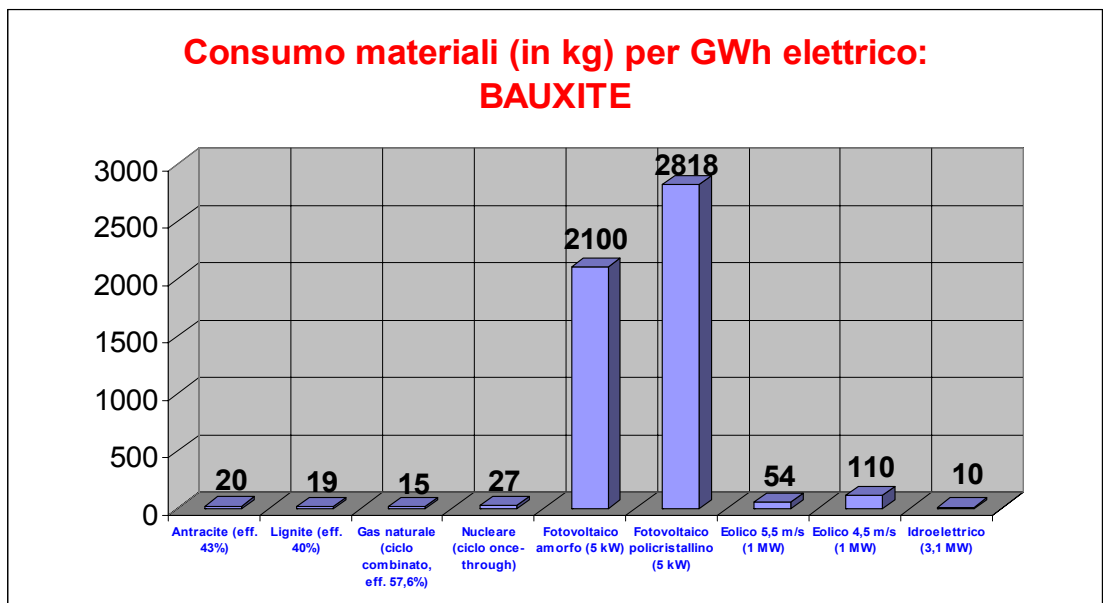
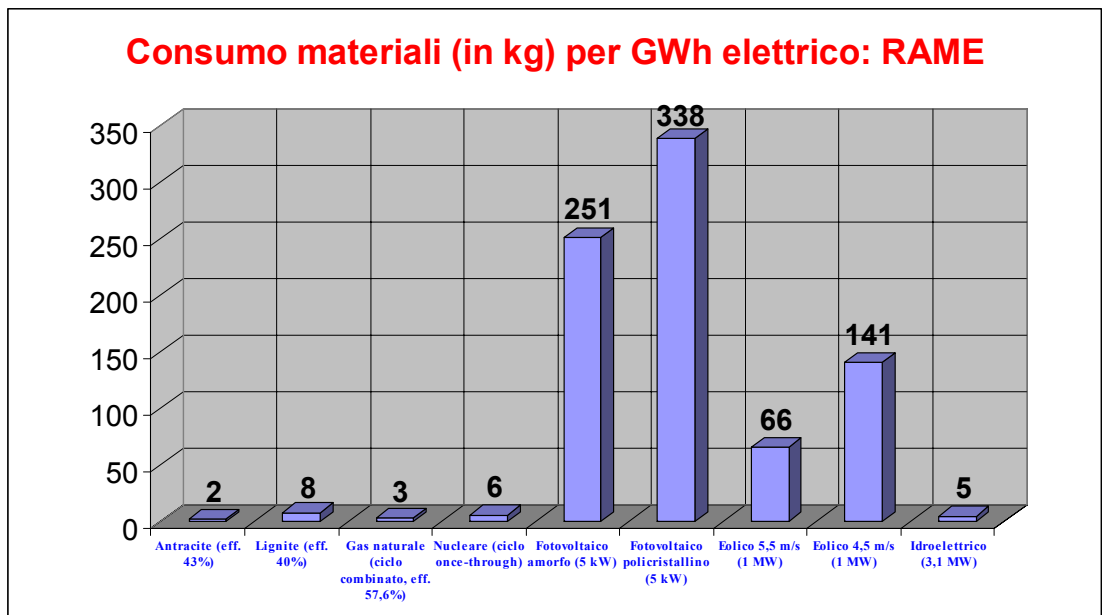
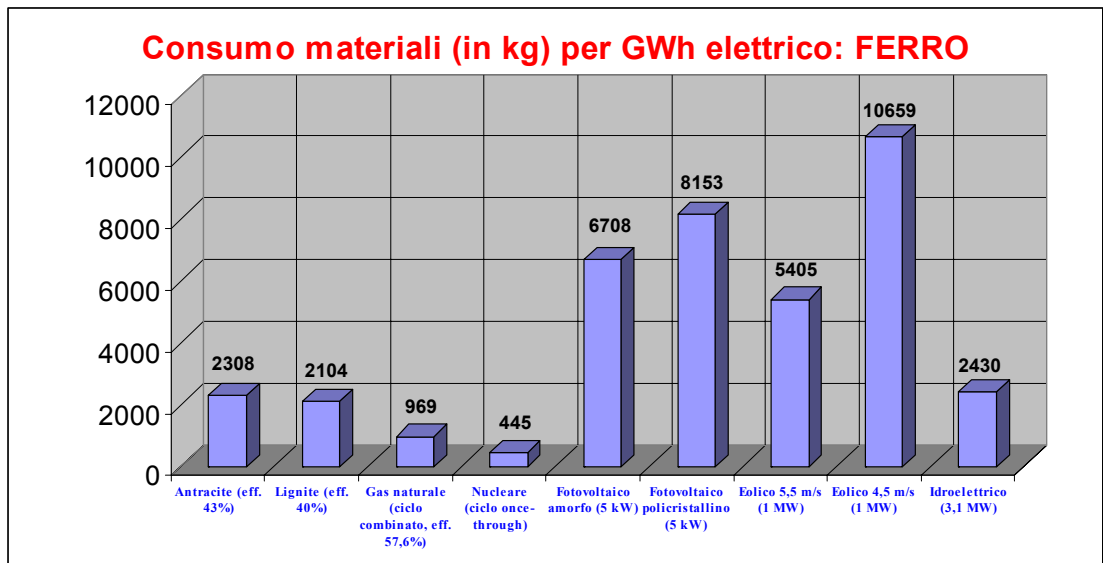


Fig.17 – Consumo specifico di materiali da costruzione per gigawatt-ora prodotto da diverse fonti (fonte: "AREVA NP Supplement – Energy Facts and Figures Information", 2009)

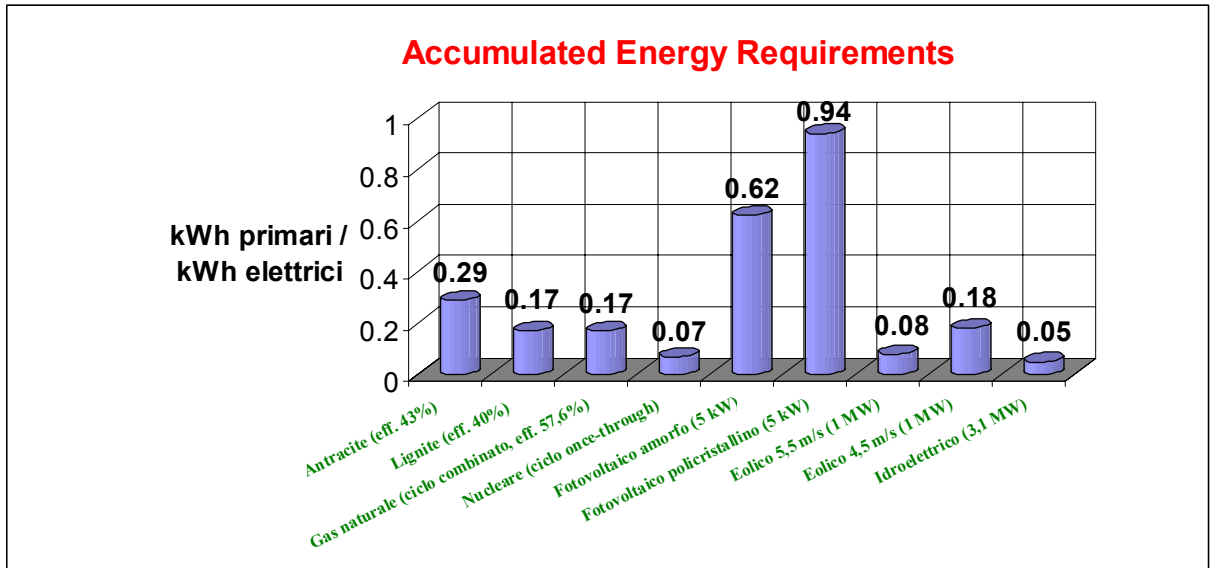


Fig.18 – Accumulated Energy Requirements (**AER**) da diverse fonti (fonte: “AREVA NP Supplement – Energy Facts and Figures Information”, 2009)

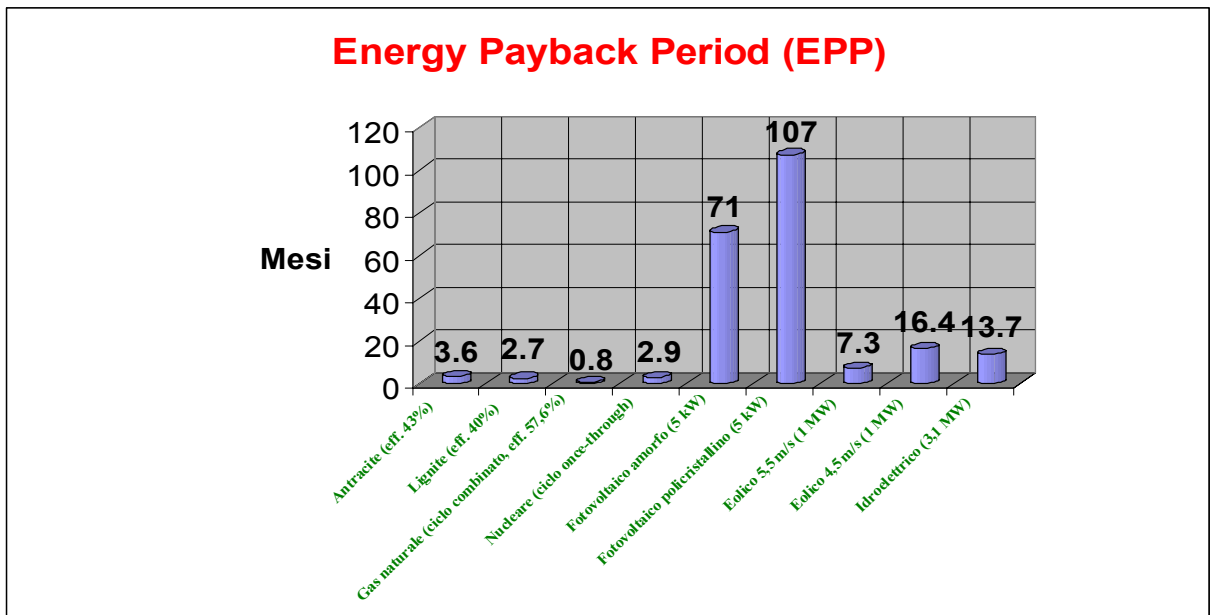


Fig.19 – Energy Payback Period (**EPP**), espresso in mesi, da diverse fonti (fonte: “AREVA NP Supplement – Energy Facts and Figures Information”, 2009)

In definitiva appare evidente la convenienza della fonte nucleare, sia economica che ambientale: non a caso sono in esercizio in questo momento 439 reattori nucleari (di cui oltre un centinaio in Europa), ed altri 34 sono in costruzione, per una esperienza operativa totale pari a 13'036 anni. Se si tiene presente poi che il consumo energetico annuo medio è pari 1549 kWh/pro capite in Asia, e 596 in Africa, e lo si confronta con quello europeo - pari a 5930 kWh/pro capite -, si ha un quadro ancor più chiaro della situazione.

Coloro che promuovono fonti energetiche costose e poco efficienti dovrebbero rendersene conto ed assumersene la responsabilità; diversamente la situazione geopolitica mondiale in un futuro non troppo remoto potrebbe divenire imprevedibile.