

Scuola Nazionale di Dottorato in Elettronica

Villa Mondragone, Monte Porzio Catone (Roma)

8 giugno 2010

Il “rinascimento” nucleare

Lezione del Prof. Agostino Mathis

(Versione con tutti i testi anche in italiano)

Prof. Agostino Mathis – Via Bertero, 61 – 00156 ROMA (Italy) - Cell. 338-1901198
c/o ENEA, Centro Ricerche Casaccia – Via Anguillarese, 301 – 00123 ROMA (Italy)
Tel.: ++39-06-3048-6540; Fax: ++39-06-3048-3176; E-mail: amathisit@yahoo.com

Nucleare: svolta storica del XX secolo

Il **XX secolo** ha offerto **due svolte scientifiche fondamentali** che hanno avuto, ed avranno sempre più, un impatto radicale sulla storia dell'Uomo:

- la scoperta della struttura e delle forze del **nucleo atomico** (da Becquerel, 1896, a Fermi, 1942);
- la scoperta del **DNA** quale supporto universale e polivalente per la codifica che determina la struttura e le funzioni degli organismi viventi (Watson & Crick, 1953).

Energia nucleare: fusione e fissione

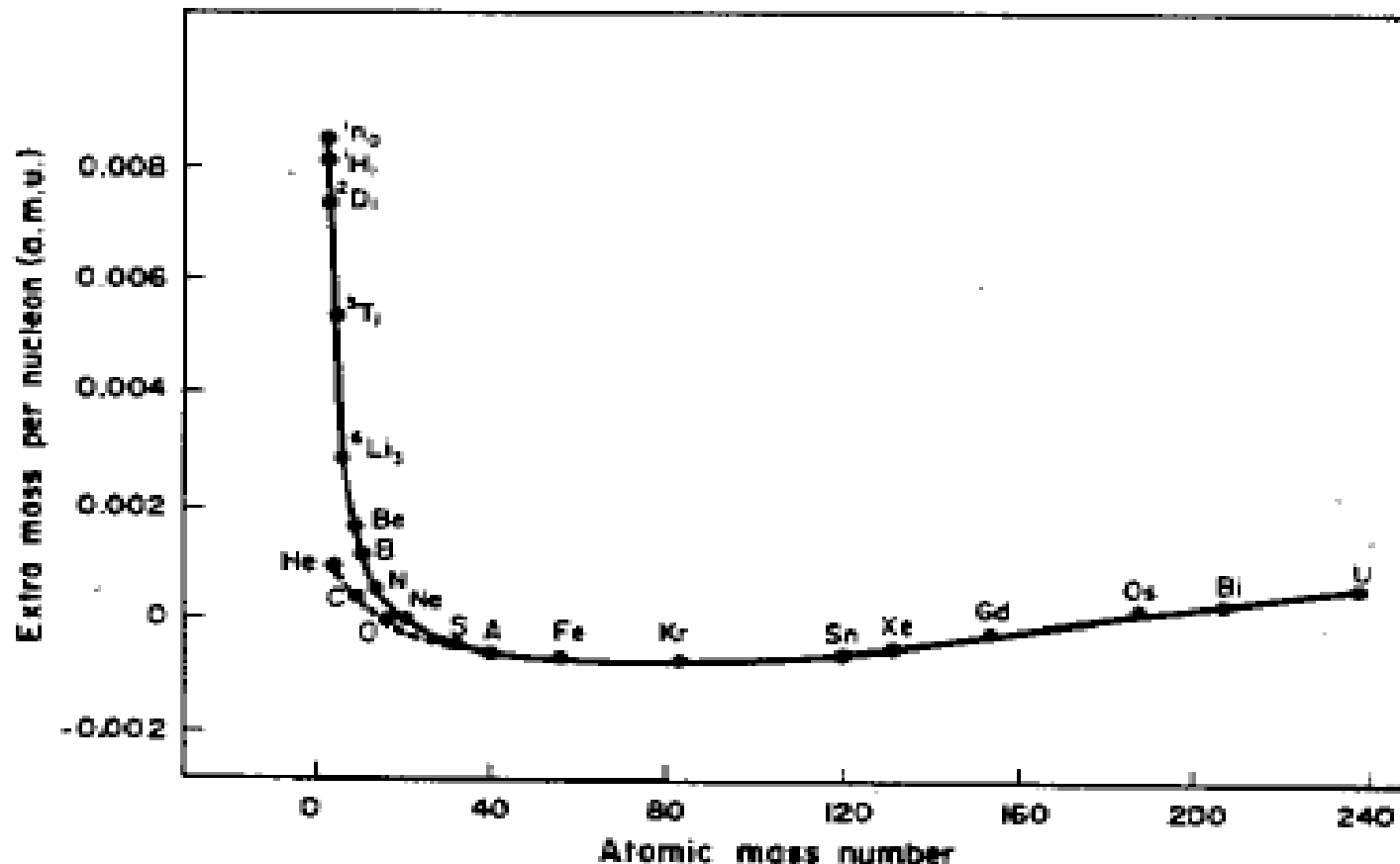


Fig. 7. Nuclear extramass of the elements.

Fig. 7 – Extramassa nucleare degli elementi.

a.m.u.: atomic mass unit (*unità di massa atomica*).

Da: C. Marchetti "10¹²: A CHECK ON THE EARTH-CARRYING CAPACITY FOR MAN" *Energy* Vol. 4, pp. 1107-1117 – Pergamon Press Ltd., 1979.

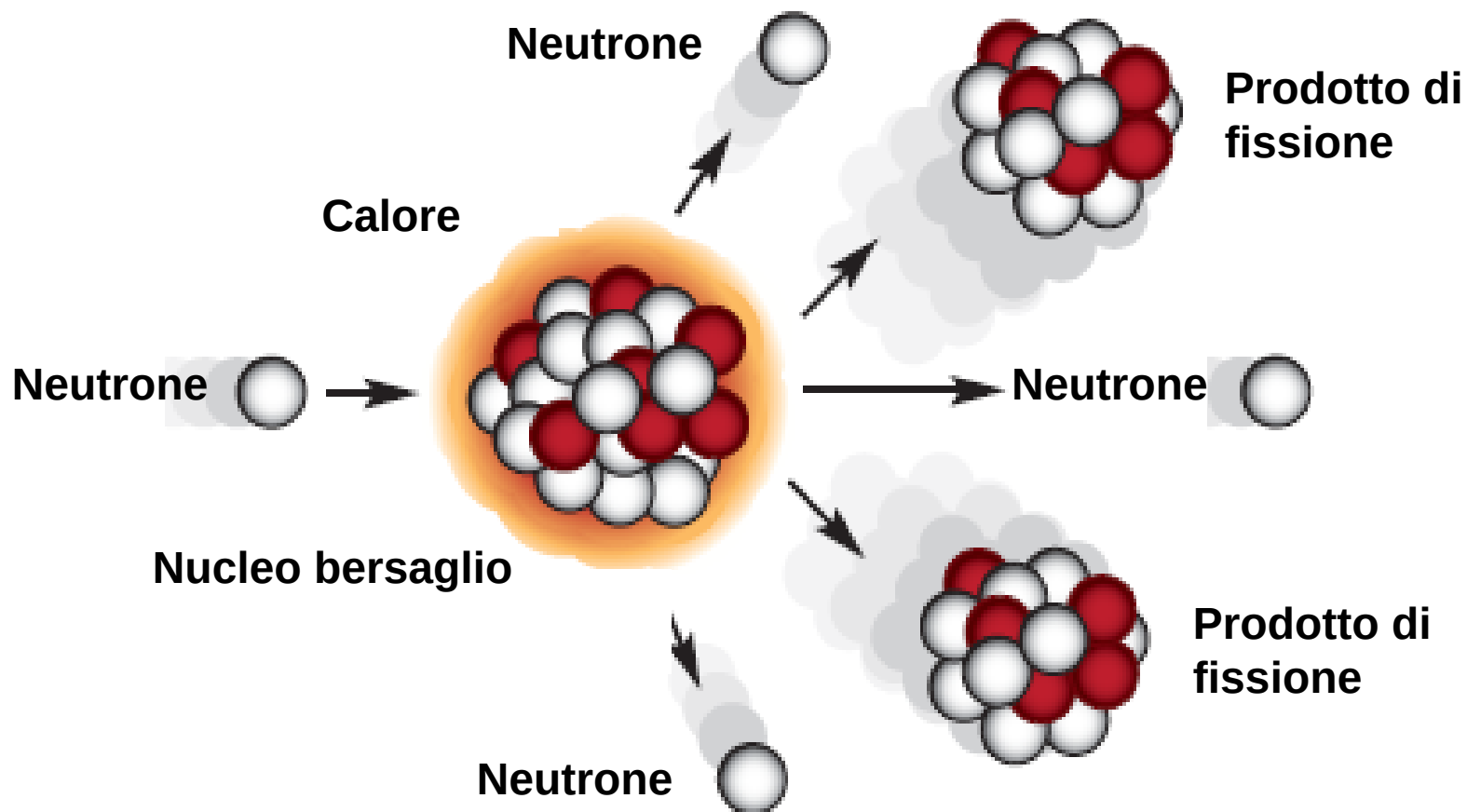
Energia nucleare da “fusione”

Per la **fusione**, tuttavia, tenuto conto:

- delle **persistenti difficoltà** negli esperimenti per il raggiungimento di un **guadagno netto** di energia,
- dei successivi **problemi tecnologici**, ancora in buona parte ignoti,

nel corso di questo secolo non appare realistico farvi affidamento come risorsa energetica.

Il processo della “fissione nucleare”



Da: “Nuclear Energy – Just the Facts” Nuclear Energy Institute – 2008 (*modificata*).

Elementi “fissili”

I **nuclei bersaglio** per la fissione possono essere:

❑ Naturale (**l'unico!**):

Uranio 235: circa lo 0,71% dell'Uranio naturale (il resto è **Uranio 238**).

❑ Artificiali, tra cui, i più importanti:

Plutonio 239: per “fertilizzazione” dell'**Uranio 238**;

Uranio 233: per “fertilizzazione” del **Torio 232**.

La **fertilizzazione** avviene per **assorbimento di neutroni**.

L'energia nucleare da fissione

Attualmente **l'energia nucleare** (da **fissione**) serve soprattutto a produrre energia elettrica, ed è ottenuta a partire **dagli isotopi fissili dell'Uranio** (^{235}U , ^{233}U), o **del Plutonio** (^{239}Pu), il cui nucleo, sotto bombardamento neutronico può spaccarsi (fissione), producendo:

- **nuclei più leggeri** (alcuni anche molto radioattivi),
- **altri neutroni** (che sostengono la reazione a catena),
- **e molta energia** (202 MeV) (°).

(°) 1 eV è l'energia di un elettrone accelerato da fermo nel vuoto dalla differenza di potenziale di 1 V; 1 MeV è un milione di eV.

“Fissione” vs. “Combustione”

Fissione (di un solo nucleo) → **202 MeV**

Combustione: **C + O₂ = CO₂ + 4 eV**

Il rapporto tra le energie prodotte è **50 milioni !!!**

In pratica, ciò significa che **la fissione di 1 kg di ²³⁵U** produce una quantità di energia paragonabile a quella prodotta **dalla combustione di 3000 tonnellate di carbone**, e con una **densità di potenza** limitata soltanto dalla **capacità ingegneristica di estrarre il calore** dalla struttura moltiplicante:

1 kg di ²³⁵U ⇐====> 3000 tonnellate di carbone

“Fissione” vs. “Combustione”: conseguenze

1 kg di ^{235}U $\Leftarrow === \Rightarrow$ 3000 tonnellate di carbone

Questo rapporto di efficienza della fonte nucleare rispetto alle fonti fossili ha **conseguenze immense** sugli aspetti:

- **strategici,**
- **operativi,**
- **ambientali** ed
- **economici.**

Energia da fissione: aspetti strategici (1/2)

Un **impianto da 1.000 MWe**, con fattore di carico 80%, produce:

$$1.000 \times 8.760 \times 0,8 = 7.008.000 \text{ MWh/anno} = \mathbf{7,008 \text{ TWh/anno}}$$

(**1 / 50** del consumo annuale dell'Italia)

Se **a carbone**, ne richiede circa **1,5 milioni di tonnellate / anno**.

Se **nucleare**, richiede $1.500.000 / 3.000 = \mathbf{500 \text{ kg di } ^{235}\text{U/anno}}$.

Le quantità di **materie prime nucleari** da acquisire, trasportare ed eventualmente da porre in **riserva strategica**, sono **ordini di grandezza inferiori rispetto alle fonti fossili**.

Energia da fissione: aspetti strategici (2/2)

Nel 2008 l'Italia ha consumato energia elettrica per circa **340 miliardi di kWh** (340 TWh). Per produrre questa energia, basterebbero $340/7 =$ circa **50 impianti da 1.000 MWe** (o 30 da 1.600 MWe) con fattore di carico 80%.

Se **a carbone**, ne richiederebbero $50 \times 1,5 = 75$ milioni di t/anno.

Se **nucleari**, richiederebbero $50 \times 500 = 25.000$ kg di ^{235}U /anno.

L'intero sistema elettrico dell'Italia **marcerebbe per un anno "bruciando" soltanto 25 tonnellate di uranio** (poco più di un metro cubo)!

Energia da fissione: aspetti operativi (1/2)

La **Cina**, fino a tre anni fa, prevedeva di portare a **40 GWe** la potenza elettronucleare in rete **al 2020**.

Dopo la dura esperienza dell'inverno 2007-2008, quando le **eccezionali nevicate** nel centro-sud della Cina hanno bloccato i treni, e quindi le centrali a carbone, per intere settimane, il governo sta definendo **un nuovo piano**:

- **almeno 60 GWe al 2020** (come la Francia oggi), e ben
- **200 GWe al 2030** (più del totale USA e Francia oggi!).

Energia da fissione: aspetti operativi (2/2)

L'estrazione ed il trasporto del carbone per la generazione elettrica comporta anche gravi rischi lavorativi (si stimano nel mondo **15.000 vittime all'anno**). La potenza elettrica mondiale da carbone si stima a 1.500 impianti da 1.000 MWe.

Sta di fatto quindi che **un impianto a carbone da 1.000 MWe**, anche modernissimo, richiede per la sua alimentazione **il sacrificio di una decina di vittime umane all'anno** (che quasi non fanno notizia!).

Energia da fissione: aspetti ambientali (1/2)

1 kg di ^{235}U $\leftarrow === \rightarrow$ 3000 tonnellate di carbone

La **fissione di 1 kg di ^{235}U** produce circa **1 kg di prodotti di fissione** (radioattivi, ma ben confinabili e controllabili).

Le **3000 tonnellate di carbone** generano circa **10.000 tonnellate di CO_2 ed altri inquinanti gassosi**, che a tutt'oggi vengono dispersi nell'atmosfera, oltre a **centinaia di tonnellate di ceneri** (anch'esse debolmente radioattive!).

Ciò spiega l'aumento di **morbilità (soprattutto polmonare)** dovuto alle polveri ed ai fumi per le popolazioni dislocate intorno e sottovento alle centrali a carbone.

Confronto tra sorgenti di radiazione: dosi medie sulla popolazione

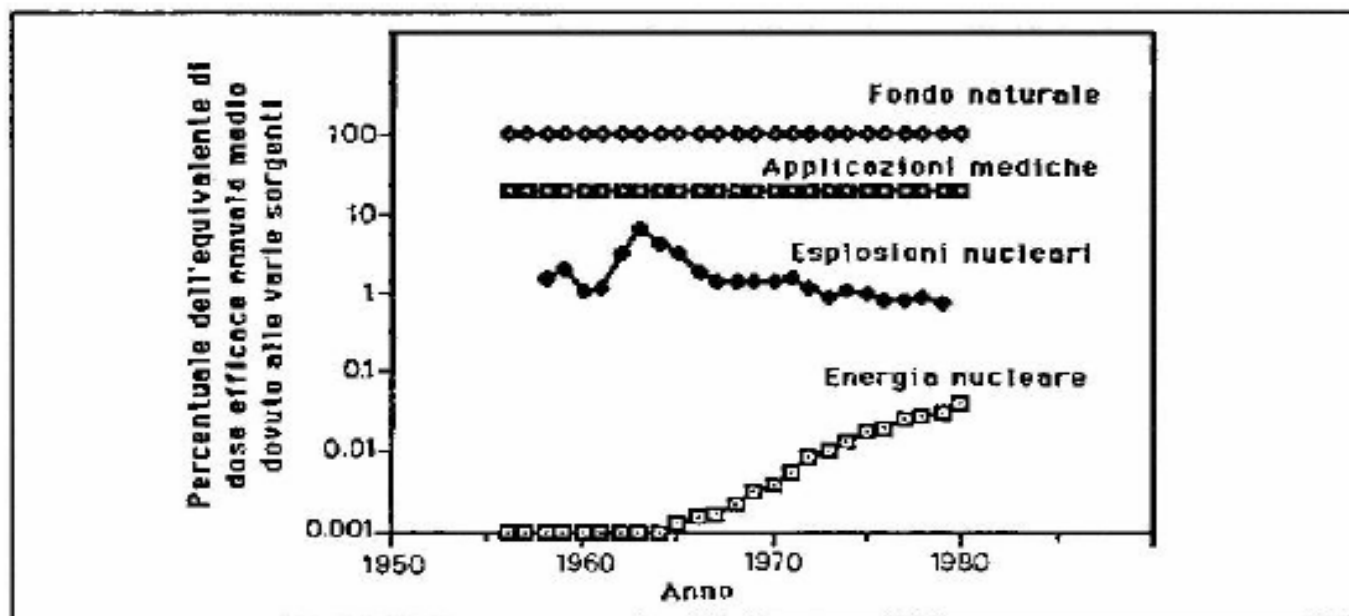


Figura 8.1. Andamento nel tempo dell'equivalente di dose efficace annuale dovuto alle più importanti sorgenti di radiazioni cui è esposta la popolazione mondiale avendo posto uguale a 100 l'esposizione media alle sorgenti naturali (sulla base dei dati UNSCEAR82).

Sarà bene far presente che la scala delle ordinate di tale grafico è evidentemente logaritmica: il che vuol dire che la dose di radiazione dovuta all'energia nucleare, al 1980, era nemmeno lo 0.1% del totale cui era esposto un individuo medio nel globo. E' vero che nel 1980 era installata solo circa la metà della potenza nucleare totale, e che nel 1986 vi fu l'incidente di Chernobyl; ma è anche vero che la sicurezza delle centrali è aumentata nel corso degli anni. Comunque, per dare un dato numerico, la dose media globale di radioattività naturale (al suolo) è di circa 2.4mSv in un anno, in Italia varia tra 1mSv e 3mSv; una radiografia comporta una dose di 1mSv; una TAC di 3-4mSv. Effetti sensibili di avvelenamento da radiazioni insorgono solo con dosi molto più elevate: ad esempio, con 1Sv (dunque mille volte oltre una singola radiografia) in un'ora si ha una prima lieve alterazione dell'emoglobina; 4Sv in una settimana portano alla morte nel 50% dei casi; oltre i 6Sv, la dose assorbita è letale.

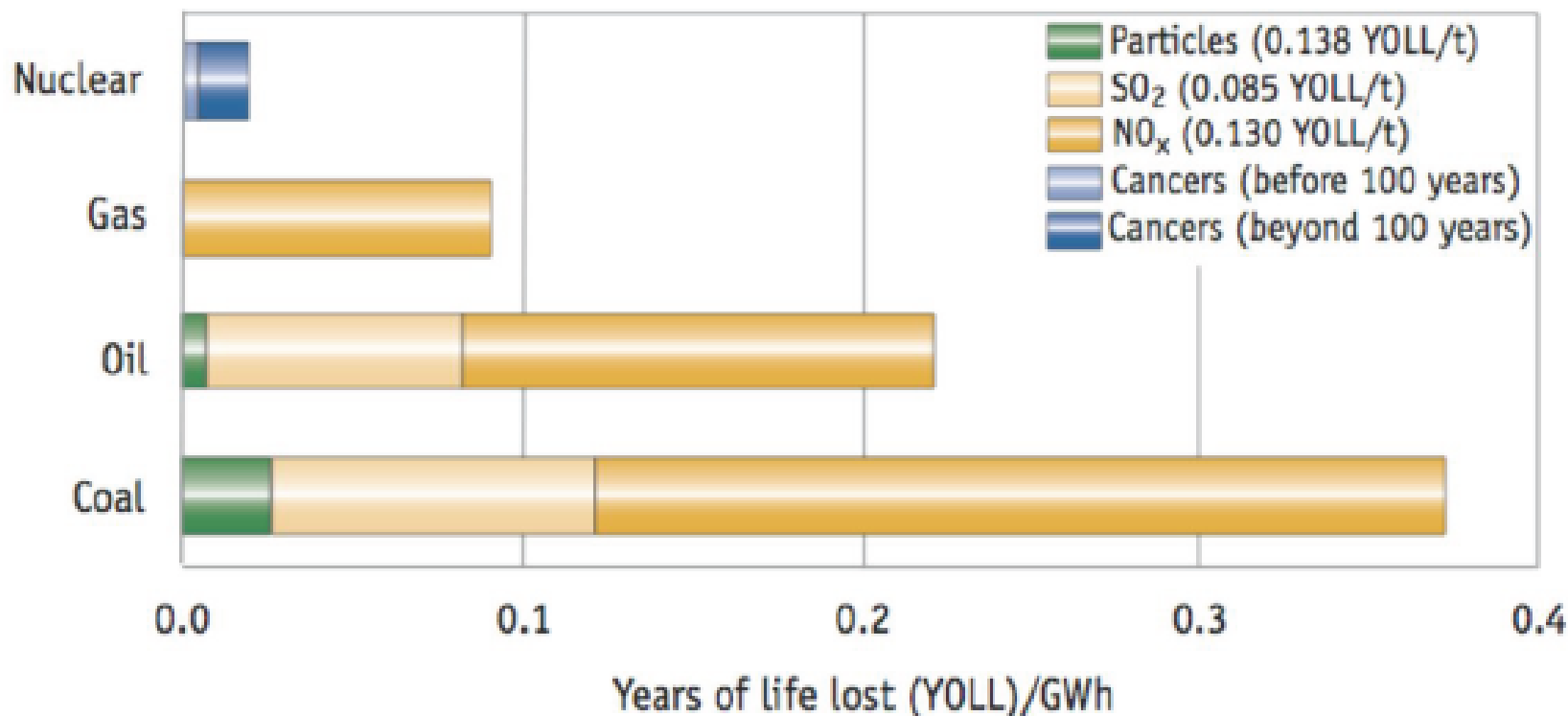
Chernobyl confrontato con le radiazioni “di fondo”

Le **sorgenti naturali di radiazioni** (di fondo) sono quelle prevalenti nell'ambiente, e provengono dai raggi cosmici, dai cibi, dal gas radon emesso dal terreno, dai graniti e da altre rocce, ecc.

La dose “di fondo” collettiva assorbita in Europa si stima pari a circa **500.000 Sv x persona all'anno**. La dose totale dovuta a **Chernobyl** viene stimata a **80.000 Sv x persona**, cioè circa 1/6 della dose “di fondo” collettiva assorbita in un anno. Tuttavia, alcuni individui, specie nelle aree adiacenti al reattore, ricevettero dosi anche molto maggiori. Le **dosi medie** ricevute in Europa Occidentale andarono da 0,0002 mSv (Portogallo) a 0,38 mSv (porzioni della Germania) (a fronte di un fondo naturale che può variare da 1 a 3 mSv all'anno).

Da: Wikipedia, the free encyclopedia (modificato).

Comparison of health risks for energy systems



Source: "Comparative Assessment of Emissions from Energy Systems", IAEA Bulletin, 41/1/1999.

YOLL/GWh: "Anni di vita persi" per "gigawattora prodotto".

Nuclear: *nucleare*. Gas: *gas naturale*. Oil: *petrolio*. Coal: *carbone*. Particles: *particolato*. Cancers (before 100 years): *cancro (entro i 100 anni)*. Cancers (beyond 100 years): *cancro (oltre i 100 anni)*.

Da: F. Troiani "La gestione dei materiali radioattivi" Seminario per i parlamentari – Roma 23 luglio 2008.

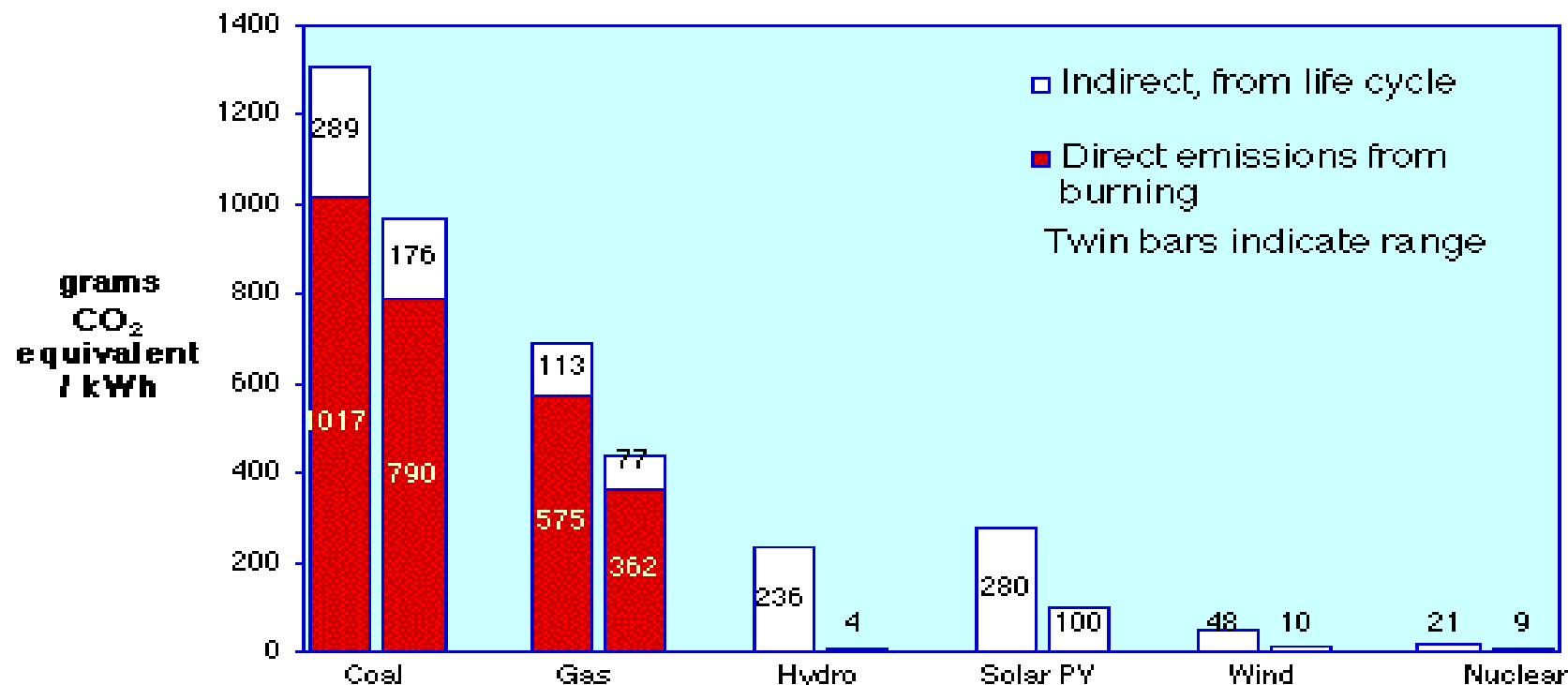
Energia da fissione: aspetti ambientali (2/2)

La “**filiera nucleare**” completa, dalla estrazione dell’uranio alla sistemazione dei rifiuti, emette soltanto **9-21 grammi di anidride carbonica per kilowattora prodotto**, cioè livelli:

- da uno a due **ordini di grandezza inferiori** rispetto al **carbone**, al **petrolio** ed anche al **gas naturale**,
- **paragonabili** a quelli delle fonti **idroelettrica** ed **eolica**,
- ma anche molto **inferiori** a quelli del **solare fotovoltaico** (a causa dell’elevato contenuto di energia e di materiali pregiati nelle celle fotovoltaiche).

Emissioni di gas-serra dalla produzione di elettricità

Greenhouse Gas Emissions from Electricity Production



Source: IAEA 2000

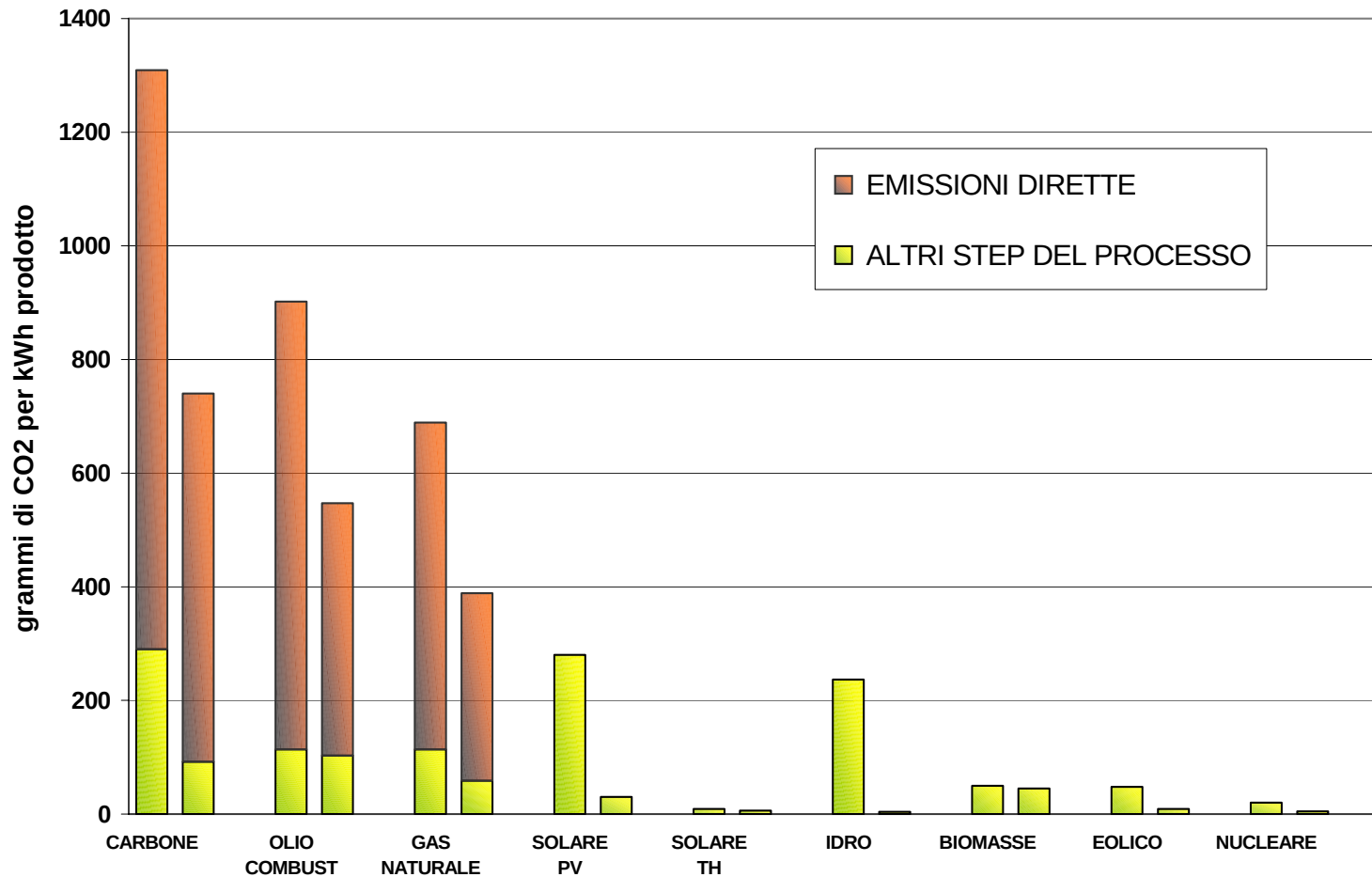
Indirect, from life cycle: *indirette, dal ciclo di vita.*

Direct emissions from burning: *emissioni dirette dalla combustione.*

Twin bars indicate range: *la doppia barra indica il campo di variabilità.*

Coal: *carbone.* Solar PV: *solare fotovoltaico.* Wind: *eolico.*

Emissioni di CO₂ sul ciclo di vita delle diverse fonti



(Università di Stoccarda - Progetto CASES, 2006-2008).

Impianti nucleari: stato attuale

Ci sono ora **438 impianti nucleari** in operazione in **trenta Paesi**, con una potenza totale di **374 GWe**, che nel 2009 hanno prodotto **2500 TWh** (7 volte il consumo italiano).

Francia, Giappone e Stati Uniti detengono il 56% della capacità mondiale.

Nel 2009 **sedici Paesi ricavavano più di un quarto** della loro energia elettrica da centrali nucleari.

Da: WNA "World Nuclear Power Reactors 2009-10 and Uranium Requirements" 3 May 2010.

Impianti nucleari: prospettive

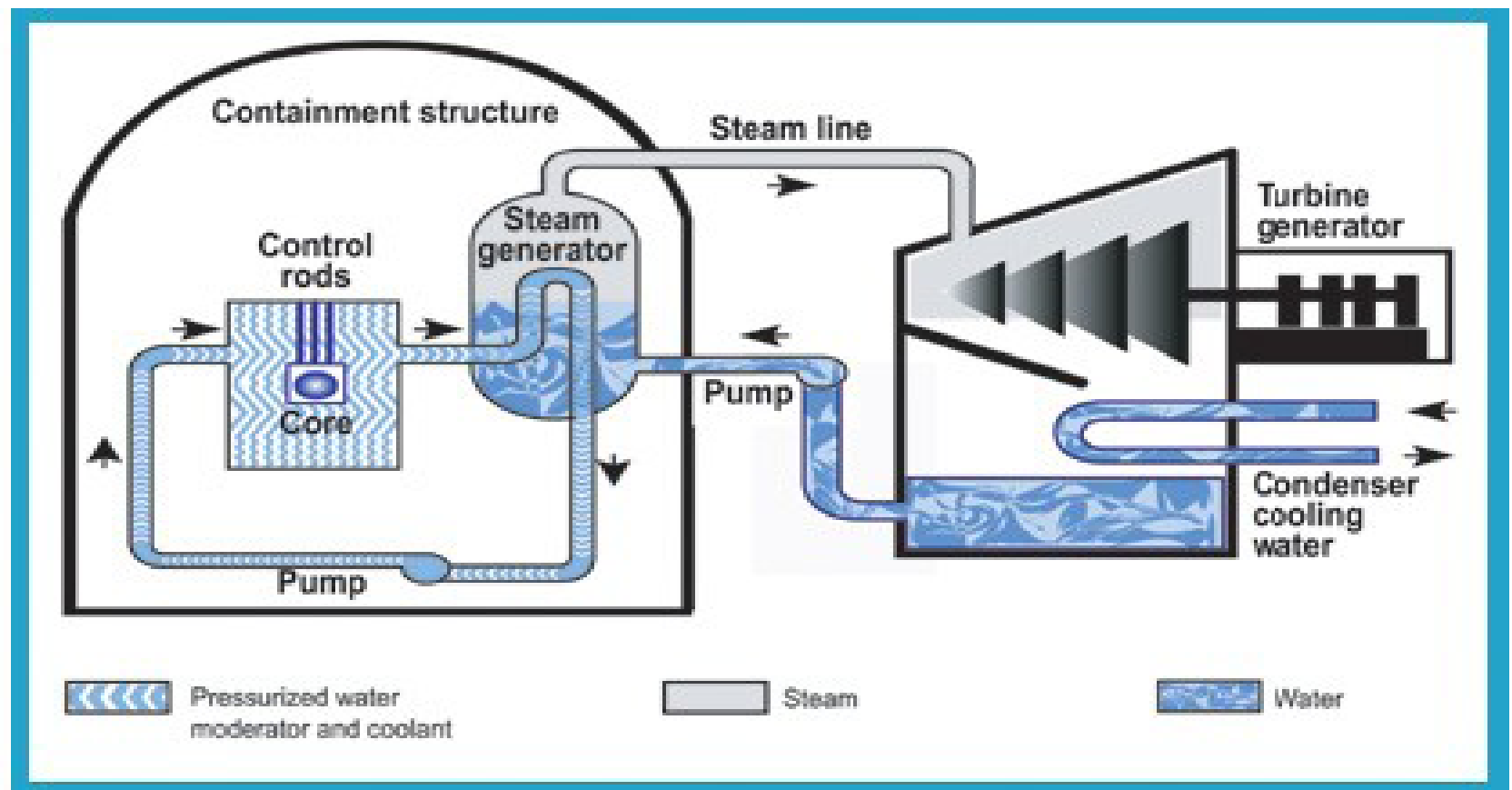
Al gennaio 2009 vi sono:

- **54** impianti **in costruzione** in 12 Paesi;
- **148** impianti **pianificati**;
- **342** impianti **proposti**.

Tenuto conto della **più elevata potenza unitaria** dei nuovi impianti, si può prevedere che **al 2030 la potenza nucleare installata nel mondo raddoppi** rispetto alla attuale.

Da: WNA "World Nuclear Power Reactors 2009-10 and Uranium Requirements" 3 May 2010.

Schema del Reattore ad Acqua Pressurizzata (Pressurized Water Reactor: PWR)



Containment structure: *struttura di contenimento*. Control rods: *barre di controllo*. Steam generator: *generatore di vapore*. Core: *nocciolo*. Pump: *pompa*. Steam line: *condotta del vapore*. Turbine generator: *turboalternatore*. Condenser cooling water: *acqua di raffreddamento del condensatore*. Pressurized water moderator and coolant: *acqua pressurizzata moderatrice e refrigerante*. Steam: *vapore*. Water: *acqua*.

Da: WNA "Electricity Generation - Nuclear Power Reactors" 2010.



Finlandia e Francia espandono la loro già rilevante flotta di reattori con il nuovo **European Pressurized Water Reactor (EPR)**, di generazione III+, costruito dalla franco-tedesca **AREVA NP**; **40 di questi reattori** sostituiranno gradualmente tutti **gli attuali 59 reattori francesi**.

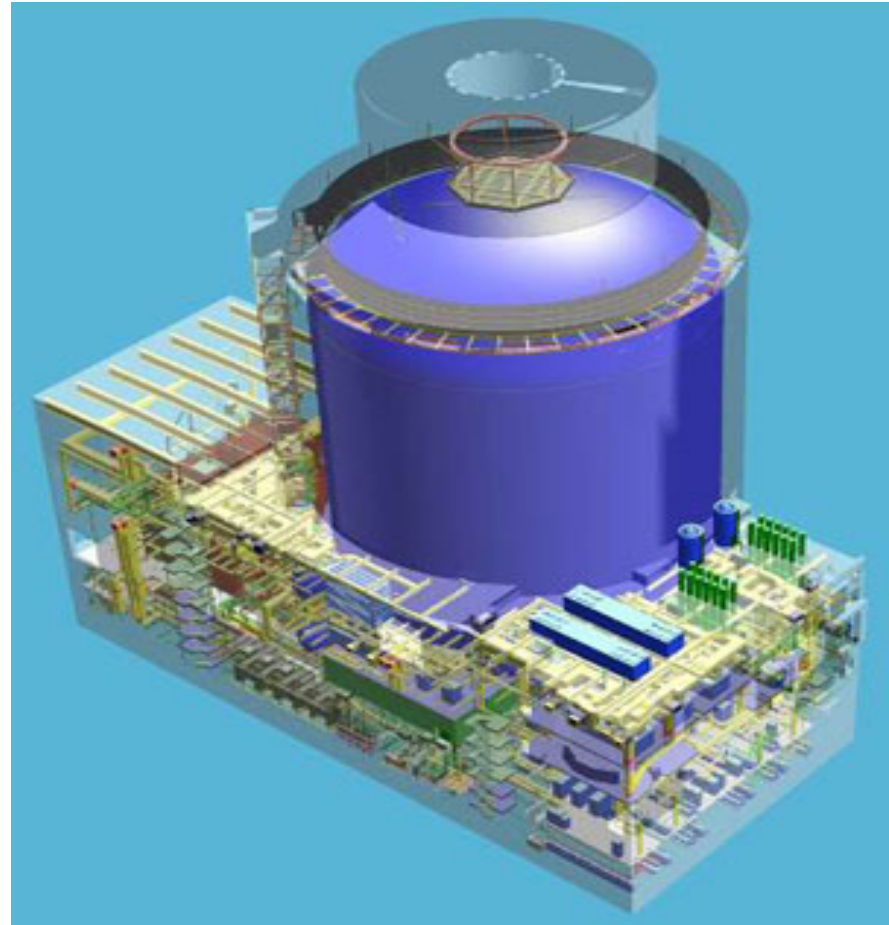


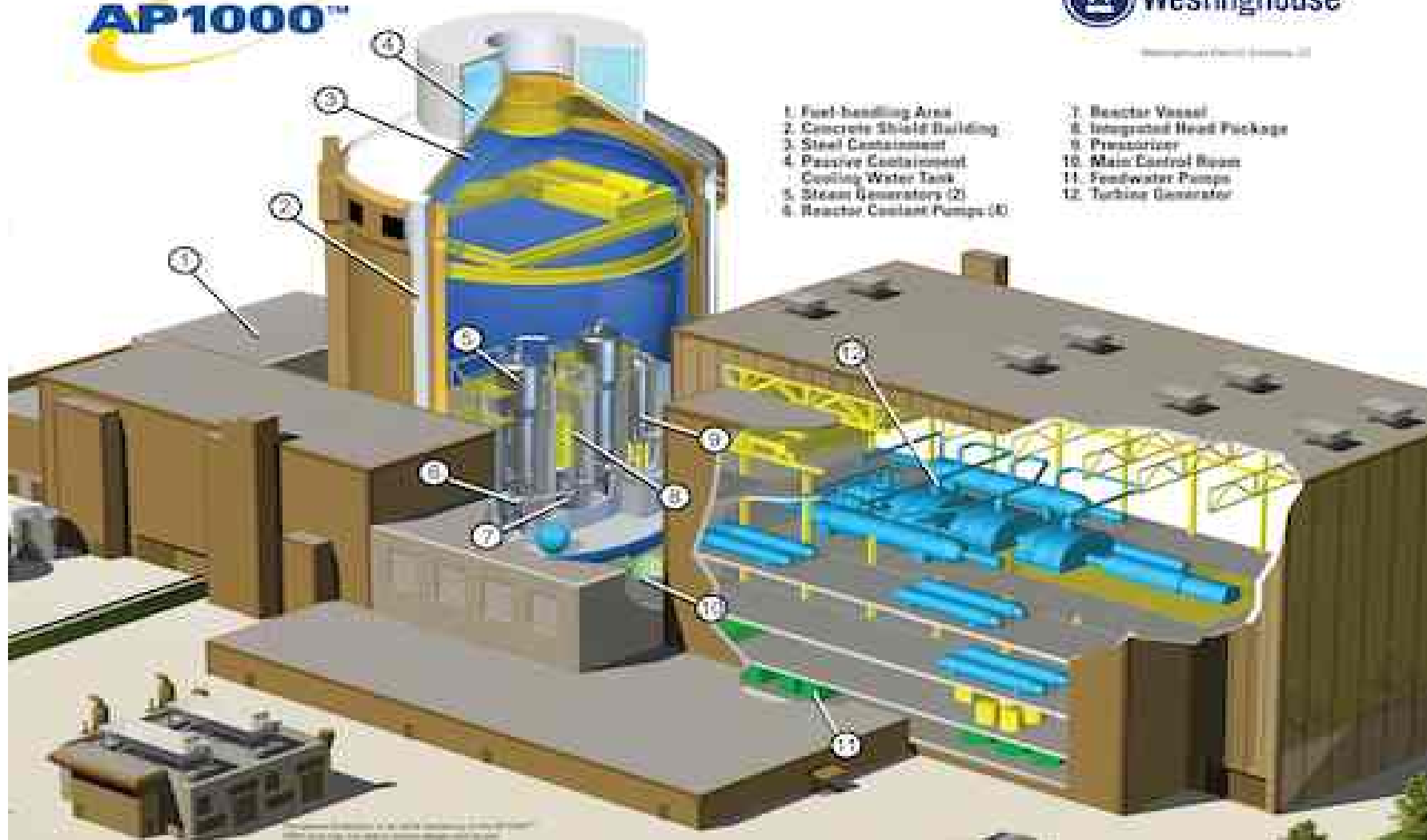
La veduta della centrale di Olkiluoto in Finlandia, dove in primo piano si vede il modello del nuovo reattore Olkiluoto 3, EPR di generazione III+, ora in costruzione.

Il reattore AP1000 della Westinghouse

Lo AP1000 è un impianto nucleare avanzato, con potenze tra 1117 e 1154 MWe, che si basa su effetti naturali e sulla semplicità del progetto per migliorare la sicurezza e la operatività dell'impianto, e per ridurre i costi di costruzione.

Lo AP1000 della Westinghouse è una logica evoluzione del precedente progetto AP600. Analisi di progetto hanno dimostrato che una configurazione con soli due circuiti di raffreddamento può produrre oltre 1000 MWe con minime modifiche al progetto AP600.





- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. Fuel-Handling Area | 7. Reactor Vessel |
| 2. Concrete Shield Building | 8. Integrated Head Package |
| 3. Steel Containment | 9. Pressurizer |
| 4. Passive Containment | 10. Main Control Room |
| 5. Steam Generators (2) | 11. Feedwater Pumps |
| 6. Reactor Coolant Pumps (4) | 12. Turbine Generator |

1) Area per i movimenti del combustibile. 2) Contenitore di cemento. 3) Contenitore di acciaio. 4) Serbatoio dell'acqua per raffreddamento passivo. 5) Generatori di vapore (2). 6) Pompe del refrigerante del reattore (4). 7) Contenitore del reattore. 8) Struttura integrata di testata. 9) Pressurizzatore. 10) Sala controllo principale. 11) Pompe dell'acqua di alimento. 12) Turboalternatore.



Da: "Nuclear Energy – Just the Facts" Nuclear Energy Institute – 2008.

“Sostenibilità” dell’energia nucleare (1/4)

Con i reattori attualmente più in uso, si sfrutta **poco più dell’uranio fissile presente in natura** (l’Uranio 235, lo 0,7% dell’uranio naturale): ciò fa temere ad alcuni l’esaurimento del combustibile nucleare in qualche decennio.

Tuttavia, grazie a:

- il **ritrattamento del combustibile irradiato**, e
- il possibile **utilizzo del il Torio** (tre volte più abbondante dell’Uranio in natura),

si aprono **prospettive di migliaia di anni** per un **uso dell’energia da fissione** anche molto più intensivo dell’attuale.

“Sostenibilità” dell’energia nucleare (2/4)

Mediante l’uso di **reattori “fertilizzatori” a flusso neutronico “veloce”** (cioè, ad alta energia), si trasforma l’**Uranio 238** (oltre il 99% dell’uranio naturale) nel fissile **Plutonio 239**, e quindi è possibile estrarre dall’uranio naturale **fino a 100 volte in più di energia**.

Ciò significa che **dal solo uranio oggi noto vi è** una disponibilità di combustibile **per millenni** anche per una potenza installata di 10 TW-termici (10 volte l’attuale).

“Sostenibilità” dell’energia nucleare (3/4)

Inoltre, mediante l’uso di **reattori “fertilizzatori” a flusso neutronico “termico”** (cioè, a bassa energia), si trasforma il **Torio 232** nel fissile **Uranio 233**.

Il Torio è tre volte più abbondante dell’Uranio in natura, e quindi è possibile **estrarre dal Torio anche 300 volte in più di energia rispetto all’Uranio 235 presente in natura**.

“Sostenibilità” dell’energia nucleare (4/4)

Inoltre, a questi livelli di sfruttamento, può divenire conveniente ricavare **l’uranio e il torio** da minerali molto diffusi come **i fosfati o i graniti**, ed anche **dall’acqua di mare**: ad esempio, negli oceani vi sono 4,4 miliardi di tonnellate di uranio, equivalenti a 80.000 TW-termici-anno dal solo ^{235}U .

Si noti che ora vengono anche messe a punto tecniche di **estrazione dell’uranio dalle ceneri di centrali a carbone**: 1 t di ceneri può fornire energia da uranio pari a quella ottenibile da 500 t di carbone!

La gestione dei “residui” radioattivi (1/2)

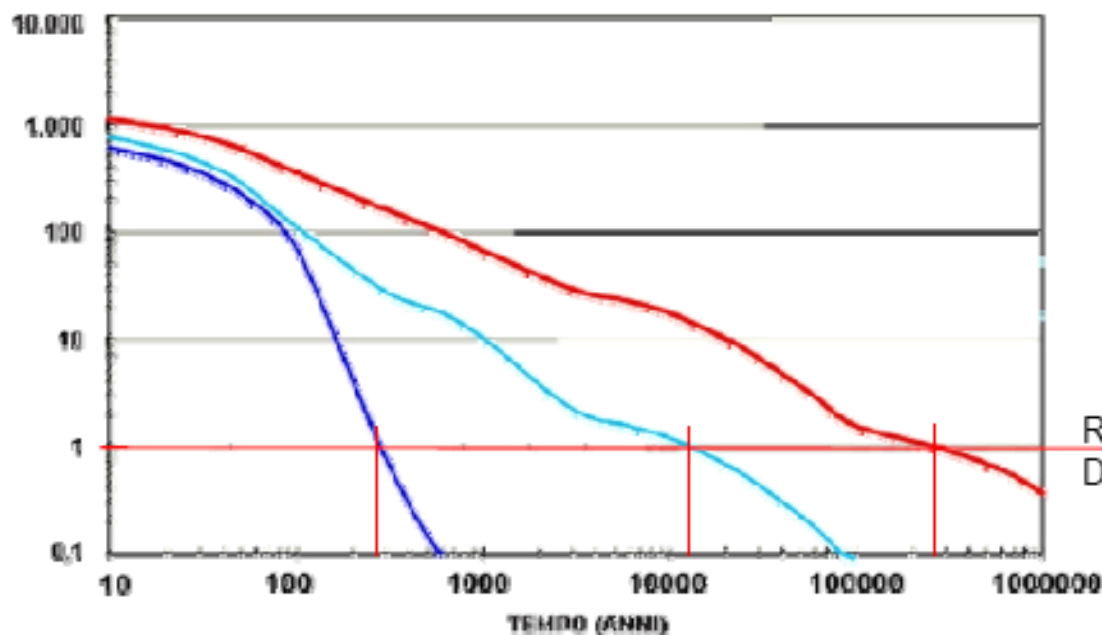
La radioattività più rilevante e di più lunga vita media del combustibile irraggiato è quella dovuta agli **attinidi transuranici** (tra cui il **Plutonio**): separati ed inseriti in **nuovo combustibile per reattori**, vengono **distrutti**, producendo **molta altra energia**.

La restante radioattività è dovuta invece ai **prodotti di fissione**. Anche questi possono essere trattati, in modo da ridurre livelli di radioattività e vite medie, tanto che dopo **qualche centinaio di anni** la loro **radioattività totale residua** potrebbe divenire anche **inferiore a quella dei minerali di uranio e torio** utilizzati all'origine.

Gestione dei materiali radioattivi

- Il problema delle scorie ad alta attività è in via di soluzione sistematica attraverso le ricerche sulla separazione e sulla trasmutazione delle componenti ad alta attività e a lunga vita. Le tecniche in fase di sviluppo in Francia, Regno Unito e Stati Uniti consentiranno di ridurre il tempo di decadimento a circa 300 anni (analogo a quello dei materiali a media attività).

RADIOSSICITÀ RELATIVA



- Il riciclo di uranio e plutonio (MOX) riduce il periodo di decadimento di un fattore 20.
- La trasmutazione degli attinidi minori riduce ancora il periodo di decadimento di un fattore 1000.
- La fattibilità del processo di trasmutazione è stata già dimostrata nell'ambito del programma di ricerca francese Atalante.

La gestione dei “residui” radioattivi (2/2)

In conclusione, si può prevedere che, con un **sistema energetico nucleare su larga scala e dotato di tipologie diversificate di reattori**, una gestione dei residui adeguatamente coordinata e pianificata permetterebbe di **non compromettere con l'attività umana il bilancio globale della radioattività del Pianeta Terra** (pervenendo addirittura ad una sua riduzione!).

Effetto del nucleare sul costo del kWh in Italia

Considerando gli odierni prezzi dei combustibili fossili e della CO₂, si ha il seguente posizionamento:

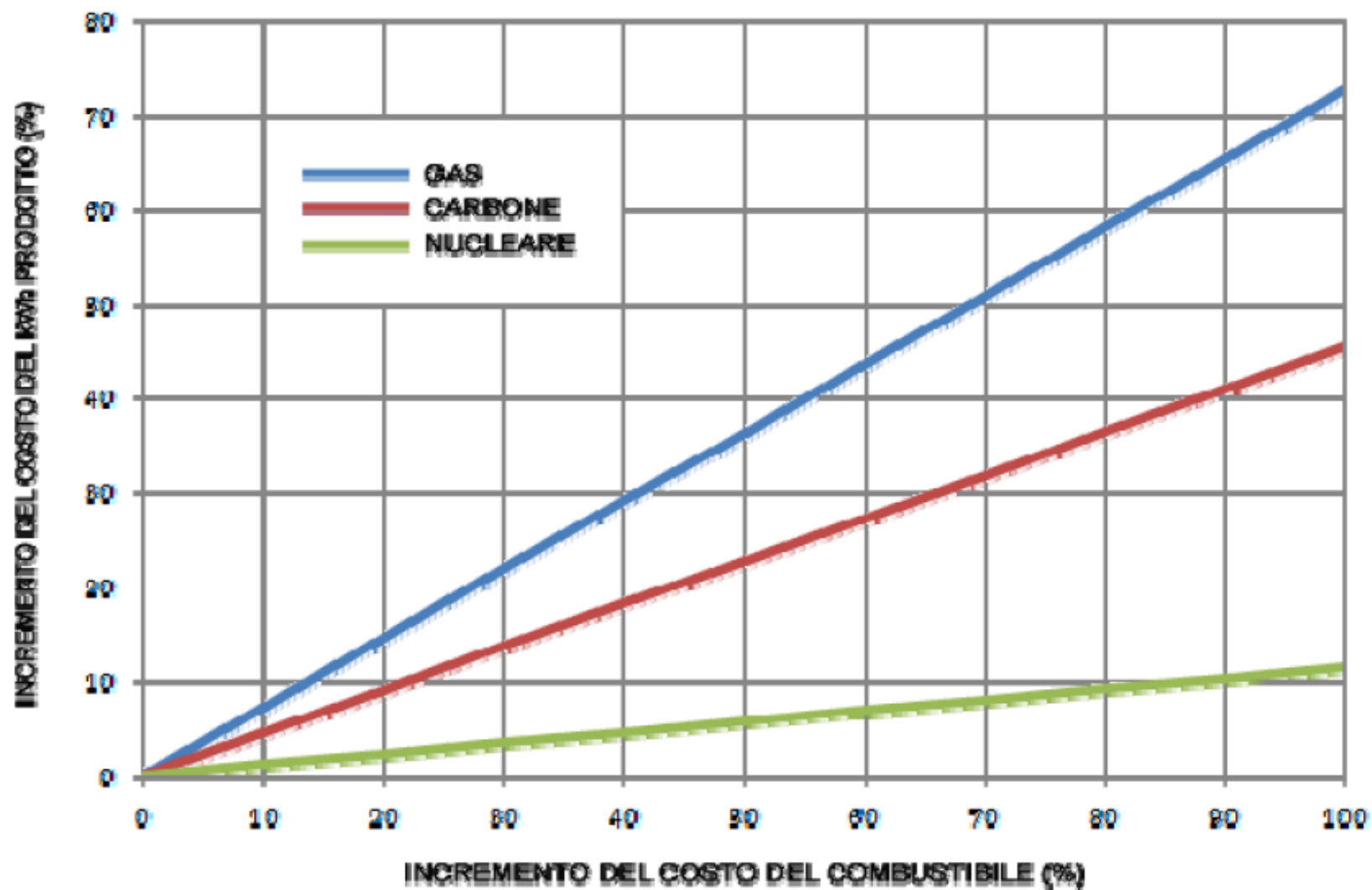


Il costo del kWh prodotto da energia nucleare deve essere valutato sull'intera vita tecnica dell'impianto (40 – 60 anni!)

CCS: Carbon Capture and Storage (*cattura e sequestro del carbonio*).

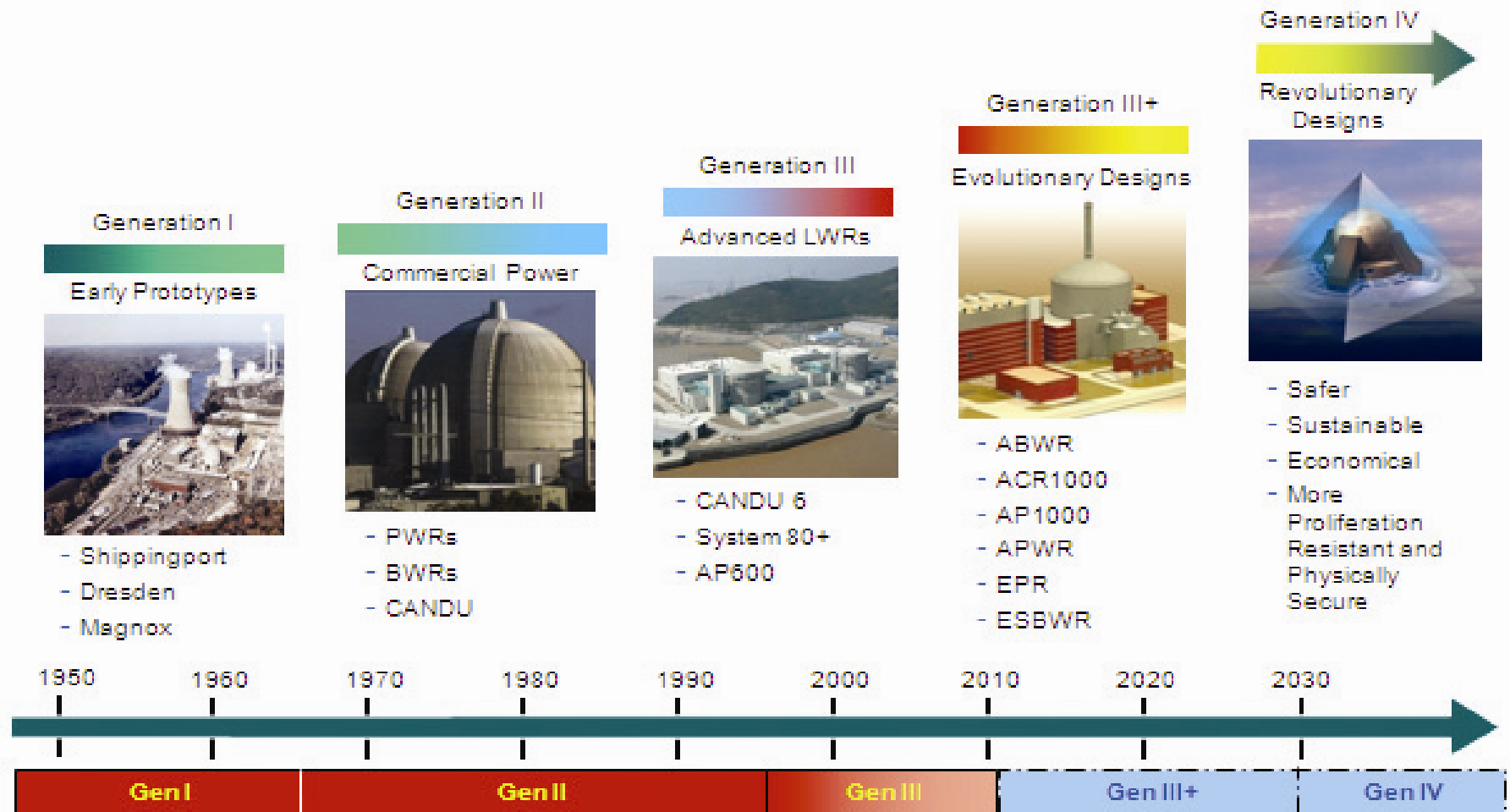
Da: U. Graziani - *Amm. Delegato ERSE S.p.A* "Gli effetti del Nucleare sul Sistema Elettrico Italiano"
Roma, 10 maggio 2010.

Caratteristiche economiche dell'energia nucleare

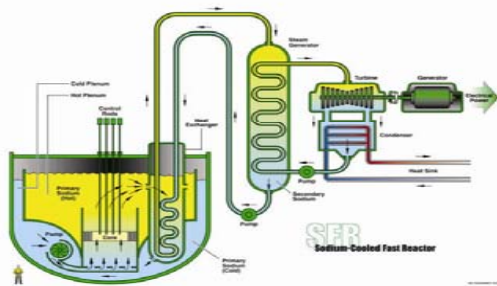


Da: U. Spezia "Caratteristiche tecniche, economiche e ambientali dell'energia nucleare" Seminario per i parlamentari – Roma, 23 luglio 2008.

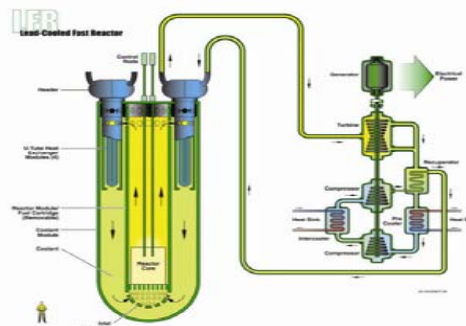
Evolution of Nuclear Power



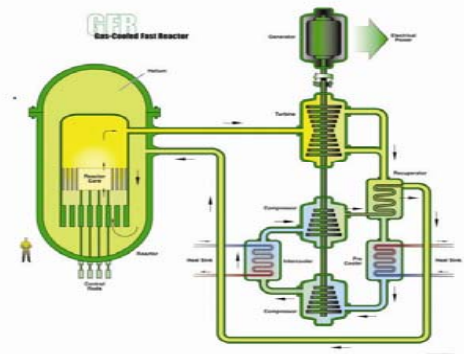
La successione delle generazioni dei reattori nucleari a fissione. (Dal sito del GIF: <http://www.gen-4.org/Technology/evolution.htm>).



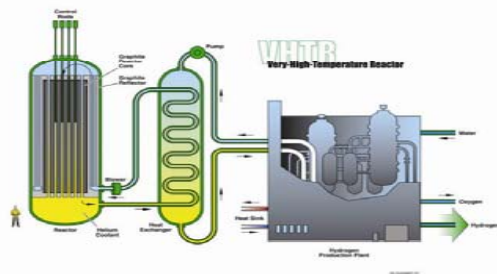
Sodium Fast Reactor (SFR)



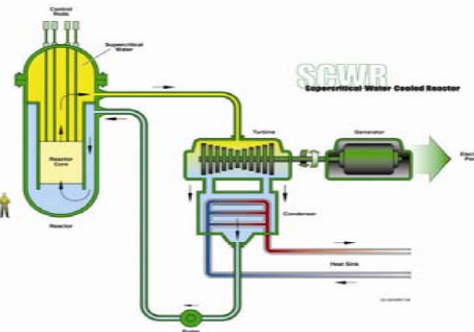
Lead Fast Reactor (LFR)



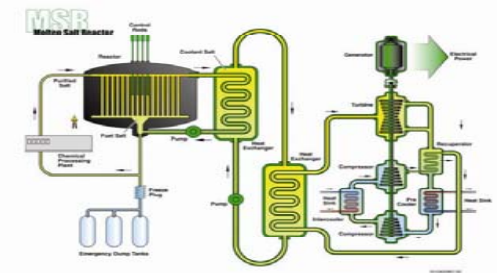
Gas Fast Reactor (GFR)



Very High Temperature Reactor (VHTR)



Supercritical Water Reactor (SCWR)



Molten Salt Reactor (MSR)

Gli schemi di massima dei sei concetti di reattore prescelti dal *Generation IV International Forum* (GIF). Dalle piccole sagome umane si può avere un'idea della dimensione degli impianti. (Per ulteriori dettagli, si veda nel sito del GIF: http://www.gen_4.org/PDFs/GIF_introduction.pdf, da cui sono tratti gli schemi di questa figura).

L'evoluzione delle tecnologie energetiche (1/2)

Ogni grande ciclo economico è stato finora caratterizzato dalla prevalenza relativa di una **nuova fonte di energia**: così, il massimo (relativo) di penetrazione del **carbone** si è verificato **negli anni '30** dello scorso secolo, quello del **petrolio** dovrebbe essere in corso **in questi anni**, mentre si può prevedere un massimo (relativo) di penetrazione del **gas naturale** per la **metà di questo secolo**.

Ogni fonte di energia, poi, ha la sua **“costante di tempo di penetrazione”** (tempo per passare **dal 10 % al 90 % della sua frazione massima di penetrazione**), che finora è stata dell'ordine di **80 anni**.

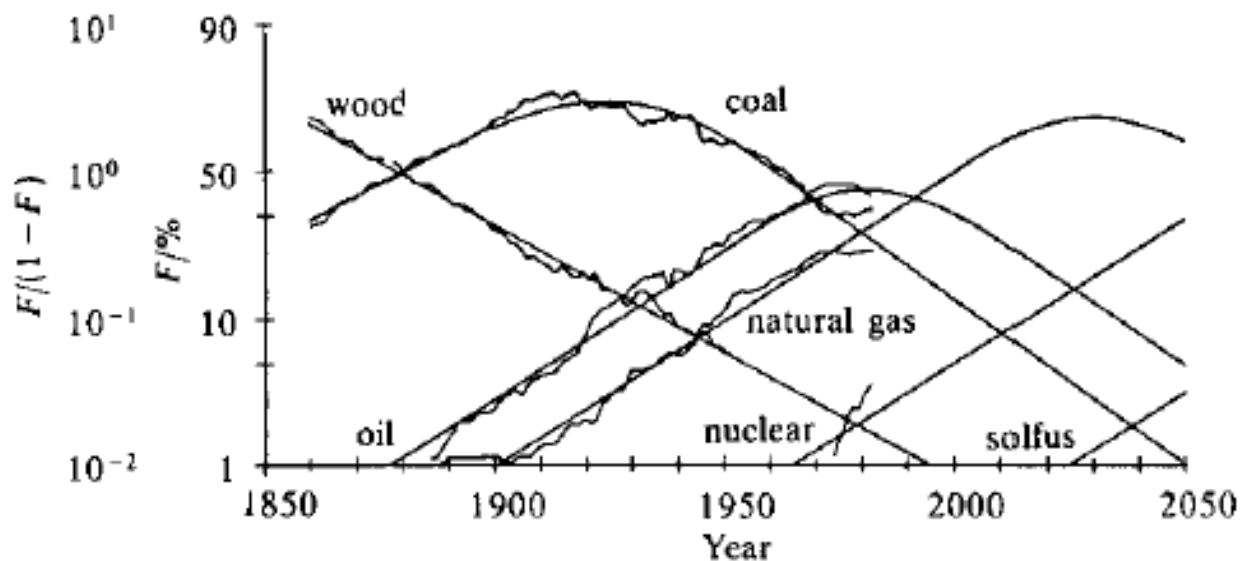


Figure 1. IIASA analysis of primary energy substitution at world level, originally done in 1974 and adjourned in 1984. A stable secular substitution, mapped with multiple substitution logistic analyses (smooth lines), is shown. The chart shows the market fraction (F) in energy terms. Starting about 1975, coal and natural gas proceed horizontally and show no substitution dynamics. This appears to be as a result of a set of laws and regulations forbidding the use of natural gas in power plants. These rules are now in a phase of relaxation and a surge of very efficient (up to 60%) natural gas power plants should be expected during the present decade and will, presumably, lead to a pickup in the use of natural gas and a drastic decrease of coal consumption. The solfus code (solar-fusion) is intended to include the possible use of solar energy, although the dilution and modulation of solar light makes it a poor candidate for large-scale energy production. Source: Marchetti and Nakićenović (1979).

(V. traduzione anche alla tavola seguente). Wood: legno. Coal: carbone. Oil: petrolio. Natural gas: gas naturale. Nuclear: nucleare a fissione. Solfus: solare/fusione nucleare.

(Traduzione da tavola precedente)

Figura 1. Analisi della sostituzione nel tempo delle fonti di energia primaria a livello globale, condotta originariamente nel 1974, ed aggiornata nel 1984, presso lo International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Nei due ultimi secoli, risulta una regolare sostituzione tra fonti di energia, mappabili facilmente con molteplici curve logistiche (curve regolari in figura). Il diagramma indica, in scala logaritmica, la frazione F di mercato occupata da ciascuna fonte di energia. A partire dal 1975, il carbone ed il gas naturale tendono a stabilizzarsi, a seguito di norme che limitavano l'uso di gas naturale a favore del carbone nella produzione elettrica. In seguito, tuttavia, lo sviluppo di centrali elettriche a gas ad altissimi rendimenti (fino al 60%) ha portato ad un uso crescente del gas anche nella generazione elettrica. La sigla "solfus" (solar-fusion) indica le possibili future opzioni della fusione nucleare e dell'energia solare, la quale tuttavia non appare adatta alla produzione su larga scala a causa della sua diluizione e della sua intermittenza. Fonte: Marchetti e Nakicenovic (1979).

L'evoluzione delle tecnologie energetiche (2/2)

Di fatto, tale evoluzione è avvenuta seguendo:

- 1) una **crescente "densità di potenza"** nei generatori;
- 2) la **"legge di scala"** (per cui, ad es., un impianto **di taglia quattro volte** più grande **costa soltanto il doppio**, e quindi il costo del kWh, per la parte relativa all'investimento, si dimezza).

Le **"nuove rinnovabili"** (eolica, solare), non soddisfano queste leggi, e quindi per questi aspetti appaiono un **"ritorno al passato"**.

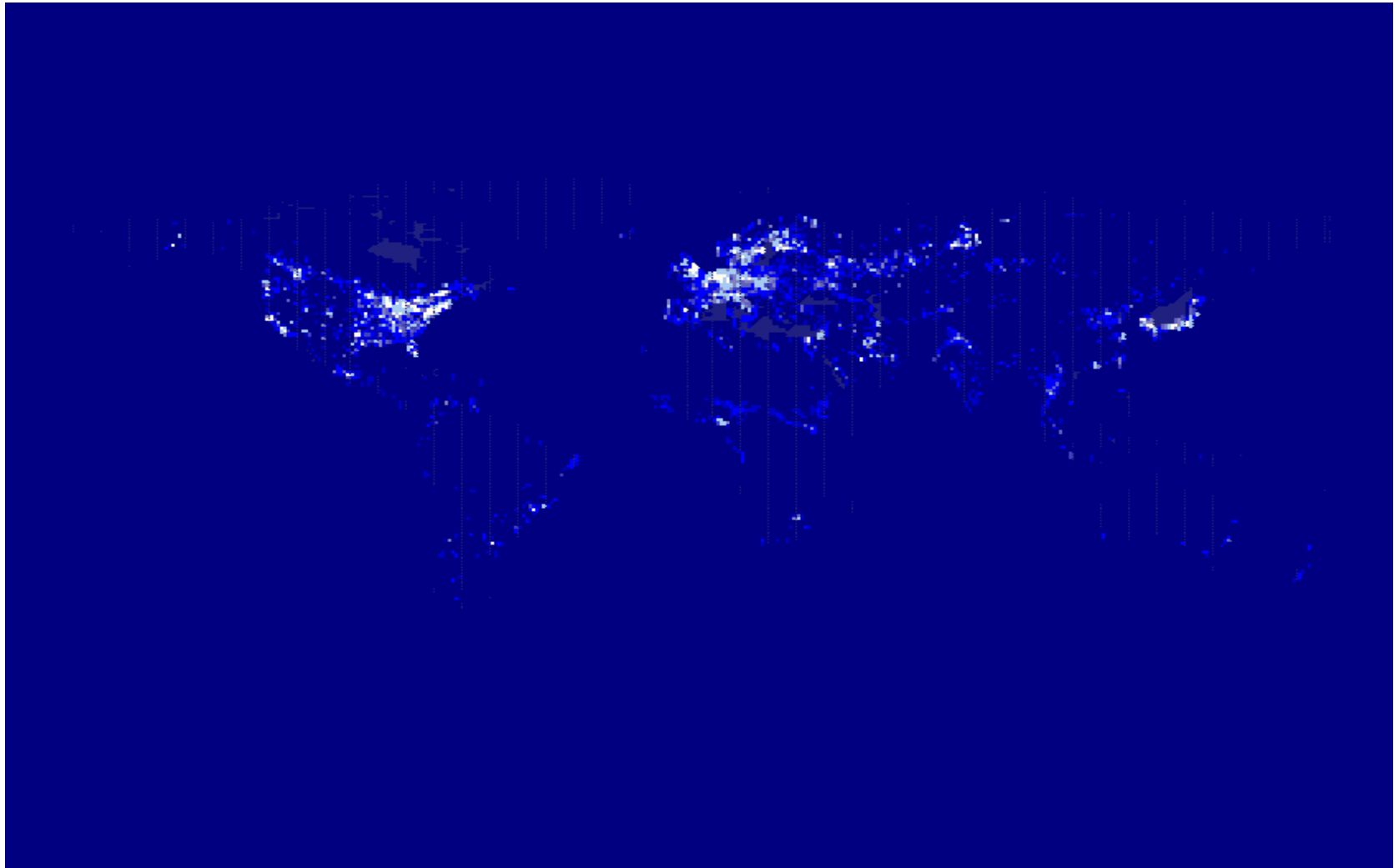
Energia elettrica: le opzioni per il futuro

Le grandi infrastrutture energetiche da costruire nei prossimi decenni dovranno servire un mondo caratterizzato da **vaste aree intensivamente urbanizzate** (si pensi alle storiche conurbazioni dell'Europa, del Giappone e dell'America del Nord, ed alle nuove di Cina, India, Sud-Est asiatico, ecc.).

Non restano quindi che **due opzioni realistiche**:

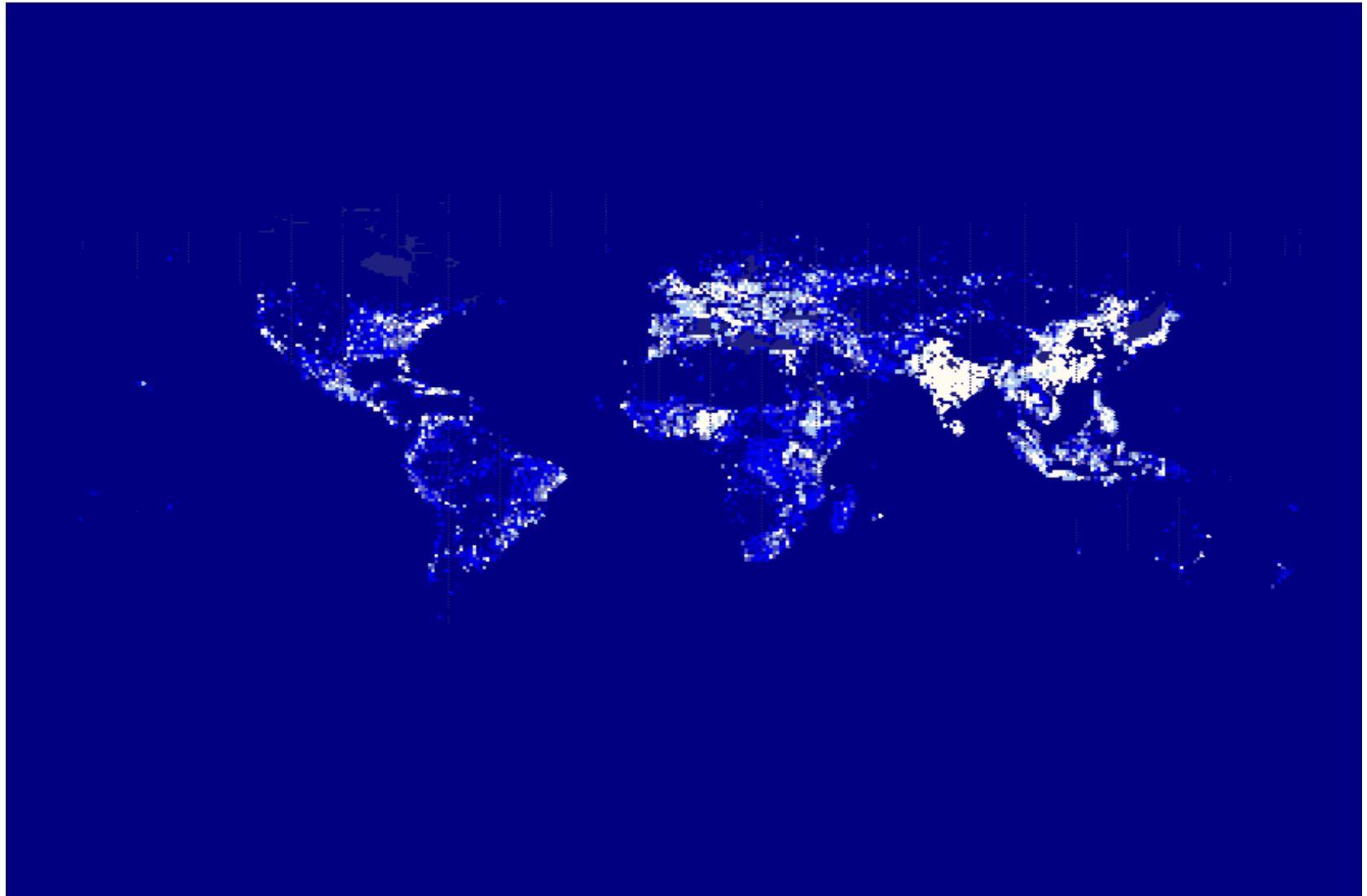
- **impianti termoelettrici a zero emissioni** (mediante “Carbon Capture and Storage”: **CCS**);
- **impianti nucleari.**

Luminosità artificiale della Terra nel 1996



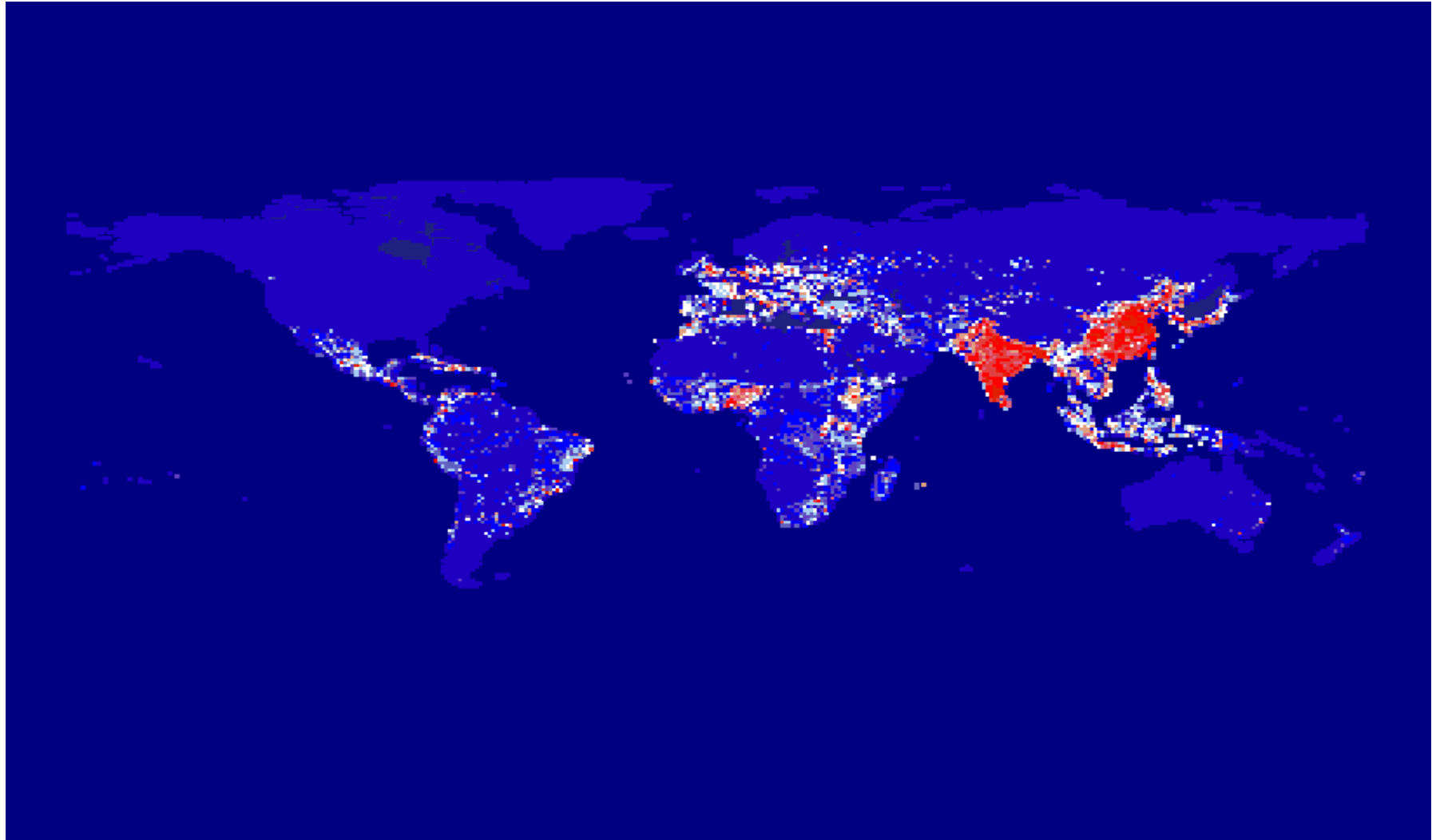
Flusso luminoso verso l'alto al culmine dell'atmosfera; dati forniti dalla versione a basso guadagno del Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System (DMSP/OLS), Elvidge et al., US National Geophysical Data Center. Fonte: J. Ausubel and N. Victor, 2006.

Luminosità artificiale della Terra se tutti I Paesi facessero luce come gli USA nel 1996



Fonte: J. Ausubel and N. Victor, 2006.

Incremento del flusso luminoso, se tutti i Paesi, al di fuori degli USA, facessero luce come gli USA nel 1996: corrisponde alla **domanda latente di elettricità** (valori crescenti dal blu al bianco al rosso)



Fonte: Nadja Makarova Victor & Jesse Ausubel, 2004.

Il caso della Cina

A fine 2009, la potenza elettrica installata in Cina era **874 GWe** (80% fossile, 20% idro, 1,5% nucleare).

Al 2020, la Cina prevede di arrivare a **1600 GWe**.

Nella Cina (continentale) vi sono **11 reattori di potenza in operazione**, e **20 in costruzione**.

Altri reattori sono programmati (tra cui alcuni fortemente innovativi, **ad alta temperatura** ed **a neutroni veloci**), per raggiungere una capacità nucleare di almeno:

- **60 GWe al 2020**, e quindi di ben
- **200 GWe al 2030**.

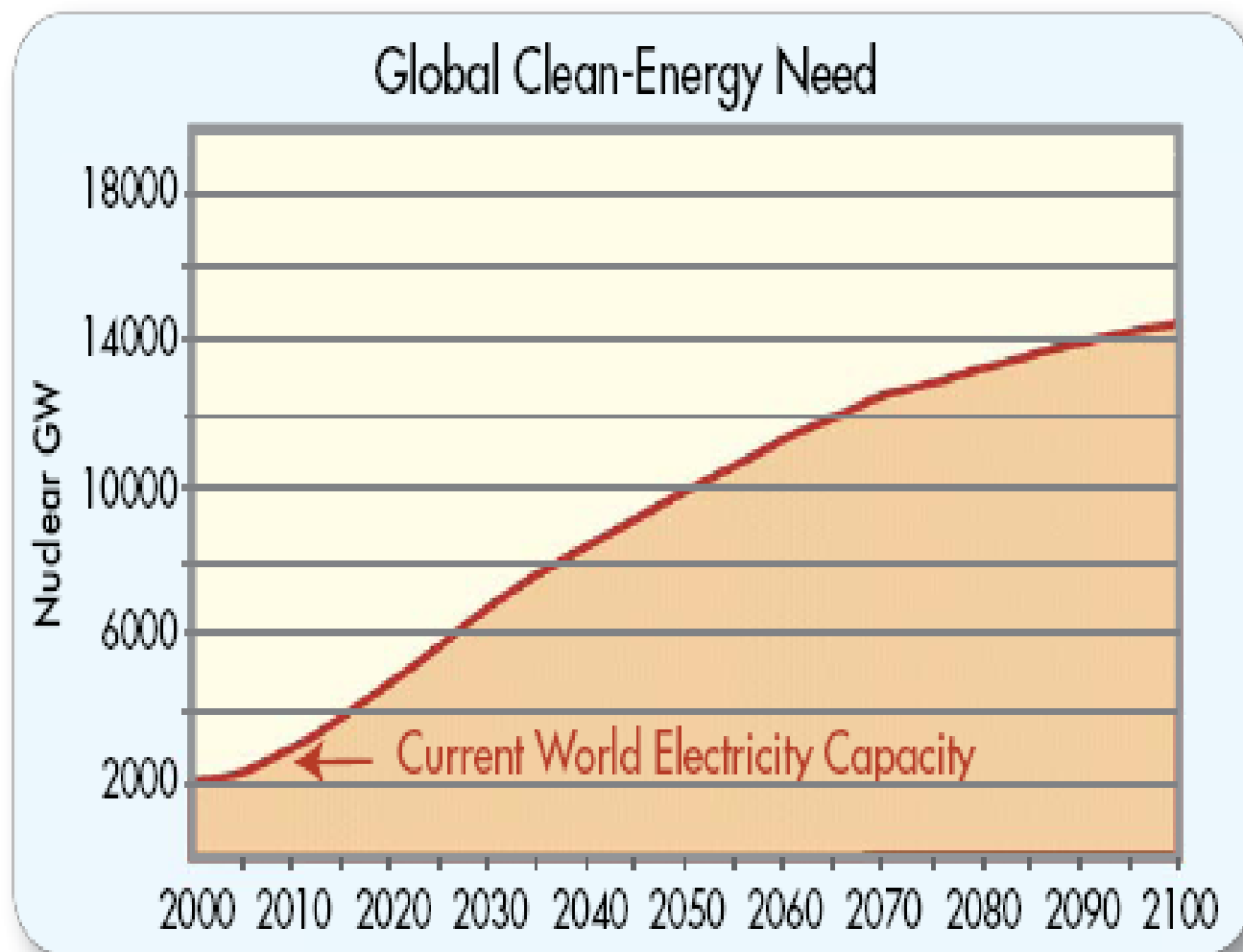
Il caso dell'India

La potenza elettrica installata in India si aggira sui **200 GWe** (di cui 4 GWe nucleari, il 2%).

L'India ha **un fiorente e largamente indigeno programma nucleare**, ed intende raggiungere una capacità nucleare di almeno:

- **20 GWe al 2020 e**
- **63 GWe al 2032.**

Intende poi ottenere **il 25% dell'elettricità da fonte nucleare al 2050.**



This order-of-magnitude estimate of future Clean-Energy Need gains credence from an alternative calculation. Today the IEA judges nuclear power's 370 GW to represent 6.3% of world primary energy consumption. If so, world energy consumption equates to 5,875 Nuclear GW. If total energy consumption doubles by 2050, 85% of energy must be supplied by clean technologies in order to attain a 70% GHG cut from 2000 levels. On that basis, Clean-Energy Need in 2050 would be 9,990 Nuclear GW.

Global Clean-Energy Need: *fabbisogno globale di energia pulita.*

Current World Electricity Capacity: *potenza elettrica attuale nel mondo.*

(V. la traduzione del riquadro alla tavola seguente).

Da: "The WNA Nuclear Century Outlook" December 2008.

(Traduzione del riquadro di tavola precedente)

L'ordine di grandezza del futuro fabbisogno di energia pulita viene stimato nel seguente modo. Oggi la International Energy Agency stima che gli attuali 370 GWe di potenza elettronucleare installata corrispondano al 6,3% del consumo globale di energia primaria. Di conseguenza, l'attuale consumo globale di energia primaria corrisponderebbe a 5875 GWe nucleari. Se il consumo globale di energia raddoppia nel 2050, ben l'85% di tale energia deve essere fornita da tecnologie pulite se si vuole ottenere una riduzione del 70% rispetto al 2000 per le emissioni di gas-serra. Allora il fabbisogno di energia pulita al 2050 sarebbe equivalente a 9990 GWe nucleari.

Supplying Clean-Energy Need

To place nuclear projections into context, the Outlook makes these assumptions concerning **overall clean-energy delivery** in the 21st Century:

- ▶ Hydropower growth stops at mid-century.
- ▶ New Renewables grow steadily and robustly, to a capacity by 2100 that is more than double the total of today's world electricity output.
- ▶ Fossil Carbon Capture and Storage (CCS) makes a substantial contribution during the 21st Century, serving as a bridge technology, but does not grow indefinitely.
- ▶ Nuclear grows within the range defined by the WNA Outlook boundaries.

These assumptions, which are incorporated into the following graph, are highly favourable to the prospects for New Renewables, which today contribute only negligibly, and CCS technologies, which today are still unproven.

(V. traduzione alla tavola seguente).

Da: "The WNA Nuclear Century Outlook" December 2008.

(Traduzione da tavola precedente)

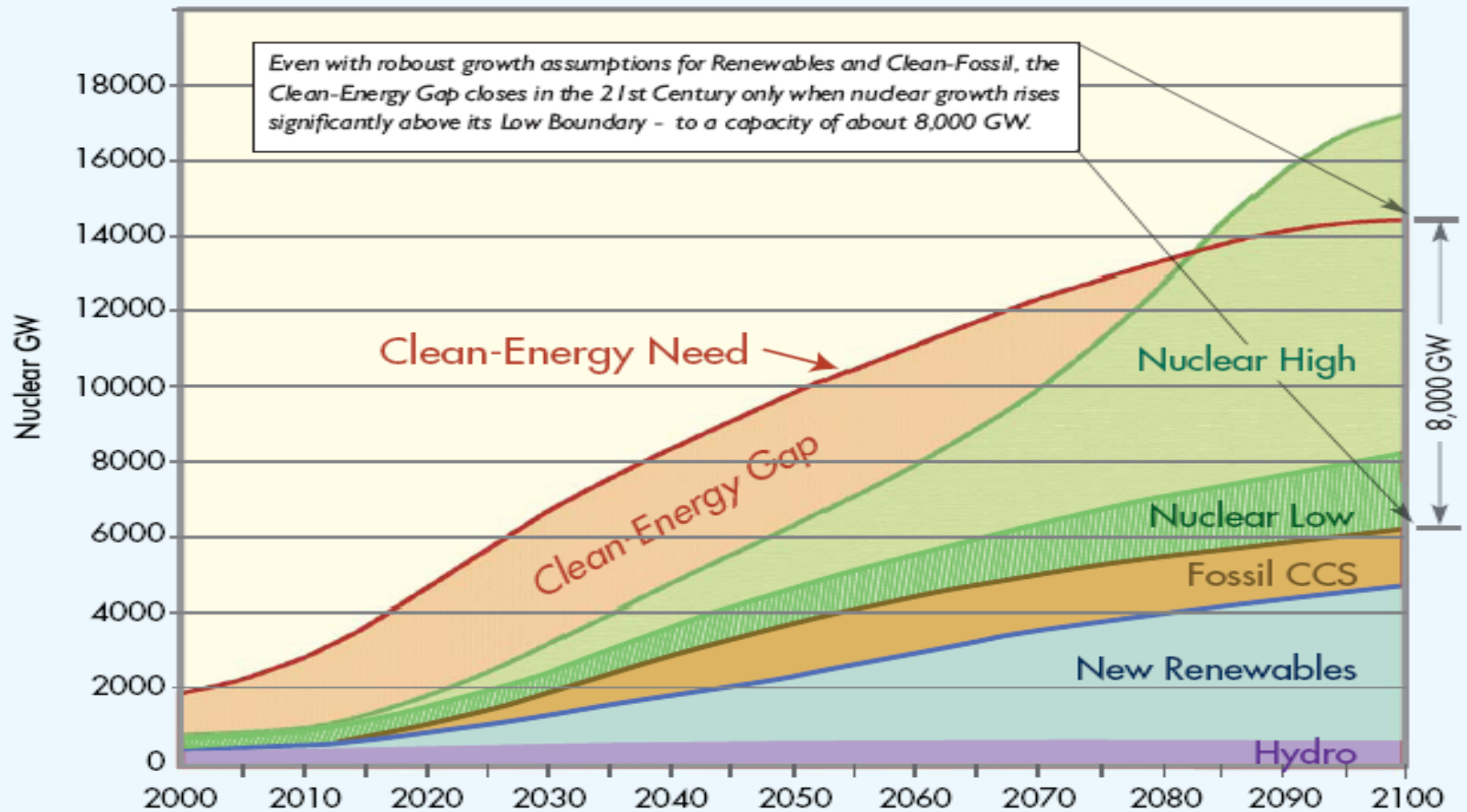
Come fornire il fabbisogno di energia pulita?

Per inquadrare le proiezioni del nucleare nel contesto globale dell'energia, lo **Outlook della World Nuclear Association (WNA)** fa le seguenti ipotesi riguardo a tutte le fonti di energia pulita nel XXI secolo:

- l'incremento della potenza **idroelettrica** si esaurisce verso la metà del secolo;
- le **nuove rinnovabili** (principalmente vento e sole) crescono regolarmente e robustamente, fino ad una potenza al 2100 anche più che doppia di tutta l'attuale potenza elettrica mondiale;
- la **cattura e il sequestro del carbonio** da fonti fossili (Carbon Capture and Storage: CCS) porta un contributo sostanzioso durante il XXI secolo, quale tecnologia ponte, ma non cresce indefinitamente;
- **l'energia nucleare** cresce entro i margini valutati dall'Outlook della World Nuclear Association, sulla base dei programmi minimi e massimi di tutti i Paesi del mondo.

E' da notare che queste ipotesi, alla base dei grafici riportati nella tavola seguente, sono molto ottimiste per quanto riguarda le prospettive delle nuove rinnovabili (il cui contributo per ora è trascurabile) e per le tecnologie CCS, la cui pratica fattibilità a tutt'oggi non è dimostrata.

Global Clean-Energy Need & Supply



(V. traduzione alla tavola seguente).

Da: "The WNA Nuclear Century Outlook" December 2008.

(Traduzione da tavola precedente)

Fabbisogno & produzione globali di energia pulita

Anche con ipotesi di crescita molto ottimistiche per le energie rinnovabili e per la cattura ed il sequestro del carbonio da fonti fossili, la carenza di energia pulita che si manifesterà nel corso del XXI secolo potrà essere soddisfatta soltanto quando la crescita dell'energia nucleare superasse sensibilmente il margine inferiore prima citato, fino ad una potenza installata globale di circa 8000 GWe al 2100.

Clean-Energy Need: *fabbisogno di energia pulita.*

Clean-Energy Gap: *carenza di energia pulita.*

Nuclear High: *margine superiore per il nucleare.*

Nuclear Low: *margine inferiore per il nucleare.*

Fossil CCS: *cattura e sequestro del carbonio da fonti fossili.*

New Renewables: *nuove rinnovabili.*

Hydro: *energia idroelettrica.*

Le sfide da superare: l'impiantistica (1/3)

Tenuto poi conto che per il 2100 dovranno essere sostituiti anche tutti i circa 400 reattori attualmente in funzione, i **nuovi reattori da costruire** sarebbero dell'ordine di **sei migliaia** (nell'ipotesi di una potenza unitaria di 1.500 MWe).

Occorrerebbe a breve in ambito mondiale arrivare a costruire e mettere in linea **molte decine di reattori all'anno** (almeno 60 all'anno nel caso di una distribuzione uniforme nel novantennio).

Le sfide da superare: l'impiantistica (2/3)

Negli ultimi decenni dello scorso secolo si era arrivati a costruire anche **30-35 reattori all'anno** (soprattutto in USA, Francia, URSS). Ora si aggiungono nuovi attori: Cina, India.

I Paesi di vecchia e nuova tradizione nucleare (**Francia, Giappone, Russia, Cina**) hanno già avviato **impegnativi investimenti** per **la costruzione o il potenziamento degli stabilimenti** che siano in grado di produrre i componenti critici dei nuovi reattori di grande taglia (in particolare, i **forgiati per i contenitori a pressione**).



Un contenitore a pressione per reattore in fabbricazione. In primo piano si vede la testata del contenitore su cui sporge l'apparato delle barre di controllo. Si notino le persone a sinistra.

Areva e Japan Steel Works (JSW) hanno stipulato un accordo per la fornitura alla ditta francese dei principali componenti per i nuovi impianti nucleari.

Da: WNA – World Nuclear News “Reactor parts deal for Areva” 5 November 2008 (modificato).

Le sfide da superare: l'implantistica (3/3)

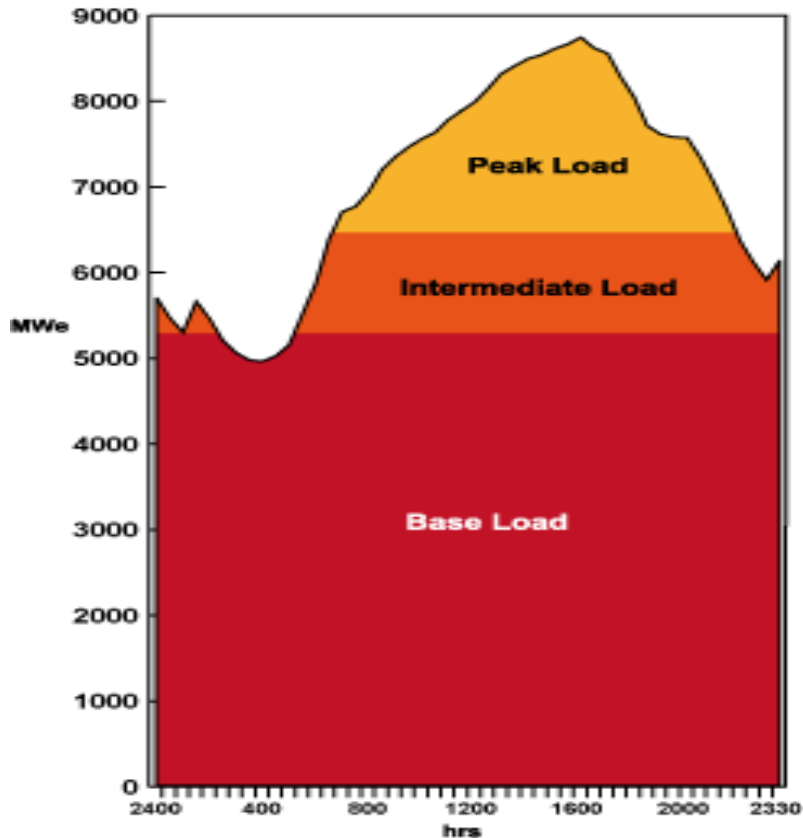
Gli **Stati Uniti** si trovano in una posizione molto più difficile, a seguito della “**deindustrializzazione**” da essi subita negli ultimi decenni anche in questo settore.

In ogni caso, questo grave “**collo di bottiglia**” sarà il fattore che **condiziona** la **tempificazione** di qualunque nuovo programma di costruzione di centrali nucleari.

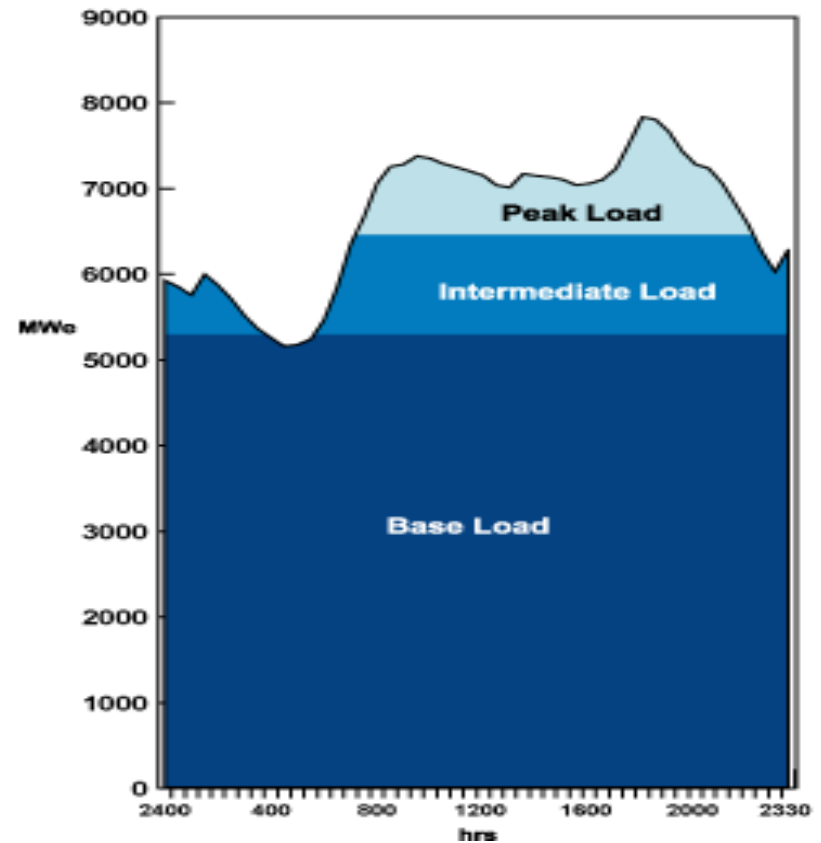
(Ovviamente, i **nuovi venuti**, come purtroppo si trova ad essere oggi l'Italia, dovranno **mettersi in coda...**).

Load curves for Typical electricity grid

High Summer demand day



High Winter demand day



This diagram shows that much of the electricity demand is in fact for continuous 24/7 supply (base-load), while some is for a lesser amount of predictable supply for about three quarters of the day, and less still for variable peak demand up to half of the time.

(V. traduzione alla tavola seguente).

Da: WNA "World Energy Needs and Nuclear Power (September 2009).

(Traduzione da tavola precedente)

Load curves for Typical electricity grid: *curve di carico per una tipica rete elettrica.*

High Summer demand day: *giornata di alta richiesta estiva.*

High Winter demand day: *giornata di alta richiesta invernale.*

Peak Load: *carico di picco.*

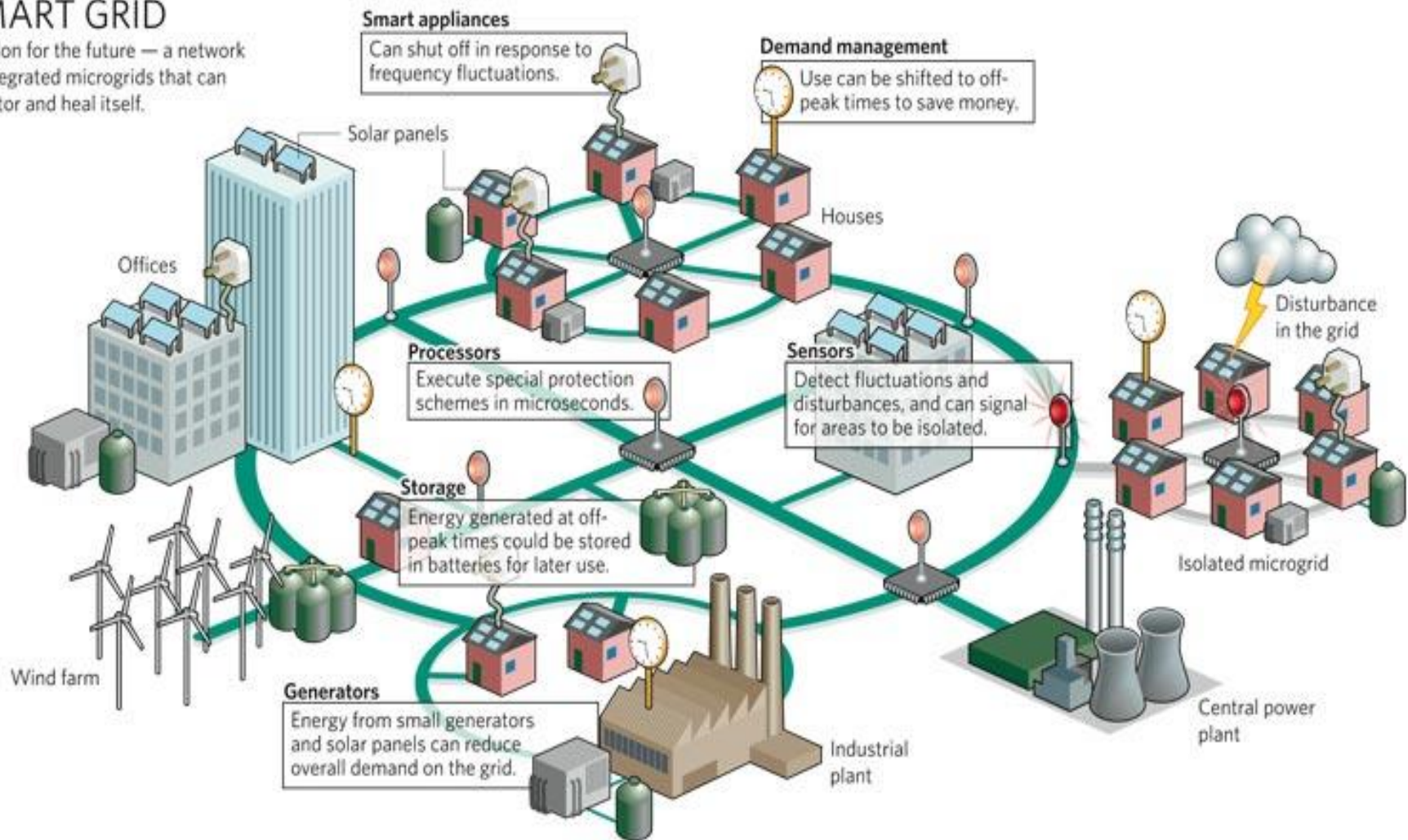
Intermediate Load: *carico intermedio.*

Base Load: *carico di base.*

Questo diagramma dimostra che la gran parte della richiesta di elettricità riguarda il “carico di base” (una fornitura continuativa, 24 ore al giorno per 7 giorni alla settimana), mentre un’altra parte riguarda una fornitura prevedibile per circa tre quarti della giornata, ed una parte minore riguarda picchi variabili per circa metà della giornata.

SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.



Solar panels: *pannelli solari*. Houses: *abitazioni*. Offices: *uffici*. Disturbance in the grid: *disturbo sulla rete*. Isolated microgrid: *micro-rete isolata*. Wind farm: *parco eolico*. Industrial plant: *impianto industriale*. Central power plant: *centrale elettrica*.

(V. altre traduzioni alla tavola seguente).

Da: <http://www.consumerenergyreport.com/wp-content/uploads/2010/04/smartgrid.jpg>

(Traduzione da tavola precedente)

SMART GRID *(rete intelligente)*

Una visione del futuro – una rete di micro-reti integrate in grado di monitorare e curare se stessa.

Smart appliances *(utenze intelligenti)*

Possono essere disconnesse a seguito di fluttuazioni di frequenza.

Demand management *(programmazione della domanda)*

L'utilizzo può essere spostato in tempi fuori dei picchi di carico, per ridurre i costi.

Processors *(elaboratori)*

Eseguono interventi di emergenza in microsecondi.

Sensors *(sensori)*

Rivelano fluttuazioni e disturbi, e possono segnalare le aree da isolare.

Storage *(accumulo)*

L'energia generata in tempi fuori dei picchi di carico può essere accumulata in batterie per un uso successivo.

Generators *(generatori)*

L'energia da piccoli generatori e da pannelli solari può contribuire a soddisfare la domanda globale.

Smart Grid Growth Brings Challenges — and More Than a Little Anxiety — for Utilities

May 25, 2010

A new report from PricewaterhouseCoopers called [Smart Grid Growing Pains](#) identifies several challenges and sticking points utilities will need to be ready for if they're to survive and thrive as the deployment of [Smart Grid technologies](#) continues to accelerate. The report from the high-powered auditing and professional services firm points out challenges such as project cost containment, maintaining functional cross-utility alliances and customer engagement. Additional associated growing pains noted include the Smart Grid cost-benefit equation, [security](#) and [data management](#).

(V. traduzione alla tavola seguente).

(Traduzione da tavola precedente)

Lo sviluppo della Smart Grid comporta sfide – e non poche preoccupazioni- per le compagnie elettriche

25 maggio 2010-07-03

Un recente rapporto della PricewaterhouseCoopers, intitolato [Smart Grid Growing Pains](#), identifica diverse sfide ed ostacoli che le compagnie elettriche dovranno affrontare per sopravvivere e prosperare se lo sviluppo delle nuove tecnologie di Grid continuerà ad accelerare. Il rapporto della nota ditta di auditing e servizi professionali indica quali sfide il contenimento dei costi, il mantenimento degli accordi tra compagnie e della fedeltà della clientela. Ulteriori crescenti preoccupazioni relative alla Smart Grid riguardano l'equazione costi-benefici, la sicurezza e la gestione dei dati.

Smart (Energy) Grid come Internet? (1/3)

Nel **settore delle ICT** l'oggetto da gestire, **l'informazione**, è praticamente **indipendente dalla quantità di materiali ed energia utilizzati** (che si è ridotta drasticamente con lo sviluppo della tecnologia), e gli **investimenti sono relativamente limitati**.

Nel **settore delle tecnologie energetiche**, invece, l'obiettivo è proprio **la produzione, la trasformazione e la trasmissione a distanza** di rilevanti quantità

- di **combustibili** (carbone, petrolio, gas) e
- di **elettricità**.

Smart (Energy) Grid come Internet? (2/3)

Anche **in natura** i sistemi “cellulari” o “a rete” (sciami di api, colonie di formiche, stormi di uccelli) **scambiano tra i nodi** (gli individui) **soltanto informazioni**, ma **non certo l'energia, che è gestita autonomamente** da ciascun individuo.

Inoltre, quando si considerano gli **organismi superiori**, non solo l'energia è gestita centralmente (cuore, polmoni), ma **anche le funzioni informative** sono sempre più concentrate nel cervello.

Smart (Energy) Grid come Internet? (3/3)

Anche i **nuovi servizi informatici su rete** sono sempre più forniti da **grandi centri** dotati di risorse affidabili ed ottimizzate: è il cosiddetto “**Cloud Computing**”.

M. Cannizzo di Accenture afferma (*) che il Cloud Computing è coerente con altre tendenze da tempo in atto:

- *energia elettrica*: l'autoproduzione in piccoli impianti sostituita da una commodity fornita centralmente;
- *musica*: scaffali di dischi e apparati stereo sostituiti da diffusione verso ricevitori mobili personali e portatili.

(*) CA Technologies “Cloud Academy” Roma, 11 maggio 2010.

ca Technologies - Cloud Academy

Seminari gratuiti:

Il Mainframe e il Cloud Computing: ritorno al futuro

17/06/2010

9.30 - 13.00

Che cosa rappresenta il **cloud computing**? Non abbiamo già avuto il “cloud” nel **mainframe** 30 anni fa? Spesso il cloud computing viene presentato con incredibili potenzialità, che in realtà il mainframe ha avuto per decenni. La **virtualizzazione** e la **condivisione** delle risorse, per esempio, sono ben lungi dall’essere concetti nuovi negli ambienti mainframe (il VM, sistema operativo per macchine virtuali, è stato introdotto decenni fa...).

Per questo motivo il mainframe risulta essere oggi la **piattaforma ideale** per il cloud computing in termini di **scalabilità, resilienza, sicurezza e affidabilità**. Ma come si inserisce il mainframe nel mondo Cloud? E quali strumenti sono a disposizione per gestire ancora meglio quanto attualmente già presente?