

# Il nucleare nel Mondo. E in Italia?

***Alessandro Clerici***

Presidente FAST

Presidente onorario WEC Italia

# Indice

- 1) Premessa
- 2) La nascita e lo sviluppo negli anni del nucleare
- 3) La situazione al 31/12/2008
- 4) Le centrali esistenti, l'estensione della loro vita e l'aumento della loro potenza
- 5) Le nuove centrali nucleari, loro costi e prospettive future
- 6) L'uranio, la sua disponibilità e i suoi costi
- 7) Opinione pubblica - Scorie
- 8) Considerazioni finali e "l'Italia e il nucleare"

# 1) Premessa

- **In 10 anni: popolazione +12%; energia primaria +20%; elettricità +30%**
- Popolazione mondiale: + 200.000 persone/giorno (300.000 nati/giorno)
- 1,6 miliardi di persone senza elettricità
- **L'energia elettrica consumata nel 2030 sarà il doppio di quella del 2007**
- **Nel mondo 40% di CO2 è da produzione elettricità: 10 miliardi di ton/anno. L'Europa contribuisce per il 14%.**
- **In Cina (2006 + 2007) entrate in servizio 205 GW (n.b. il picco di carico Italiano è 55 GW) di nuove centrali delle quali l'80% a carbone;** solo la loro produzione di CO2 annuale è pari a quella da tutte le centrali dell'Europa dei 27.

Il target CE di riduzione in Europa del 20% di CO2 al 2020, sarà pari a qualche % dell'incremento nel resto del mondo delle emissioni annue da oggi al 2020.

***PROBLEMA ENERGIA / AMBIENTE E' GLOBALE***

## Produzione energia elettrica nel 2007

Elaborazione dati da Terna - WEC

	Mondo (~19000 TWh)	Europa 27 (~3200 TWh)	Italia (*) (~315 TWh)
Carbone	~ 40%	~ 32%	~ 19%
Gas	~ 17%	~ 21%	~ 55%
Idro	~ 17%	~ 9%	~ 11% (°)
Nucleare	~ 14%	~ 30%	-
Prodotti petroliferi	~ 7%	~ 4%	~ 7%
Eolico	~ 1%	~ 4%	~ 1.3%
Fotovoltaico	~ 0.05%	~ 0.1%	~ 0.01%
Altri	~ 4%	-	~ 6.5%(°°)

Prezzo medio ad ottobre 2008 in Borsa Elettrica ~ 110 €/MWh, inclusi costi di CO2 e certificati verdi.  
Costo produzione da ciclo combinato a gas con petrolio a 100\$/barile é ~ 0,1€/kWh, inclusi costi di CO<sub>2</sub> e certificati verdi. A fine Aprile 2009 si è a ~ 50/60 €/MWh per il prezzo medio in Borsa.

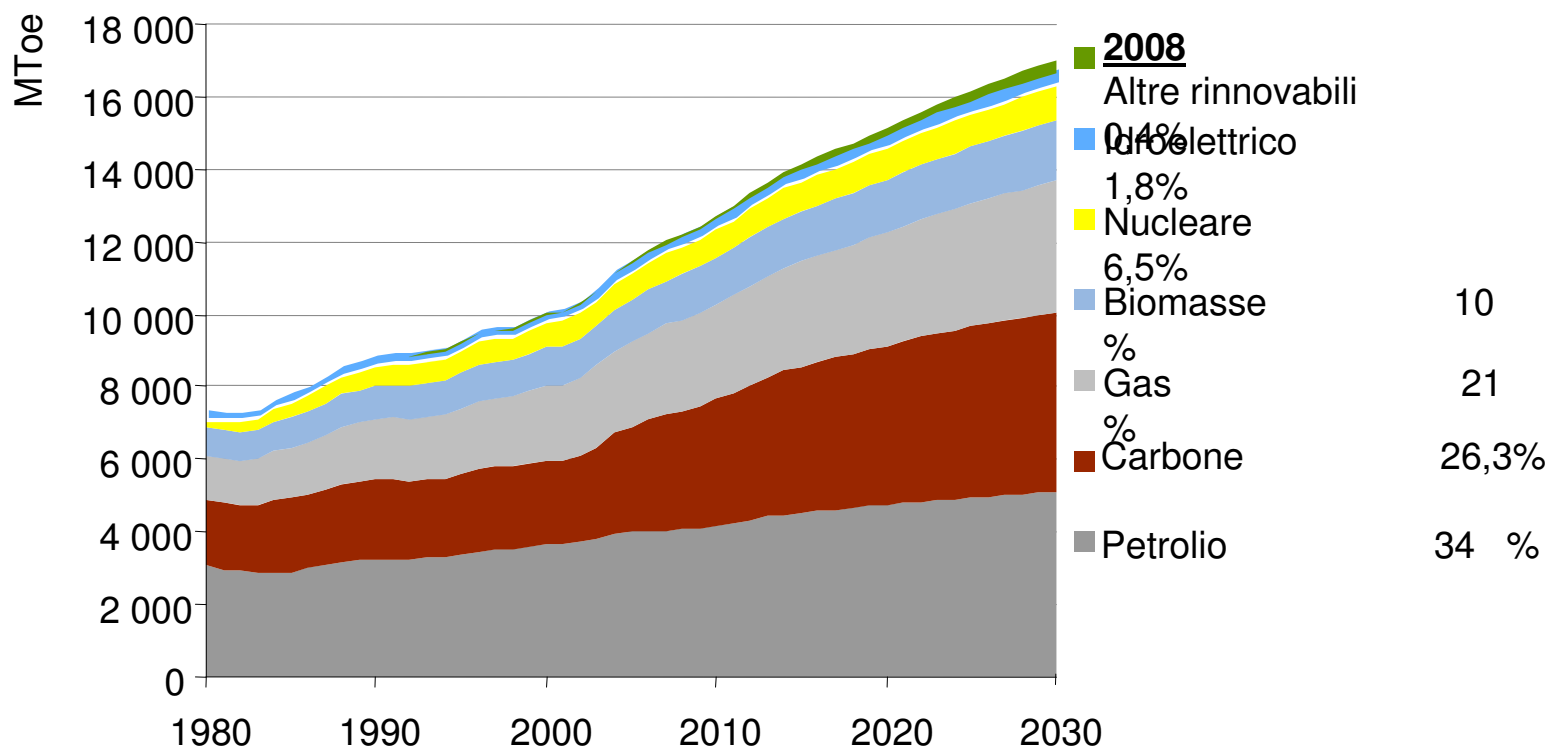
(\*) NB - l'Italia importa circa il 15% di energia elettrica da aggiungere alla produzione locale

(°) In calo del 30% rispetto al 2004 e risalita nel 2008 al 13%

(°°) Biomasse 2,2% (delle quali 60% RSU) e Geotermia 1,7%

# La richiesta mondiale di energia primaria nello scenario di riferimento (BAU)

2008: ~12.000 MTEP



IEA 2009 World Energy Outlook

**La domanda a livello mondiale aumenterà del 45% tra oggi ed il 2030 – un tasso medio di aumento dell' 1.6%/anno – dove il carbone incide ben oltre un terzo dell'incremento totale**

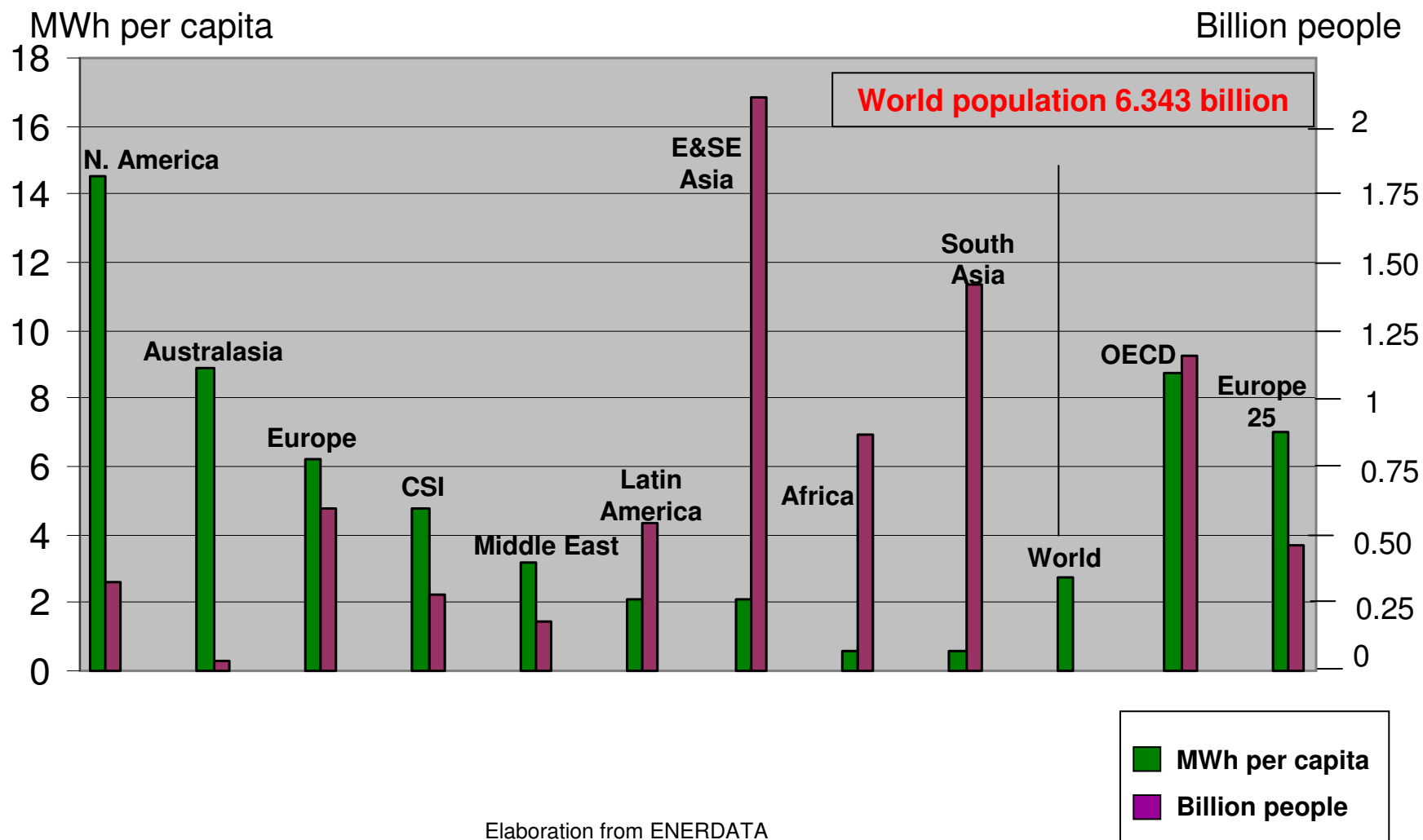
## I 5 maggiori produttori nel mondo di CO<sub>2</sub> derivante da fonte energetica nello scenario di riferimento (BAU)

	2007		2020	
	<i>Gt</i>	<i>rank</i>	<i>Gt</i>	<i>rank</i>
Cina	6.1	1	10.0	1
USA	5.8	2	5.8	2
EU27	4.0	3	3.9	3
Russia	1.6	4	1.9	5
India	1.3	5	2.2	4

IEA 2009 World Energy Outlook

**Le principali 5 emittenti contribuiscono per il 70% delle emissioni a livello mondiale**

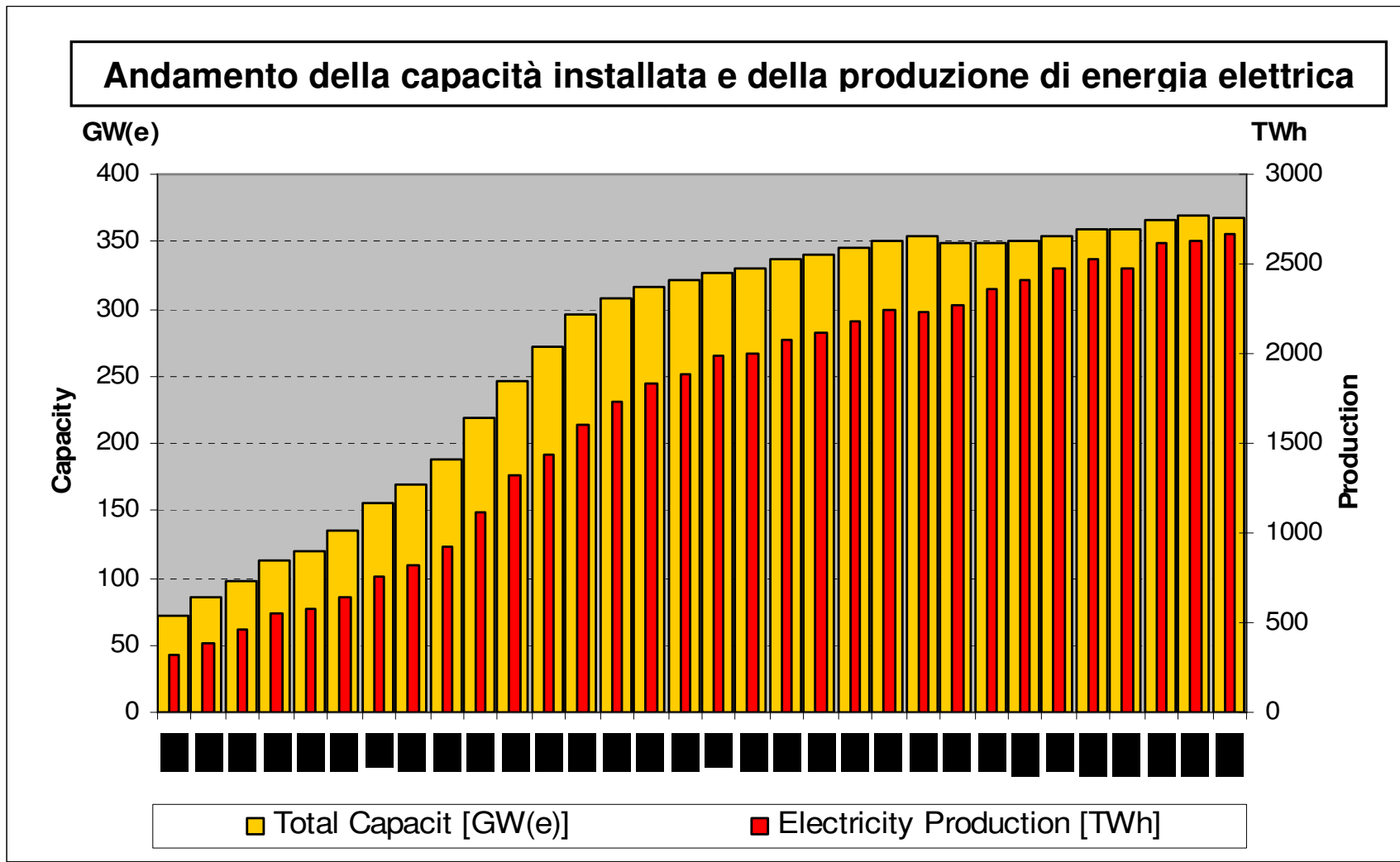
# Enormi differenze nell'energia elettrica pro-capite





## **2) La nascita e lo sviluppo negli anni**

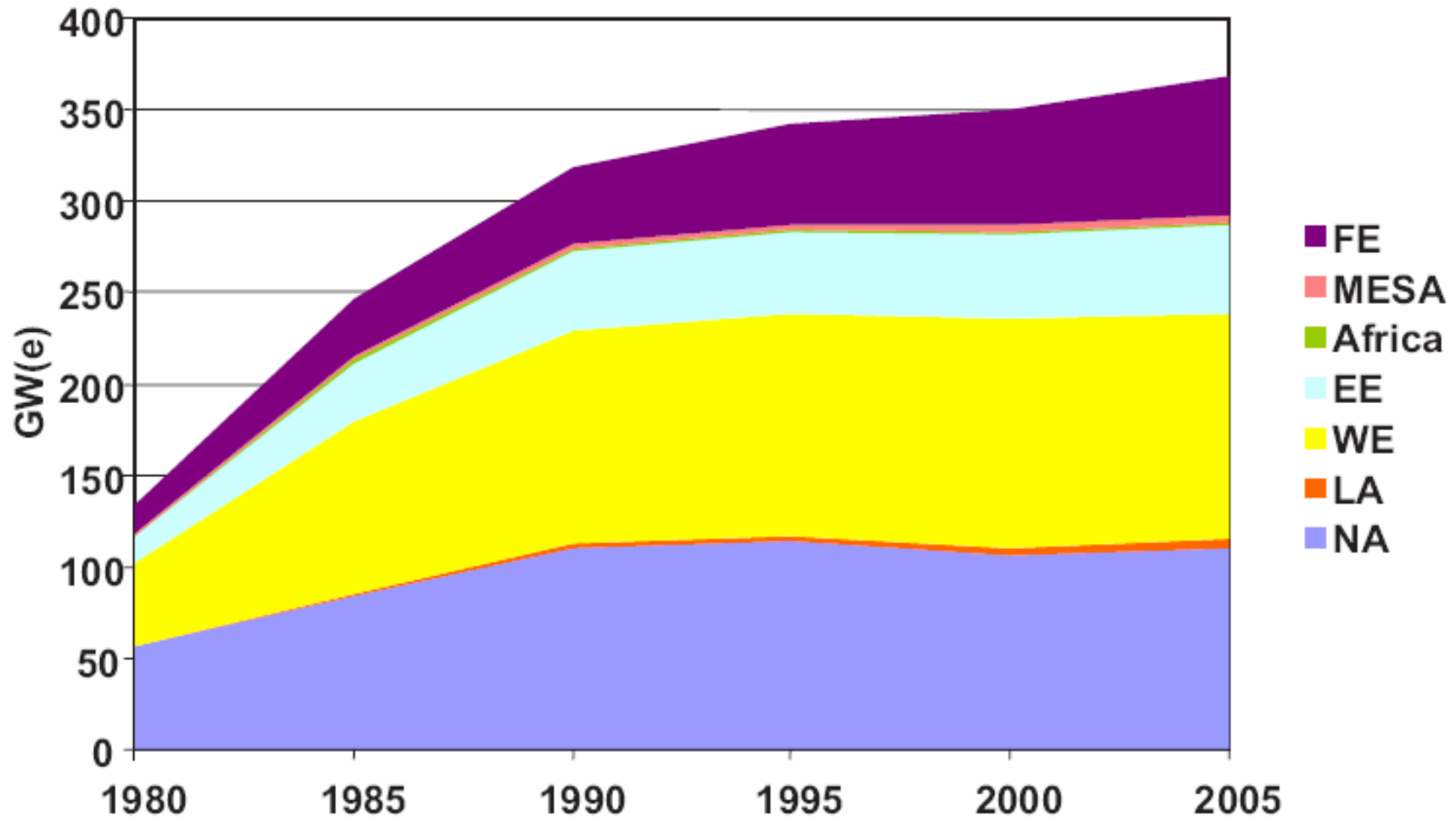
- La prima centrale nucleare mondiale (Obninsk) da 5 MW è entrata in servizio in Russia nel 1954, seguita nel 1956 dal reattore da 60 MW di Calder Hall in Inghilterra e nel 1957 dai 60 MW a Shippingport negli Stati Uniti.
- 3 grandi periodi di sviluppo:
  - *dal 1954 al 1975*: si è passati da 0 GW a 75 GW (media di circa 3.500 MW all'anno di nuova potenza entrata in servizio);
  - *dal 1976 al 1988*, periodo di grande espansione del nucleare, si è passati da 75 GW a 300 GW (circa 17.000 MW all'anno di nuova disponibilità di potenza nucleare);
  - *dal 1989 al 2007*: si è passati da 300 GW a 372 GW (+24% con circa 4.000 MW all'anno di nuova potenza disponibile sia con nuovi impianti sia con “up-grading” di impianti esistenti).



•Da Mandula IAEA – Maggio 2007

- E' interessante notare come l'energia prodotta dalle centrali nucleari negli stessi periodi si sia sviluppata come segue:
  - 1950-1975: da 0 a 400 TWh;
  - 1976-1988: da 400 a 1.800 TWh;
  - 1989-2007: da 1800 a 2.610 TWh (+45% rispetto +24% di potenza).
  
- Nel terzo periodo, pur in presenza di una sostanziale saturazione della potenza disponibile, si è avuto un continuo notevole incremento dell'energia prodotta; questo è fondamentalmente dovuto ad una progressiva diminuzione dell'indisponibilità non programmata e programmata.
  
- Questo dimostra come le centrali nucleari appartengano ad una tecnologia matura e affidabile, pur sempre perfezionabili.

# Andamento della potenza nucleare disponibile nelle varie Regioni



Fonte: IAEA report: – “Energy Electricity and Nuclear Power: Developments and Projections” – May 2007

### **3) La situazione al 31/12/2008**

Reattori nucleari in servizio o in costruzione nel mondo al 31/12/2008						
Nazione	Impianti in esercizio		Impianti in costruzione		Energia elettrica da nucleare nel 2008	
	N. unità	Totale MW(e)	N. unità	Totale MW(e)	TWh	% totale
USA	104	100.582	1	1.165	806,68	19.66
Francia	59	63.260	1	1.600	419,80	76.18
Giappone	55	47.587	2	2.191	241,25	24.93
Russia	31	21.743	8	5.809	152,06	16.86
Germania	17	20.430	0	0	140,89	28.29
Corea del Sud	20	17.451	5	5.180	144,25	35.62
Ucraina	15	13.107	2	1.900	84,47	47.40
Canada	18	12.610	0	0	40,18	14.80
Gran Bretagna	19	10.222	0	0	48,21	13.45
Svezia	10	9.034	0	0	61,34	42.04
Cina	11	8.438	11	10.120	65,33	2.15
Spagna	8	7.450	0	0	56,45	18.27
Belgio	7	5.824	0	0	43,36	53.76
Taiwan	6	4.921	2	2.600	39,00	19.3
India	17	3.782	6	2.910	13,18	2.03
Repubblica Ceca	6	3.619	0	0	25,02	32.45
Svizzera	5	3.220	0	0	26,27	39.22
Finlandia	4	2.696	1	1.600	22,05	29.73
Bulgaria	2	1.906	2	1.906	14,74	32.92
Ungheria	4	1.829	0	0	13,87	37.15
Sud Africa	2	1.800	0	0	12,75	5.25
Brasile	2	1.795	0	0	13,21	3.12
Slovacchia	4	1.626	0	0	15,45	56.42
Messico	2	1.330	0	0	9,36	4.04
Romania	2	1.305	0	0	10,33	17.54
Lituania	1	1.185	0	0	9,14	72.89
Argentina	2	935	1	692	6,85	6.18
Slovenia	1	666	0	0	5,97	41.71
Olanda	1	482	0	0	3,93	3.80
Pakistan	2	425	1	300	1,74	1.91
Armenia	1	376	0	0	2,27	39.35
Iran	0	0	1	915	0,00	0
<b>TOTALE</b>	<b>438</b>	<b>371.636</b>	<b>44</b>	<b>38.888</b>	<b>2.549,40</b>	

Fonte: IAEA

## Reattori in servizio o costruzione per continente al 31/12/2008

- 370 GW (8,2% del globale)
- 2.600 TWh (~14% del globale)

	In esercizio		In costruzione	
	N.	MW	N.	MW
Europa	196	169.604	14	12.815
Nord America	124	114.522	1	1.165
Asia	112	82.980	28	24.216
Sud America	4	2.730	1	692
Africa	2	1.800	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>438</b>	<b>371.636</b>	<b>44</b>	<b>38.888</b>

### Principali paesi con reattori in costruzione:

Cina 11 – Russia 8 – India 6 – Corea del Sud 5 – Giappone/Taiwan/Ucraina 2



- I primi 10 paesi per entità del nucleare installato producono oltre l'85% della totale energia nucleare generata annualmente (circa 2.600 TWh pari a ~ 14% della energia elettrica globale prodotta a livello mondiale da tutte le fonti primarie).
- Gli Stati Uniti sono la nazione con il massimo numero di reattori (104) e la massima potenza installata (100,6 GW) seguiti dalla Francia (59 reattori per totali 63 GW) la quale ha il 78% di energia elettrica dal nucleare.
- I due paesi, Stati Uniti e Francia, producono oltre il 47% dell'energia nucleare mondiale

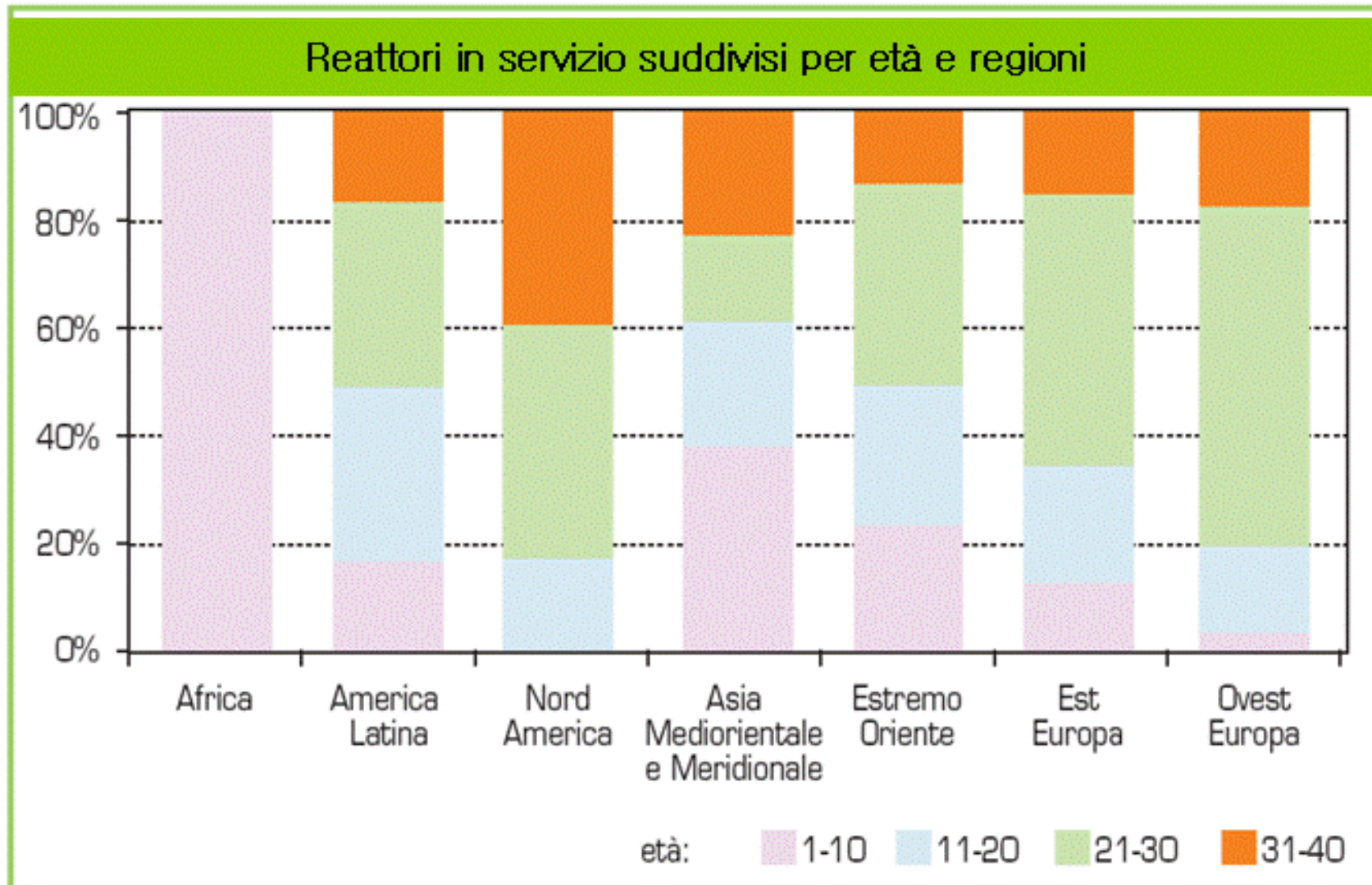
- Nel 2008 la produzione totale è scesa del 2,5% rispetto al 2007 (~ 60 TWh)
  
- Principali riduzioni in:
  - Canada ~ 48 TWh (long-term shut down di 4 reattori)
  - Giappone ~ 26 TWh (effetto terremoto)
  - Gran Bretagna ~ 9 TWh

compensati da produzione praticamente uguale od in aumento negli altri paesi (Germania + 7,5 TWh)

- Per quanto riguarda la *tipologia dei reattori in funzionamento nel mondo*:
  - ~ 245 GW (~66%) sono **PWR** (*Pressurised Water Reactors di derivazione Westinghouse*);
  - ~ 85 GW (~22%) sono **BWR o ABWR** (*Boiling Water o Advanced Boiling Water Reactors di derivazione GE*);
  - ~ 21 GW (~6%) sono **PHWR** (reattore canadese Candu ad acqua pesante).
- In Europa i reattori PWR sono in grande maggioranza e hanno una quota del 77% contro il 10% di reattori BWR ed il 7% di reattori LWGR (*Light Water Cooled Graphite Moderated Reactors*) presenti in Russia e Lituania; reattori raffreddati a gas (AGR e GCR) hanno una quota del 6%, concentrata in Inghilterra.

## **4) Le centrali esistenti, l'estensione della loro vita e l'aumento della loro potenza.**

- Le centrali nucleari esistenti sono state per la massima parte autorizzate originariamente per un funzionamento fino a 40 anni. Sulla base delle periodiche verifiche di sicurezza è stato appurato che per la maggior parte di esse si potrebbe estendere la vita utile fino a 50/60 anni.
- A livello mondiale, il 75% dei reattori ha più di 20 anni di vita; la situazione è tuttavia molto differente nelle varie aree geografiche e le 2 più critiche per “vecchiaia” delle centrali sono Europa Occidentale e Nord America.



Fonte: Mandula IAEA

- **In Europa e in Nord America**, risultando ammortate la quasi totalità delle centrali, il costo di produzione si riduce ai costi di:
  - O&M (*Operation and Maintenance*) + Assicurazioni 4-7 €/MWh
  - Combustibile 3,7-9 €/MWh (con uranio da 75 a 300 \$/kg)
  - “*decommissioning*” e *management* delle scorie (2-4 €/MWh)

**Il costo è inferiore ai 20 €/MWh** e quindi altamente competitivo.

- **Un'estensione della vita** delle centrali nucleari, previsti adeguati controlli, sarebbe **un fattore di stabilità per i prezzi dell'energia elettrica**, per la **sicurezza degli approvvigionamenti** e porterebbe sostanziali contributi (difficilmente sostituibili) alla **riduzione delle emissioni**.

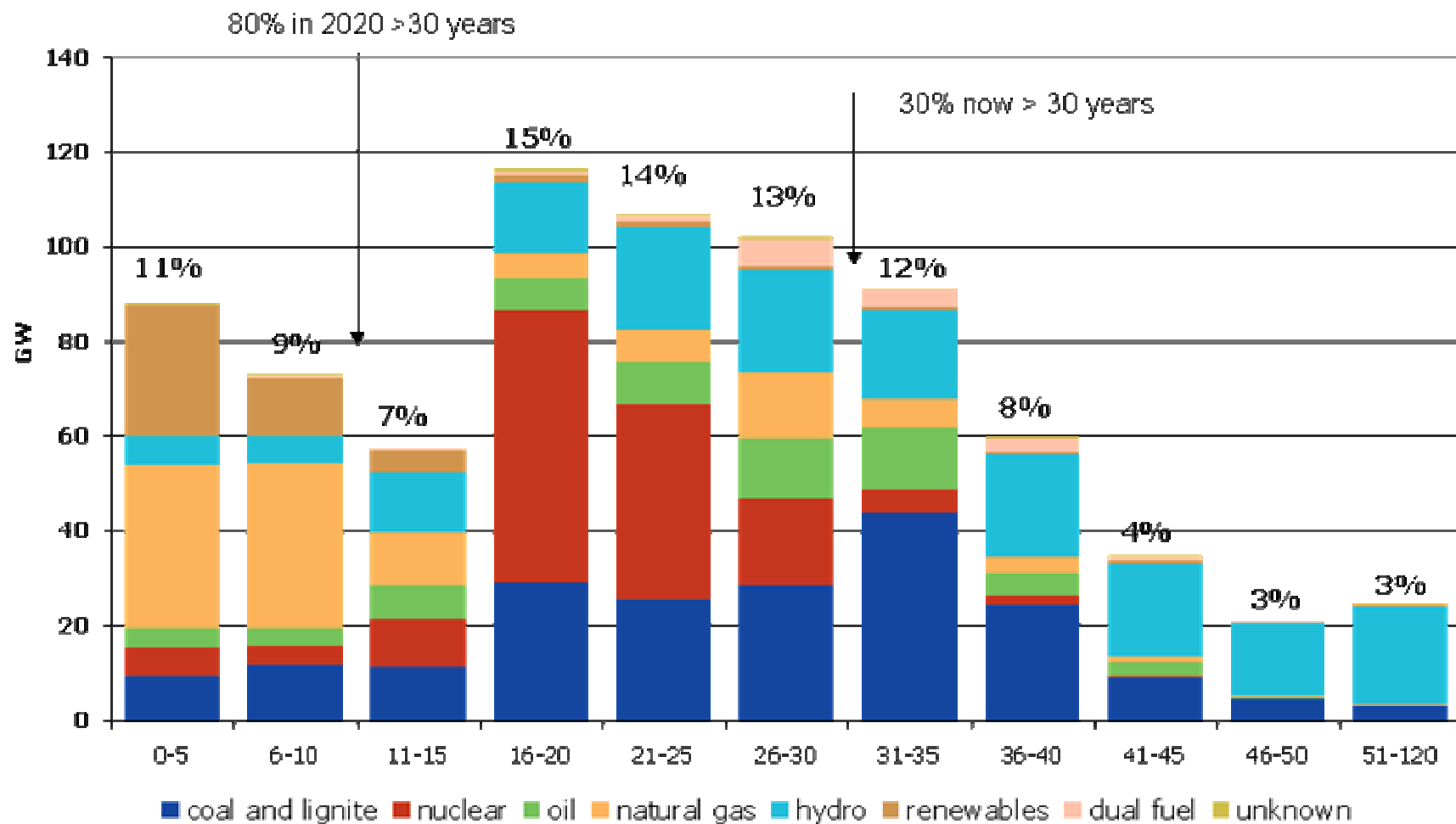
- Negli Stati Uniti già 51 reattori hanno avuto l'estensione a 60 anni; oltre l'80% dei reattori saranno operanti per altri 20 anni rispetto alle iniziali licenze.
- Per l'Europa sono state definite o in definizione estensione della vita delle centrali in Francia, Olanda, Finlandia, Bulgaria, Repubblica Ceca, Romania, Slovenia, Svezia e Svizzera.

In Belgio e Spagna la situazione non è definita.

**L'eventuale uscita della Germania dal nucleare sarebbe un dramma per tutta l'Europa (emissioni CO2, costo del kWh e del gas).**



## Il fattore età delle centrali Europee: un grave problema con il rimpiazzo di varie centinaia di GW



- L'Europa da qui al 2030 dovrà rimpiazzare oltre 500.000 MW di centrali che diventeranno man mano obsolete e ciò risulterà un serio problema per la competitività e la sostenibilità ambientale del sistema elettrico europeo; essendo in gran parte centrali di base (nucleari ed a carbone) è impensabile possano essere nella sostanza sostituite da eolico e solare.

## **5) Nuove centrali nucleari, loro costi e prospettive future.**

- A livello mondiale i combustibili fossili contribuiscono ancora per circa i 2/3 alla produzione di energia elettrica e tale quota non è prevista diminuire (anzi è prevista in aumento) nel breve e medio termine.
- Per l'Europa, come evidenziato dal recente studio del WEC (*World Energy Council*) da me coordinato "Il futuro ruolo del nucleare in Europa", tenendo in conto la sostituzione di vecchie centrali specie a carbone e nucleari, i costi futuri previsti e la sicurezza di approvvigionamento dei combustibili fossili e considerando gli impegni ambientali, l'opzione nucleare che non emette CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e polveri non può essere trascurata.

- Occorre notare che il **possibile ricorso all'energia nucleare** e il suo tasso di penetrazione dipenderà da quattro principali fattori:
  1. **l'accettazione** da parte **del pubblico**;
  2. **la risposta ai problemi ambientali**;
  3. **la sua economicità rispetto ad altre alternative**, internalizzando nei costi di ogni alternativa sia gli impatti ambientali sia i costi indiretti sul globale sistema elettrico di generazione e trasmissione, sia i costi di mancata sicurezza di approvvigionamento;
  4. **l'impatto della non proliferazione e della sicurezza** endogena ed esogena delle centrali e del ciclo del combustibile.

- La tecnologia che sta imponendosi sul mercato delle centrali nucleari è quella dei nuovi reattori (3° generazione) di “larga taglia” (potenza elettrica per reattore superiore ai 1.000 MW elettrici).

Tale tecnologia permette di ottenere riduzioni del costo dell’investimento al kW e dei costi di O&M per kWh prodotto (effetto scala).

■ I principali reattori disponibili sul mercato sono:

- reattori “boiling water” (ABWR di GE, Hitachi ed ora anche Toshiba da ~ 1.400 MW; SWR di Areva da 1.000 MW e EBSR 1200 MW GE); Areva ha in sviluppo un aumento di potenza a 1250 MW del suo SWR
- reattori “pressurised water” (EPR di Areva da ~ 1.650 MW, AP 1.000 da ~1.150 MW di Westinghouse e V V ER da 1.000 o da 1.200 MW di AEP Russia ed accordo Rosatom Siemens)
- il reattore Candu da circa 700 MW è in fase di up-grading a 1000 MW.

- Dall’inizio 2008 Mitsubishi ha proposto negli Stati Uniti il reattore US – APWR da 1700 MW (evoluzione della tecnologia Westinghouse) ed i Sud Coreani stanno proponendo il reattore AP 1400.

- Tali reattori hanno **una vita progettata per 60 anni**, una disponibilità superiore al 90%, rifornimento del combustibile e management del “core” ogni 15-24 mesi; a tali caratteristiche si aggiunge una **bassissima probabilità di danni al “core”** che in ogni caso darebbero minime conseguenze esterne.
- **Se definite tutte le autorizzazioni e procedure, i tempi di costruzione** (dal getto iniziale di calcestruzzo alla connessione alla rete) **sono di circa 5 anni.**



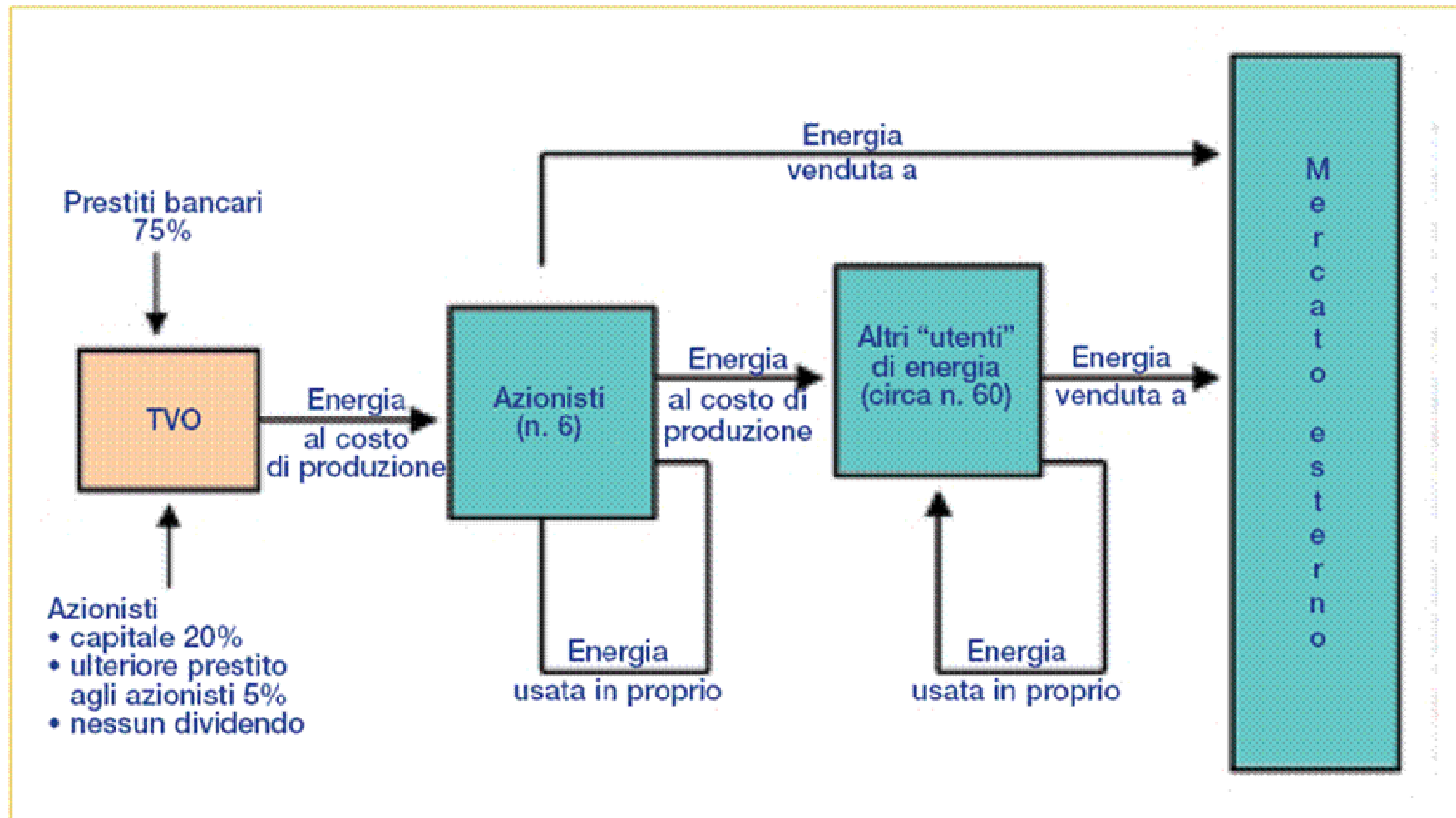
- Per quanto riguarda **il costo di nuove centrali nucleari** (il cosiddetto **“overnight cost” = OVN**, corrispondente alla somma dei valori dei possibili vari contratti per la realizzazione della centrale) **dipende:**
  - dai **costi locali**;
  - dal **numero di unità per ogni sito**;
  - dal **numero totale di centrali ordinate**.

- A causa dell'**escalation dei prezzi** delle materie prime (acciaio, cemento, rame, ecc.) e della forte domanda, i prezzi attualmente offerti e noti sono **ben superiori ai 2000 €/kW** iniziali relativi sia al **progetto Francese (Flamanville)** e **Finlandese (Olkiluoto 3)**, entrambi con 1 reattore per sito. EdF ha comunicato che **Flamanville ad oggi costa 2500 €/kW**.
- **Le analisi in corso in Finlandia** da parte di **3 gruppi di investitori che stanno proponendo la 6° centrale nucleare**, ed in parte confermate da indiscrezioni sugli ultimi ordini negli Stati Uniti, portano a **valori anche oltre i 3.000 €/kW**.

- Essendo le centrali nucleari “capital intensive”, chiaramente la quota del costo del kWh prodotto relativa all’investimento risulta la preponderante.

Tale quota è influenzata fortemente dall’entità e dal costo del denaro ottenuto in prestito e dal valore dell’Internal Rate of Return (IRR) che l’investitore vuole avere; costo del denaro ed IRR sono influenzati fondamentalmente da rischi di mercato, rischi di cambio legislazione, rischi tecnologici.

## L'approccio TVO per Olkiluoto 3



- Con tale schema e con i rischi sopra citati praticamente nulli, i finlandesi sono riusciti ad ottenere dalle banche prestiti fino a 40 anni ad un tasso intorno al 5% e per una quota fino all'80% del valore totale della centrale. Ciò porta a ~23 €/MWh il costo attribuibile all'investimento anche con un costo di impianto di ~3.000 €/kW.

- **Le conclusioni del WEC per future centrali in Europa** danno un costo del kWh, esclusa la quota di capitale:
  - **O&M** (~6 - 9 €/MWh)
  - **Combustibile prima della produzione di elettricità** (4,5 - 9 €/MWh con uranio da 75 a 300 \$/kg)
  - **“Fuel cycle”** (waste management temporaneo + riprocessamento + deposito finale): 1 - 4 €/MWh;
  - **Decommissioning** (con costi differiti di almeno 60 anni, non contribuisce sostanzialmente al costo totale del kWh anche se il costo effettivo di decommissioning ha valori alti fino ed oltre 1.000 \$/kW in funzione del tipo e dimensione della centrale): costo previsto è 0,5 - 1 €/MWh.

**In totale 11,5 - 23 €/MWh**

- Il **totale costo di produzione** includendo gli oneri di capitale, O&M, combustibile e suo ciclo (incluso “cimitero finale”) e decommissioning:
  - per ordine di un solo reattore,
    - 40-45 €/MWh e nel solo caso dell’approccio Finlandese
    - 60-70 €/MWh per IRR più elevata
  - per ordini di più centrali con più unità per sito,
    - tra 50 e 60 €/MWh.

- Chiaramente **il vero costo del kWh** da una nuova centrale, data la volatilità dei prezzi internazionali, **sarà quello che si potrà stabilire al suo commissioning** (e questo non solo per il nucleare!).

Occorre notare la **difficoltà di poter ottenere contratti a prezzo fisso** con l'alta volatilità dei prezzi sia di materie prime sia di ingegneria/costruzione.



- Per un confronto con gli altri costi di produzione di energia elettrica di base (da carbone e gas) **anche con pessimistiche valutazioni** per gli investimenti **per il nucleare** (3.500 €/kW nettamente superiori alla recente comunicazione di EdF per Flamanville) e per i costi dell'uranio (~250 €/kg), **pure con ottimistici valori per il prezzo futuro del gas** (0,3 €/m<sup>3</sup>), **del carbone** (75 €/ton) e **della CO<sub>2</sub>** (25 €/ton), **il kWh da nucleare, per ordini di più unità per sito, si attesta a valori inferiori a quelli da ciclo combinato a gas e da carbone.** E questo considerando nel costo del kWh, prodotto nei 60 anni di vita dei reattori, gli oneri derivanti dallo smantellamento finale della centrale e dei contributi per il deposito finale delle scorie e **prescindendo anche dalla valorizzazione economica degli altri importanti aspetti strategici.**

Reattori pianificati ed aggiuntivi in considerazione nel mondo al 31/12/2008				
Nazione	Impianti pianificati (1)		Impianti aggiuntivi in considerazione (2)	
	N. unità	Totale MW(e)	N. unità	Totale MW(e)
Argentina	1	740	1	740
Armenia	0	0	1	1.000
Bangladesh	0	0	2	2.000
Bielorussia	2	2.000	2	2.000
Brasile	1	1.245	4	4.000
Bulgaria	2	1.900	0	0
Canada	3	3.300	6	6.600
→ Cina	26	27.560	72	58.400
Corea del Nord	1	950	0	0
Corea del Sud	3	4.050	2	2.700
Egitto	1	1.000	1	1.000
Emirati Arabi	3	4.500	11	15.500
Finlandia	0	0	1	1.000
Francia (3)	0	0	1	1.600
→ Giappone	11	14.945	1	1.100
→ Gran Bretagna	0	0	6	9.600
India	10	9.760	15	11.200
Indonesia	2	2.000	4	4.000
Iran	2	1.900	1	300
Israele	0	0	1	1.200
Italia	0	0	10	17.000
Kazakistan	2	600	2	600
Lituania	0	0	2	3.400
Messico	0	0	2	2.000
Pakistan	2	600	2	2.000
Polonia	0	0	5	10.000
Repubblica Ceca	0	0	2	3.400
Repubblica Slovacca	0	0	1	1.200
Romania	2	1.310	1	655
→ Russia	11	12.870	25	22.280
→ Slovenia	0	0	1	1.000
→ Stati Uniti	12	15.000	20	26.000
Sud Africa (4)	3	3.565	14	16.000
Svizzera	0	0	3	4.000
Tailandia	2	2.000	4	4.000
Turchia	2	2.400	1	1.200
Ucraina	2	1.900	20	27.000
Ungheria	0	0	2	2.000
Vietnam	2	2.000	8	8.000
→ <b>TOTALE</b>	<b>108</b>	<b>118.095</b>	<b>257</b>	<b>275.675</b>

Fonte: WNA

(1) Approvati con fondi già definiti o in definizione; in gran parte previsti in servizio entro 8-10 anni

(2) Chiara intenzione o proposta senza però impegni definitivi

(3) Non considerando il piano di sostituzione dei reattori esistenti

(4) Decisione del Board di Eskom del Sud Africa (fonte Clerici), in fase di revisione

- La Cina prevede in servizio 40.000 MW nel 2020 e 120.000 nel 2030. In questi giorni, obiettivi aumentati del 50%.
- Nuovi scenari a settembre 2008 da IAEA per centrali in servizio al 2030 nel mondo:
  - Low scenario 473 GW (contro 372 GW ora)
  - High scenario 748 GW
- Secondo WNA (World Nuclear Association) le proiezioni al 2030 sono tra 552 e 1203 GW, rispetto ai 372 GW attuali.

Stime IAEA della totale potenza nucleare in servizio al 2020 e 2030										
	2007			2020 (*)			2030 (*)			
	Totale Elett. GW (e)	Nucleare		Totale Elett. GW (e)	Nucleare		Totale Elett. GW (e)	Nucleare		
		GW (e)	%		GW (e)	%		GW (e)	%	
<b>Nord America</b>	1.297	113,2	8,7	1.424 1.479	121 128	8,5 8,6	1.562 1.634	131 175	8,4 10,7	
<b>Sud America</b>	292	4,1	1,4	380 487	6,9 7,9	1,8 1,6	470 726	9,6 20	2,0 2,8	
<b>Europa orientale</b>	773	122,6	15,9	880 951	92 129	10,5 13,6	983 1.121	74 150	7,5 13,4	
<b>Europa occidentale</b>	499	47,8	9,6	587 777	72 95	12,3 12,2	676 1.073	81 119	12,0 11,1	
<b>Africa</b>	112	1,8	1,6	153 209	3,1 4,5	2,0 2,1	199 331	4,5 14	2,2 4,3	
<b>Medio Oriente e Asia del sud</b>	295	4,2	1,4	411 495	13 24	3,0 4,9	529 719	16 41	3,0 5,8	
<b>Sud Est Asiatico e Pacifico</b>	170			241 299			306 446	1,2 7,4	0,4 1,7	
<b>Estremo Oriente</b>	1.003	78,5	7,8	1.471 1.611	129 152	8,8 9,4	1.931 2.209	156 220	8,1 10,0	
<b>Totale Mondiale</b>	Stime basse	<b>4.441</b>	<b>372,2</b>	<b>5.547</b>	<b>437</b>	<b>7,9</b>	<b>6.658</b>	<b>473</b>	<b>7,1</b>	
	Stime alte			<b>6.309</b>	<b>542</b>	<b>8,6</b>	<b>8.260</b>	<b>748</b>	<b>9,1</b>	

(\*) Le stime considerano il decommissioning secondo programmi delle vecchie centrali alla fine della loro vita.

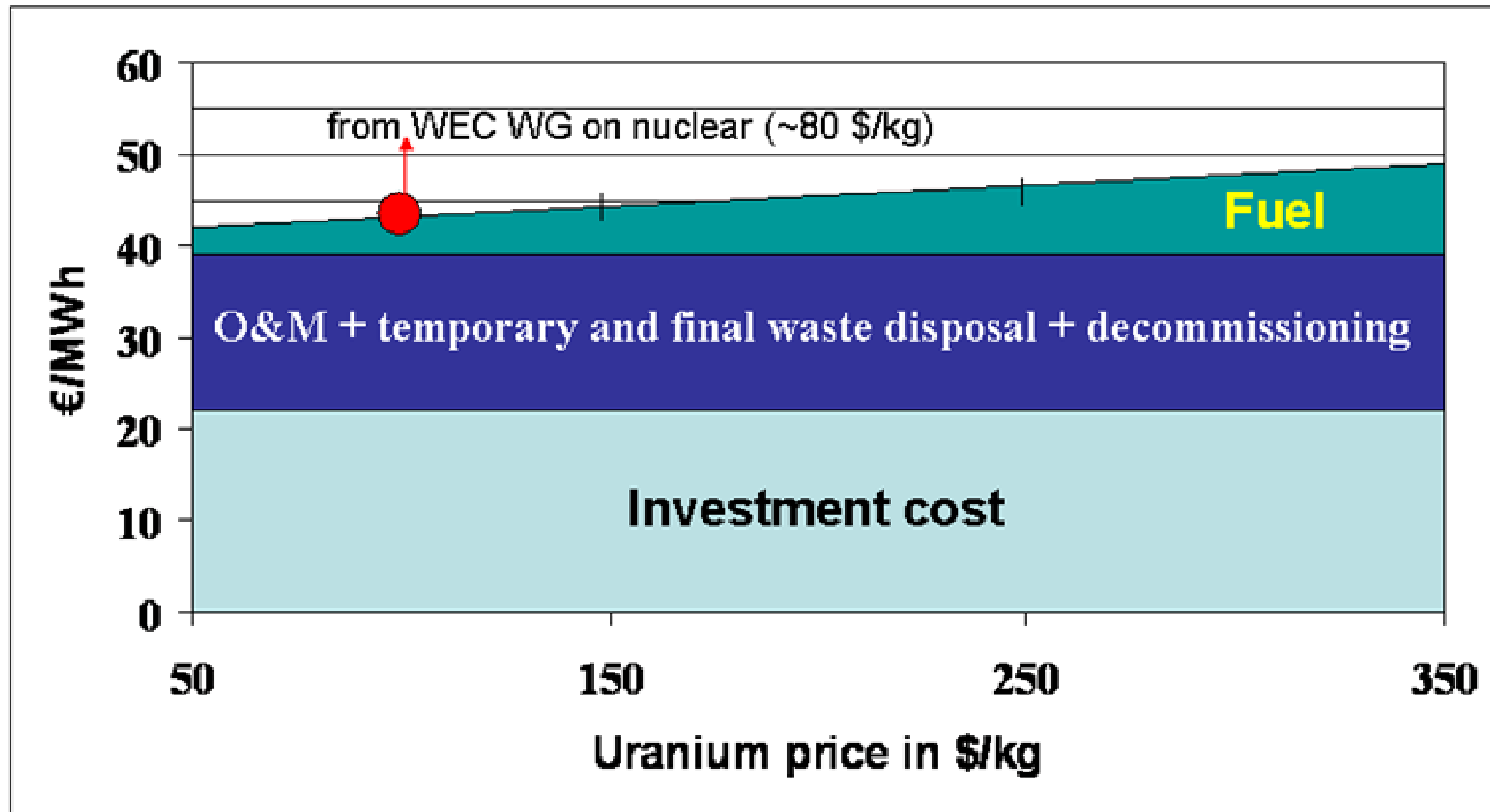
## **6) L'uranio, la sua disponibilità e i suoi costi.**

- Il consumo globale mondiale di uranio è ~70.000 t/anno; ~ il 50% proviene da vari anni dallo smantellamento di arsenali militari;
- Ciò ha causato una volatilità del prezzo dell'uranio che è passato dai 100 \$/kg nel 1979 a ~20 \$/kg nel 2001/2002 ed a ~300 \$/kg nei primi mesi del 2007 per ritornare ora a valori prossimi a 150 €/kg.
- Ma il prezzo dell'uranio incide marginalmente sui costi del kWh nucleare. Passando da 75 a 300 \$/kg, il costo del kWh passa da 45 a 50 €/MWh.

Per il ciclo combinato a gas, passando il petrolio da 40 \$/barile a 160, il costo del kWh passa da 55 a 150 €/MWh, includendo i costi di CO2 e certificati verdi (con 1€=1,45\$).

# Full cost del kWh prodotto da future centrali nucleari in funzione del prezzo dell'uranio

(8100 h/year: multiple units order with high portion of loan and low IRR or single unit order with "Finnish approach")



- Relativamente alle *riserve di uranio*, lo studio del WEC del 2004 riportava un rapporto riserve/consumi attuali pari a ~ 150 anni.
- Per le risorse identificate i primi 10 paesi contribuiscono per oltre il 90% e sono: Australia (25%), Kazakistan (18%), Canada (10%), Stati Uniti (7,6%), Sud Africa (7,6%), Namibia (6,2%), Brasile (6,1%), Niger (5%), Russia (3,8%) ed Uzbekistan (2,5%).



## **7) Opinione pubblica - Scorie**

- La percezione del rischio da parte del pubblico è meno influenzata dal problema di gravi incidenti e più concentrata sul problema delle scorie.
- In sondaggi condotti in Svizzera, Slovacchia e Stati Uniti, la popolazione residente vicino a centrali nucleari è meno ostile di quella che vive lontano dalle centrali stesse.
- Il caso più eclatante di cambiamento di opinione rispetto al nucleare è quello della Svezia che nel 1980 (6 anni prima di Cernobyl!) aveva deciso di chiudere tutte le centrali nucleari entro il 2010. Ora oltre l'85% della popolazione non vuole chiudere le centrali ma vuole estenderne la vita e la potenza disponibile.

2 regioni in Svezia si contendono la localizzazione del “cimitero” finale delle scorie.

- Relativamente alle **scorie ad alta radioattività** (SNF=Spent Nuclear Fuel), dopo l’iniziale stoccaggio presso le centrali, esistono **3 approcci**:
  - **riprocessamento** (Francia, Inghilterra, Russia, Giappone);
  - **temporaneo stoccaggio** in siti provvisori **in attesa degli sviluppi tecnologici** e della scelta di un sito definitivo;
  - **stoccaggio in un sito definitivo** (Canada, Finlandia, Svezia e Stati Uniti).

P.S.: gli Stati Uniti stanno ora pensando al riprocessamento per ridurre i volumi dei “cimiteri finali”.

- Per il diretto stoccaggio di HLW (high level waste) da SNF occorrono  $\sim 2 \text{ m}^3$  per tonnellata con la tecnologia svedese di involucri di rame e  $\sim 0,5 \text{ m}^3$  per tonnellata con il processo francese di vetrificazione.
- Per lo stoccaggio con la tecnologia svedese (massimo dei volumi), **il totale volume delle scorie HL prodotte per 60 anni da eventuali 13.000 MW nucleare in Italia (tali da dare nel 2030 il 25% - 30% di energia elettrica dal nucleare) sarebbe inferiore a quello di un cubo di 20m di lato.**

## **8) Considerazioni finali e “l’Italia e il nucleare”**

- L'Italia per le materie prime energetiche ha attualmente una dipendenza dall'estero dell'86%, tendente a superare il 95% nel 2020; ha inoltre alti costi per la produzione di energia elettrica dovuti al mix "particolare" accennato all'inizio.
- Vale la pena di ricordare che l'Europa dei 27 produce oltre il 60% dell'energia elettrica da nucleare e carbone e gli Stati Uniti oltre il 70% .

- Considerando l'enorme problema della sostituzione delle vecchie centrali di base della EU ed il possibile incremento di carico é impossibile raggiungere gli obiettivi di lungo periodo per le emissioni della CO2 ed avere sicurezza degli approvvigionamenti con le sole rinnovabili.
- L'efficienza energetica e l'opzione nucleare non possono essere trascurate con il nucleare fondamentale per bassi costi "globali".
- Discorsi limitati alla sola Europa sono forvianti ed occorre dare priorità ad un approccio politico per portare intorno al tavolo di Kyoto Cina, India, USA e gli altri maggiori contributori alle emissioni, rispetto ad un approccio con forti penalizzazioni delle industrie e dei consumatori europei.

- Considerando i lunghi cicli di vita delle infrastrutture energetiche e gli sviluppi tecnologici, **tutte le risorse energetiche e tutte le tecnologie debbono essere considerate; nessuna deve essere demonizzata o idolatrata.** Ogni tecnologia dovrà trovare la propria nicchia in funzione dei suoi costi reali, includendo le esternalità.
- **Nucleare e rinnovabili non sono in contrapposizione:** il nucleare (come gas e carbone) fornisce l'indispensabile energia di base programmabile mentre le rinnovabili sono "aleatorie" (danno energia quando c'è vento o sole) e necessitano quindi di adeguata "riserva" dalle altre fonti.



- **“Il nucleare e l’Italia”**, riguarda **5 settori** che, sebbene interagenti, possono essere trattati separatamente e con diverse ottiche e strategie di intervento:
  - **Presenza attiva in progetti R&D internazionali per essere pronti a cogliere le possibili applicazioni industriali** (si parla di circa 25-30 anni per avere commerciali i reattori della 4° generazione).
  - **Presenza attiva in progetti esteri che coinvolgono realizzazioni con nuovi reattori disponibili** (es.: EPR francese, Romania, Bulgaria).
  - **Acquisto** (e presenza nella gestione) **di centrali nucleari estere** (vedi Enel - Slovacchia, Enel - Endesa).
  - **Presenza dell’industria italiana per sub-forniture** relative alla realizzazione di centrali nucleari (occorre una strategia industriale ed un supporto politico).
  - **Realizzazione di un piano nucleare in Italia.**

- Per quanto riguarda il **piano nucleare in Italia**, occorre un **approccio serio, bipartisan, pragmatico** ed incisivo che tratti 4 fondamentali tematiche:
  1. **Come?** (Affrontare l'opinione pubblica, legislazione, enti autorizzanti / controllanti, coordinarsi con i partners Europei, approccio "consortile" tipo Finlandia o con contratti di lungo termine tra offerta e domanda).
  2. **Quanto?** (Per un'eventuale riduzione della bolletta energetica del paese, il nucleare dovrebbe avere una sensibile quota nel mix energetico per sfruttare anche l'effetto scala per i costi di investimento ed i tempi di realizzazione delle centrali. Come target ci si potrebbe porre la media EU del 30%). Il Ministro Scajola propone un 25%.

3. **Quando?** (Non si può illudere il mercato e l'opinione pubblica che il nucleare risolva da domani tutti i problemi; è un piano che può vedere i primi frutti solo tra 10-12 anni se si affronta da subito il problema e con chiare priorità e determinazione).
4. **E' compatibile con l'attuale libero mercato un piano nucleare, senza creare vantaggi alla "domanda" di elettricità (consumatori) ed attribuendoli solo all'offerta che effettua gli investimenti ?**

Occorrerà analizzare nuovi approcci e regole del mercato e considerare anche i "consumatori cittadini" i quali hanno meno del 25% dei consumi ma il 100% dei voti!

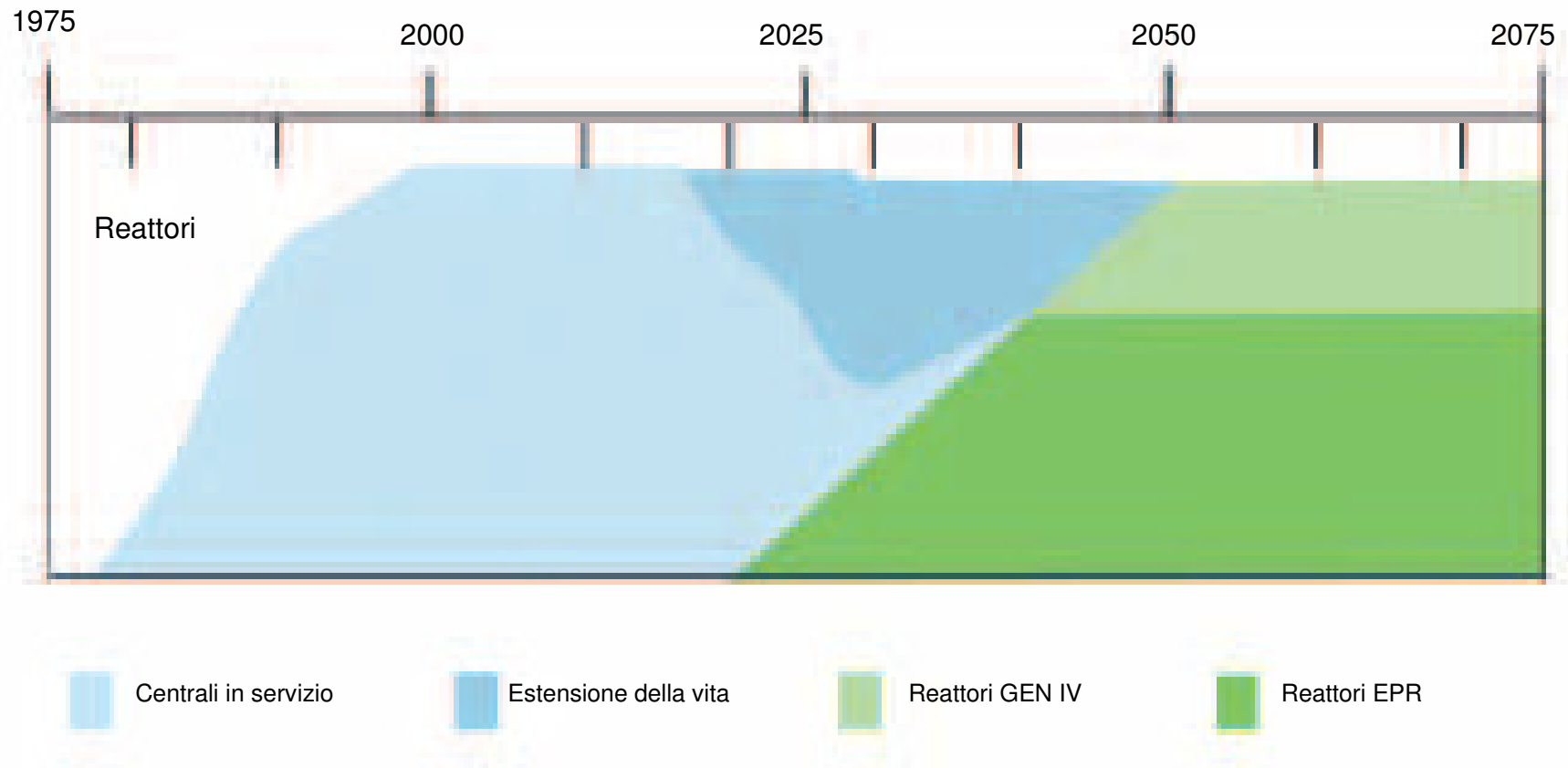
- Affinché il progetto diventi una realtà occorre **affrontare la sfida in un'ottica di sistema paese e non ideologica** (non rivincita del referendum, non contrapposizione tra nucleare e rinnovabili); **un chiaro disegno deve essere definito e perseguito con un'attiva collaborazione tra istituzioni, investitori (offerta), consumatori (domanda), mondo accademico, industrie e popolazione.**
- Per avere successo, il **“saper fare” deve prevalere sul “far sapere”** e sui particolarismi e presentare un quadro e tempi e costi realistici.

- In ogni caso bisogna **eliminare ogni compromesso: se si vogliono realizzare delle centrali nucleari oggi, esse sono e possono essere solo quelle della 3° generazione.**

Parlare di 4° generazione (vari progetti allo studio con prototipi sperimentali disponibili forse tra oltre un decennio e con realizzazioni con taglie per funzionamento commerciale verso il 2040) è solo una scusa per rimandare decisioni e realizzazioni come quelle che stanno concretizzandosi in vari paesi industrializzati (Stati Uniti, Francia, Finlandia, Russia, Giappone, ecc.) ed in via di sviluppo (Cina, Bulgaria, Romania, ecc).

**Occorre però inquadrare la 3° generazione nel percorso parallelo di ricerca e sviluppo per la 4° generazione. Esempio eclatante è la Francia.**

## ■ Nucleare in Francia



Fonte: F. Carrè - CEA

Fig.1 Scenario del rinnovo delle centrali nucleari

- **Le chiare priorità sono:**
  - **celere definizione di regole/leggi di dettaglio (gestite poi da Autorità/Agenzie)** che definiscano il cosa / come / chi autorizza e controlla, dando certezza ad investitori ed istituzioni ed alle popolazioni che debbono ospitare sul territorio le centrali;
  - **celere piano di comunicazione su energia ed ambiente** e coinvolgimento di istituzioni e popolazione (cosa, a chi, come comunicare e da “chi credibile” fare effettuare la comunicazione, quali compensazioni, ecc).
  - **adeguamento degli indispensabili rafforzamenti della rete di trasmissione.**

- Ritengo in Italia si possa e si debba portare avanti un piano nucleare in un libero mercato e senza sussidi. Gli interventi dello stato debbono essere limitati a:
  - garantire i siti e tempestive autorizzazioni;
  - coprire rischi da grandi incidenti per la quota eccedente un valore da definirsi in accordo con normative europee;
  - gestire “cimiteri finali” delle scorie, realizzati tuttavia con gli accantonamenti degli operatori, che non possono però assumersi liabilities secolari;
  - garantire rischi di cambio di legislazione;
  - gestire il controllo della sicurezza e della salute.



- E' essenziale rivedere/semplificare/integrare la normativa esistente con quanto già sperimentato in altri paesi e definire nei minimi dettagli:
  - caratteristiche ed autorizzazioni dei siti;
  - certificazione del tipo di reattore;
  - licenza alla costruzione e all'esercizio;
  - controlli di sicurezza;
  - procedure di decommissioning;
  - controlli per il ciclo del combustibile incluso il "cimitero finale" delle scorie.

- Si affianchino alle istituzioni delle task forces non numerose di esperti presi a prestito dai principali stakeholders (offerta, domanda, fornitori di tecnologie, istituzioni coinvolte nel nucleare e istituzioni locali) e che lavorino sodo con alcuni “legali” per arrivare celermente e un coacervo di regole chiare.
- E’ importante definire il “livello e tipologia dei controlli” spettanti all’Autorità/Agenzia: “controllo di ogni disegno e di ogni vite” o controllo che l’Architect Engineer segua le procedure stabilite e quelle di garanzia di qualità? Ciò ha grande influenza su costi, tempi/ritardi di realizzazione e sicurezza delle centrali e sul dimensionamento delle risorse dell’Autorità/Agenzia. Un confronto tra Olkiluoto 3 in Finlandia ed a Flamanville in Francia su tipologia del contratto e influenza del regolatore sarebbe istruttivo.

- Le centrali nucleari hanno circa l'80% di contenuto di ingegneria, opere civili e di componenti/sistemi termoelettromeccanici, i quali, previa adeguata qualifica a lavorare in garanzia di qualità, potrebbero essere prodotti in Italia con un elevamento tecnologico delle nostre imprese, rendendole anche potenziali fornitrici per il “rinascimento” nucleare in atto all'estero. Un piano nucleare in Italia deve comportare quindi un trasferimento da una spesa all'estero per i combustibili a quella per contenuto industriale italiano con relativa occupazione e sviluppo del sistema industriale.

***Grazie per l'ascolto***