

# **Il nucleare ed i suoi costi**

***Alessandro Clerici***

Presidente gruppo di lavoro Internazionale del WEC  
“Risorse Energetiche e tecnologie”

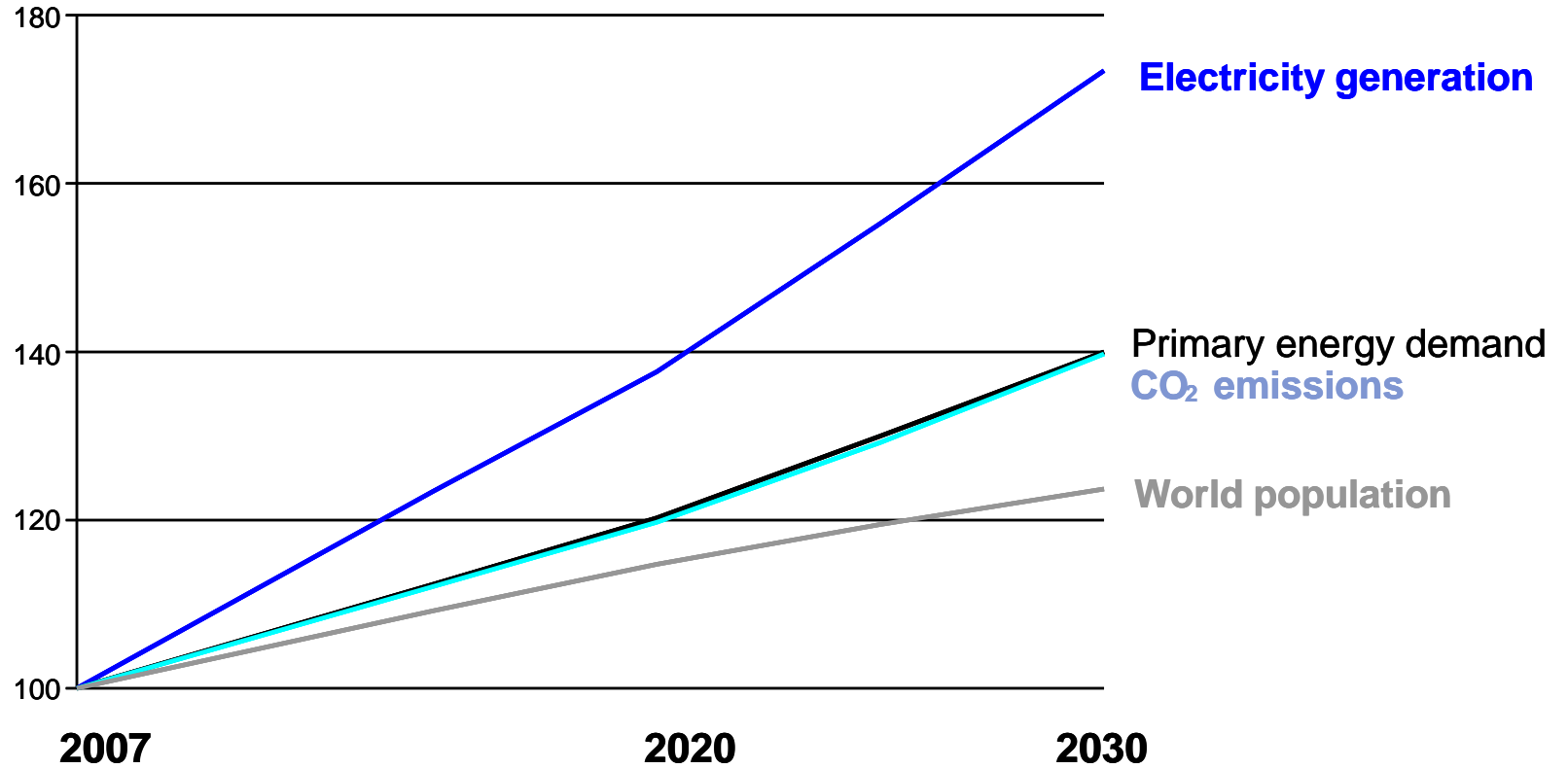
# Indice

- 1) Premessa
- 2) La nascita e lo sviluppo negli anni del nucleare e la situazione al 10/3/2011
- 3) Le centrali esistenti, l'estensione della loro vita e l'aumento della loro potenza ed il loro costo di produzione del kWh
- 4) Le nuove centrali nucleari, loro costi e programmi al 10/3/2011
- 5) L'uranio, la sua disponibilità e i suoi costi
- 6) Opinione pubblica al 10/3/2011– Scorie
- 7) I costi di produzione del kWh nucleare comparato ad altre alternative
- 8) Considerazioni finali e “l'Italia e il nucleare”

# 1) Premessa

- L'energia è sempre più importante per lo sviluppo socio-economico dell'umanità.
- Popolazione mondiale 6,7 miliardi (300.000 nati/giorno). Negli ultimi 10 anni:  
popolazione +12%; energia primaria +20%; elettricità +30%
- 1,6 miliardi di persone senza elettricità che è sempre più importante: assorbirà nel 2030 il 44% delle risorse energetiche ed è già ora la causa del 40% della produzione di CO<sub>2</sub> da attività umane (che contribuiscono però per meno del 5% alla totale CO<sub>2</sub> nell'atmosfera).

# I trends mondiali



- In Cina nel periodo 2006 – 2010 sono stati messi in servizio ~ 300 MW/giorno di nuove centrali (100 GW/anno pari alla totale potenza installata in Italia in 130 anni) delle quali l'80% a carbone; le emissioni annuali di CO<sub>2</sub> da solo queste centrali sono 2,2 Gt.
- L'Europa emette globalmente 4 Gt di CO<sub>2</sub>/anno (14% che va diminuendo). Il target Europeo del 20% di riduzione nel 2020 è meno del 2% delle totali emissioni previste nel 2020.

*PROBLEMA ENERGIA / AMBIENTE E' GLOBALE*  
*TUTTI DEVONO CONTRIBUIRE*

# Produzione Energia Elettrica nel 2008

Elaborazioni dati da Tema -WEC - Enerdata

	<b>Mondo</b> ~19000 TWh (~4700 GW)	<b>Europa 27</b> ~3200 TWh (~800 GW)	<b>Italia (*)</b> ~300 TWh (~100 GW)
<b>Carbone</b>	~40%	~30%	~16%
<b>Gas</b>	~17%	~21%	~53%
<b>Idro</b>	~17%	~9%	~15%
<b>Nucleare</b>	~14%	~30%	-
<b>Prodotti petroliferi</b>	~7%	~4%	~10%
<b>Eolico</b>	~1,3% (~2% nel 2010)	~4% (~5% nel 2010)	~2% (~3% nel 2010)
<b>Fotovoltaico</b>	~0,08% (~0.2% nel 2010)	~0,2% (~0.8% nel 2010)	~0,1% (~3% nel 2011) (°°)
<b>Altri</b>	~4%	~2%	~4,2% (°)

(\*) L'Italia ha importato circa il 13% di energia elettrica da aggiungere alla produzione locale

(°) Biomasse 2,3 % (delle quali 60% RSU) e Geotermia 1,7%

(°°) Con il "boom" del 2010. Lege ALCOA

Italia: ~ 80% da combustibili fossili

Mondo: ~ 66% da combustibili fossili

EU 27: ~ 55% da combustibili fossili

## 2) La nascita e lo sviluppo negli anni del nucleare e la situazione al 10/3/2011



- La prima centrale nucleare mondiale 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 (media di **17.000 MW all'anno** di nuova potenza nucleare con picchi di 35.000 MW/anno);
  - *dal 1989 al 2010*: si è passati da 300 GW a 374 GW (+24% con **circa 3.500 MW all'anno** di nuova potenza disponibile sia con nuovi impianti sia con “*up - grading*” di impianti esistenti).

- Nel terzo periodo, l'incremento da nuove centrali è avvenuto fondamentalmente in Asia.
- Nel terzo periodo, pur in presenza di una sostanziale saturazione della potenza disponibile, si è avuto un continuo notevole incremento dell'energia prodotta; ciò è dovuto ad una progressiva diminuzione dell'indisponibilità delle centrali (inferiore al 5% in US).
- Ciò dimostra come le centrali nucleari in esercizio appartengano ad una tecnologia affidabile dal punto di vista della produzione di elettricità.

**Reattori nucleari in servizio o in costruzione nel mondo al 10/03/2011**

Nazione	Impianti in esercizio (1)		Impianti in costruzione		Energia elettrica da nucleare nel 2009		Uranio nel 2009
	N. unità	Totale MW(e)	N. unità	Totale MW(e)	TWh	% totale	ton
USA	104	100.747	1	1.165	809,00	20.17	18.867
Francia	58	63.130	1	1.600	418,03	75.17	10.569
Giappone	54	46.821	2	2.650	240,05	28.89	8.388
Russia	32	22.693	11	9.153	152,01	17.82	3.537
Germania	17	20.490	0	0	140,09	26.12	3.398
Corea del Sud	21	18.698	5	5.560	144,03	34.79	3.444
Ucraina	15	13.107	2	1.900	84,03	48.59	1.977
Canada	18	12.569	0	0	88,06	14.83	1.670
Gran Bretagna	19	10.137	0	0	52,05	17.92	2.059
Cina	13	10.058	27	27.230	65,03	1.89	2.010
Svezia	10	9.298	0	0	61,03	37.40	1.395
Spagna	8	7.514	0	0	56,04	17.49	1.383
Belgio	7	5.926	0	0	43,04	51.65	1.002
Taiwan	6	4.982	2	2.600	39,30	20.70	831
India	20	4.391	5	3.564	13,02	2.16	961
Repubblica Ceca	6	3.678	0	0	25,00	33.77	610
Svizzera	5	3.263	0	0	26,03	39.50	531
Finlandia	4	2.716	1	1.600	22,00	32.87	446
Bulgaria	2	1.906	2	1.906	14,07	35.90	260
Ungheria	4	1.889	0	0	14,00	42.98	274
Sud Africa	2	1.800	0	0	12,07	4.84	303
Brasile	2	1.884	1	1245	14,00	2.93	308
Slovacchia	4	1.816	2	782	15,05	53.50	251
Messico	2	1.300	0	0	9,04	4.80	242
Romania	2	1.300	0	0	7,01	20.62	174
Argentina	2	935	1	692	6,08	6.95	122
Slovenia	1	666	0	0	6,00	37.80	137
Olanda	1	487	0	0	3,09	3.70	97
Pakistan	2	425	1	300	1,07	2.74	65
Armenia	1	375	0	0	2,03	44.95	51
Iran	0	0	1	915	0,00	0.00	143
<b>TOTALE</b>	<b>442</b>	<b>375.001</b>	<b>65</b>	<b>62.862</b>	<b>2.581,35</b>		<b>65.505 (*)</b>

(1) + 4 reattori in riabilitazione per 2.530 MW

(\*) ~ 25 tU/TWh = 29,5 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>/TWh

Elaborazione di A. Clerici su fonte IAEA

## Reattori in servizio o in costruzione per continente al 10/03/2011

	In esercizio (1)		In costruzione (2)	
	N.	MW	N.	MW
Europa	195	170.016	19	16.941
Nord America	124	114.616	1	1.165
Asia	117	85.750	43	42.819
Sud America	4	2.819	2	1.937
Africa	2	1.800	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>442</b>	<b>375.001</b>	<b>65</b>	<b>62.862</b>

Elaborazione A. Clerici su fonte IAEA

**(1)** Per la maggior parte dei reattori in esercizio estensione della vita di circa 20 anni.

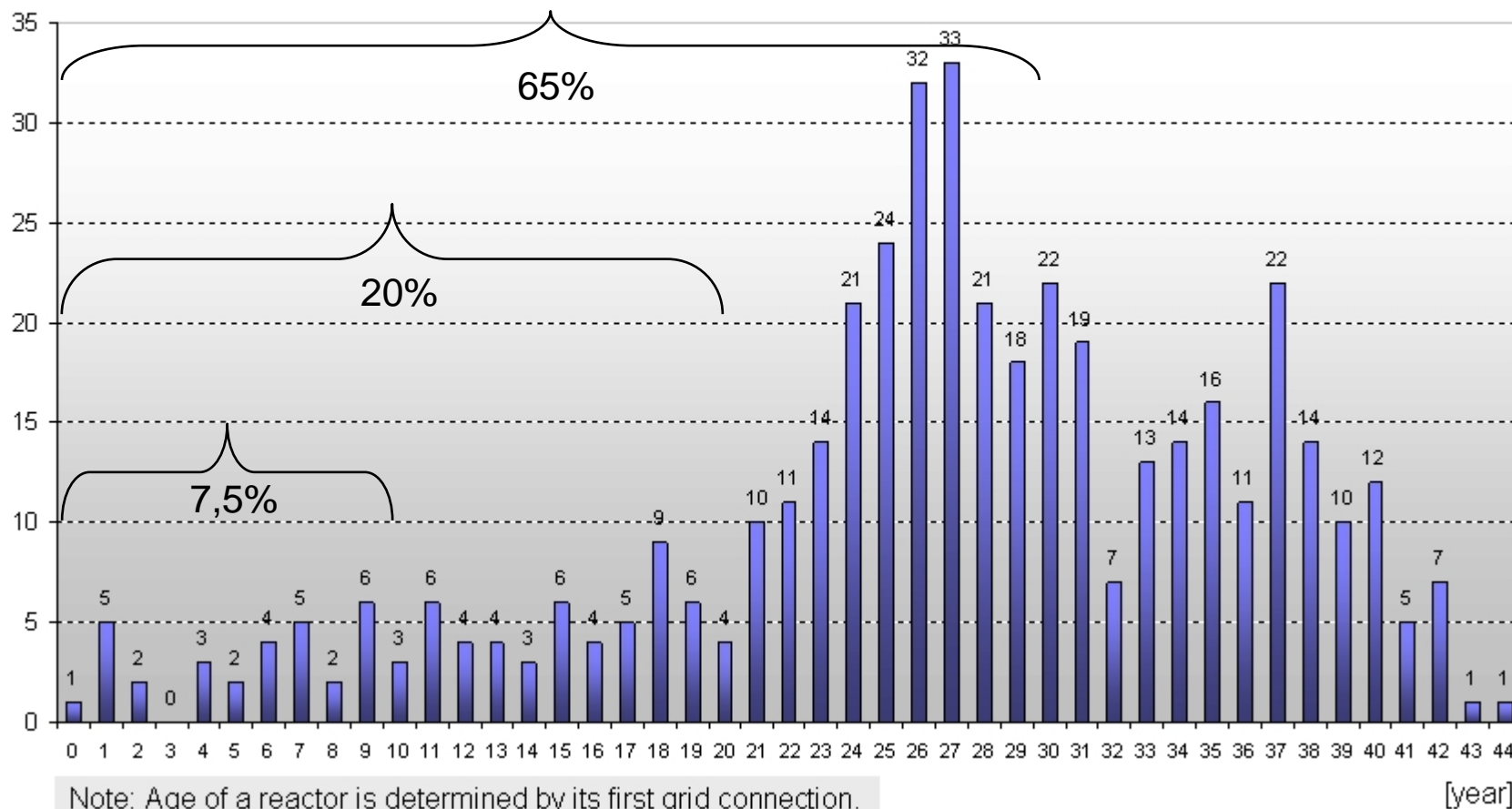
**(2)** Principali paesi con reattori in costruzione: Cina n° 27 reattori – Russia 11 – India 5 – Sud Corea 5 – n° 2 reattori per Giappone, Slovakia, Bulgaria, Taiwan, Ukraina e n° 1 reattore per Argentina, Brasile, Finlandia, Francia, Iran, Pakistan, USA.

- ❑ 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 (100,7 GW) seguiti dalla Francia (58 reattori per totali 63 GW) la quale ha il 75% di energia elettrica dal nucleare.
- ❑ I due paesi, Stati Uniti e Francia, producono oltre il 47% dell'energia nucleare mondiale.

3) Le centrali esistenti, l'estensione della loro vita e l'aumento della loro potenza ed il loro costo di produzione del kWh

## Number of Operating Reactors by Age

Fonte: IAEA – 31/1/2011



- 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, l'80% dei reattori ha più di 20 anni di vita ed il 35% più di 30; 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.



- ❑ In Europa e in Nord America, risultando ammortate la quasi totalità delle centrali in funzione, 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 (prezzo medio ora di Borsa Elettrica in Italia 60 - 70 €/MWh)

- ❑ Un'estensione della vita delle centrali nucleari, previi 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 oltre 60 reattori hanno già avuto l'estensione a 60 anni; oltre l'85% 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 a livello generale ma è già stata decisa l'estensione della vita delle prime centrali.

In Germania, era stata modificata la legge precedente e decisa l'estensione della vita dei reattori al di là del 2021 prima previsto. Ma per Fukushima ora sospesa l'estensione della vita e chiuse le 7 centrali più vecchie entrate in servizio prima del 1980.

## 4) Le nuove centrali nucleari, loro costi e programmi al 10/3/2011

□ Occorre notare che il **possibile ricorso all'energia nucleare** e il suo tasso di penetrazione dipenderà da quattro principali fattori:

1. **l'impatto della non proliferazione e della sicurezza endogena ed esogena delle centrali e del ciclo del combustibile, e l'accettabilità da parte del pubblico.**
2. **la risposta ai problemi ambientali (tasse CO<sub>2</sub>);**
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;**

- 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 canadese 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 realizzando con il reattore AP 1400, 8 impianti in Corea e 4 negli Emirati.

- 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 non producono conseguenze esterne e la capacità di resistere all’impatto di un grosso aereo.
- Se definite tutte le autorizzazioni e procedure, i tempi di costruzione (dal getto iniziale di calcestruzzo alla connessione alla rete) sono di circa 4 - 6 anni (4 per Cina).

- 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 esclusi gli oneri finanziari) **dipende:**
  - dai **costi locali**;
  - dal **numero di unità per ogni sito**;
  - dal **numero totale di centrali ordinate**.

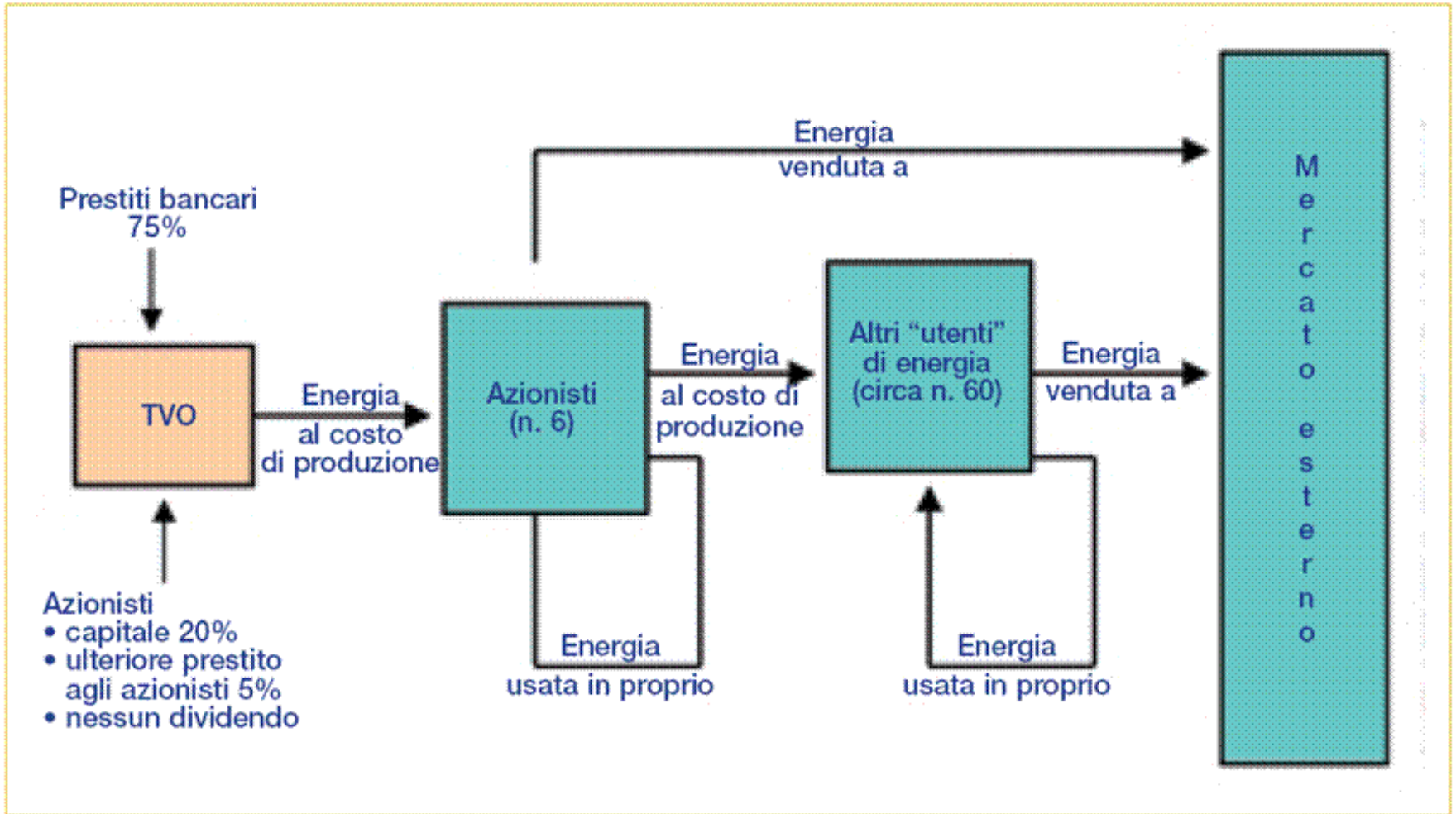


- A causa dell'**escalation dei prezzi** delle materie prime e delle esperienze iniziali i prezzi ad oggi noti sono **ben superiori ai 2000 €/kW iniziali**(senza oneri finanziari) relativi ai progetti Francese (Flamanville) e Finlandese (Olkiluoto 3), entrambi con 1 nuovo reattore EPR per sito e con altri 2 reattori già in funzione. EdF ha comunicato che i **costi di Flamanville superano i 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** (ordini in parte ritardati per la caduta della domanda di elettricità e per il crollo del prezzo del gas con l'esplosione dello "Shale gas"), portano a **valori anche oltre i 3.000 €/kW ed intorno ai 3500 €/kW** (senza oneri finanziari) per reattori in un nuovo sito.

- 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



Fonte: Amici della Terra, 15/04/2011

- 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 (+ 50% rispetto a costo previsto inizialmente per Olkiluoto 3).

□ 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 + accantonamenti per il 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 risulta:
  - per ordine di un solo reattore,
    - 40-45 €/MWh e nel solo caso dell’approccio Finlandese
    - 60-75 €/MWh per IRR più elevata
  - per ordini di più centrali con più unità per sito,
    - tra 50 e 60 €/MWh.
  
- Per un confronto con i costi di produzione da altre tecnologie si rimanda a dopo.

# Reattori pianificati e addizionali proposti nel mondo al 10/3/2011

In 41 paesi:

- Pianificati: 142 reattori per 153.000 MW
- In considerazione: 315 reattori per 315.000 MW

- La *Cina* prevedeva in servizio per il 2030 circa 180.000 MW di nucleare, l'*India* 21.000 MW nel 2020 e 63.000 nel 2030, il *Giappone* aveva confermato di mantenere anche oltre il 2030 una quota del nucleare fra il 30 e 40% con 13 nuovi reattori pianificati, la *Corea del Sud* ha in programma altri 8000 MW oltre agli attuali 8000 MW in costruzione. Negli *Stati Uniti* l'Energy Act del 2005 del Governo Bush ha portato a richieste d'interesse e/o di autorizzazione per 33 reattori per 45.000 MW ed il Governo di Obama ha fornito le prime garanzie di credito per 2 reattori che dovrebbero entrare in servizio nel 2016. A fine 2009 erano presenti 16 richieste di licenze per totali 24 reattori. Lo "shale gas" e la crisi nella domanda stanno cambiando gli scenari con ritardi per il nucleare.



- Per quanto riguarda l'Europa, la *Russia* ha in programma 40.000 MW di nuove centrali da qui al 2030, l'*Inghilterra* vedeva 4 reattori EPR per 6400 MW proposti da EdF che si aggiungono a quelli da 6000 MW della joint venture EON-RWE nota come "Horizon Nuclear Power" ed ai 3.600 MW proposti da Iberdrola con GdF. La *Lituania* in collaborazione con *Estonia, Lettonia e Polonia* sta esaminando la realizzazione di 2 reattori da 1.600 MW e la *Romania* sta definendo la realizzazione dei Gruppi 3 e 4 di Cernovada da 700 MW ciascuno. In *Bulgaria* è in fase di riesame l'assetto societario per 2 reattori da 1.000 MW e la *Repubblica Ceca* ha iniziato le procedure per 2 nuove centrali mentre la *Repubblica Slovacca* ha in programma di completare per il 2013 con ENEL 2 reattori da 400 MW ciascuno. La *Svizzera* aveva in esame 2 nuovi reattori e la *Slovenia* 1.

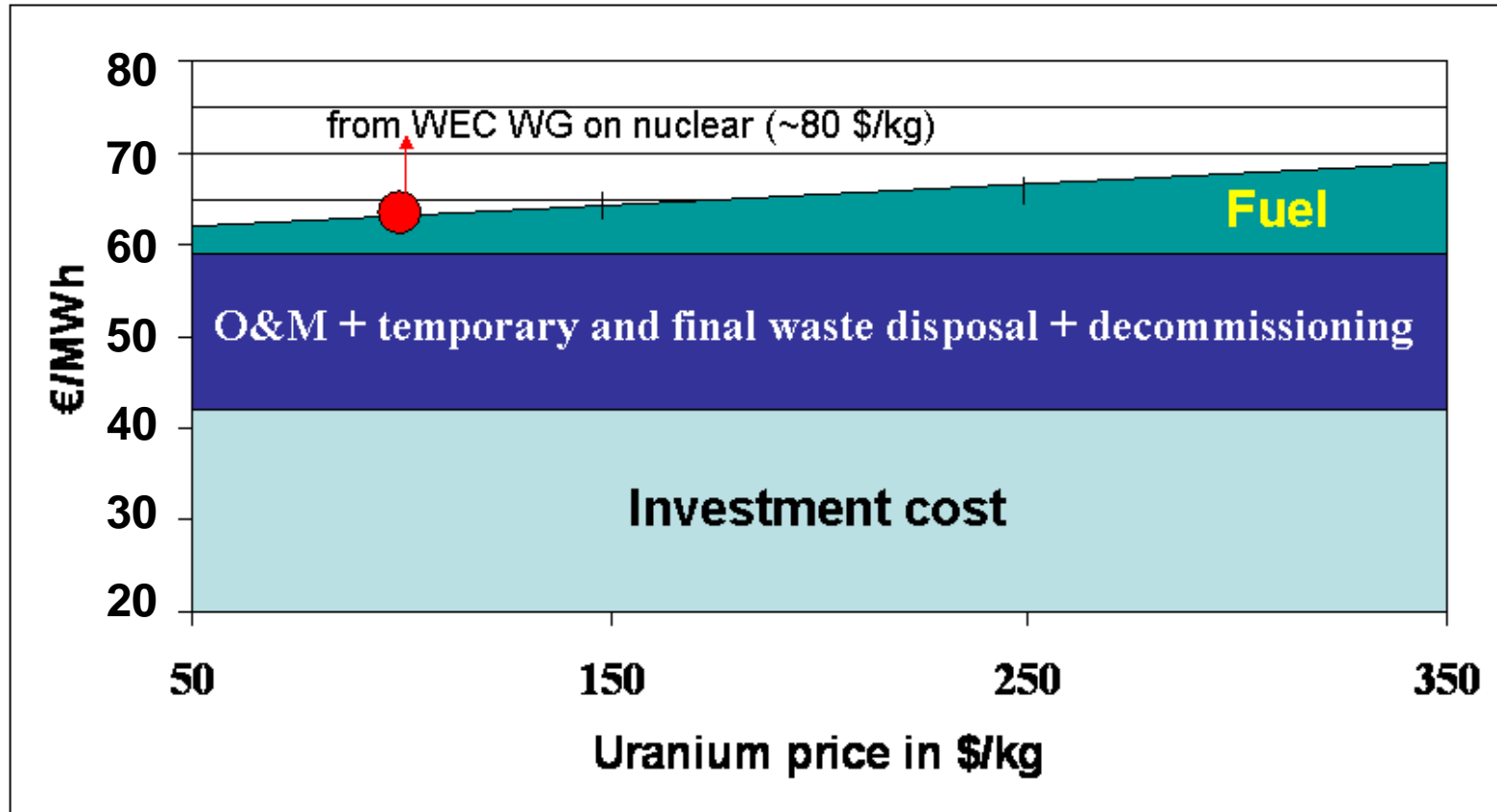
- E' interessante notare come gli *Emirati Arabi*, pur con enormi risorse di idrocarburi, abbiano recentemente ordinato ai Sud Coreani 4 reattori da 1.400 MW ciascuno. La *Turchia* ha concluso da poco un accordo con la Russia per 4 gruppi da 1.200 MW ciascuno e sta concludendo un altro accordo con i Coreani.
- Chiaramente specie in Europa occidentale **occorrerà verificare l'effetto della crisi finanziaria ed economica su tali programmi**, visto il calo dei consumi specie industriali e **l'effetto Fukushima**.

## 5) L'uranio, la sua disponibilità e i suoi costi

- Il consumo globale mondiale di uranio è ~65.000 t/anno; circa il 50% proviene da vari anni dallo smantellamento di arsenali militari;
- 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 CO<sub>2</sub> e certificati verdi (con 1 € = 1,4 \$).

# Full cost del kWh prodotto da future centrali nucleari in funzione del prezzo dell'uranio (8100 h/anno).



- ❑ Per quanto riguarda le riserve di **Uranio**, l'ultimo Red Book della IAEA prevede che con le tecnologie di oggi dei reattori (costruiti ed in costruzione) ci siano **100 anni di vita con gli attuali consumi e con le riserve accertate di Uranio estraibile a meno di 130 \$/kg**; con tutte le riserve convenzionali di Uranio si salirebbe a 300 anni e considerando riserve non convenzionali (fosfati) a 700 anni.
- ❑ Con i reattori della **quarta generazione** (fast-breeder reactors), prevedibili in servizio con taglie commerciali tra circa 30 - 40 anni, i **consumi sarebbero ridotti di oltre 50 volte**.
- ❑ **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 al 10/3/2011- Scorie

- ❑ La percezione del rischio da parte del pubblico era meno influenzata negli ultimi tempi 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 era 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 Chernobyl!) 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. A seguito Giappone, "sostituiamo le più vecchie".
- ❑ 2 regioni in Svezia si sono contese 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”. Hanno aumentato ad 80 anni la possibilità di tenere le scorie in piscina presso le centrali.

- ❑ Per il diretto stoccaggio di HLW (high level waste – scorie a lungo decadimento) da SNF (Spent Nuclear Fuel) 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.**
- ❑ **Nuove posizioni di alcuni paesi (Russia e Kazakistan) disposti a fornire combustibile e ritirare le scorie.**

## 7) I costi di produzione del kWh nucleare comparato ad altre alternative

- Considerando l'energia elettrica ed i suoi sistemi di produzione hanno cicli di vita di molti decenni (una centrale a carbone 40 anni, una nucleare 60) i confronti vanno fatti non a livello giornaliero e schizzofrenico in funzione delle variazioni del prezzo del petrolio, della CO<sub>2</sub>, ecc.
- Occorre considerare per i costi del combustibile e dalla CO<sub>2</sub> una vasta gamma di variazione ed un range per i costi di investimenti ed ore di utilizzo.

## Prezzo medio del kWh da centrali di base offribile con un WACC = 9%

	Costo (€/kW) <sup>(1)</sup>	Ore annuali di utilizzo (h)	Costo kWh (€/MWh)					
			capitale + tasse	combustibile ( )	O&M+ altri ( )	Totale senza CO2	CO2 ( )	Totale
Gas CC	600 - 800	(4500 - 6500)	10 - 19	40 - 110	4 - 6	54 - 135	9.5 - 19	63,5 - 154
Carbone	1300 - 1700	(6000 - 7500)	16,5 - 26,5	16 - 48	9 - 13	41,5 - 87,5	19 - 38	60,5 - 125,5
Nucleare	2500 <sup>(2)</sup> - 3500	(7600 - 8000)	36 - 53,5	4,5 - 9	7,5 - 14	(48) <sup>(2)</sup> 57-76,5	-	(48) <sup>(2)</sup> 57-76,5
CC (S) ( )	2200 - 2900	(6000 - 7500)	28 - 45	22 - 64	10 - 14	60 - 123	2 - 4	62 - 127

Elaborazioni da A. Clerici

(1) Campo dei costi di un sito produttivo senza oneri finanziari

(2) Solo per ordini di più centrali con più unità per sito, non applicabile in Italia dove il range potrebbe essere da 3000 a 3500 secondo i dati ad oggi aggiornati (€)

( ) Gas 0.200 € - 0.570 €/m<sup>3</sup> - Carbone 50 - 150 €/t - Uranio 100 - 300 €/kg

( ) Per il nucleare è incluso lo smantellamento della centrale e lo stoccaggio finale delle scorie

( ) CO<sub>2</sub>: 25 - 50 €/t

( ) Carbon Capture and Storage (cattura della CO<sub>2</sub> da centrali a carbone) senza considerare costi di trasporto e stoccaggio CO<sub>2</sub>; cattura di CO<sub>2</sub> al 90%

## Prezzo medio del kWh da attuali centrali eoliche e solari offribile con un WACC = 9%

	Costo (€/kW) <sup>(1)</sup>	Ore annuali di utilizzo (h)	Costi (€/MWh)		
			capitale + tasse	O&M+ altri <sup>(2)</sup>	Totale
<b>Eolico</b> <sup>(3)</sup> on shore	1600 - 2000	(1600 - 2000)	87 - 134	20 - 30	107 - 164
<b>FV</b>	3000 <sup>(4)</sup> - 4500 <sup>(5)</sup>	(1000 - 1400)	228 - 432	30 - 50	258 - 482
<b>CSP</b> <sup>(6)</sup>	5000 - 7000	(2000 - 2700)	197 - 374	15 -30	212- 404

Elaborazioni da A. Clerici

- (1)** Campo dei costi per l'investitore di un sito produttivo con collegamento alla rete e senza oneri finanziari, inclusi i costi del "developer"
- (2) Non sono inclusi i costi addizionali al sistema elettrico (potenza di riserva, costi di bilanciamento, ecc).**  
Per "produzione distribuita" a bassa tensione occorrono ragionamenti particolari per possibile "grid parity".
- (3)** Solo grossi impianti collegati su alta tensione
- (4)** Per grossi impianti superiori ad 1 MW
- (5)** Per piccoli impianti collegati in bassa tensione
- (6)** Concentrated solar power - Solare termodinamico

## 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.
- In Europa é impossibile raggiungere gli obiettivi di lungo periodo per le emissioni della CO<sub>2</sub> ed avere sicurezza degli approvvigionamenti con le sole rinnovabili, considerando anche la sostituzione delle vecchie centrali di base.



- ❑ L'efficienza energetica in primis e l'opzione nucleare non possono essere a priori trascurate nelle strategie energetiche.
- ❑ Discorsi limitati alla sola Europa per limitare le emissioni 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.

- ❑ Le rinnovabili risultano ancora non competitive e specie il fotovoltaico e i loro incentivi peseranno fortemente sulle bollette delle industrie per 15 - 20 anni e con forte effetto sull'inflazione.
- ❑ Occorrerà coniugare lo sviluppo della tecnologia con i sovra costi alle nostre imprese (e non sono tutte) nell'ambito di una politica di incentivazione chiara e di medio / lungo periodo per dare certezza anche alle industrie fornitrici ed agli investitori.

□ In Italia si dovrebbe portare avanti, con adeguato consenso, solo 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.

- ❑ Il nucleare non va visto nell'ottica del 2020 ma in un'ottica di medio lungo periodo ed un accordo bipartisan risulta fondamentale per l'accettabilità ed il consenso della popolazione e per gli enti finanziatori.
- ❑ Prima di Fukushima e anche nell'ipotesi che sia già funzionante la prevista e non ancora operante Agenzia Nucleare, supponendo i vari decreti attuativi escano nei tempi prefissati dall'ultimo decreto e non ci siano intoppi, **occorrono per un investitore almeno 36 mesi dalla richiesta di un sito per avere la certificazione del sito stesso seguita poi dall'autorizzazione alla costruzione ed all'esercizio della centrale.**
- ❑ Chiaramente **solo dopo tale autorizzazione** sarebbe stato **possibile chiudere il project financing** per gruppi che valgono 4 - 5 miliardi di Euro.

□ Considerando i lunghissimi cicli di vita nel settore energetico e quindi la necessità di scenari sul medio lungo termine quali sono gli elementi da considerare a vantaggio del nucleare?

1. Risulta un'opzione interessante per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> come entità e dal punto di vista economico (1000 MW di potenza installata nucleare producono 8 TWh/anno di elettricità senza CO<sub>2</sub> mentre con l'eolico on-shore nel migliore dei casi se ne produrrebbero in Italia 2 e con il solare fotovoltaico 1,4).

2. la **sicurezza degli approvvigionamenti** (vedi Ucraina, Nord Africa) e la **non volatilità dei prezzi** dell'energia.
3. **I costi del kWh** sono interessanti sul lungo periodo e per elevati costi di combustibili e CO<sub>2</sub>.
4. la **ricaduta su un'industria Italiana** che, opportunamente qualificata a lavorare in garanzia di qualità, potrebbe contribuire fino ad un 75% del valore di una centrale di 5 miliardi con forniture per ingegneria di dettaglio, opere civili, sistemi e componenti termo - elettromeccanici ed installazioni.

5. La **contribuzione dell'Italia** con sue centrali **alla eliminazione delle 120.000 testate nucleari** che possono essere eliminate solo utilizzandole come combustibile per centrali nucleari.

**Il nucleare va visto quindi non solo in un'ottica di costo dell'energia elettrica ma di politica industriale** che porterebbe a sostituire costi all'estero di materie prime energetiche (vedi gas) con lavoro e forniture italiane alle quali verrebbe aperto anche l'interessante mercato estero.



- A parte “l'accettabilità”, il rischio per il nucleare in Italia era ed è quello della finanziabilità, legata a stabilità politica e legislativa ed alla tempistica delle autorizzazioni; e questo significa “accettabilità” non solo a livello “statistico” e nazionale ma a livello regionale e locale.
- In ogni caso per il successo di un eventuale piano energetico in Italia e nucleare in particolare è essenziale la massima trasparenza ed informare i cittadini in maniera capillare, responsabile, *bipartisan*, focalizzandosi sui problemi dell'energia e dell'ambiente e non sul solo nucleare.

- ❑ Proprio questa fase, purtroppo, non è mai iniziata.
- ❑ Occorreva, una corretta e trasparente **informazione, veicolata da enti e figure credibili, con chiare capacità di comunicazione, portando le persone a ragionare su dati, fatti e costi (inclusi quelli ambientali).** E' questo il problema di fondo.
- ❑ Quello che sta capitando in Giappone alla centrale nucleare di **Fukushima** è chiaramente **eccezionale e grave e non si conosce ancora "la fine della storia",** ma bisogna **aspettare** di avere dati ed informazioni certe prima **di esprimere giudizi definitivi sul nucleare.**

- Per la propria indipendenza e sicurezza energetica, il Giappone, terra di terremoti, ha avuto il coraggio e forse la temerarietà di sfidare la "natura" realizzando una serie di ben 55 reattori, imponendo regole di sicurezza “notevoli” e ritenute adeguate; la natura sembra però essersi vendicata con un terremoto di straordinaria ed eccezionale potenza che ha causato un successivo impressionante ed imprevisto tsunami con l’acqua che ha invaso e distrutto villaggi e città ed anche centrali elettriche e stabilimenti e con un’onda a Fukushima di ben oltre 3 volte i 5 metri “massimi prevedibili”.

- ❑ Non esprimo giudizi o previsioni fino a che non avrò dati, fatti e numeri “super partes” dalla International Atomic Energy Agency. Fino a quel momento qualunque giudizio è una illazione che può peccare di catastrofismo come di eccessivo ottimismo sulla capacità umana di vincere un evento estremo. Chiaramente tale evento ha forti ripercussioni sull'opinione pubblica mondiale ed in Italia dove il nucleare andava e va spiegato con una adeguata e trasparente comunicazione su energia ed ambiente.

- ❑ L'energia nucleare si è rivelata sicura in pratica sino ad ora se uno trascura il fatto di Chernobyl, che era un reattore sbagliato come progetto, gestito da gente a dir poco inesperta ed incosciente che aveva tolto i controlli al reattore, il quale non aveva nemmeno un edificio con strutture tali da contenere le emissioni, e inoltre vi è stato un enorme ritardo nell'informare ed intervenire sulla popolazione vicina, cosa ben diversa da quanto pare si stia verificando in Giappone.

- ❑ Fatti come Chernobyl o quello presente in Giappone hanno un notevole impatto sull'opinione pubblica che ha indotto, induce od indurrà i politici a strumentalizzare la situazione per accaparrarsi “voti” o dimostrare che la propria industria nucleare “nazionale” è sicura rispetto ad altre. In ogni caso lo spettro del “grave incidente” che era caduto in secondo piano rispetto a quello dei “cimiteri” delle scorie dopo 25 anni da Chernobyl avrà una notevole rinascita.
- ❑ Nessun impianto, sistema di trasporto, industria umana è priva di rischi, di tragedie e morti; ma nessuno può contestare il forte impatto sulle persone di radiazioni che non vedi, non senti, non sai se ti hanno colpito e se e quando avranno effetto su di te.

- L'Italia che ha chiuso il nucleare sotto l'emotività di Chernobyl si trova ora di fronte ad un referendum contro la ripartenza di un piano nucleare in coincidenza del grave incidente in Giappone e senza avere effettuato una capillare ed adeguata informazione superpartes;
- Mi auguro si possa avere un contraddittorio sereno e civile basato su dati e fatti e sulla situazione Italiana e non su una mera contrapposizione di ideologie e si riesca ad evitare a breve di dover fare una scelta emotiva con serie conseguenze future per il nostro paese.
- Un periodo di ripensamento risulta inevitabile per un'eventuale "ripartenza" con un approccio adeguato, strutturato ed indispensabilmente bipartisan e con corretto coinvolgimento della popolazione e con un serio esame per siti e normative di sicurezza.

L'approccio dovrà essere coerente con quello della UE.

- In conclusione nessuna fonte energetica deve essere idolatrata o demonizzata a priori. Il nucleare, come le fonti fossili, che continueranno per vario tempo a fornire l'indispensabile energia elettrica di base e/o programmabile (verosimilmente emettendo meno CO<sub>2</sub> grazie alle tecnologie), potranno dare l'indispensabile riserva alle aleatorie rinnovabili, permettendo di avere in modo affidabile l'energia richiesta per uno sviluppo sempre più sostenibile.



***Grazie per l'ascolto***