



POLITECNICO DI MILANO



 **Pianeta3000**

**L'ENERGIA NUCLEARE:  
Problemi e Potenzialità**

prof. Marco E. Ricotti  
Dip.di Energia – Politecnico di Milano  
Sez. CeSNEF-Ingegneria Nucleare



**Indice**

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

1. Premessa: dove sta l'interesse?
2. Situazione mondiale
3. Caratteristiche del nucleare: tempi e costi
4. I dubbi: economicità - sicurezza - rifiuti
5. Un'opzione per l'Italia?



**2**

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità      prof. Marco E. Ricotti      POLITECNICO DI MILANO



## 1. Premessa: dove sta l'interesse?

### Intensità Energetica

Pian eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15



=

  
 640 kg

  
 360 m<sup>3</sup>

  
 400 kg

  
 350 kg

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## 1. Premessa: dove sta l'interesse?

### Intensità e Densità Energetica

Pian eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15

|                         |                 |                     |
|-------------------------|-----------------|---------------------|
| 1 kg di legna           | può produrre ⇒  | 2 kWh               |
| 1 kg di carbone         |                 | 4 kWh               |
| 1 kg di olio comb.      |                 | 6 kWh               |
| 1 m <sup>3</sup> di gas |                 | 6 kWh               |
| 1 kg di uranio          | reattori oggi   | 50,000 kWh (PWR)    |
|                         | reattori domani | 2,500,000 kWh (FBR) |

|                                                                         |           |                        |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------|
| Nuclear or gas-fired power station                                      | 3 000 MWe | 150 hectares           |
| Oil- or coal-fired station -<br>(space is needed to store fuel on site) | 3 000 MWe | 300 hectares           |
| Water power,<br>(a Grande Dam)                                          | 1 000 MWe | few Km <sup>2</sup>    |
| Solar panels on a sunny site                                            | 1 000 MWe | 20-50 Km <sup>2</sup>  |
| Wind mills on a windy site                                              | 1 000 MWe | 50-100 Km <sup>2</sup> |
| Biomass plantation                                                      | 1 000 MWe | 4 000 Km <sup>2</sup>  |

4 Source: Michael Lung, 2000, AEPN/EFN

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## 1. Premessa: dove sta l'interesse? Densità Energetica Combustibile

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

A 1 000 MWe power station consumes **each year**:

### Nuclear reactor

|                    |                 |                  |
|--------------------|-----------------|------------------|
| (PWR)              | ~20 tonnes fuel | (1 truckload)    |
| (FBR -Superphénix) | ~2 tonnes fuel  | (less than 1 m3) |

Oil-fired power station ~2,000,000 tonnes fuel  
(1 Erika tanker each week)

Coal-fired power station ~2,500,000 tonnes fuel  
(2 or 3 trainloads per day)

Gas-fired power station 1 pipeline 50 cm in diameter  
transporting gas at high pressure (~80 atmospheres)

5 Source: Michael Lung, 2000, AEPN/EFN

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

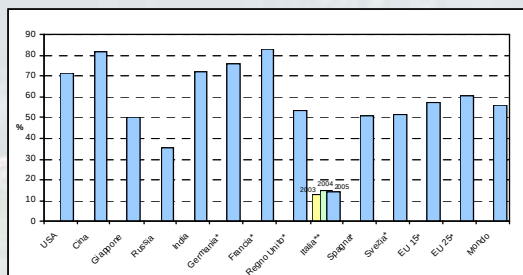
prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## 1. Premessa: dove sta l'interesse? Altri motivi di interesse

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

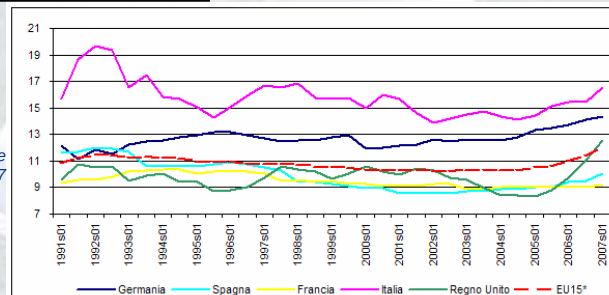


### Altri motivi di interesse:

- no emissione di gas serra
- riduzione dipendenza energetica
- mix energetico
- costi

(Carbone+Nucleare)

Utenze domestiche al netto delle imposte  
(€cent/kWh) AEEG 2007



6

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## 2. Situazione mondiale

Plan eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15

- **440** reattori nucleari in esercizio
- **371.000 MWe** di potenza installata
- **Fattore di carico >85%** (vent'anni fa: 60%)
- **34** nuovi reattori in costruzione
- **6%** energia totale mondiale
- **16%** energia elettrica mondiale
- **30%** energia elettrica paesi più sviluppati

Oggi: nucleare solo per elettricità

Domani: (reattori a gas alta temp.) nucleare per trasporti (idrogeno, etanolo)



7

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità      prof. Marco E. Ricotti      POLITECNICO DI MILANO



## 2. Situazione mondiale

### “Rinascimento” nucleare?

Plan eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15

**Mentre Giappone e Corea del Sud non si sono mai fermate, oggi in occidente:**

- 1 reattore FRA in costruzione in Finlandia (luci ed ombre)
- 1 reattore in costruzione in Francia
- 4 reattori USA in costruzione in Cina (+2 FRA) (programma: 36 reattori entro il 2020)
- India: programma simile alla Cina
- USA: 2 ordini di costruzione (4 unità) firmati, 14 domande di licenza (23 unità) sottoposte all'NRC (l'Authority nucleare USA), se ne aspettano altre 20+
- UK: piano per il ritorno alla costruzione di centrali nucleari entro 5 anni
- Centro/Est Europa: Romania, Bulgaria, Ungheria, Turchia, ...
- Russia: piano di sviluppo

**Anche i Paesi in Via di Sviluppo (ad economia crescente) si stanno interessando (Africa, Sud America, Medio Oriente,...)**

8

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità      prof. Marco E. Ricotti      POLITECNICO DI MILANO



### 3. Caratteristiche del nucleare: tempi e costi

#### L'arco temporale

Plan eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15

**FASI:**

|                               |  |                 |
|-------------------------------|--|-----------------|
| 1. Ideazione-Progettazione    |  |                 |
| • Reattore                    |  | 10 a            |
| • Nuovo combustibile          |  | 15 a            |
| 2. Licenza progetto           |  | 3 a             |
| 3. Licenza sito               |  | 2 a             |
| 4. Licenza costruzione        |  | 2 a             |
| 5. Licenza gestione operativa |  | 2 a             |
| 6. Operatività                |  | 40-60 a         |
| 7. Licenza decommissioning    |  | 2 a             |
| 8. Inizio decommissioning     |  | 10-20 a         |
| <b>TOTALE</b>                 |  | <b>80-100 a</b> |

9 a ⇒ 5 a

9

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità    prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO

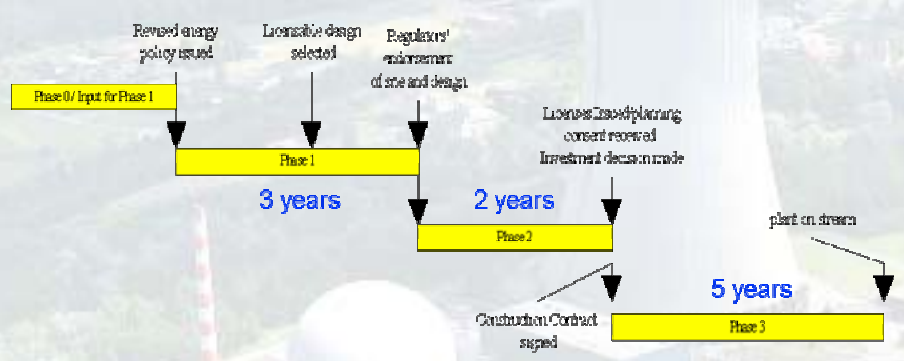


### 3. Caratteristiche del nucleare: tempi e costi

#### Ridurre i tempi: l'ipotesi UK-USA

Plan eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15

**UK - Timeline for Replacement Nuclear Build (similar to USA)**

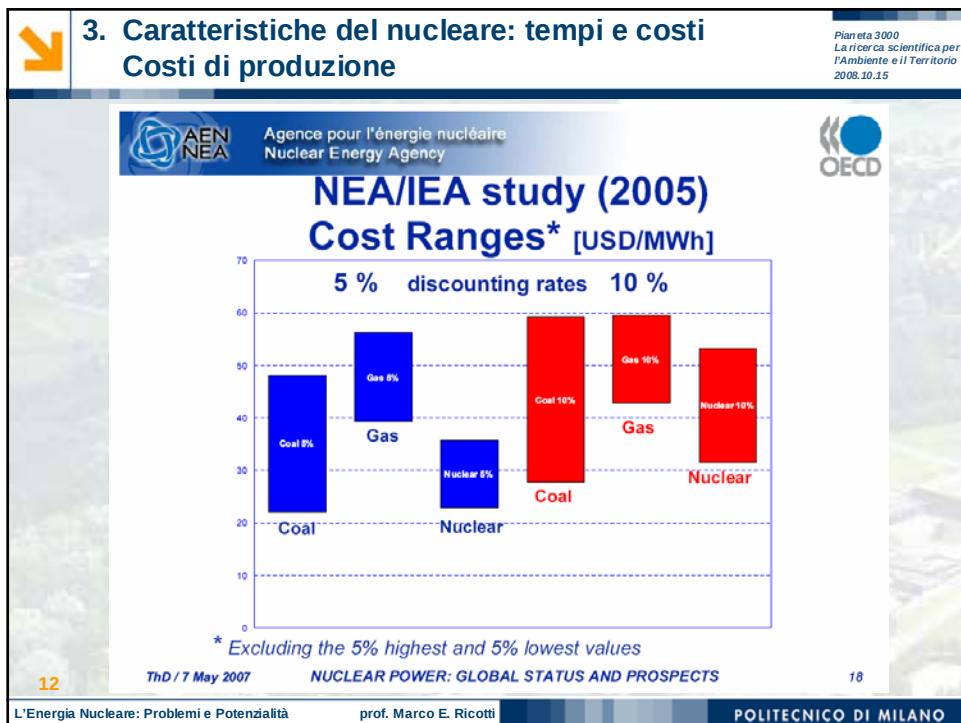
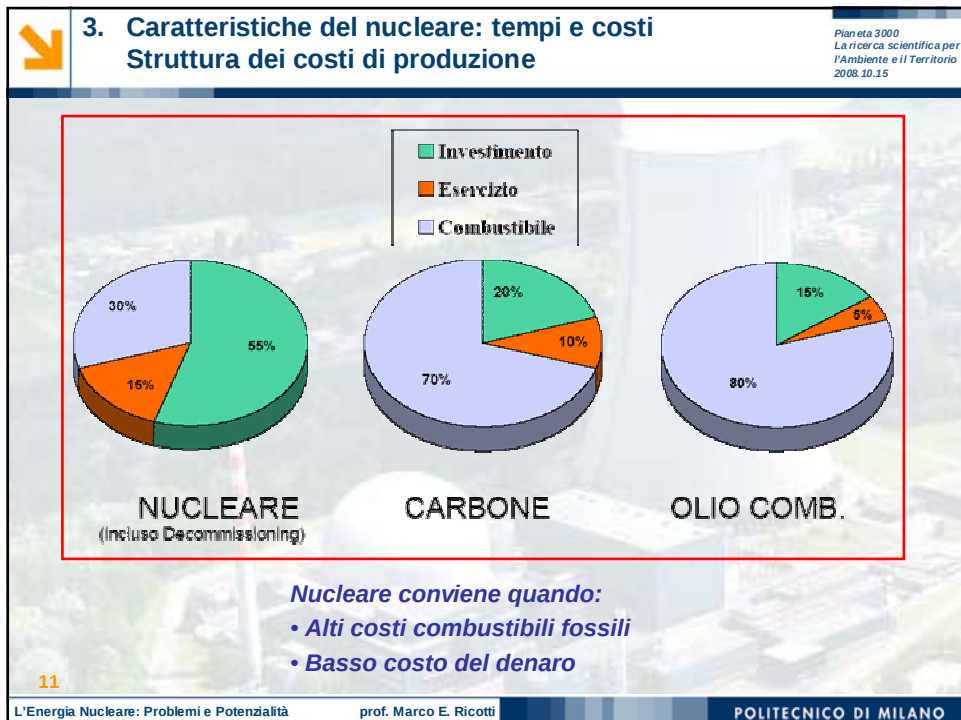


*UK time frame:*  
 3 years (10 M€) licensing site & design (reactor technology selection + utilities commitment) +  
 2 years (50 M€) local inquiry and site set up license (similar to US-COL) +  
 5 years construction

10

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità    prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO





### 3. Caratteristiche del nucleare: tempi e costi

#### Sensibilità all'aumento dei costi combustibile

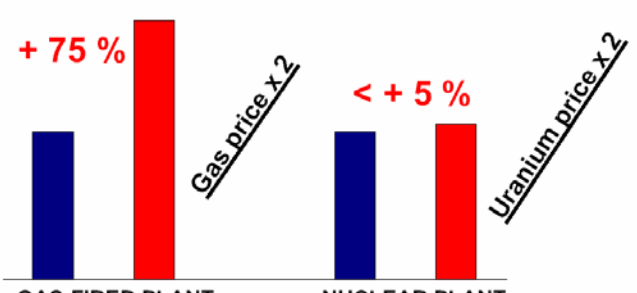
Plan eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15



Agence pour l'énergie nucléaire  
Nuclear Energy Agency



## Electricity Cost Sensitivity to Fuel Price Volatility



**GAS-FIRED PLANT**      **NUCLEAR PLANT**

13

ThD / 7 May 2007      NUCLEAR POWER: GLOBAL STATUS AND PROSPECTS

16

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



### 4. I dubbi: economicità - sicurezza - rifiuti

#### Valutazioni economiche

Plan eta 3000  
 La ricerca scientifica per  
 l'Ambiente e il Territorio  
 2008.10.15

• Il caso Finlandese (2004): comparazione tra fonti

|                | €/MWh       |         |      |       |        |
|----------------|-------------|---------|------|-------|--------|
|                | Nucleare    | Carbone | GTCC | Legno | Eolico |
| Capital Cost   | 13,8        | 7,6     | 5,3  | 13    | 40,1   |
| O&M            | 7,2         | 7,4     | 3,5  | 8,2   | 10,0   |
| Fuel           | 2,7         | 17,9    | 22,4 | 25,6  | -      |
| Emission Trade | -           | 16,2    | 7,0  | -     | -      |
| <b>totale</b>  | <b>23,7</b> | 49,1    | 38,2 | 46,8  | 50,1   |

*tasso reale sconto: 5%*  
*emission trade: 20 €/t CO2 immessa in atmosfera*

- Consorzio "no profit" produttori + industrie "energy-intensive"
- Finanziamento > 70% con tasso < 5%
- Impegno >3.5 G€, rischio finanziario

14

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità      prof. Marco E. Ricotti

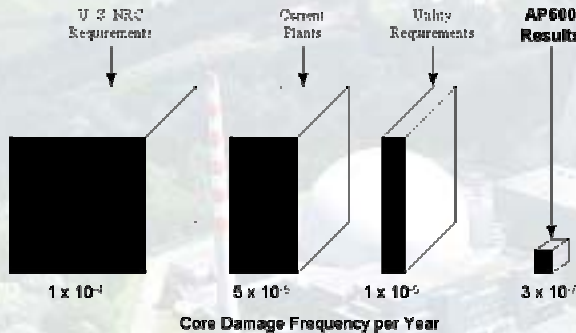
POLITECNICO DI MILANO



#### 4. I dubbi: economicità - sicurezza - rifiuti Caratteristiche di sicurezza

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

- Ottimo record storico
- “Difesa in profondità”
- Severo sistema di controllo
- Nuovi reattori: sistemi a sicurezza passiva



15

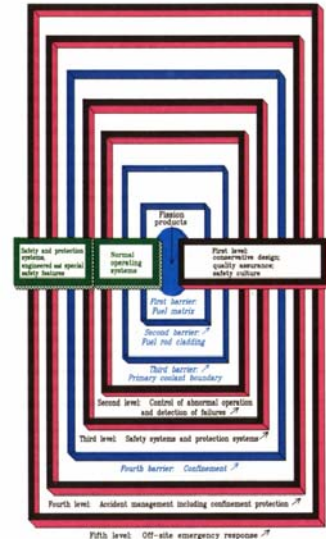


FIG. 4. The relation between physical barriers and levels of protection in defence in depth.



#### 4. I dubbi: economicità - sicurezza - rifiuti La dimensione del problema

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

##### Un francese in un anno produce:

- **3000 kg** di rifiuti di ogni tipo, che comprendono :
- **100 kg** di rifiuti tossico-nocivi (chimici, metalli pesanti-mercurio piombo cadmio non degradabili,...), che comprendono:
- **1 kg** di rifiuti nucleari, che comprende:
- **0.05 kg** di rifiuti radioattivi pericolosi a lunga vita (>30 anni)

Quindi, in una intera vita (70 anni), un francese che consumi solo energia elettrica nucleare, produce un volume di rifiuti radioattivi pericolosi pari a...



16



## 4. I dubbi: economicità - sicurezza - rifiuti

### La forza dell'esempio

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15



Deposito Rifiuti bassa OL4  
e media attività

Sito studio Deposito  
Geologico profondo

OL2

OL3

OL1

Deposito Rifiuti alta  
attività (combustibile esaurito)

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità
prof. Marco E. Ricotti
POLITECNICO DI MILANO



## 5. Un'opzione per l'Italia?

### Competenze italiane

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

**INDUSTRIA**

- Engineering: ANSALDO NUCLEARE
- Manufacturing: MANGIAROTTI NUCLEAR (ex ANSALDO-CAMOZZI)
- Decommissioning: SOGIN
- Waste: NUCLECO

**ELETTROPRODUTTORI**

- ENEL

**RICERCA**

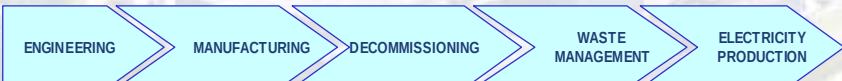
- ENEA
- UNIVERSITA'-CIRTEN (POLIMI, POLITO, UNIFI, UNIROMA, UNIPA)
- CESI Ricerche
- SIET

**ENTI CONTROLLO**

- ISPRA (ex-APAT) *(necessaria revisione strutturale)*

**MANCA:**

- *Architect Engineer con "nuclear pedigree" (ma esistono importanti AE industria "convenzionale")*



L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità
prof. Marco E. Ricotti
POLITECNICO DI MILANO



Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

19

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO

## 5. Un'opzione per l'Italia?

### Passi critici

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

- Primi risultati nel Report di EnergyLab
- Decisione politica ed impegno di lungo periodo
- Authority Nucleare
  1. Garanzia sicurezza per cittadini
  2. Garanzia procedure e tempi certi per industrie
- Revisione processo autorizzativo
- Sito rifiuti radioattivi (LLW + HLW), "superficiale" o geologico ma con recupero per futuro "bruciamento"
- Capitale umano: Formazione e R&D

20

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## Conclusioni

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

- *Nucleare è PARTE della risposta, in un portafoglio energetico bilanciato.*
- *Sbagliato mettere in contrasto tra loro le varie fonti di energia, dalle fossili alle rinnovabili, incluso il risparmio energetico. Occorre sfruttare gli aspetti positivi di ciascuna, riducendo i rischi per tutte.*
- *Nucleare e rinnovabili sono fonti complementari, non alternative.*
- *L'opzione nucleare per l'Italia può essere una opportunità di sviluppo, ma rappresenta una sfida impegnativa.*



21

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

BACKUP SLIDES

22

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO


**Uranium Resources**

*Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15*

## Years of Resource Availability for Various Nuclear Technologies

| Reactor/Fuel cycle                          | Years of 2004 world nuclear electricity generation with identified conventional resources | Years of 2004 world nuclear electricity generation with total conventional resources |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Current fuel cycle (LWR, once-through)      | 85                                                                                        | 270                                                                                  |
| Pure fast reactor fuel cycle with recycling | 5000–6000                                                                                 | 16 000–19 000                                                                        |

23

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità
prof. Marco E. Ricotti
POLITECNICO DI MILANO


**Uranium Resources**

*Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15*

## Classification scheme for conventional uranium resources

| Cost category                              | Identified Resources               |                    | Prognosticated Resources | Speculative Resources |
|--------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|
|                                            | Reasonably Assured Resources (RAR) | Inferred Resources |                          |                       |
| Additional resources with no cost estimate |                                    |                    |                          | 3.0 Mt U              |
| Total < \$ 130/kg U*                       | 3.3 Mt U                           | 1.4 Mt U           | 2.5 Mt U                 | 4.6 Mt U              |
| \$ 80-130/kg U                             | 0.7 Mt U                           | 0.3 Mt U           |                          |                       |
| \$ 40-80/kg U                              | 0.7 Mt U                           | 0.4 Mt U           |                          |                       |
| < \$ 40/kg U                               | 1.9 Mt U                           | 0.8 Mt U           |                          |                       |

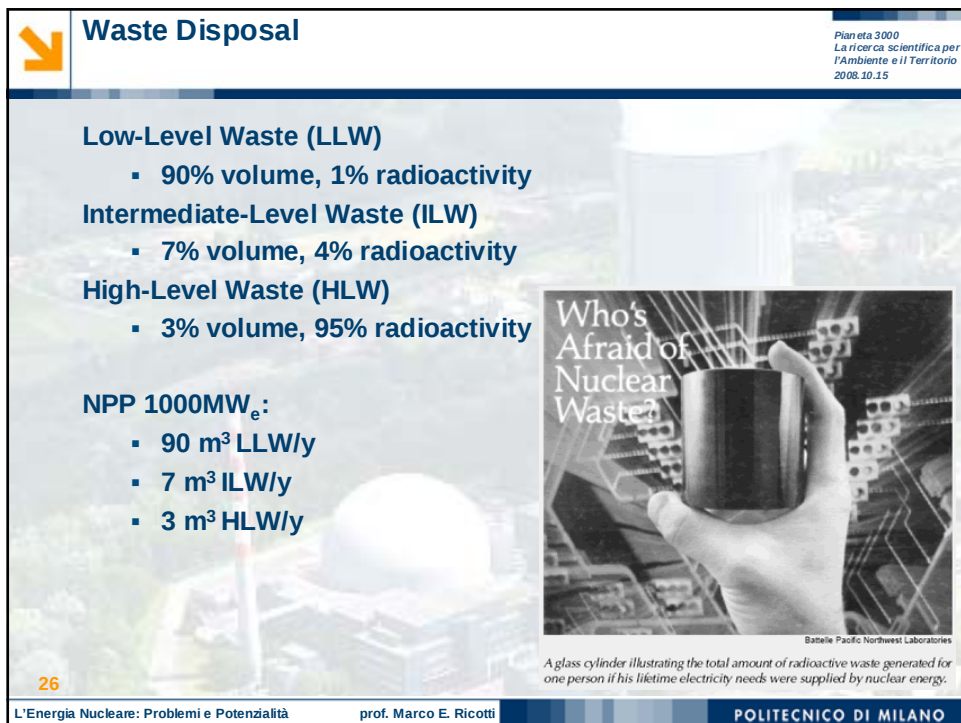
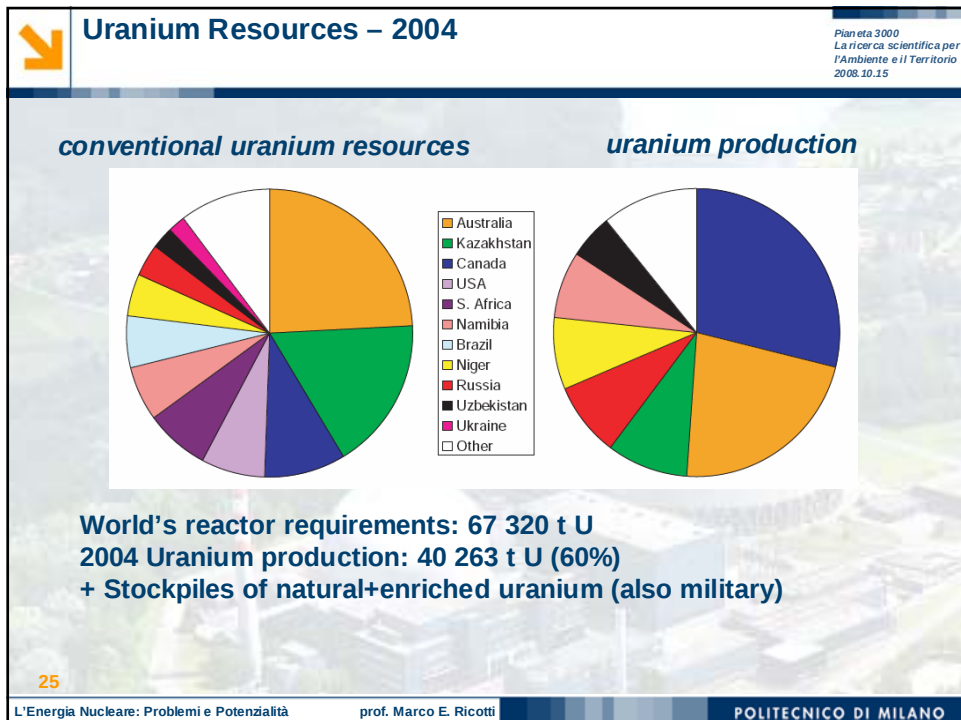
Decreasing economic attractiveness ↑

Decreasing confidence in estimates →

\* Totals may not add due to rounding.

24

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità
prof. Marco E. Ricotti
POLITECNICO DI MILANO





## RIPROCESSAMENTO COMBUSTIBILE (E IN FUTURO IL BRUCIAMENTO DELLE SCORIE)

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15



Hall de stockage de l'Atelier de Vérification de Marcoule (AVM)



27

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

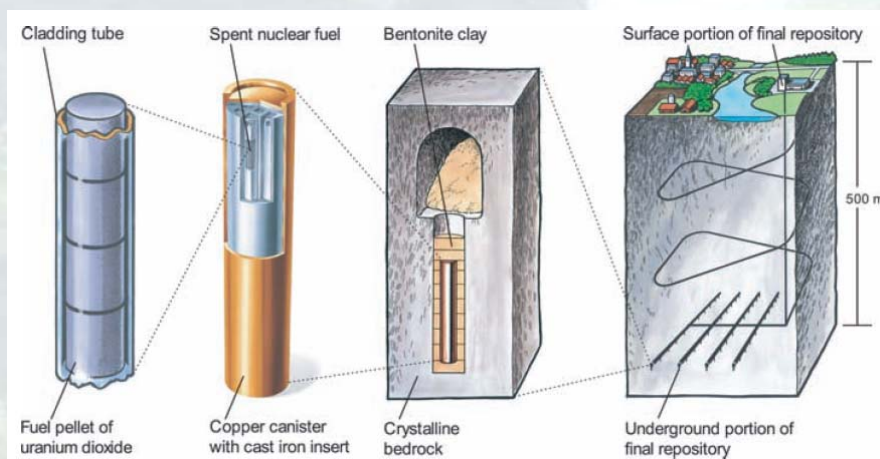
prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## UN DEPOSITO GEOLOGICO PER MIGLIAIA DI ANNI?

Pian eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15



*The Swedish concept for the disposal of spent nuclear fuel - the multi-barrier concept.*

28

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

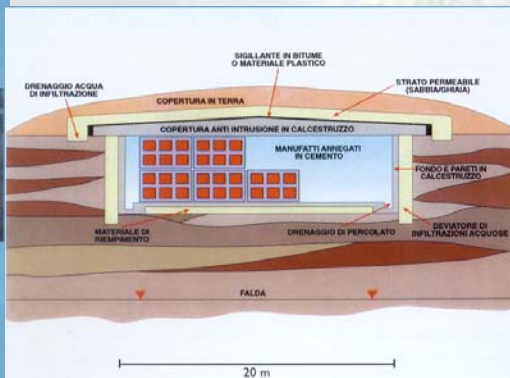
prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## SITI PER I RIFIUTI MENO PERICOLOSI

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15



29

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

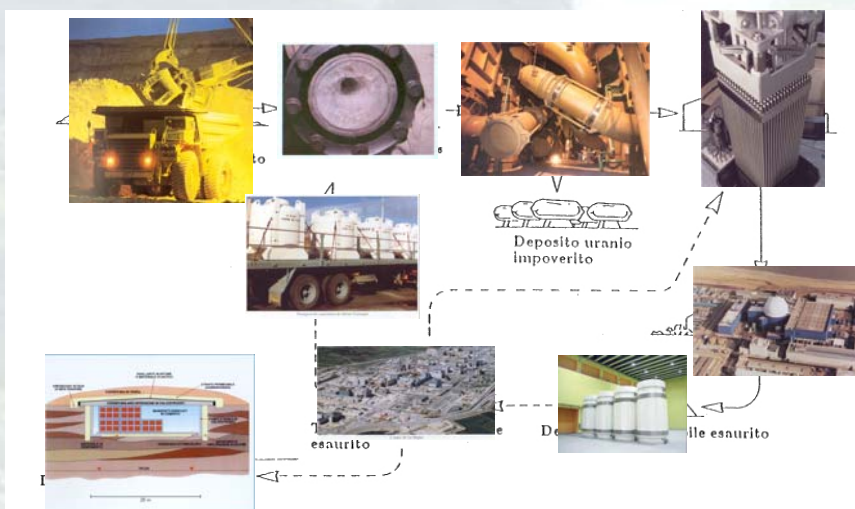
prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## Caratteristiche del nucleare: sistema ESEMPIO: COMBUSTIBILE

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15



30

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

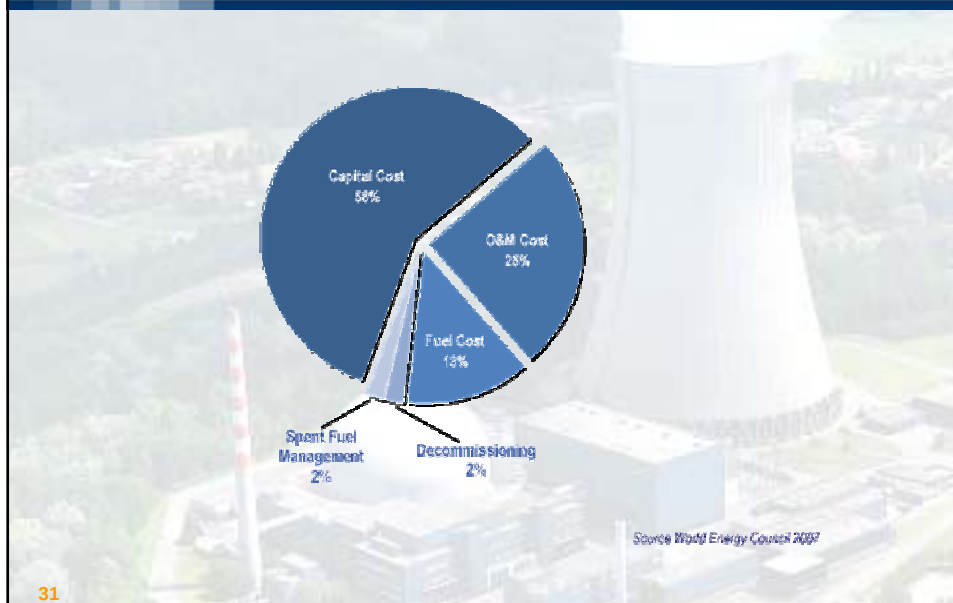
prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## STRUCTURE OF THE NUCLEAR kWh (%) in France (about 4 €cents)

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15



31

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



## COST COMPARISON

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

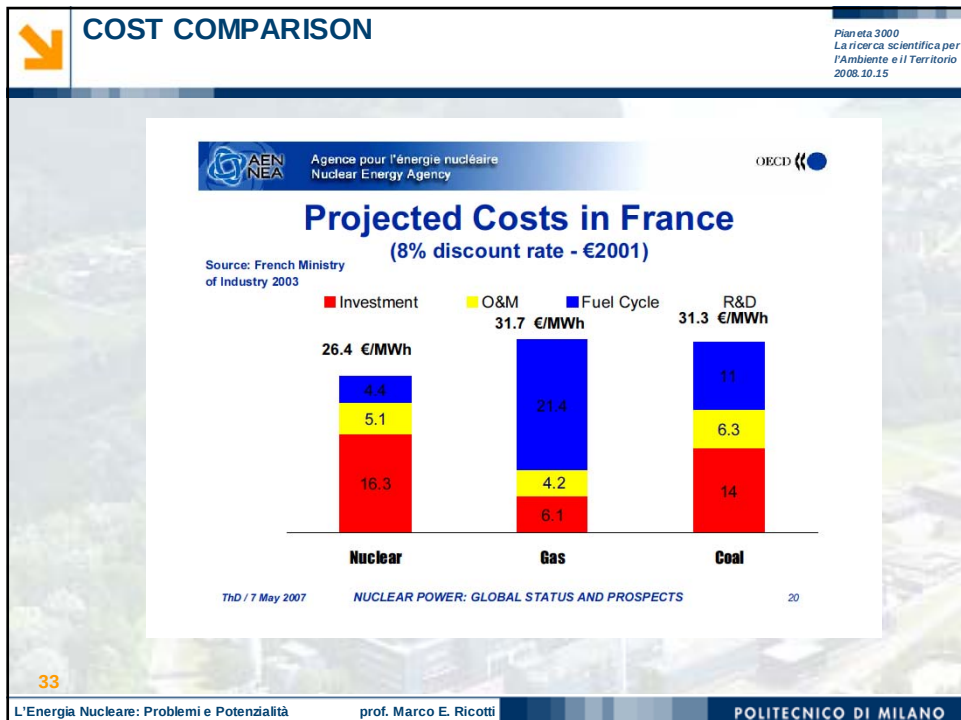


32

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO

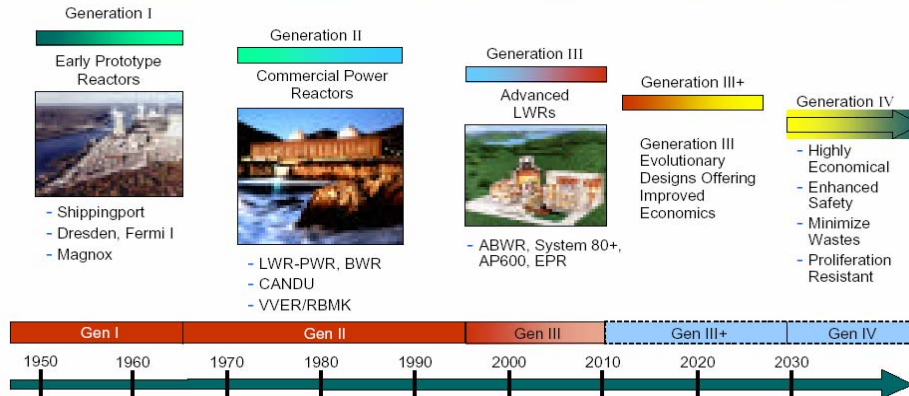




## Il valzer delle generazioni

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

### The Evolution of Nuclear Power



35

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO



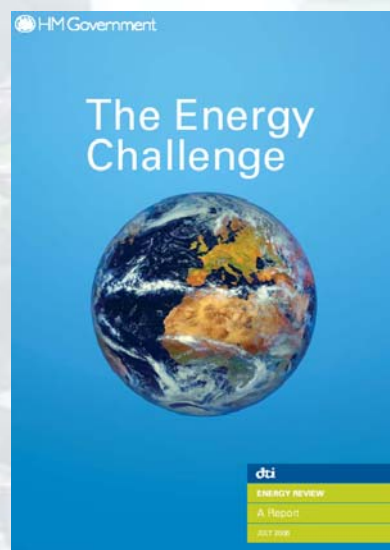
## Un approccio interessante UK Energy Review - 2007

Plan eta 3000  
La ricerca scientifica per  
l'Ambiente e il Territorio  
2008.10.15

Policy from 2003 to 2006 was  
"Keep the Nuclear Option Open".

New review recognises the role  
of nuclear and encouraged private  
sector to take forward

**"UK Government believes setting  
•the right framework for  
•private sector investment in  
nuclear in  
•the public interest"**



36

L'Energia Nucleare: Problemi e Potenzialità

prof. Marco E. Ricotti

POLITECNICO DI MILANO