

SITUAZIONE DELL'ENERGIA NUCLEARE NEL MONDO

E

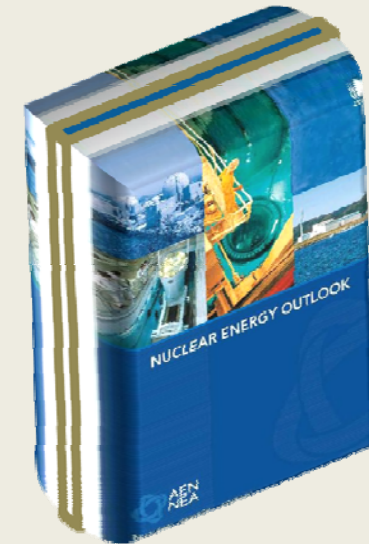
PROSPETTIVE DI SVILUPPO

Stefano Monti

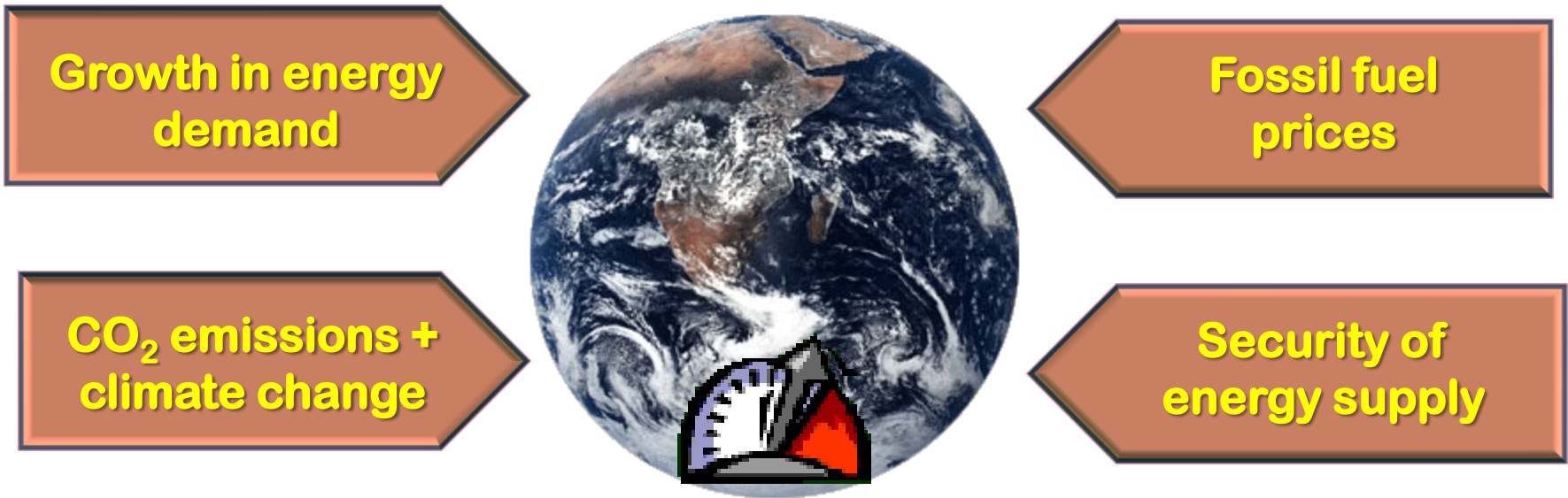
ENEA Bologna

Sommario

- **Il problema energetico mondiale ed il rinnovato interesse per l'energia nucleare da fissione**
- **I reattori nucleari attualmente in funzione e quelli in fase di commercializzazione**
- **Verso un nucleare più sostenibile: reattori a spettro neutronico veloce e chiusura del ciclo del combustibile**
- **I reattori nucleari della IV generazione**

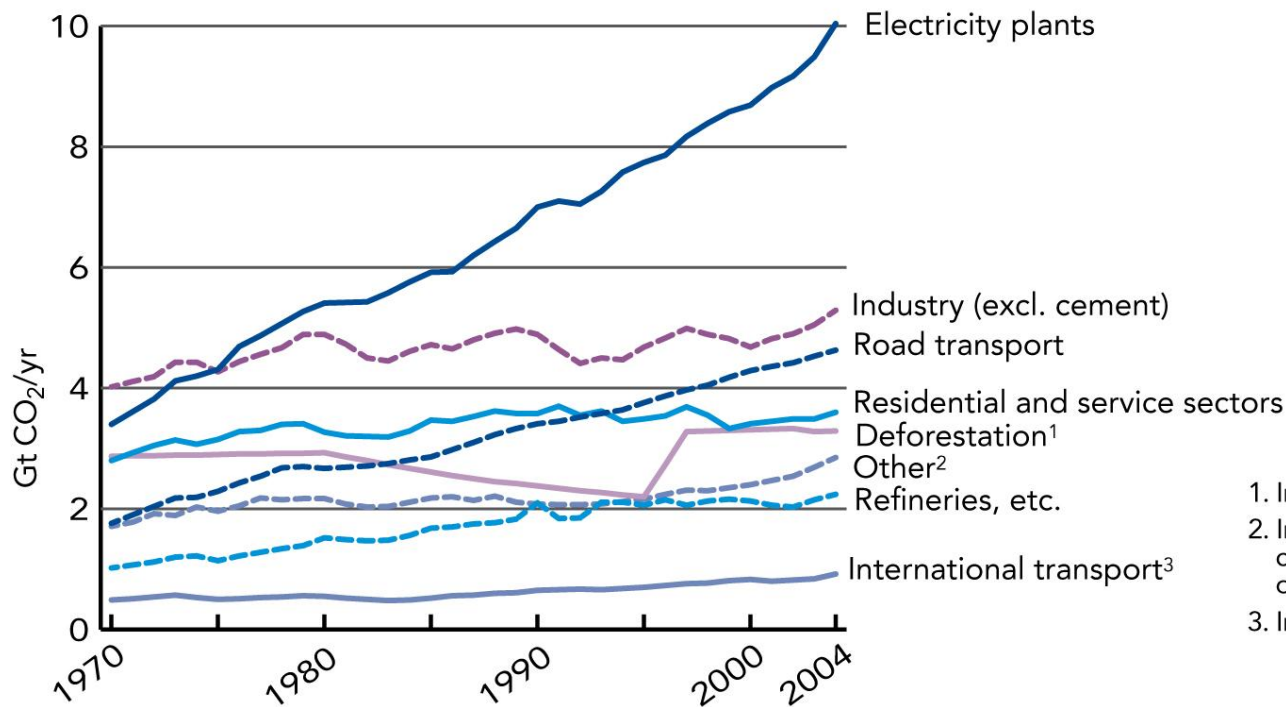


Why the renewed interest in nuclear energy?



Why the renewed interest in nuclear energy?

Figure 4.6: Sources of global anthropogenic CO₂ emissions



Source: IPCC (2007b).

1. Includes fuel wood and peat fires.
2. Includes other domestic surface transport, cement making, venting/flaring gas from oil production, non-energetic use of fuel.
3. Includes aviation and marine transport.

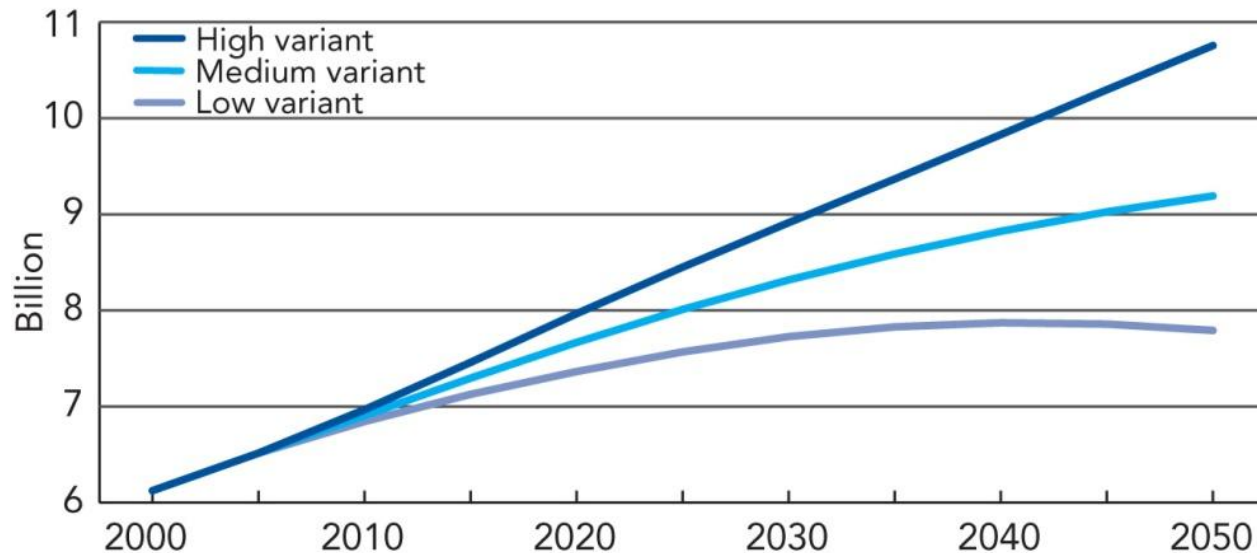
Why the renewed interest in nuclear energy?

Carbon-dioxide emissions from fossil-fired power plants by far the biggest and fastest-growing sources of CO₂

Business as usual to 2050

Population up by 50%...

Figure 3.1: UN projections of world population

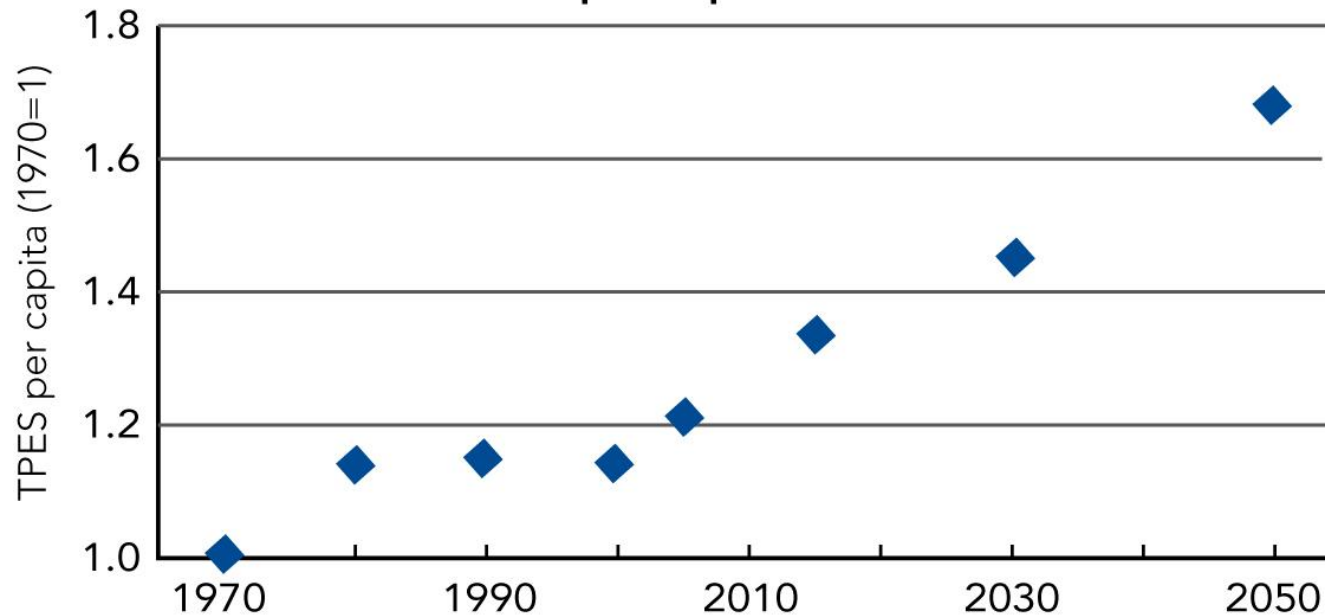


Source: UNPD (2006).

Business as usual to 2050

Energy demand up by 100%...

Figure 3.2: Increase in total primary energy supply (TPES) per capita

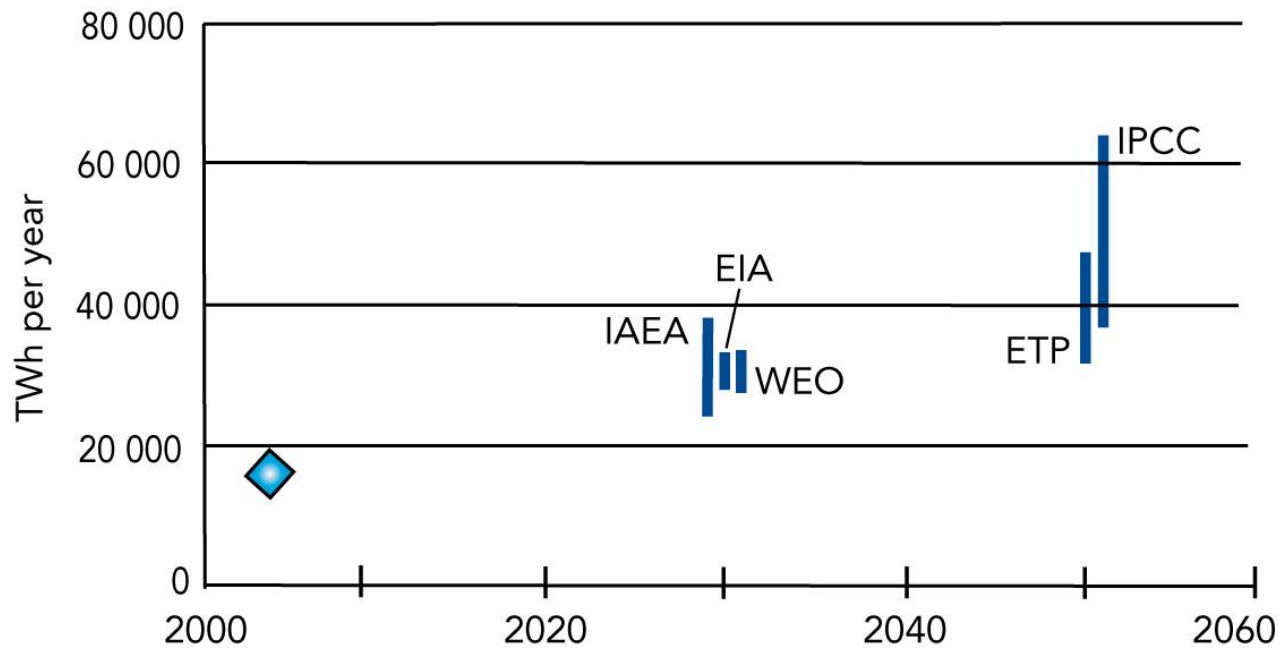


Sources: adapted from IEA data (2006a, 2006b).

Business as usual to 2050

Electricity demand up by 150%...

Figure 3.5: Projected increase in electricity demand worldwide



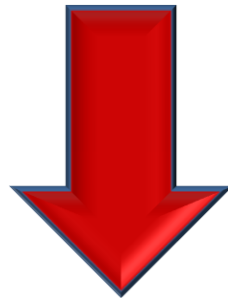
Note: The vertical bars at 2030 and 2050 have been separated for ease of reading.

Business as usual 2050

Population up by 50%...

Energy demand up by 100%...

Electricity demand up by 150%...

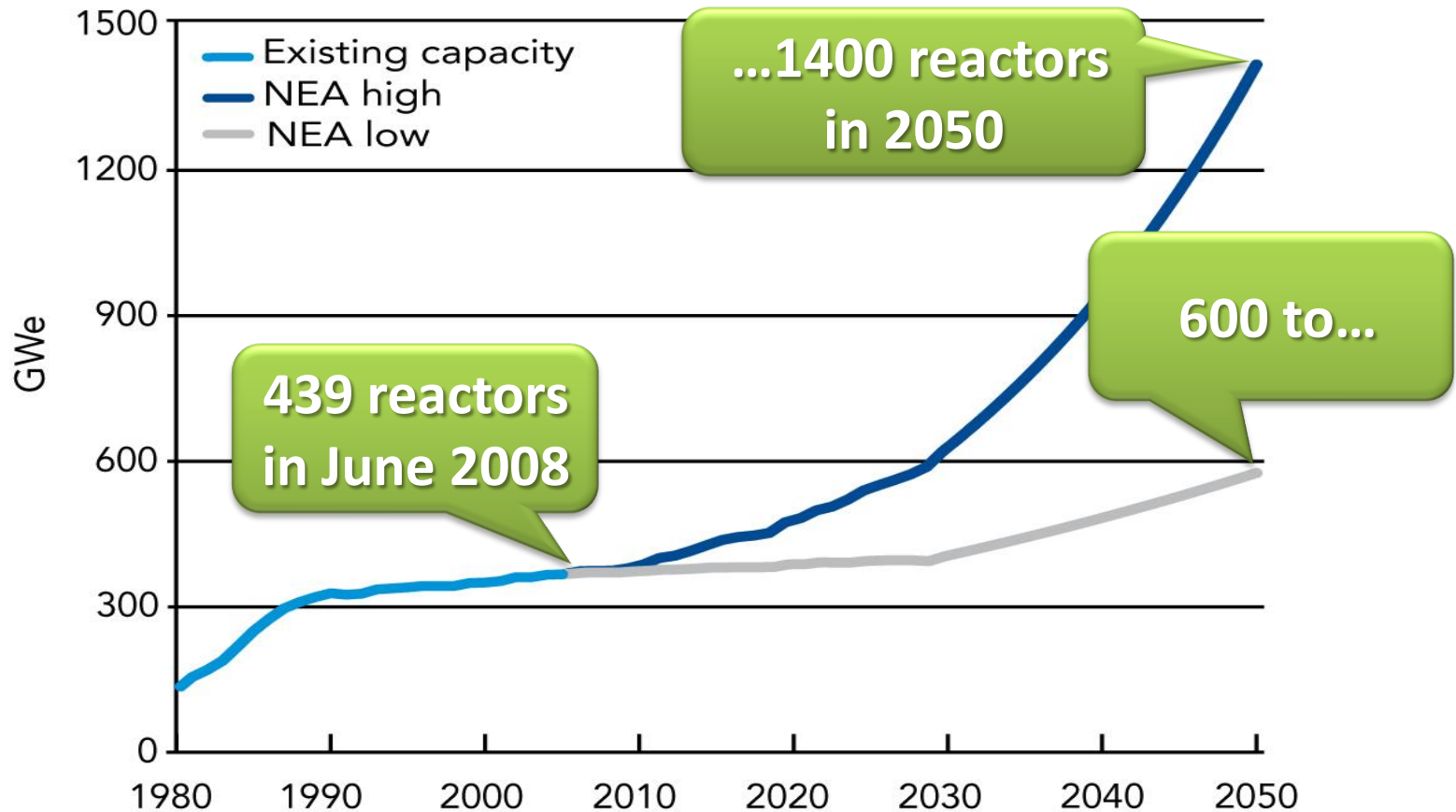


CO₂ emissions per unit of energy consumption must be reduced by a factor of 4

Nuclear power could make a significant contribution

Nuclear energy's potential role

Figure 3.11: Global nuclear capacity in the NEA high and low scenarios

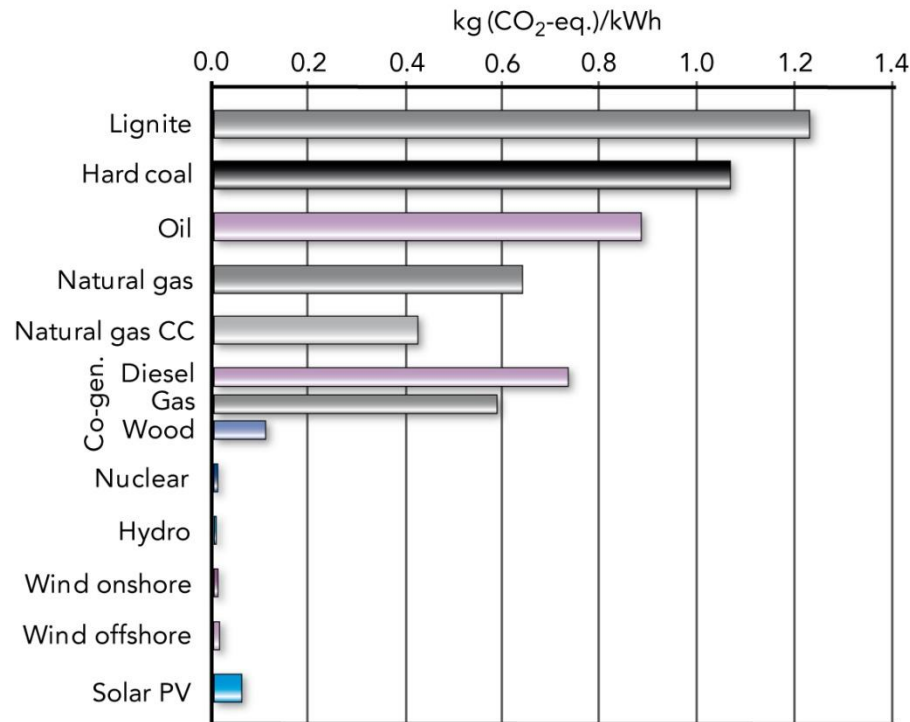


Nuclear power could expand by a factor of nearly 4

Potential benefits of nuclear power

Virtually CO₂-free

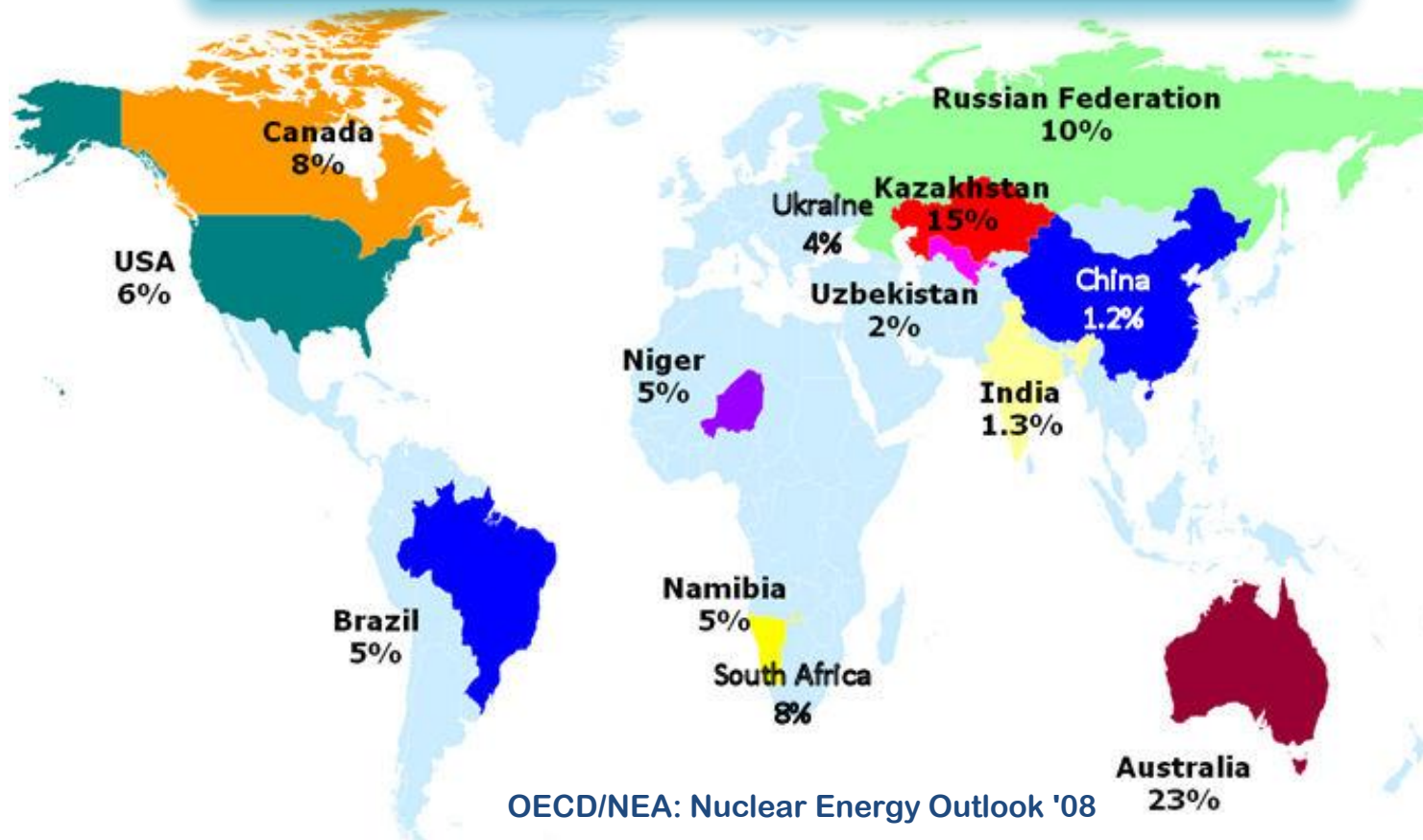
Figure 4.7: Greenhouse gas emissions of selected energy chains



Average UCTE emissions. Source: based on Dones et al. (2004).

Potential benefits of nuclear power

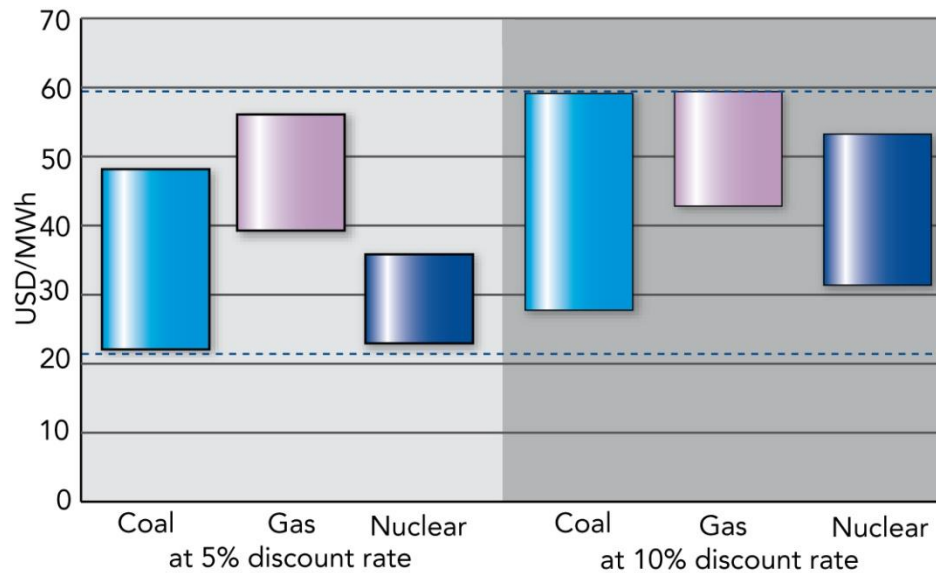
Diverse, politically stable sources of plentiful uranium



Potential benefits of nuclear power

Cost competitive and very insensitive to price of uranium

Figure 6.8: Range of levelised costs for nuclear, coal and gas power plants at 5% and 10% discount rates (USD/MWh)

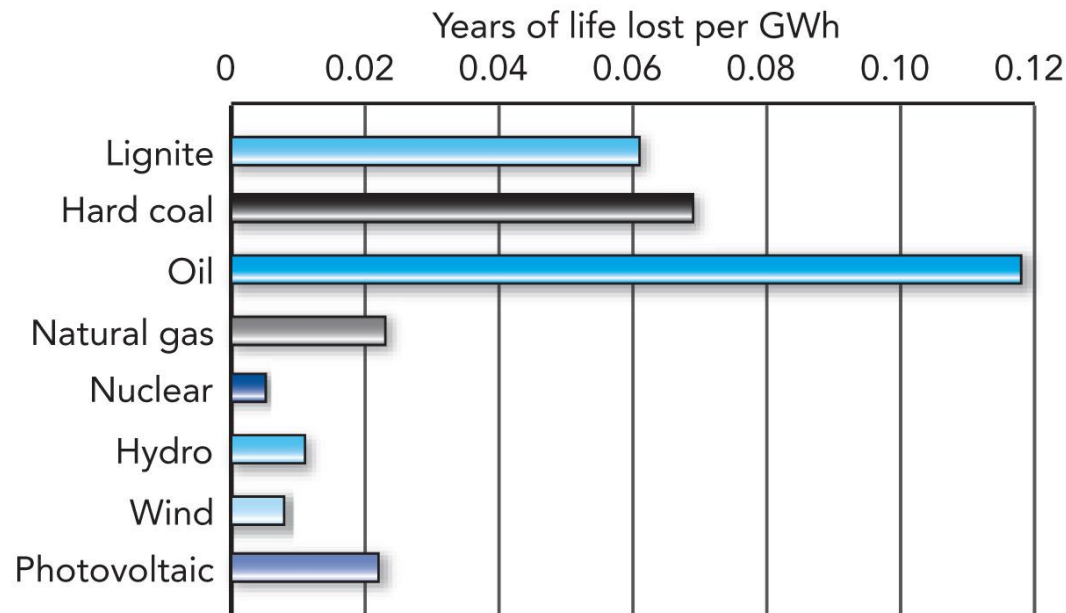


Note: the 5% lowest and highest values of levelised generation costs have been excluded from the ranges shown on the figure.

Potential benefits of nuclear power

Avoids significant health effects

Figure 4.16: Mortality resulting from the emissions of major pollutants from German energy chains during normal operation in 2000

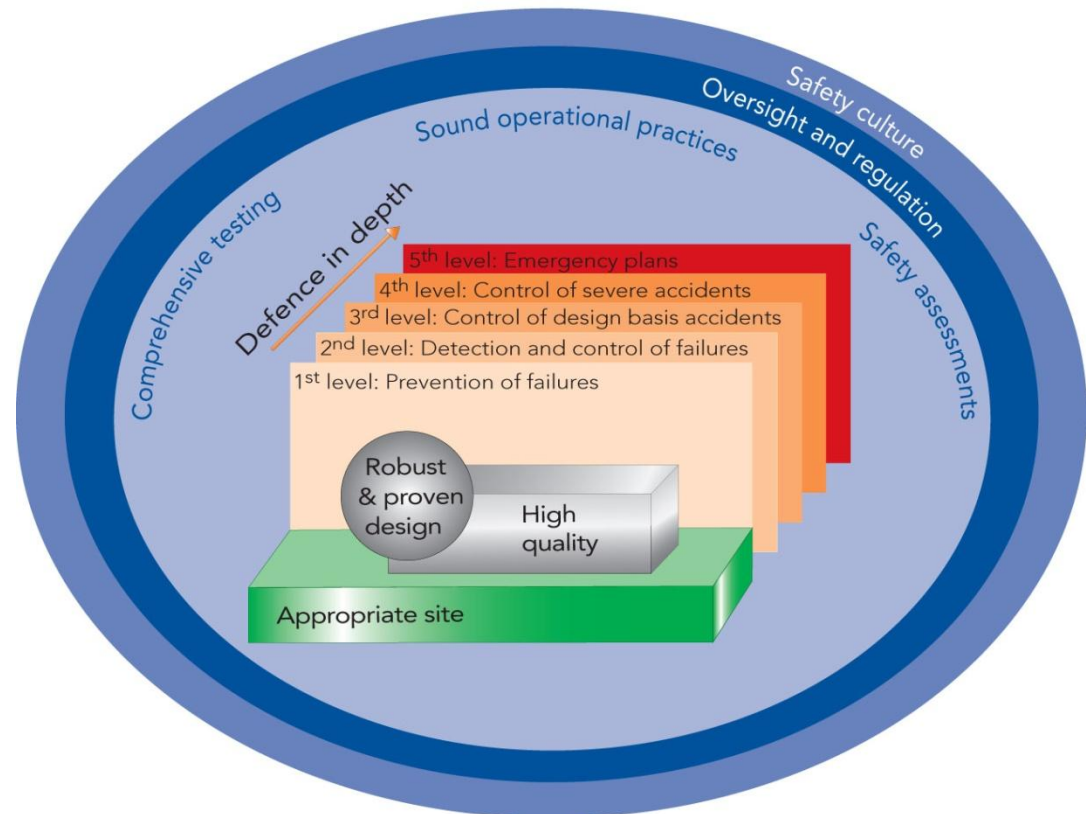


Source: based on Hirschberg *et al.* (2004).

Managing current and future challenges

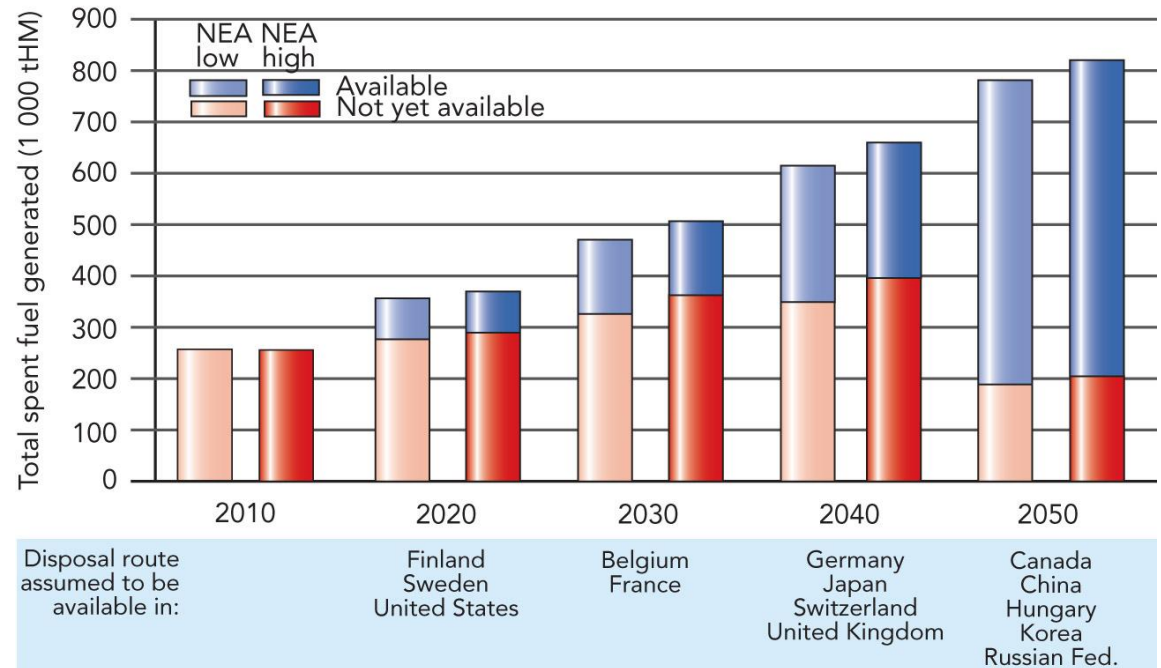
Figure 7.1: Elements of nuclear safety

**Unsafe?
Actually, safer than
baseload
alternatives**



Managing current and future challenges

Figure 8.5: Availability of disposal routes for HLW or SNF from nuclear electricity generation



Radwaste?

Actually, most disposable by 2050

Managing current and future challenges

Proliferation?

NPT largely successful,

improved regime under discussion


1400 reactors in 2050?

Today's reactors are fit for purpose and could provide for a significant expansion to 2050



Significant CO₂ alleviation now

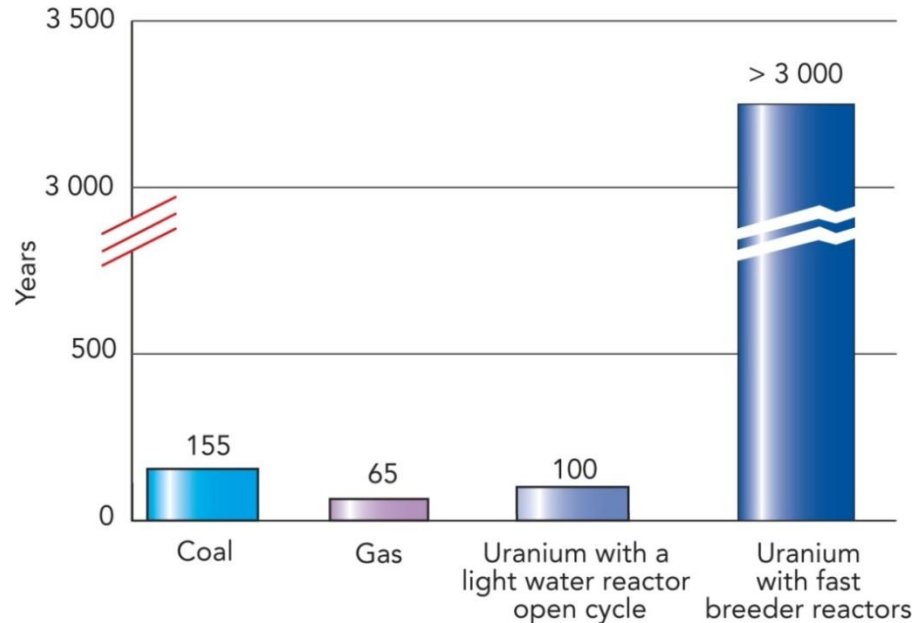
Tomorrow's fast reactors can expand the energy available from uranium by up to 60 times



**Vast resources of virtually
CO₂-free energy**

1400 reactors in 2050?

Figure 6.11: Lifetime of energy resources
(years of present annual consumption rates*)



* Uranium resource lifetimes have been calculated using estimated consumption at present nuclear electricity generation rate.

**Vast resources of virtually
CO₂-free energy**

Figure 13.1: Reactor generations

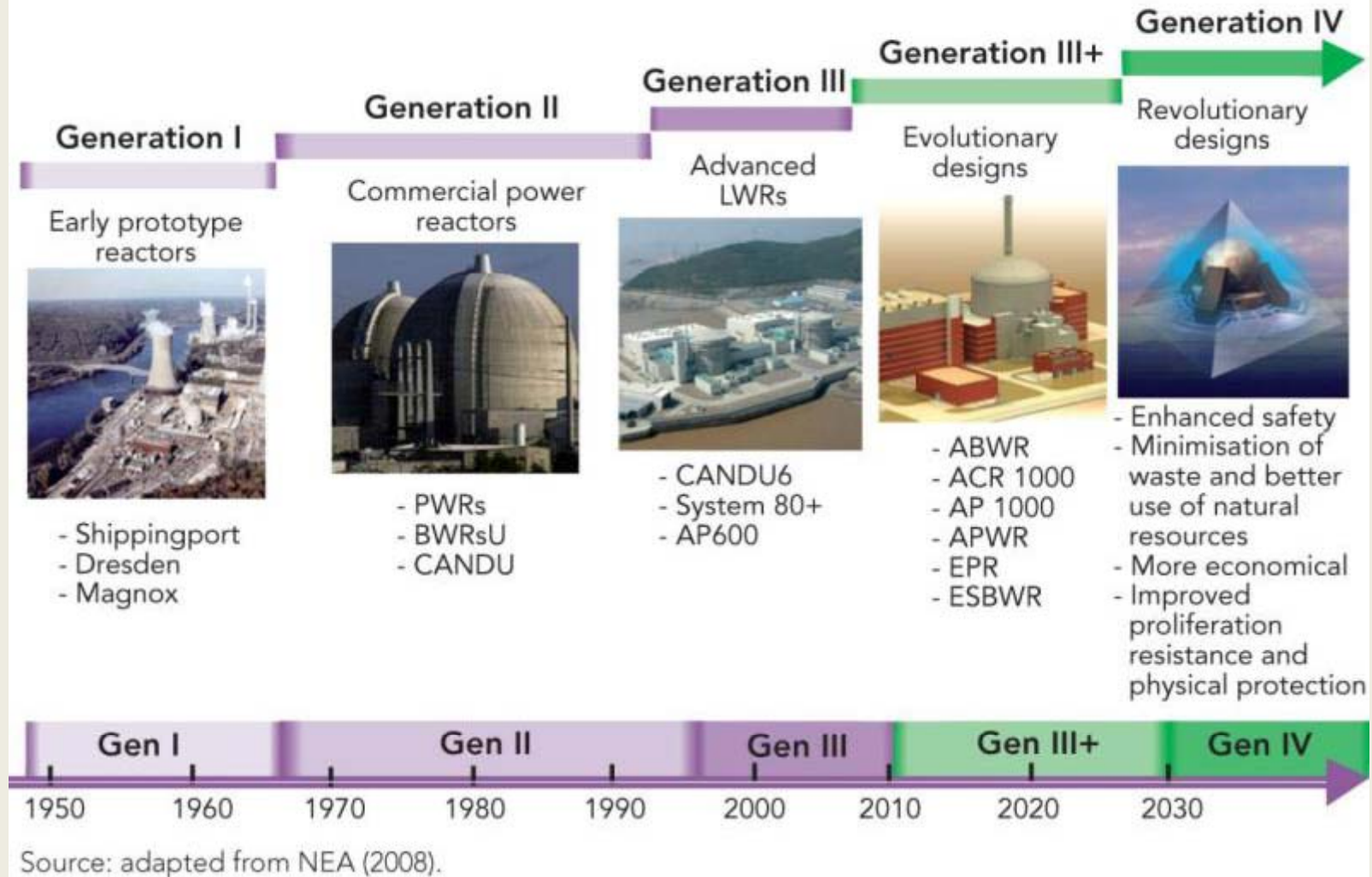
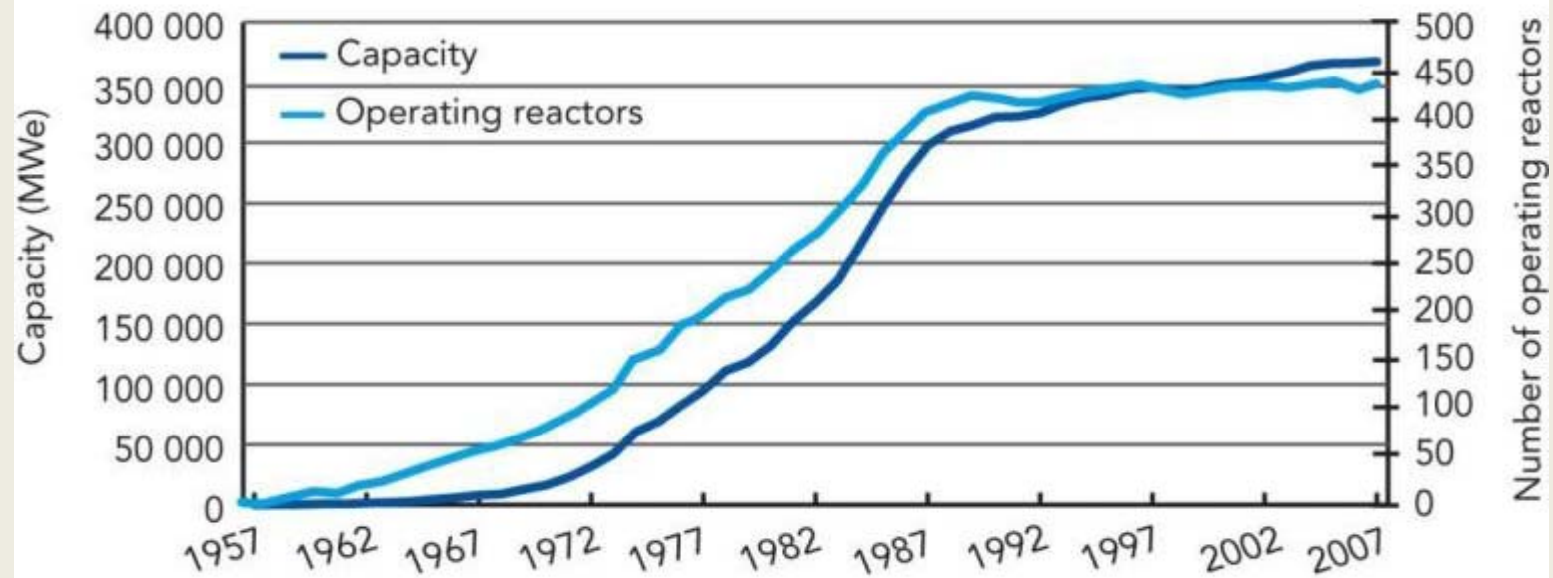


Figure 1.1: Global nuclear generating capacity and number of operating reactors, 1957 to 2007



Sources: based on data taken from NEA (2006a) and NEA (2008a).

Figure 1.4: History of worldwide reactor additions and closures, 1957 to 2007

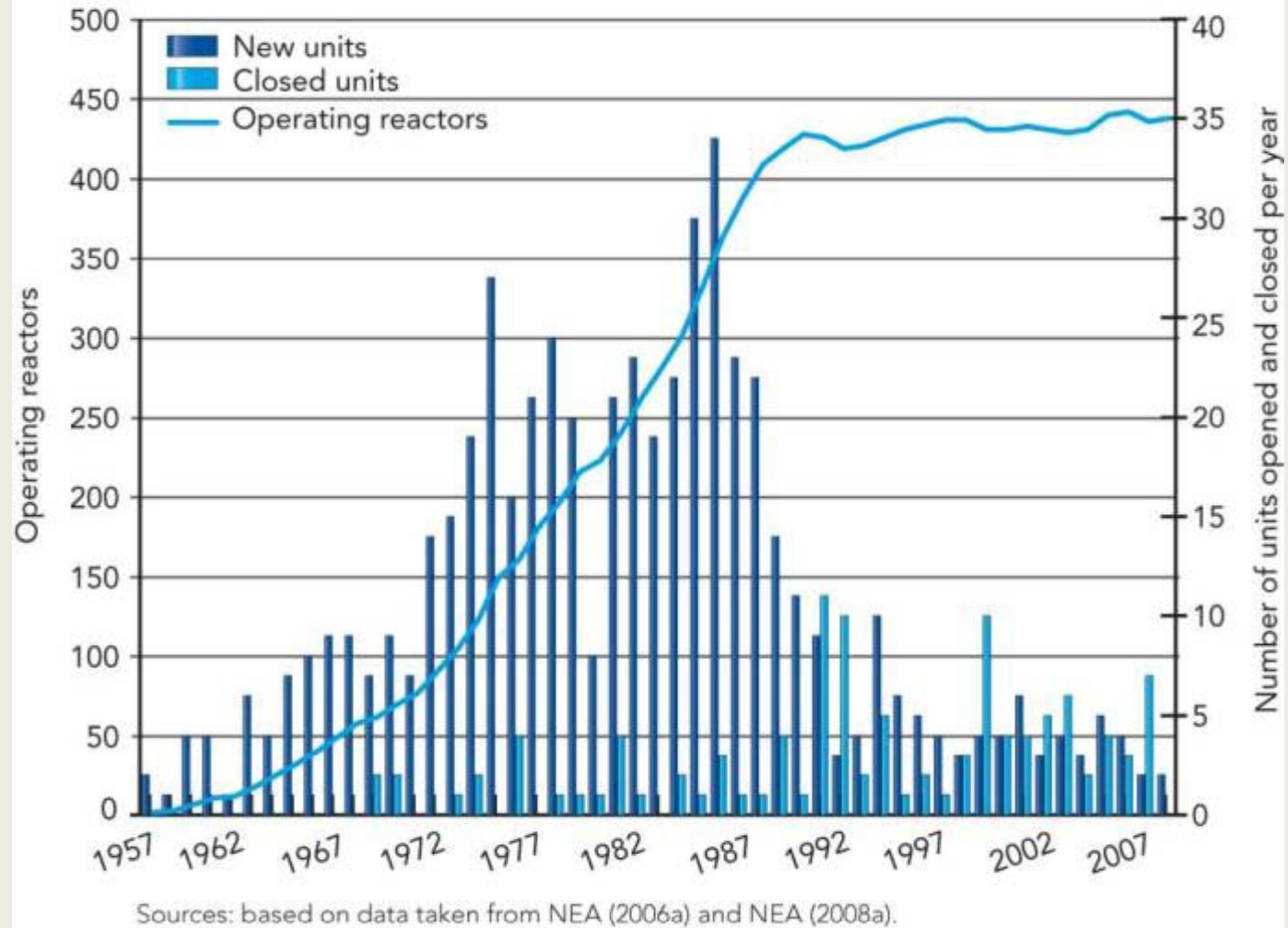


Figure 1.6: Nuclear share of electricity generation in 2007

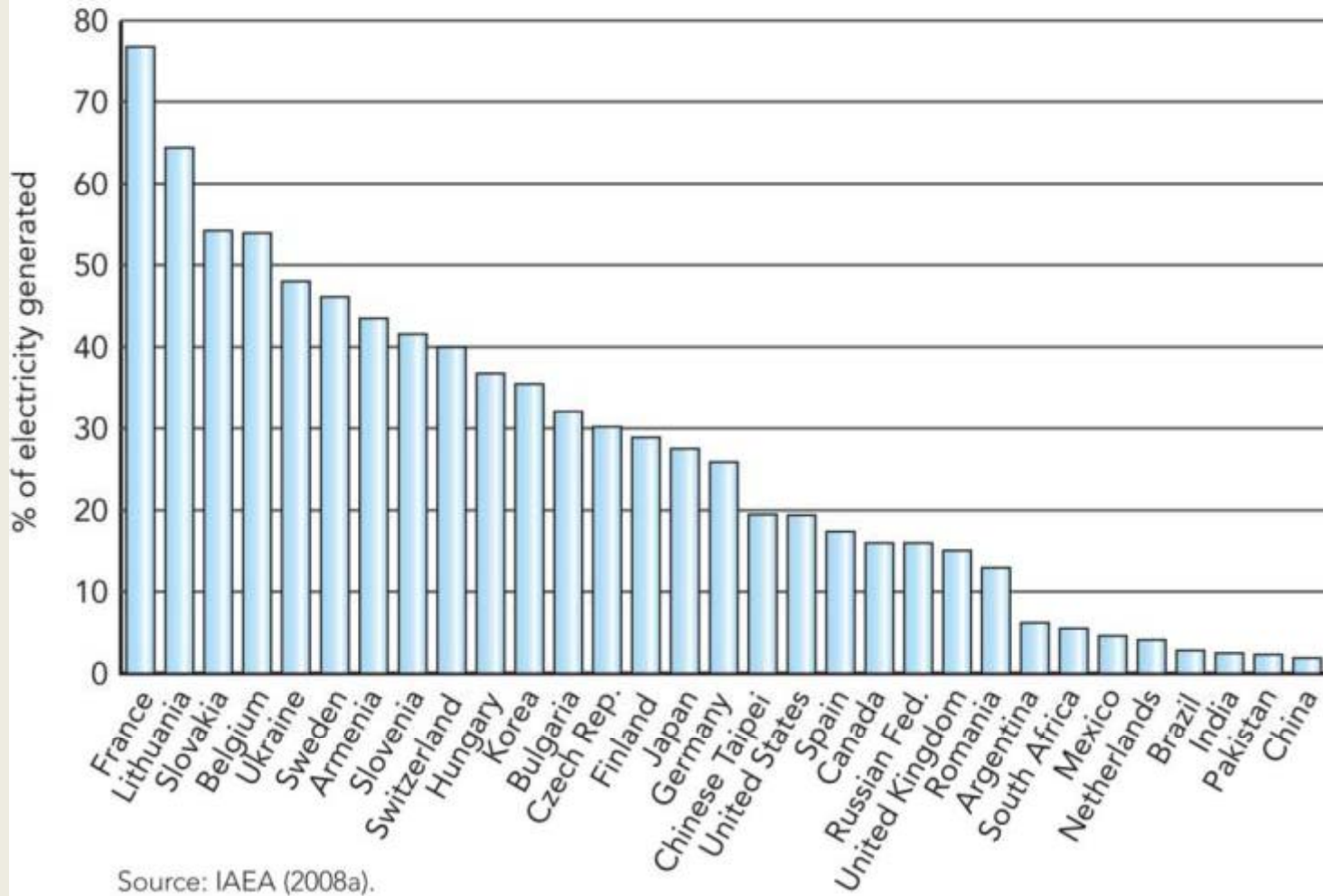
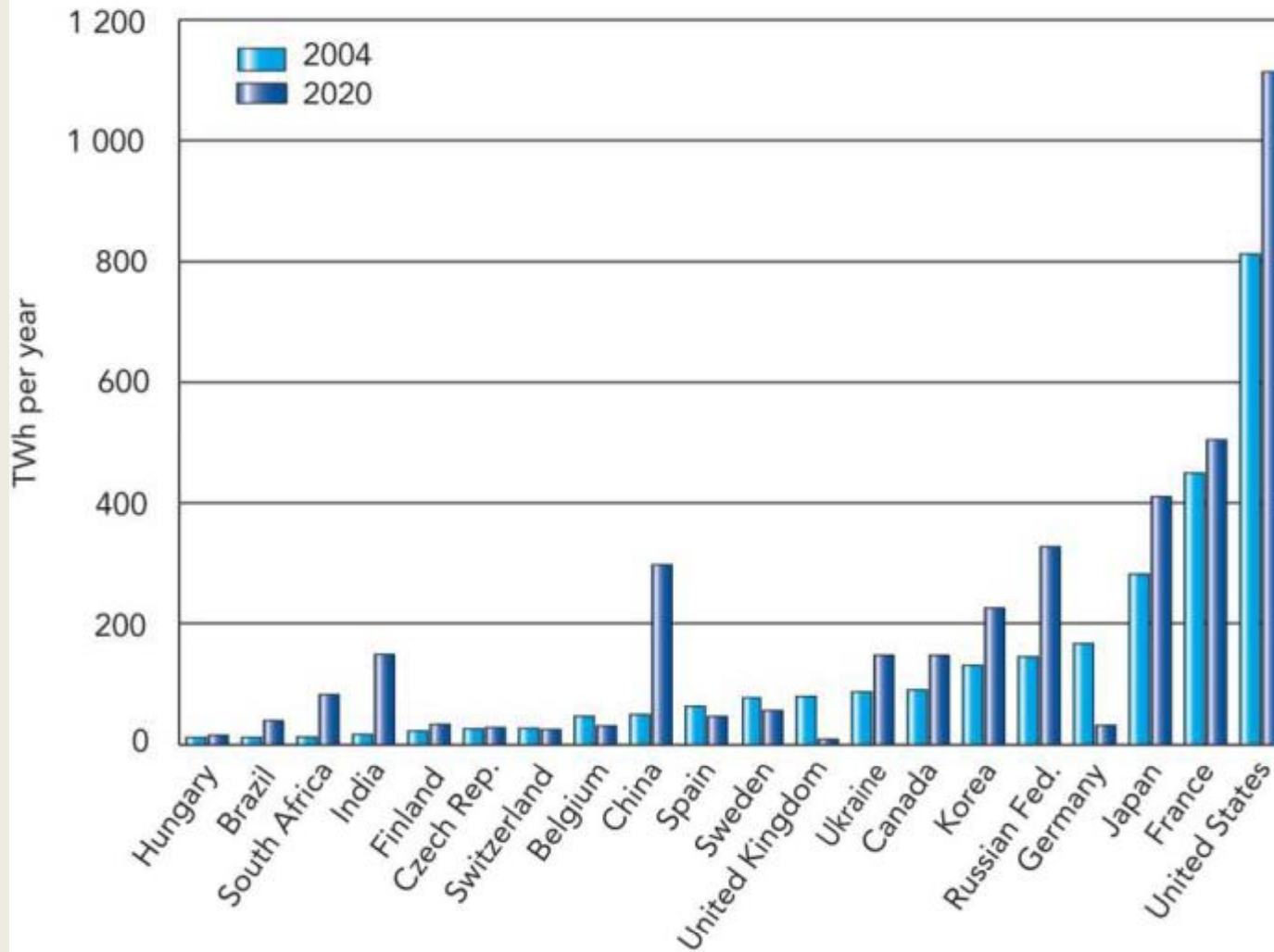


Figure 2.1: Nuclear electricity generation in 2004 and projected in 2020



Generazione III/III+: reattori “avanzati/evolutivi”

Reattori industriali, già disponibili commercialmente:

- Una nuova generazione di reattori che beneficiano della vasta esperienza acquisita nell’operazione di Gen-II e delle lezioni apprese a TMI
- I reattori raffreddati ad acqua sono ancora dominanti
- Nuovi miglioramenti alla sicurezza, ma la competitività economica è l’obiettivo principale
- Diversi approcci in competizione industriale:
 - piccola/grande taglia
 - sicurezza passiva/attiva
- La mitigazione delle conseguenze di un eventuale incidente grave è un risultato particolarmente significativo

Generazione III/III+: reattori “avanzati/evolutivi”

In sintesi, caratteristiche tipiche per i reattori di generazione III e III+ sono

- Un progetto standardizzato che abbrevi le procedure di approvazione e riduca i tempi ed i costi di costruzione
- Semplificazione e maggior “robustezza” del progetto, rendendone l’esercizio più semplice e meno vulnerabile ai malfunzionamenti operativi (*operational upsets*);
- Alta disponibilità e lunga vita utile (tipicamente, 60 anni)
- Presenza di dispositivi di sicurezza di tipo “intrinseco” o “passivo”
- Flessibilità nella composizione del combustibile (uranio naturale ed a vari arricchimenti, miscele uranio-plutonio, quest’ultimo anche proveniente dallo smantellamento di armi nucleari, miscele uranio-torio) e sua alta “utilizzabilità” (*burn-up*), al fine di distanziare nel tempo le ricariche
- Tassi di combustione (*burn-up*) nel combustibile più elevati con conseguente riduzione del volume dei rifiuti ad alta attività;
- Utilizzo di veleni bruciabili per allungare la vita del combustibile.

Generazione III/III+: reattori “avanzati/evolutivi”

- Lo stacco più rilevante rispetto alla Generazione II consiste nel fatto che i reattori di Generazione III e III+ incorporano anche caratteristiche di *sicurezza passiva* ossia che non richiedono il controllo attivo attraverso componenti e/o meccanismi attuati elettricamente, oppure mediante l'intervento dell'operatore, per la gestione di incidenti in caso di malfunzionamenti del sistema, ma fanno affidamento sulle leggi della fisica come la gravità, la convezione naturale o la resistenza alle alte temperature
- I sistemi di sicurezza tradizionali sono “attivi” nel senso che per il loro funzionamento richiedono l'attuazione di tipo elettrico o meccanico su comando (ad es. le pompe del circuito di raffreddamento di emergenza), anche se alcuni componenti sono in grado di operare passivamente, come ad es. le valvole di sfogo per l'abbattimento della pressione reattore (*pressure relief valves*). L'affidabilità è perseguita, tuttavia, attraverso la ridondanza parallela di sistema.
- Al contrario, i sistemi *a totale sicurezza passiva* sono governati unicamente dai fenomeni fisici naturali sopra citati che si innescano spontaneamente quando se ne determinano le condizioni d'impianto (es. circuito di raffreddamento di emergenza sostenuto dalla circolazione naturale, in caso di perdita di alimentazione elettrica generale).

Generazione III/III+ : l'offerta industriale

***Generation III reactors identified as
'Near Term Deployment' by the Generation IV Forum***

Advanced Pressurized Water Reactors

AP 600, AP 1000, APR1400, APWR+, EPR

Advanced Boiling Water Reactors

ABWR II, ESBWR, HC-BWR, SWR-1000

Advanced Heavy Water Reactors

ACR-700 (Advanced CANDU Reactor 700)

Small and middle range power integrated Reactors

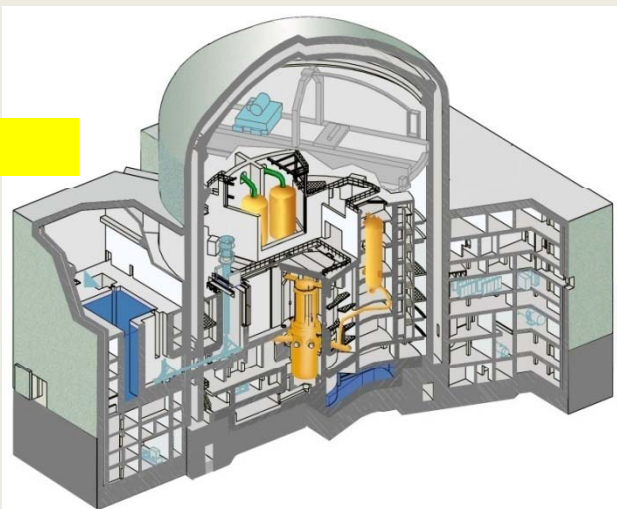
CAREM, IMR, IRIS, SMART

High Temperature, Gas Cooled, Modular Reactors

GT-MHR, PBMR

Generazione III / III+ → disponibili

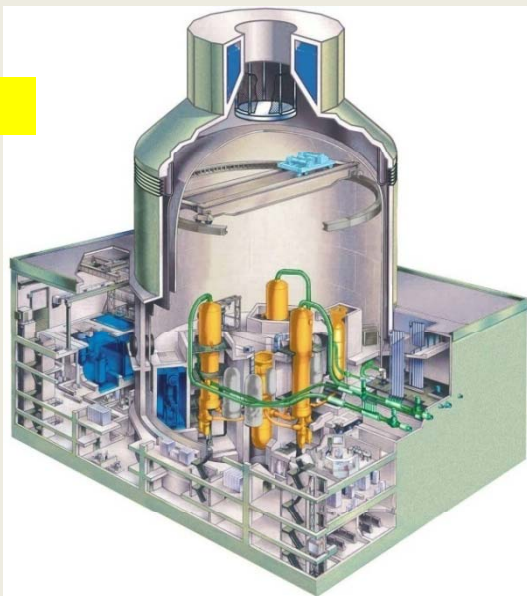
EPR



Progettista: AREVA (FRA-GER)
Potenza: grande - 1600 MWe
Tipologia: Reattore Acqua Pressurizzata

(in costruzione: Finlandia, Francia)

AP1000



Progettista: Westinghouse (Toshiba)-USA
Potenza: grande - 1100 MWe
Tipologia: Reattore Acqua Pressurizzata a
 sicurezza passiva

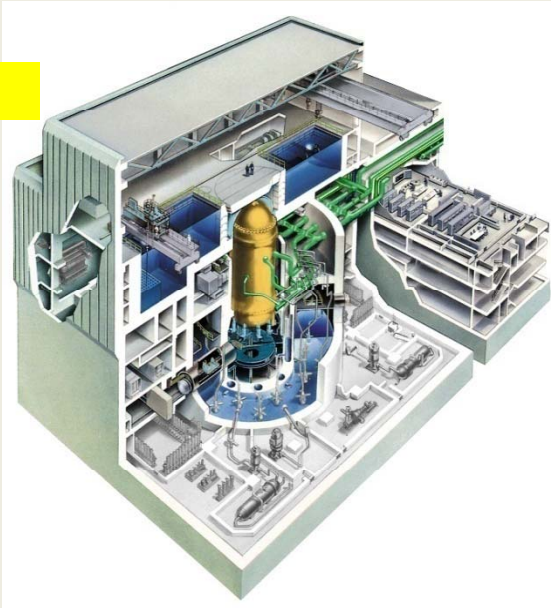
(in costruzione in Cina, pronto per la
 costruzione in USA)



Presenza italiana:
progettazione, costruzione

Generazione III → disponibili

ABWR



Progettista: GE-Toshiba
(USA-Japan)

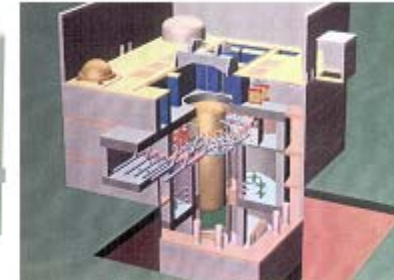
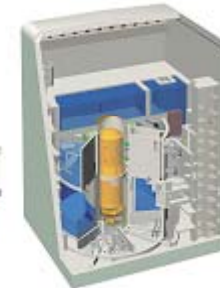
Potenza: grande-1400 MWe

Tipologia: Reattore Acqua Bollente

(già costruiti: Giappone)

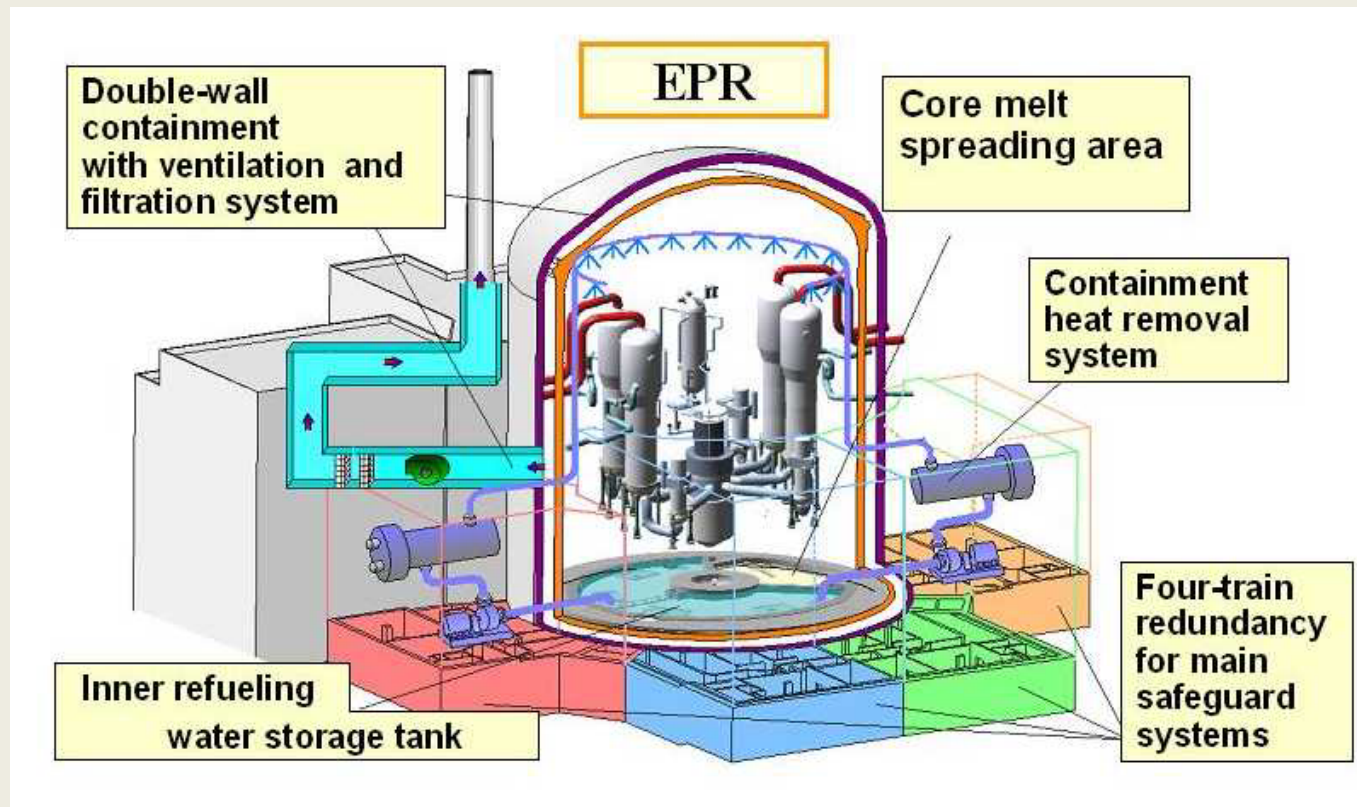
Altri progetti:

APR1400 (Corea del Sud), APWR (Giappone), AES 92 (Russia),
SWR1000 (Francia-Germania), ESBWR (USA)



Reattori ad acqua leggera: Generazione III / III+

AREVA: EPR (*European o Evolutionary Pressurized Reactor*)

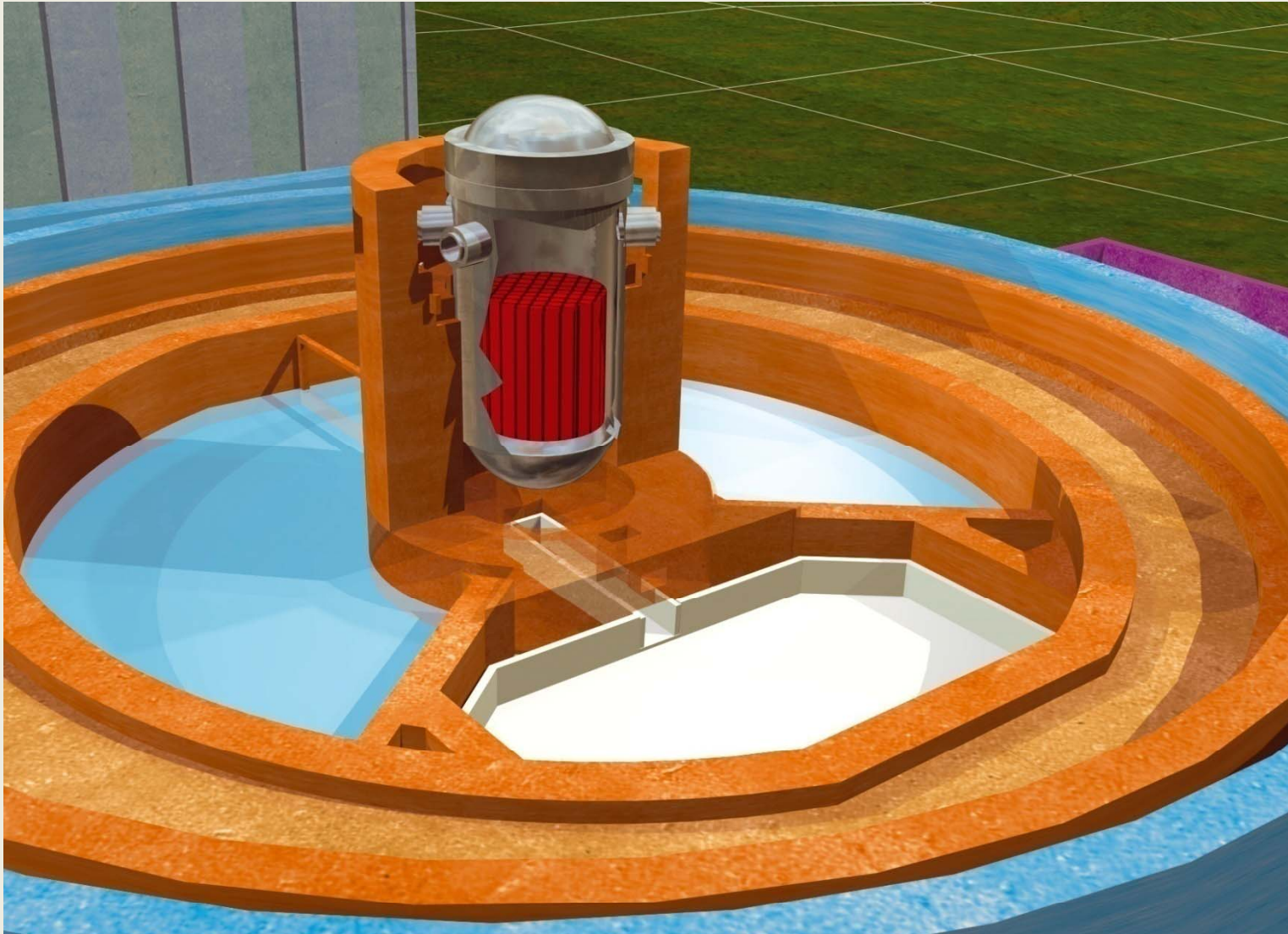


In costruzione in Finlandia (Olkiluoto) e in Francia (Flamanville).
Altri esemplari venduti alla Cina e varie richieste COL in USA

European Pressurised Reactor

- Rispetta gli European Utility Requirements (EUR), requisiti molto stringenti stabiliti soprattutto sotto la spinta delle *utilities* franco-tedesche.
- Già confermato come il nuovo standard per la Francia, è stato certificato dall'autorità di sicurezza francese nel 2004
- Progettato per poter funzionare in maniera flessibile (*load-following o base-load*)
- *burn-up* nel combustibile di circa 60 MWd/kg
- Rendimento vicino al 37%, maggiore fra tutti i reattori ad acqua attuali
- E' atteso avere anche un fattore di carico particolarmente elevato, pari al 92% ed una vita operativa di 60 anni.
- Oltre al funzionamento con nocciolo standard a uranio arricchito, è previsto che possa funzionare con un intero nocciolo MOX (combustibile ad ossidi misti di U e Pu).
- Costo di una unità = 4 miliardi di Euro; costo produzione energia = 54 € / MWh
- I tempi nominali di realizzazione sono previsti in circa 5 anni come segue: 1,5 anni per il permesso di costruzione e preparazione sito, 3 anni costruzione, 0,5 anni prove di avvio per l'entrata in esercizio commerciale.

European Pressurised Reactor



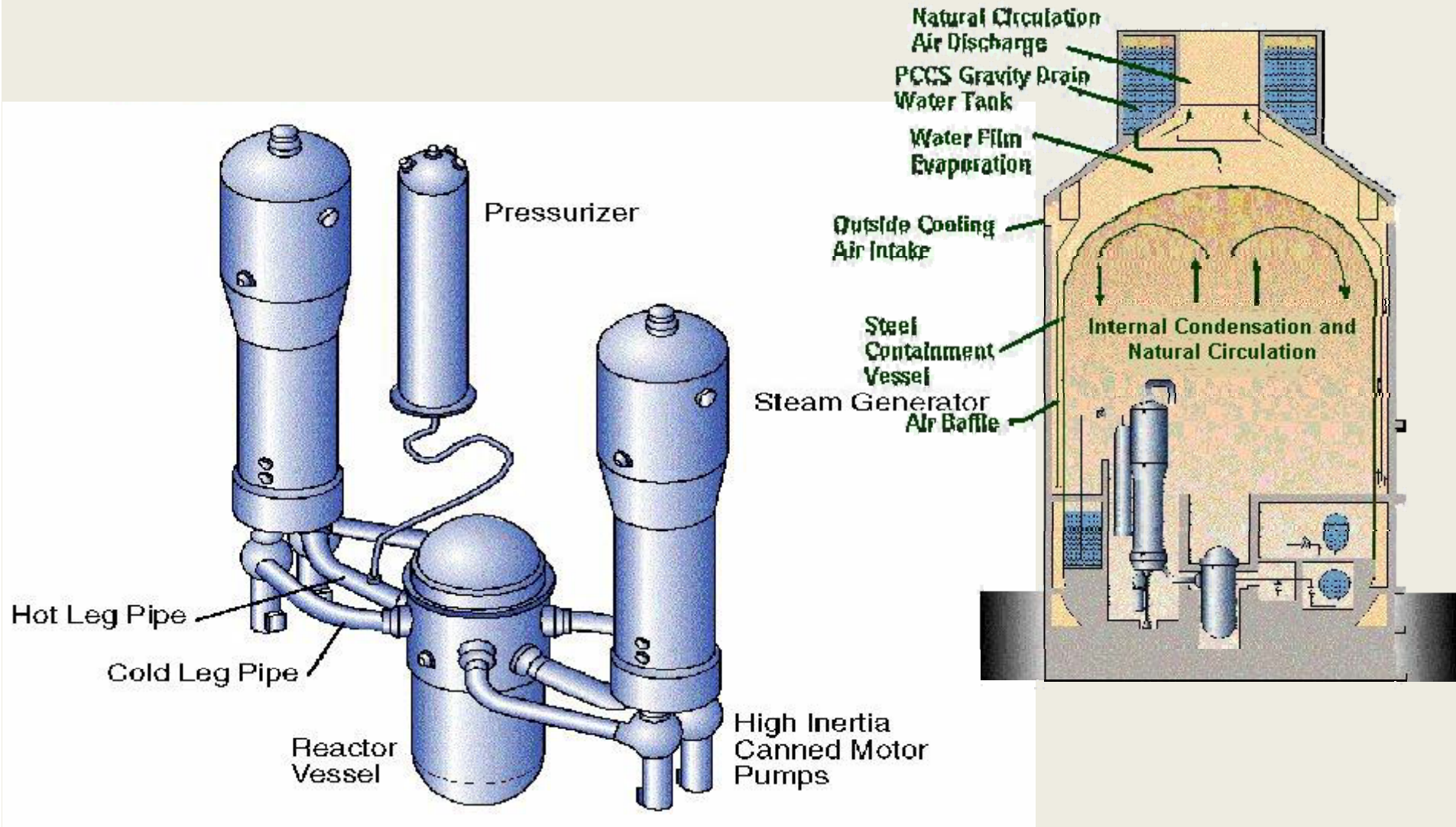
European Pressurised Reactor



European Pressurised Reactor



Toshiba-Westinghouse: AP 1000



AP 1000

- PWR con potenza elettrica netta di 1117 Mwe
- Rendimento del 35%
- Vita operativa 60 anni
- Incorpora 50 anni di esperienza dei reattori PWR della Westinghouse attualmente in esercizio
- Considerevole semplificazione impiantistica che riguarda l'intero sistema di sicurezza, dai componenti normali, alla sala controllo, alle tecniche di costruzione, ai sistemi di strumentazione e controllo, con il risultato di ottenere un impianto più facile e meno costoso da costruire, gestire e su cui operare la manutenzione.
- Minor numero di componenti, cavi e volumi di edifici in Classe Sismica I, che concorrono tutti a ridurre notevolmente il costo capitale e di manutenzione

AP 1000 – La Sicurezza

