CIVICO PLANETARIO di MILANO
in collaborazione con CISE 2007

Atomi a Milano

i pionieri della ricerca

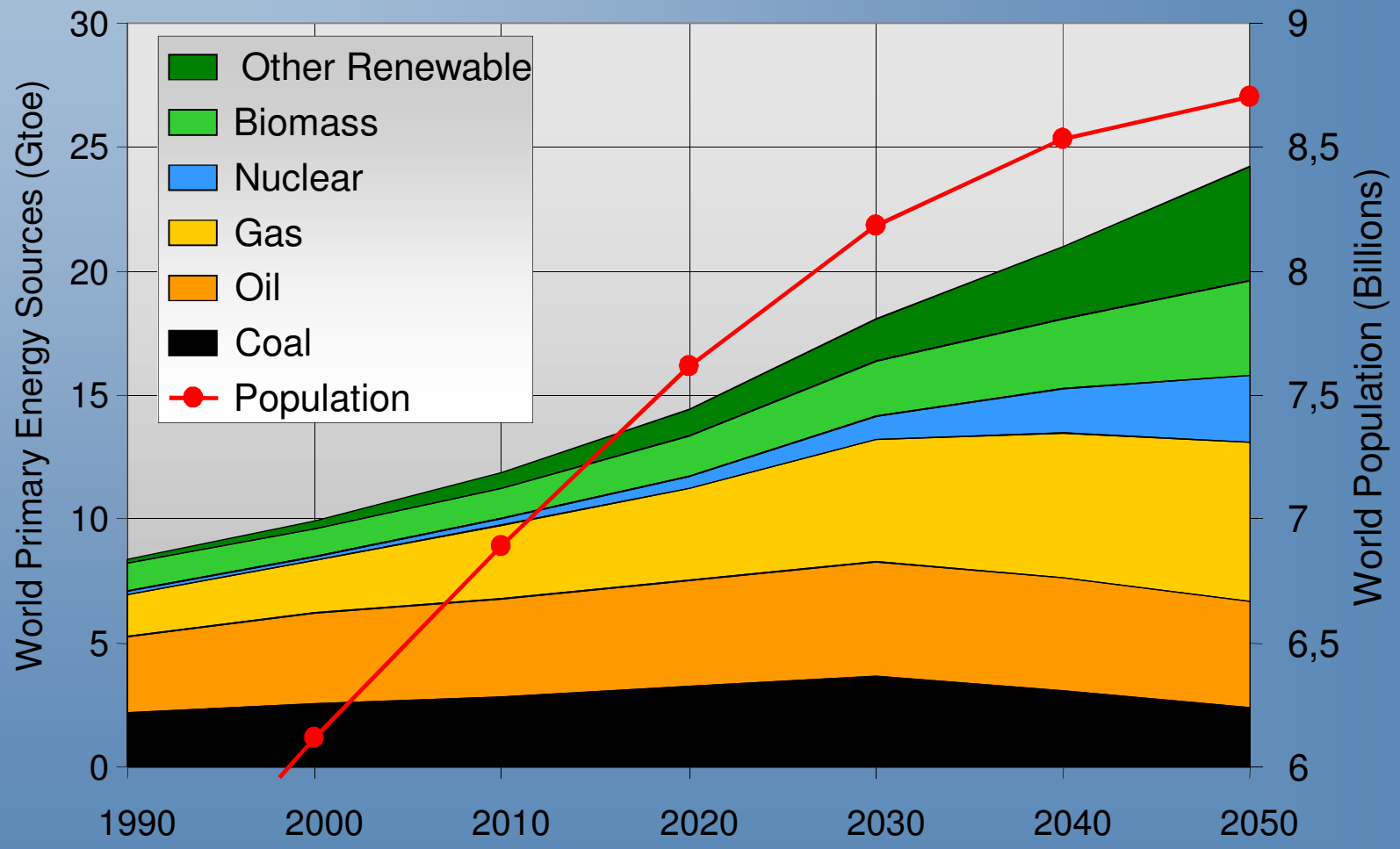
23 ottobre 2014

L'EVOLUZIONE DEL NUCLEARE E IL PROBLEMA DELLA SICUREZZA

Flavio Parozzi

Associazione CISE2007 (Centro Italiano per la Sostenibilità e l'Energia)

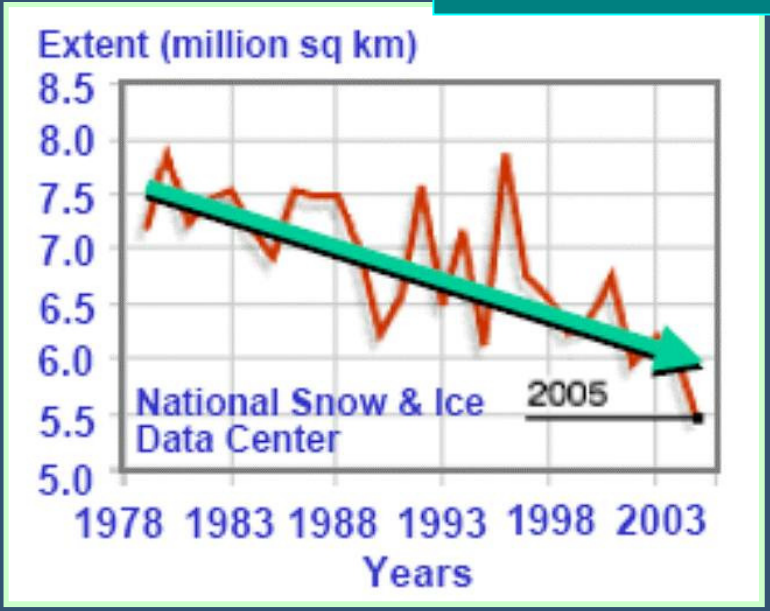
Domanda di energia e sviluppo demografico

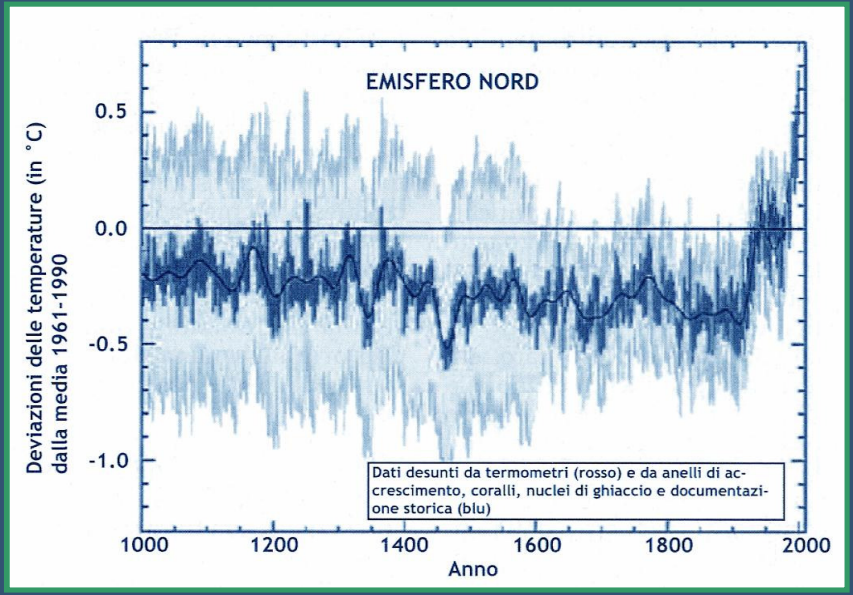


L'IMPATTO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI SUL CLIMA

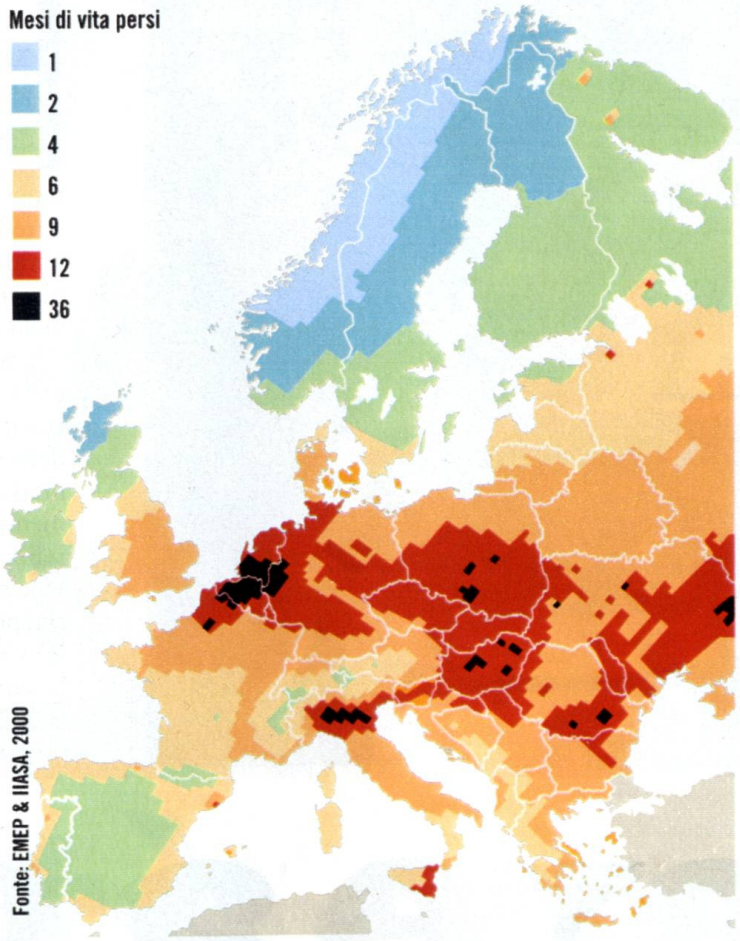
All'attuale rateo di utilizzo delle fonti fossili (circa 10 Gt di C annue) in circa 60 anni è immessa in atmosfera una quantità di anidride carbonica pari a quella già presente oggi

è ragionevole temere che questa immissione di CO_2 abbia un effetto perturbativo sul clima del pianeta





L'impatto dei combustibili fossili sulla salute



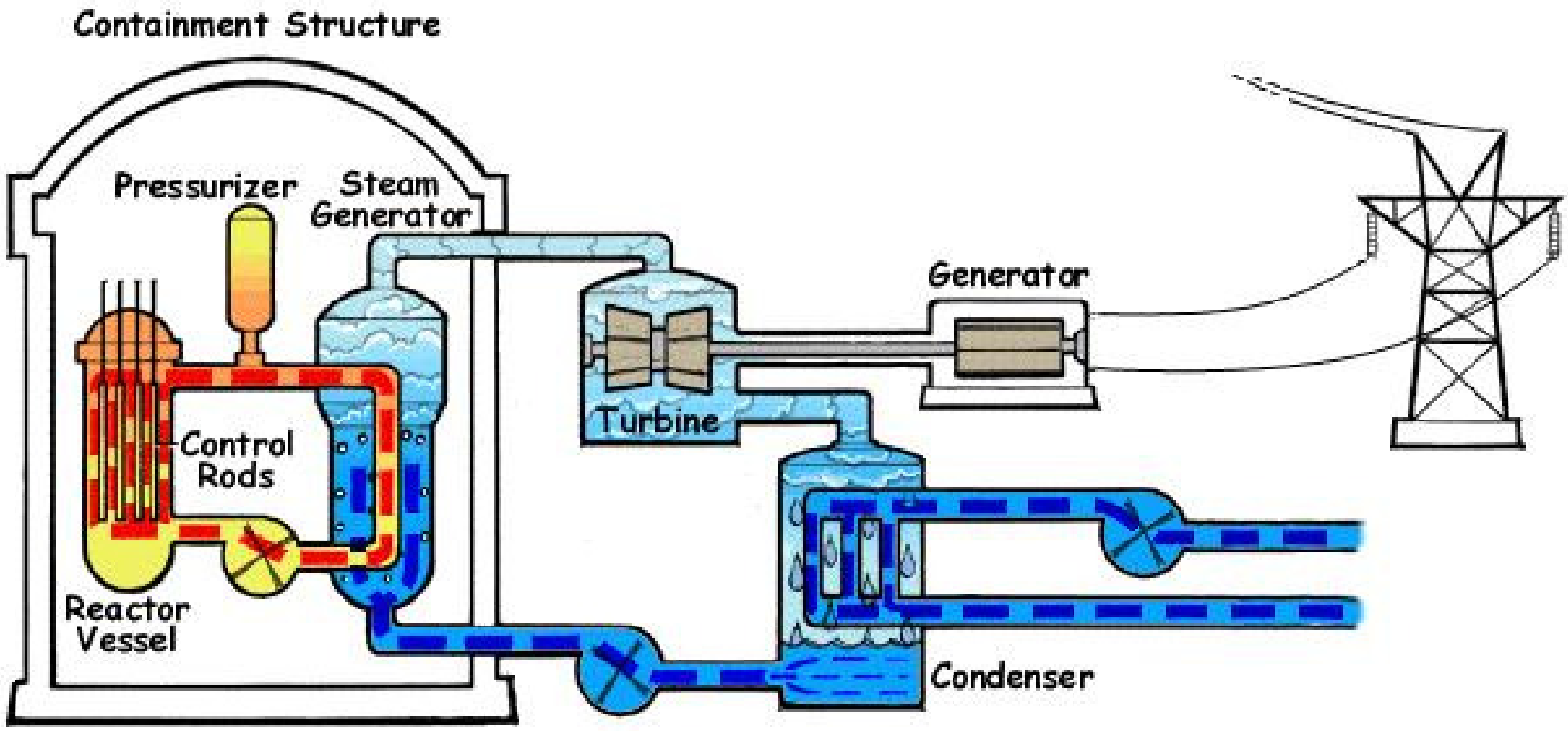
La mappa illustra le zone europee maggiormente colpite dall'inquinamento: la scala dei colori corrisponde al numero di mesi di vita persi da ciascun europeo rispetto a una vita possibile vivendo in aree non inquinate. La valle del Po è tra le peggiori del continente.

Il nucleare si colloca nel settore elettrico

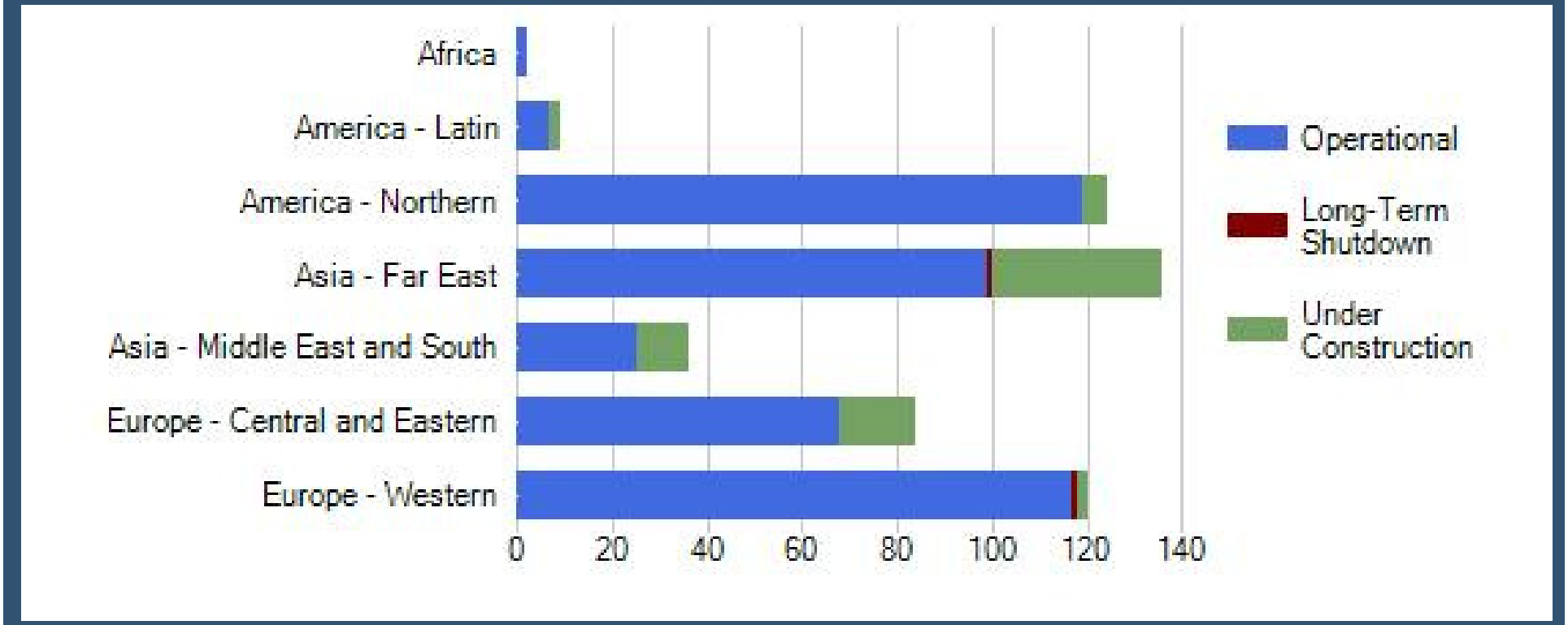
- Sostituzione delle vecchie centrali nucleari a olio e a carbone
  pianificazione delle nuove costruzioni con nuove tecnologie
- Competitivià economica
  debole dipendenza del costo del kWh nucleare dal costo del combustibile
- Diversificazione degli approvvigionamenti
  fornitori diversi da quelli degli idrocarburi, possibilità di scorte a lungo termine
- Impegni ambientali
  la fonte nucleare non emette CO_2, SO_x, NO_x, Hg, ecc.

I REATTORI PIÙ DIFFUSI SONO I PWR E BWR

funzionano come le centrali termoelettriche, ma è il reattore nucleare che funge da «caldaia» per generare vapore



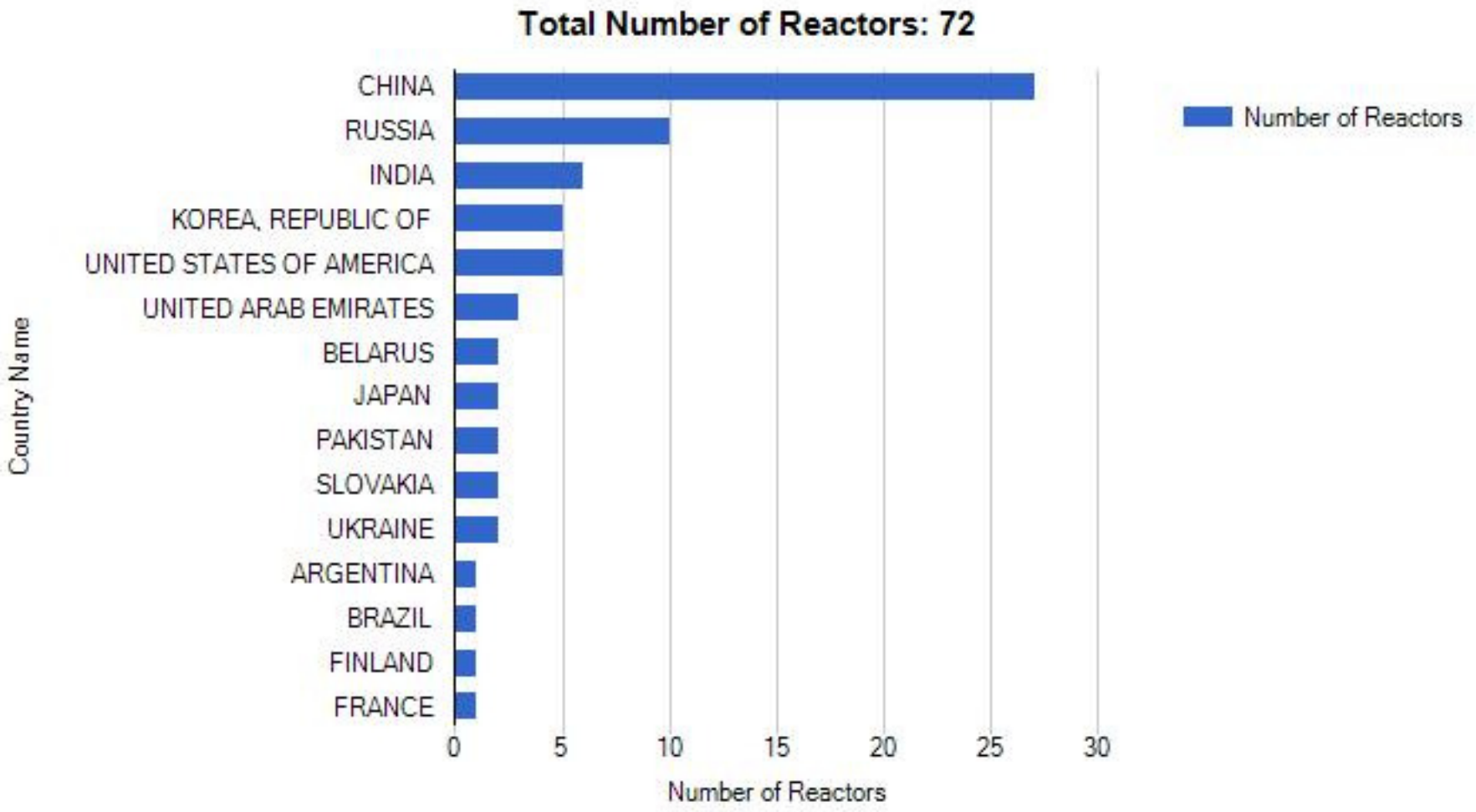
DOVE SI SVILUPPA IL NUCLEARE



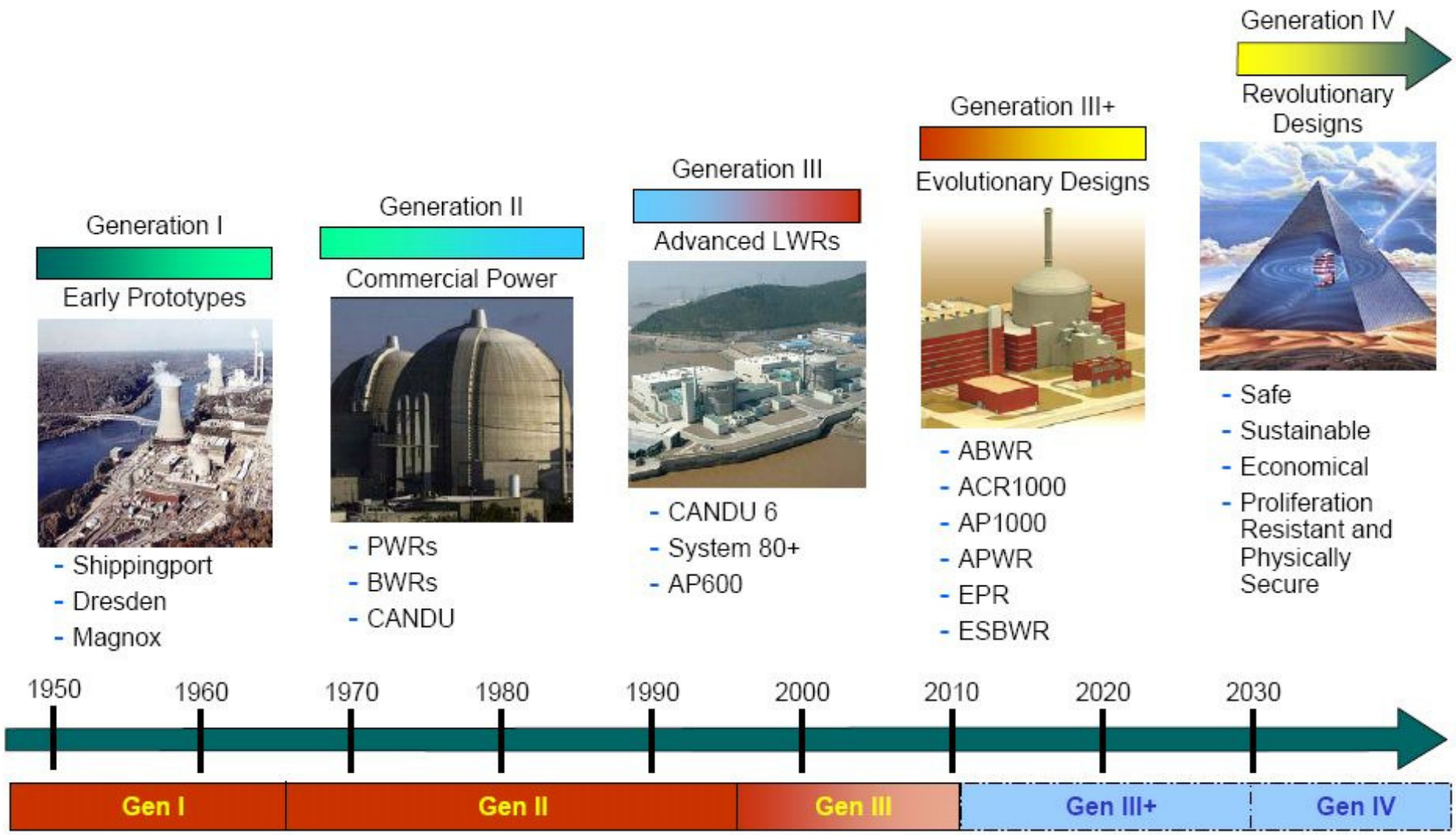
437 reattori in esercizio = 375 GWe di potenza

72 reattori in costruzione = 68 GWe di potenza

I REATTORI IN COSTRUZIONE



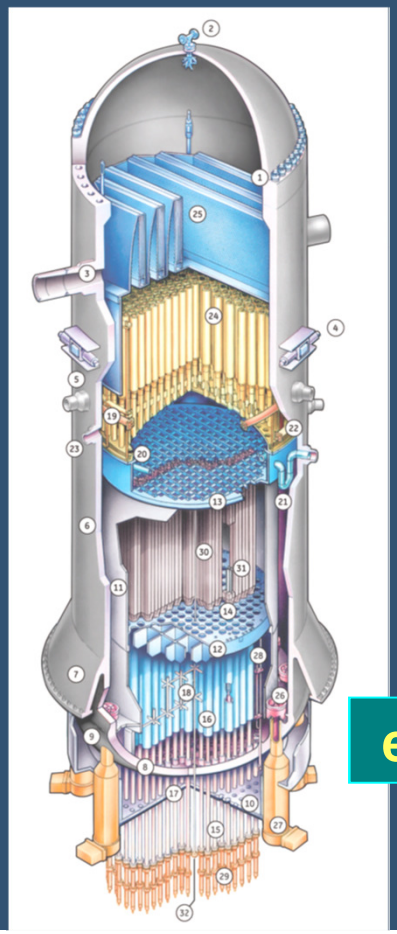
Attraverso generazioni di impianti



I REATTORI ATTUALMENTE DISPONIBILI SONO III / III+

EPR AREVA da 1600 MWe, AP1000 Westinghouse da 1100 MWe, VVER Gidropress da 1000 MWe

esempi di PWR



esempio di BWR

ABWR General Electric da 1400 MWe

Costi dell'energia elettrica con varie fonti

Fonte energetica	LCOE (€/MWh)	Mix Italia %	Mix UE27 %
Carbone	53-65	15	26
Gas	70-86	43	23
Idroelettrica	60-380	14	10
Eolica	102-152	4,5	6,5
Biomasse	129-276	3,0	3,0
Termovalorizzatori	47-118	1,2	0,2
Fotovoltaica	150-329	6,3	1,5
Geotermica	51-144	2,0	0,2
Nucleare	66-72	-	27
Olio e altri combustibili	≈ 70*	11	2,6
Costo medio di generazione	-	74 -148	69–120
Prezzo medio dell'energia elettrica	-	151-274	116–206
Incremento medio costo generazione-prezzo	-	≈ 91%	≈ 70%

(Elaborazione su dati IEA 2009 e Eurostat 2012)

Il problema della sicurezza

La pur bassissima probabilità di incidente grave resta tuttavia una caratteristica che viene percepita...

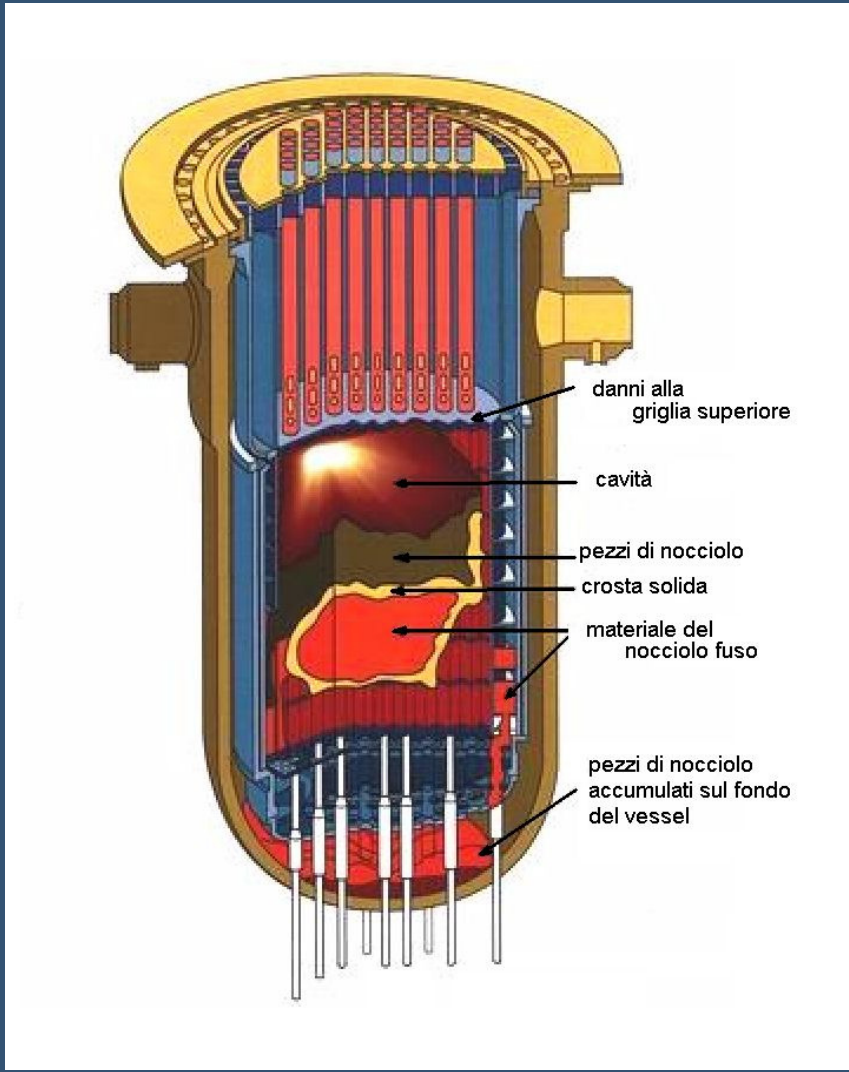
quantitativamente dagli addetti ai lavori

che verificano l'adeguatezza di architetture impiantistiche e sistemi

non dice nulla o crea timori nella gente comune

che percepisce il dato come un'eventualità possibile

Three Mile Island (1979): la sicurezza è anche nel progetto



fusione di gran parte del nocciolo

impatto radiologico modesto e nessuna contaminazione della zona grazie al contenitore di sicurezza

Chernobyl (1986): la sicurezza ignorata

esplosione reattore, fusione nocciolo e incendio

ha scarsa rilevanza per la sicurezza degli impianti moderni (cattivo progetto, norme di sicurezza violate, nessun edificio di contenimento)

Due tecnici della centrale uccisi dall'esplosione

28 morti tra i soccorritori entro quattro mesi dall'incidente e altri 19 negli anni successivi

Circa 135 mila abitanti delle aree circostanti costretti ad abbandonare la zona

Incremento di casi di tumore alla tiroide nel nord dell'Ucraina e in Bielorussia

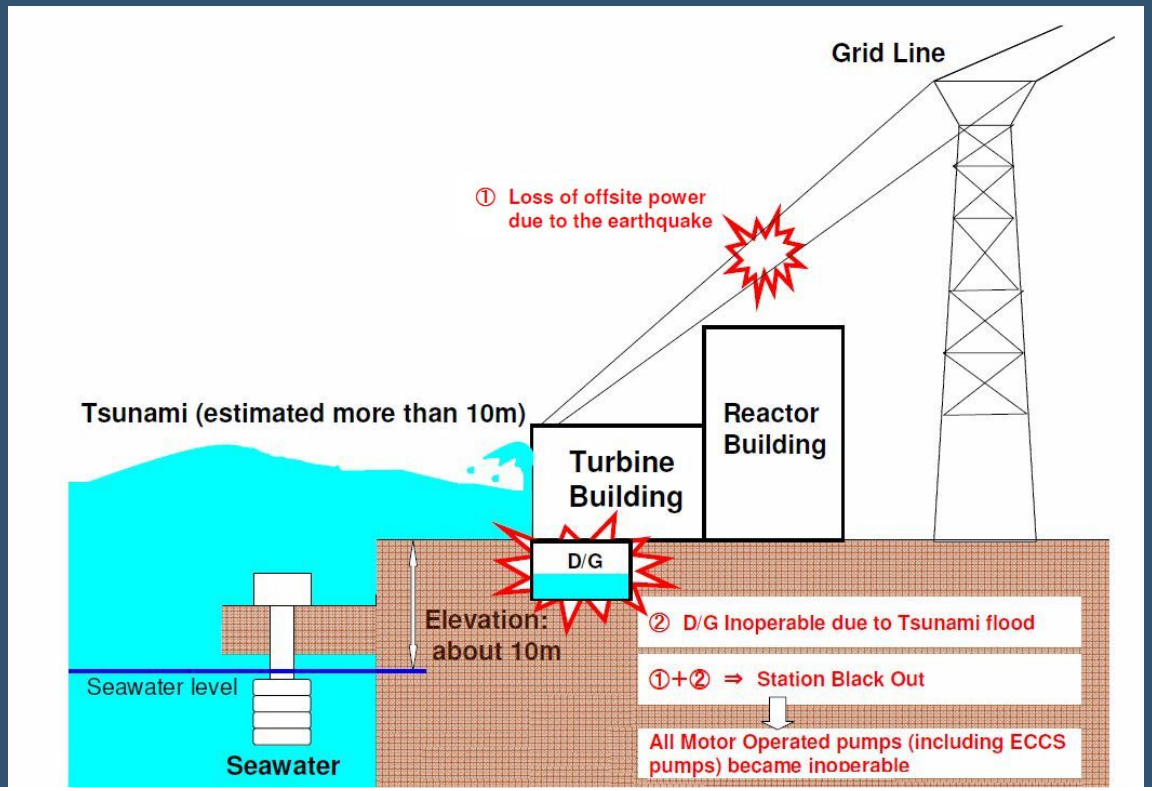
Fukushima (2011): un durissimo test la sicurezza nucleare

magnitudine 9 Richter (30000 volte quello del 2009 a L'Aquila) tsunami con onde superiori ai 10 metri

scenario catastrofico al contorno dell'impianto

rete elettrica e alimentazione messi fuori uso da sisma e tsunami

fusione di 3 reattori



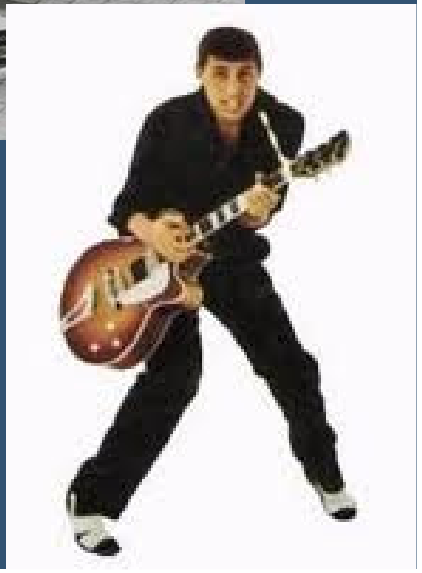
DOSI RISCONTRATE IN GIAPPONE DOPO L'INCIDENTE

I morti e i dipersi dovuti a terremoto e tsunami sono stati oltre 18000, oltre 6000 i feriti

l'esposizione alle radiazioni più elevata è stata nell'area di Fukushima nel primo anno ed è di circa 12-25 mSv: simile a quella dovute ad applicazioni mediche

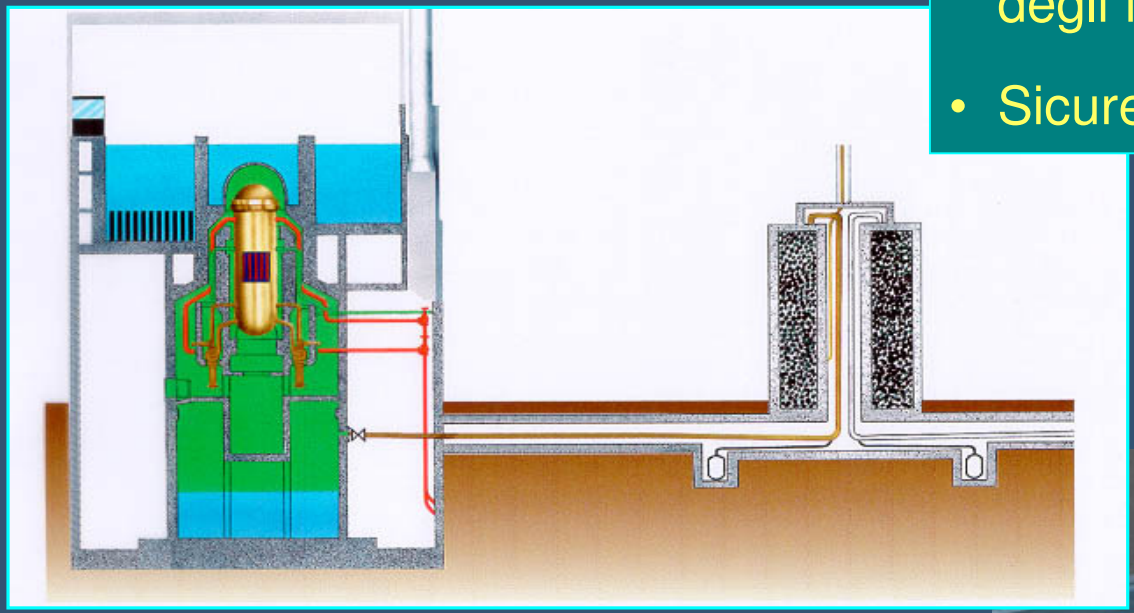
causa o pratica medica	dose equivalente
fondo naturale di radiazione (media)	2,4 mSv/anno
massima dose di fondo naturale (Ramsar valore medio)	10,2 mSv/anno
radiografia convenzionale	< 1 mSv
tomografia computerizzata	2 ~ 15 mSv
PET, tomografia ad emissione di positroni	5 ~ 20 mSv
scintigrafia	2 ~ 10 mSv
radioterapia	5 ~ 40 mSv

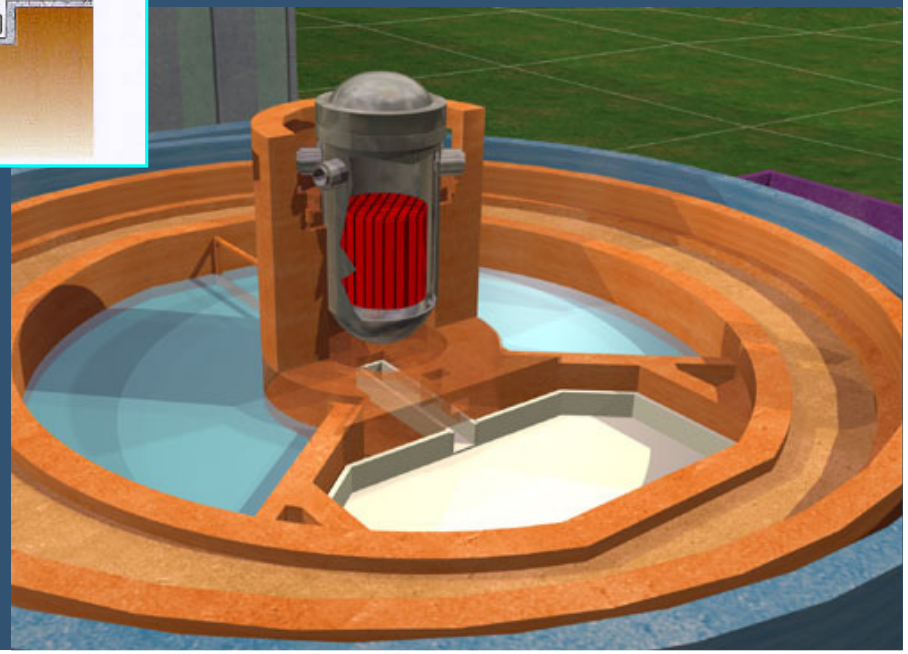
IL PROGETTO DELLA CENTRALE È DEGLI ANNI '60



I DUE FILONI PRINCIPALI DI STUDI E RICERCHE...

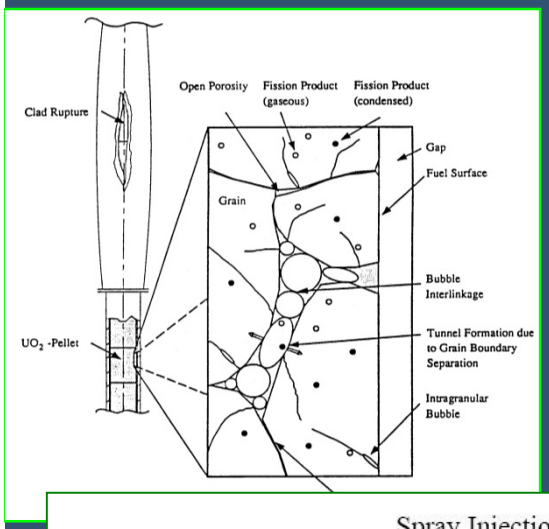
- Miglioramento della sicurezza degli impianti attuali
- Sicurezza dei progetti innovativi

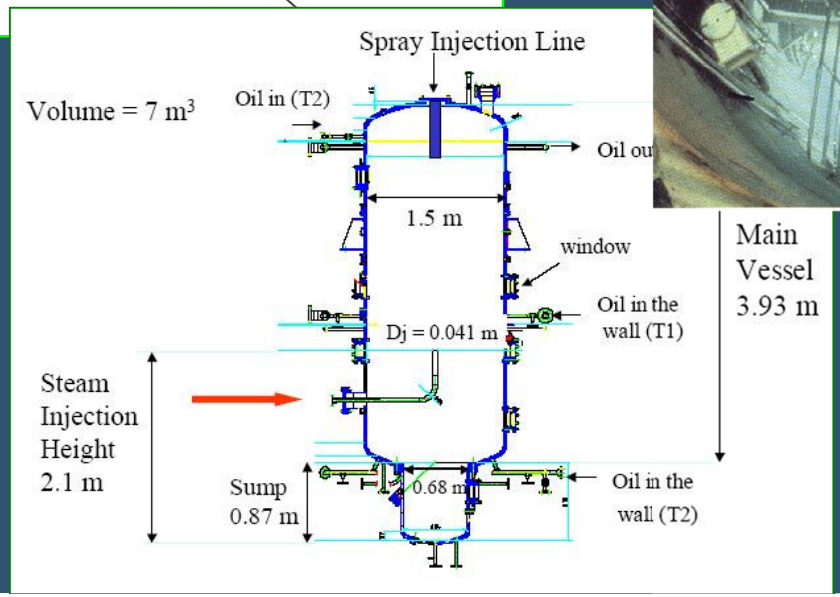


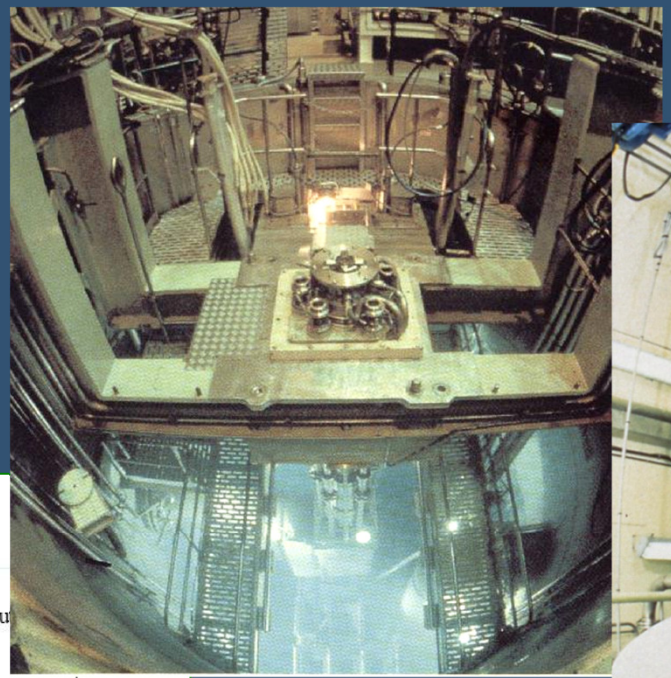


Studi ed esperimenti per oltre 30 anni

Sul comportamento di reattori, circuiti e sistemi







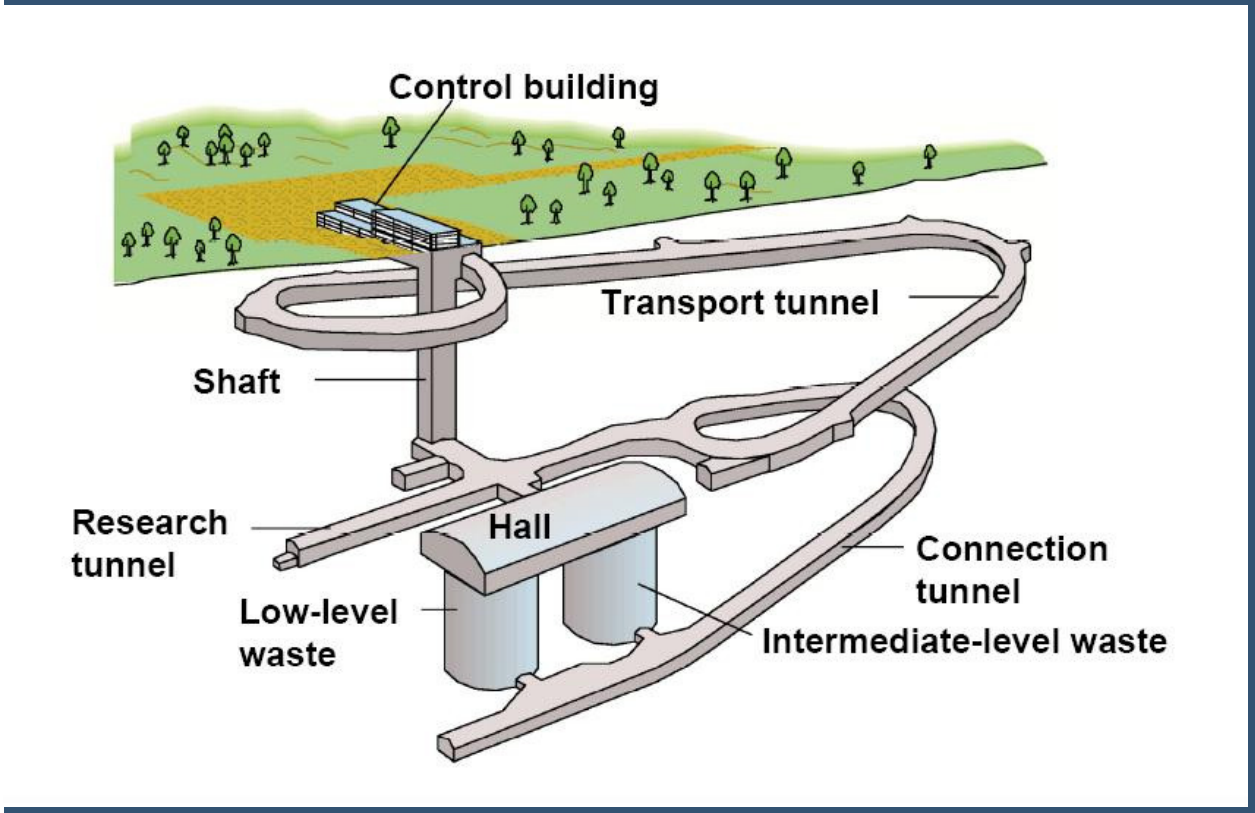
Studi ed esperimenti per oltre 30 anni

Sul comportamento delle strutture...

Scorie radioattive

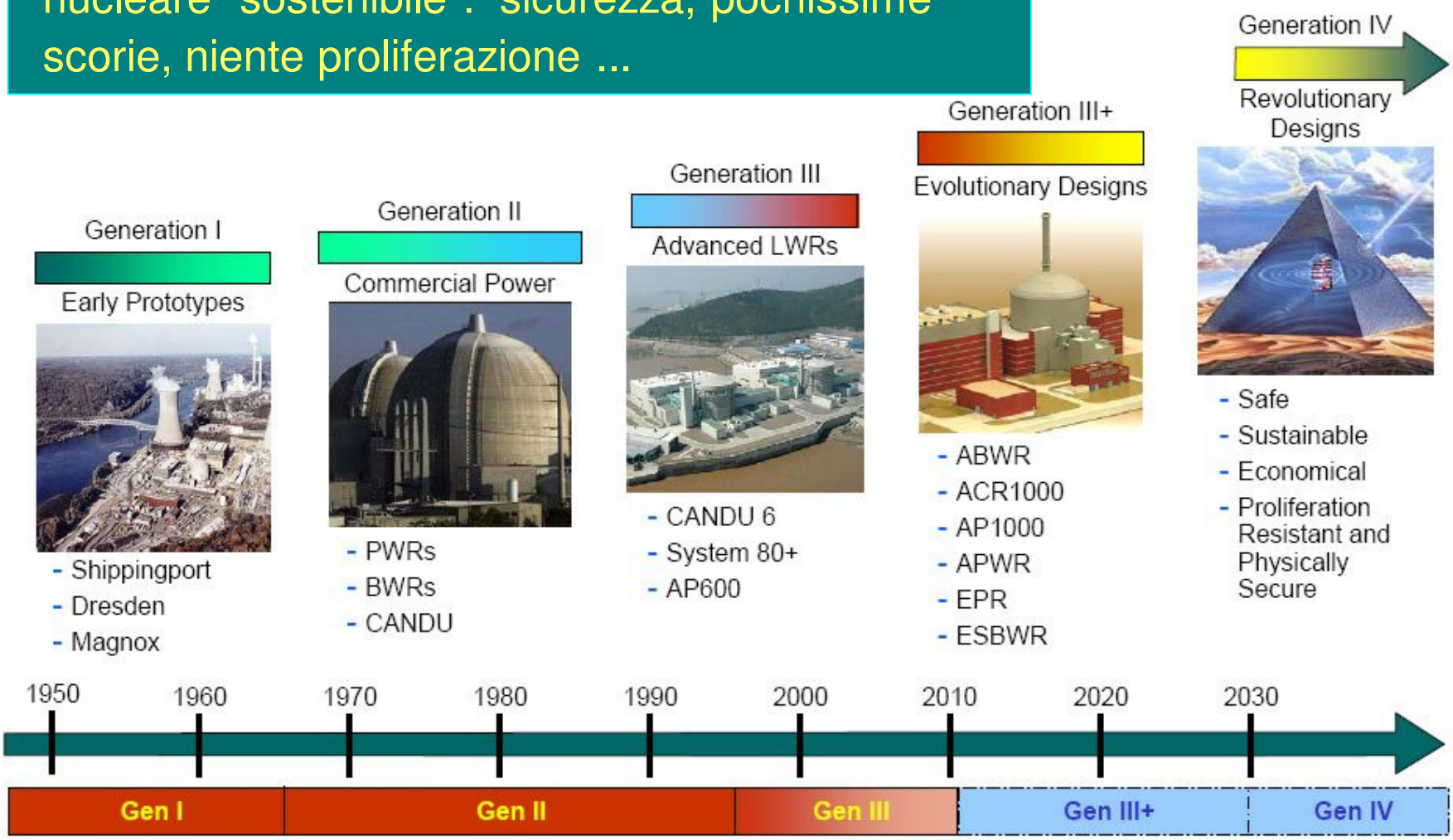
1 reattore da 1000 MWe ogni anno produce:

- 100 - 300 m^3 di rifiuti a bassa-media attività $\rightarrow$ **riducibili di volume**
- circa 5 m^3 di combustibile esaurito $\rightarrow$ **riducibili a qualche kg**

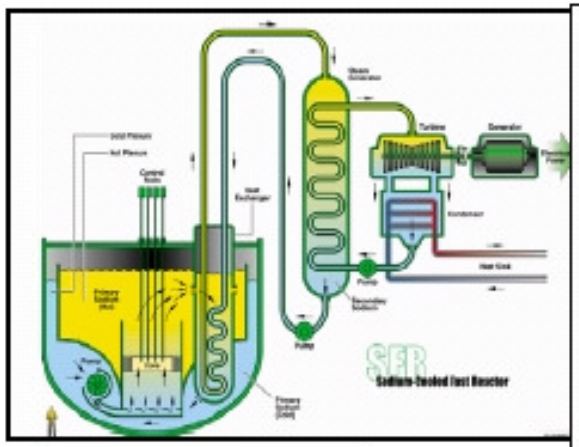


Verso i reattori di IV Generazione

la ricerche hanno l'obiettivo di rendere la fonte nucleare "sostenibile": sicurezza, pochissime scorie, niente proliferazione ...

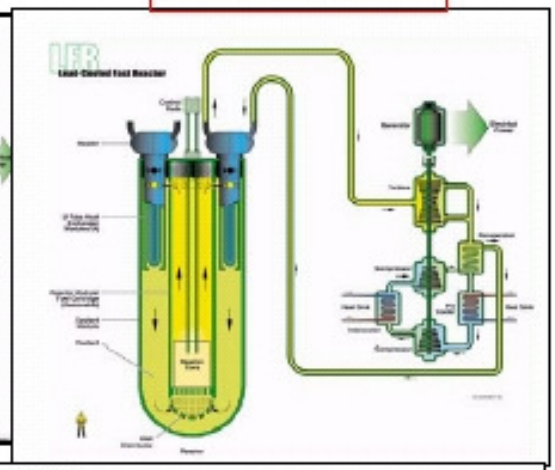


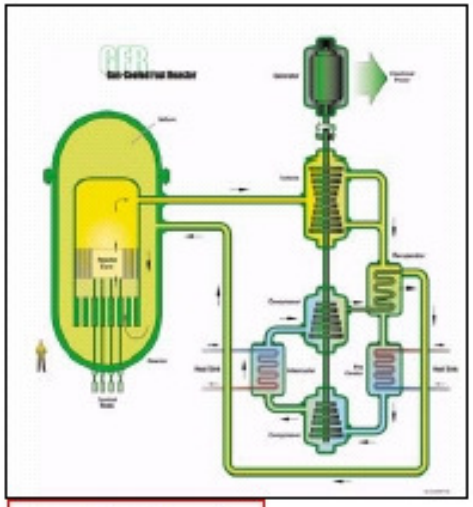
IV Generazione: i 6 concetti selezionati



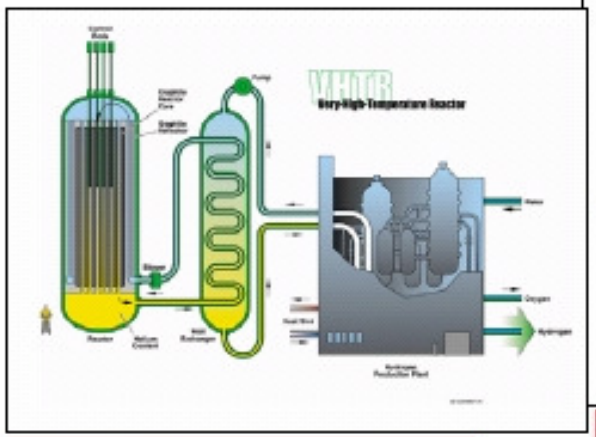
Sodium Fast Reactor

Lead Fast Reactor

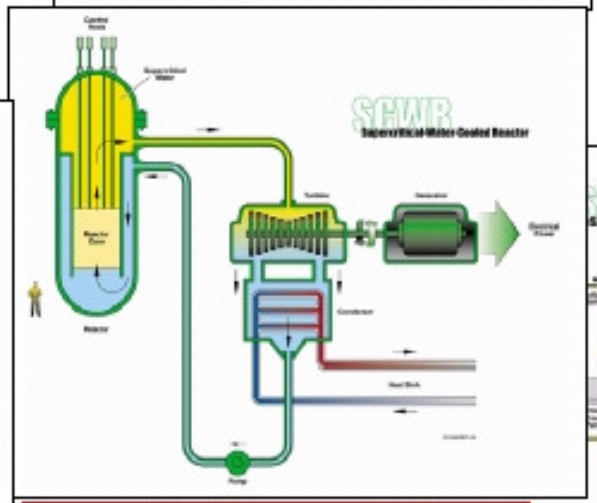




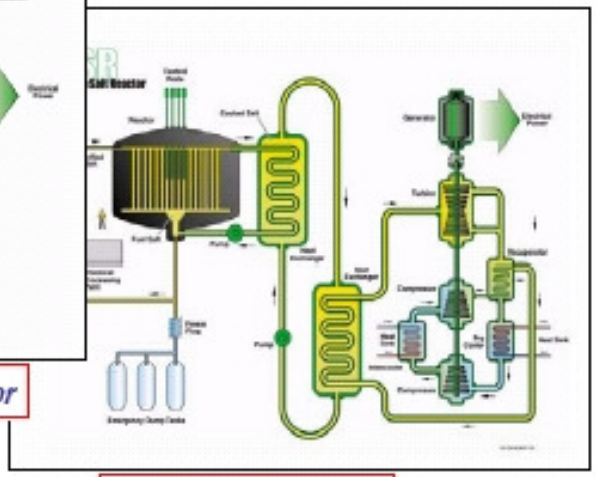
Gas Fast Reactor



Very High Temperature Reactor



Supercritical Water-cooled Reactor

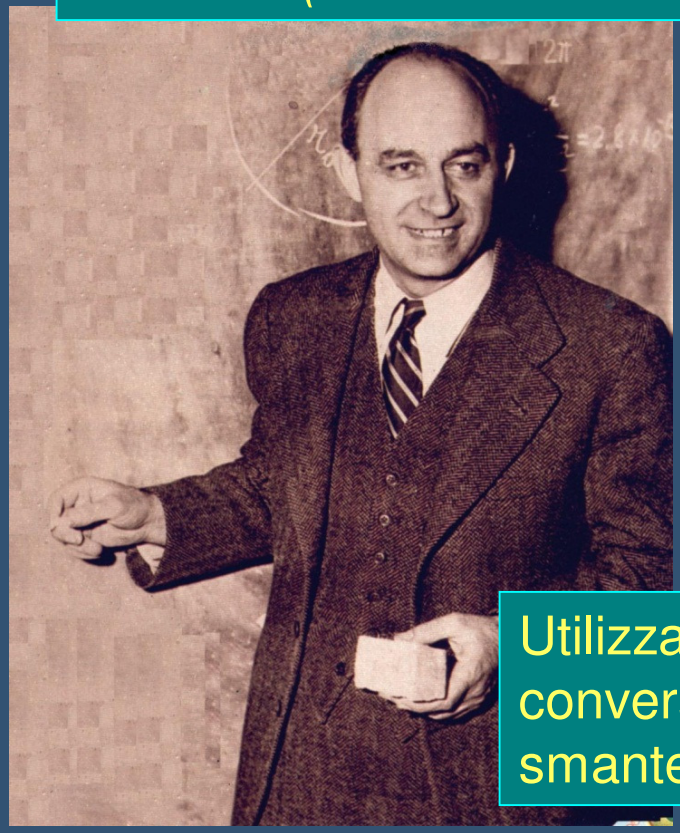


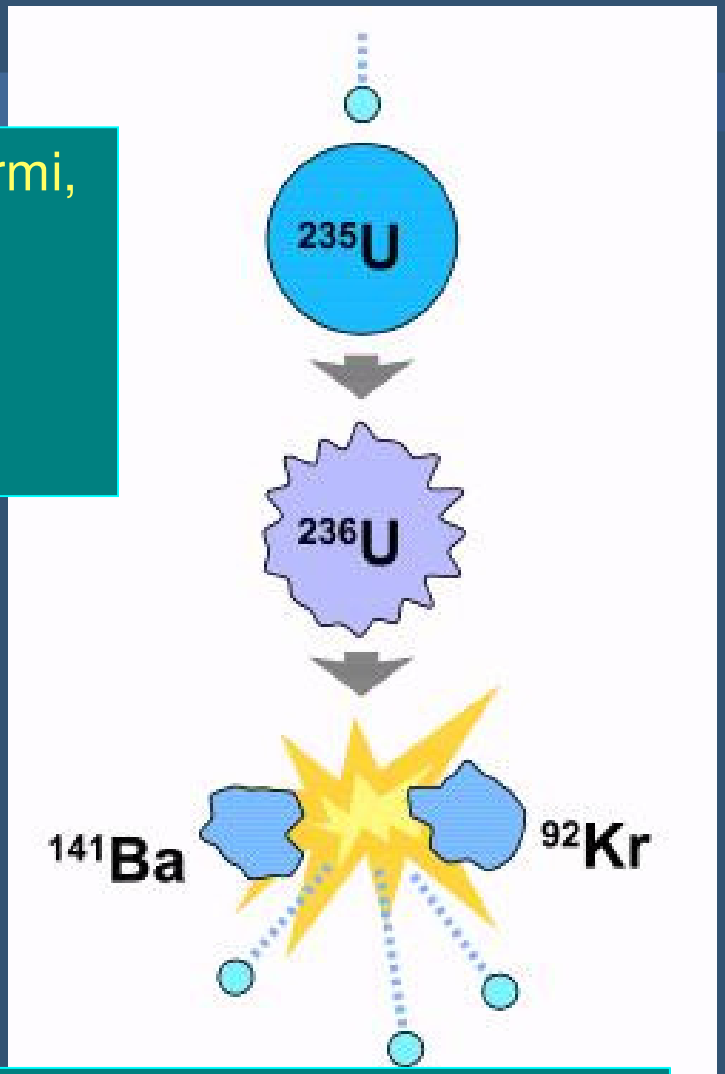
Molten Salt Reactor

Principio di funzionamento

sono sempre un'evoluzione della pila di Fermi, e utilizzano quindi la reazione di **fissione** a catena prodotta da neutroni:

- *lenti (reattori «termici»)*
- *veloci (reattori «veloci»)*



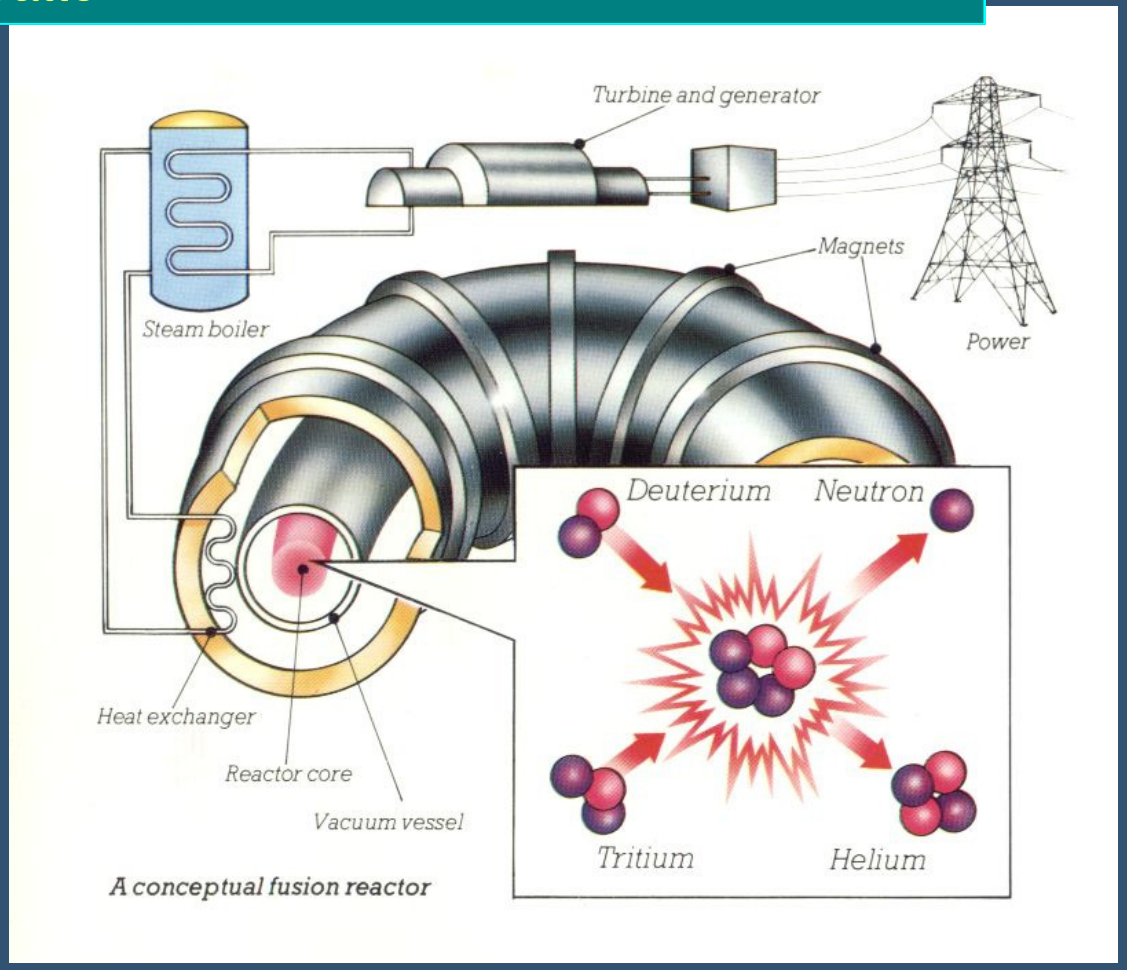


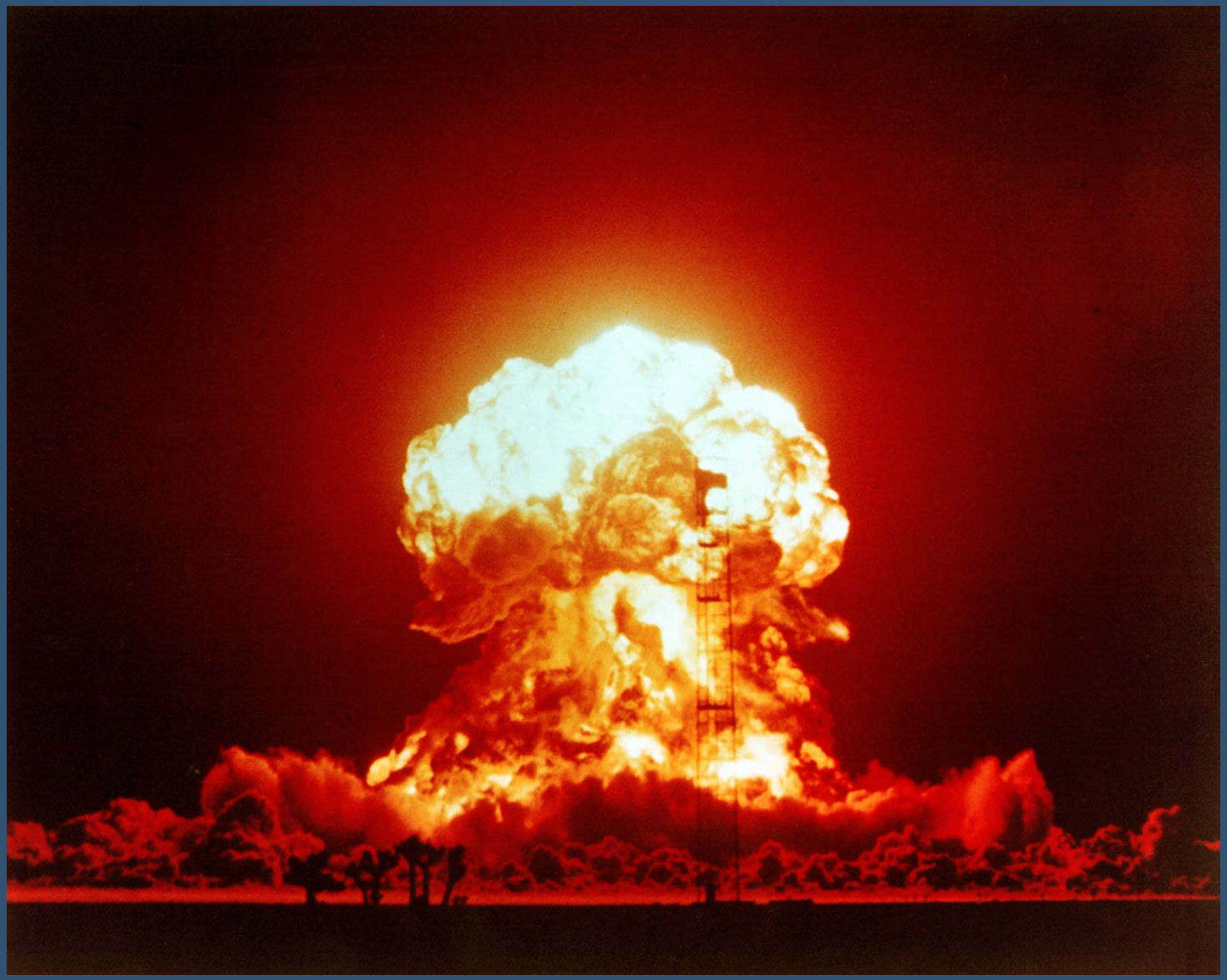
Utilizzano l'isotopo fissile U^{235}, il Pu generato dalla conversione del U^{238}, nonché i recuperi di Pu dallo smantellamento delle testate atomiche

Le prospettive della fusione nucleare

è la reazione che alimenta le stelle

non esistono ancora i reattori



A conceptual fusion reactor

Il peccato originale dell'energia atomica