

Viktor Bryukhanov e Hans Blix

sicurezza ed emergenze nucleari

La centrale di Chernobyl

Sede: Pripyat, Ucraina a 16 km dal confine con Bielorussia, 110 km nord di Kiev

4 reattori RBMK (Reaktor Bol'shoi Moshchnosty Kanal'nyi) da 1GWe (3,2 GWt)

R1 1977, R2 1978, R3 1981, R4 1983, R5 e R6 in costruzione

vantaggi dei reattori RBMK

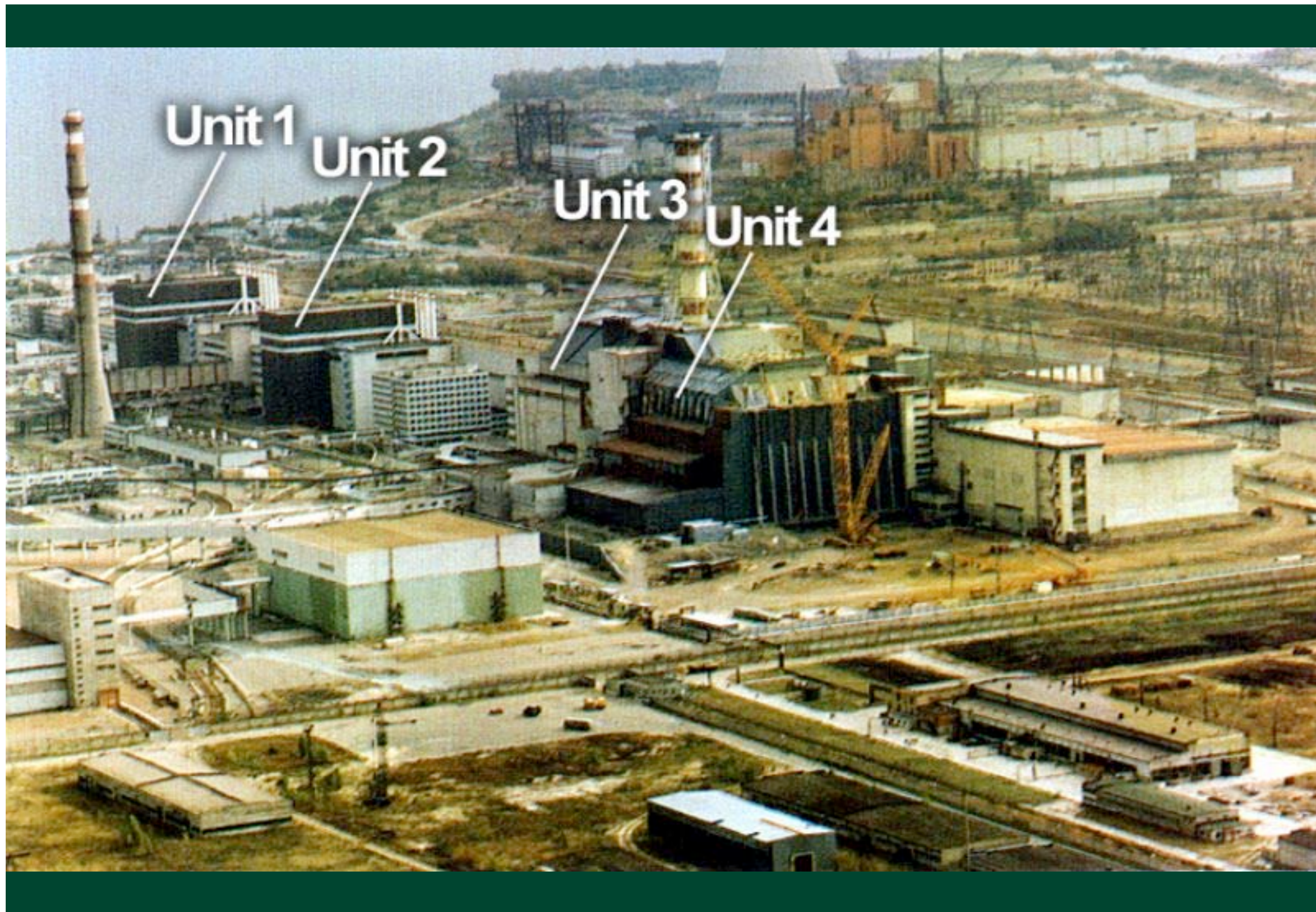
assenza di nuovi processi tecnologici nella costruzione

possibilità di incrementare la potenza con semplice aggiunta di elementi modulari

carico e scarico del combustibile con reattore in funzione e quindi la possibilità di migliori prestazioni produttive.

Sistemi di sicurezza dei RBMK:

- gli ambienti contenenti la pompa di circolazione principale ed il sistema refrigerante di emergenza, come pure i separatori di vapore, possono restare ad alte sovrappressioni (fino a 4,5 bar);
- nel caso di rottura di un tubo a pressione, il vapore e l'idrogeno che si possano formare vengono raccolti in un sistema chiuso d'acciaio in grado di sopportare alte sovrappressioni;
- i sistemi di controllo che segnalano eventuali situazioni di rischio intervengono automaticamente a spegnere il reattore in caso di necessità.



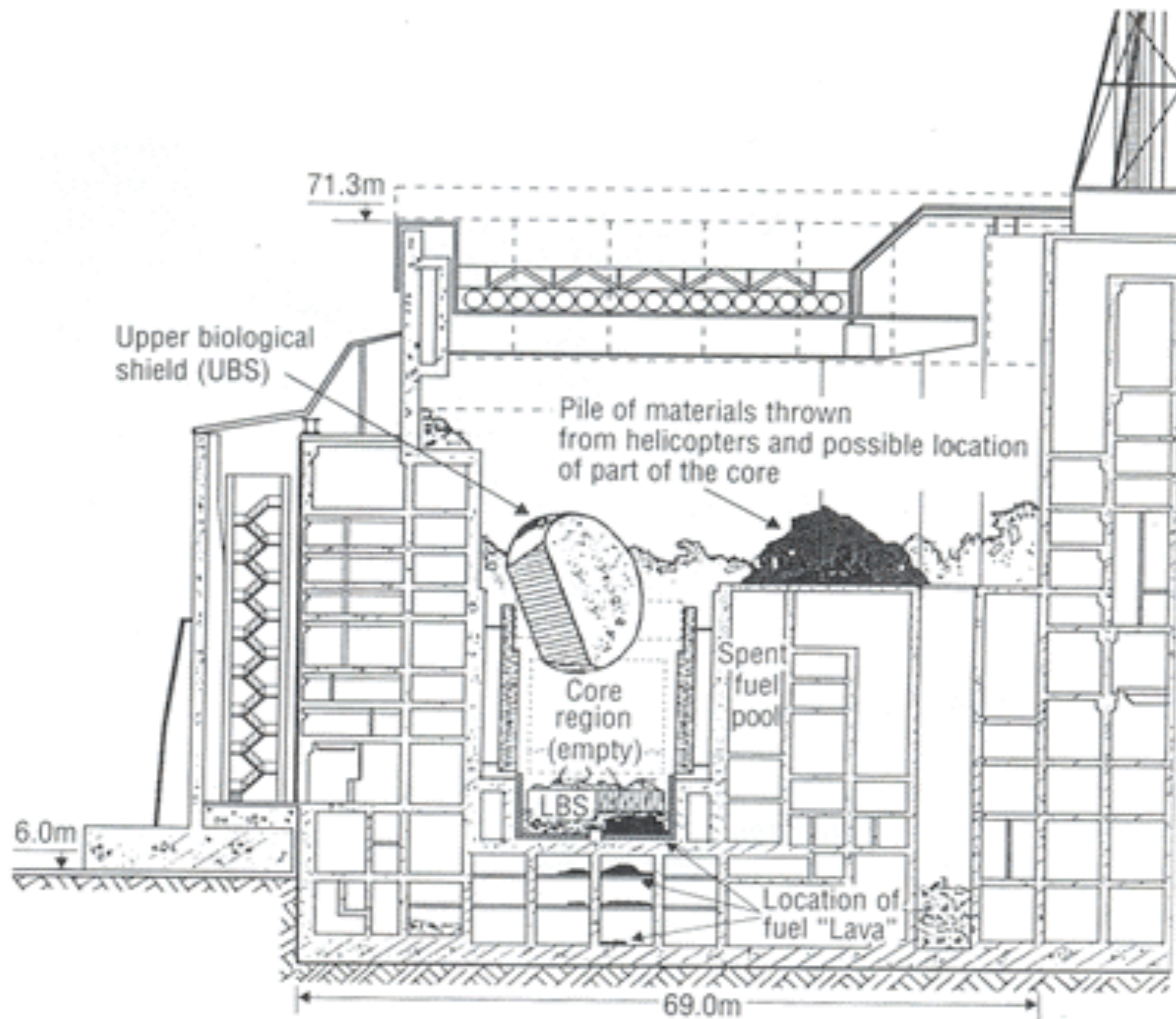




Figure 31. Radiation Hotspots Resulting From the Chornobyl' Nuclear Power Plant Accident

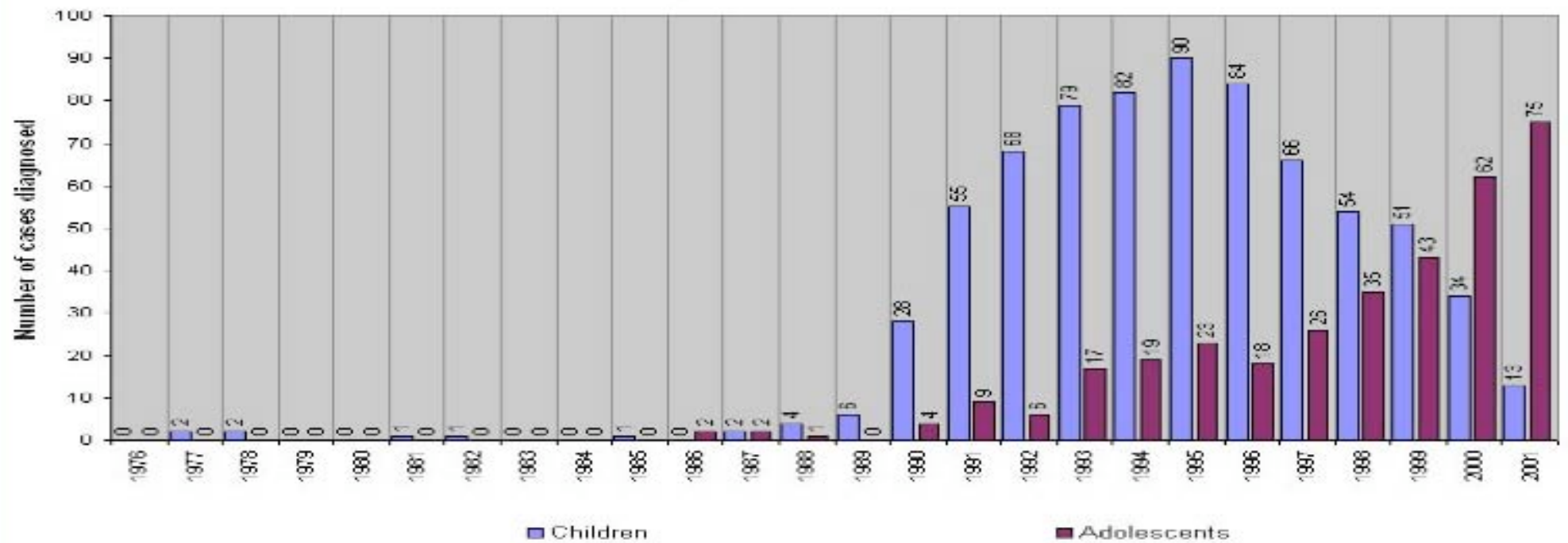




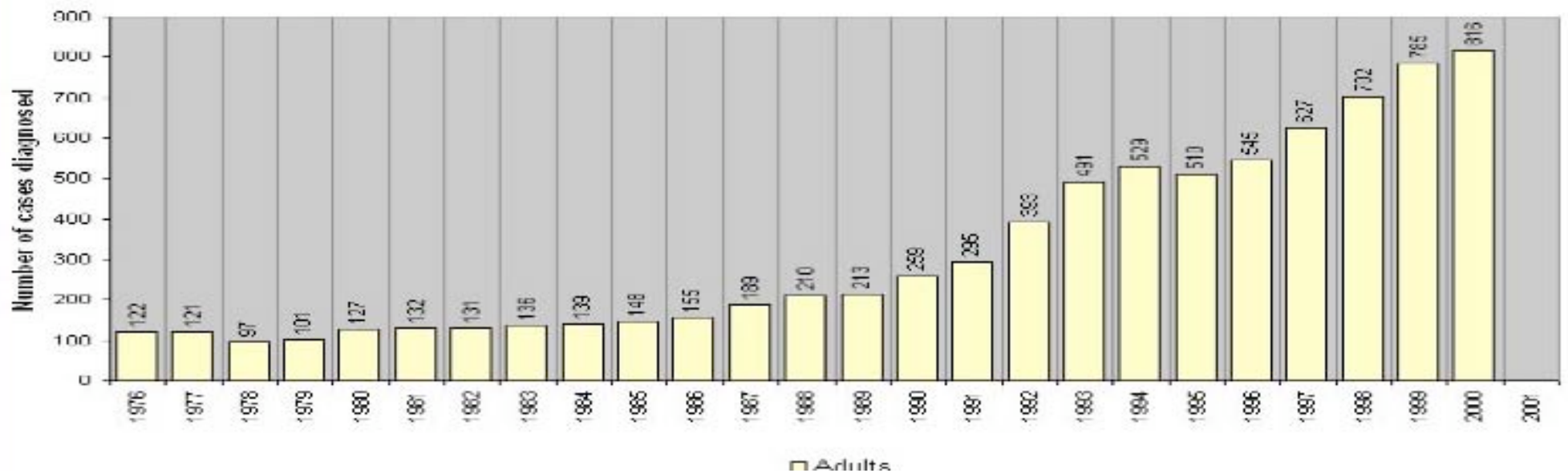




Cancer of the thyroid in children and adolescents



Cancer of the thyroid in adults







Viktor Bryukhanov

- direttore della centrale di Chernobyl
- non qualificato per dirigere un impianto nucleare
- permette la violazione di tutte le norme di sicurezza
- per tutta la notte nega la distruzione del reattore
- privo di una “cultura di sicurezza”



Hans Blix

- direttore della IAEA
- ispeziona Chernobyl
- sviluppa il concetto di sicurezza nucleare a livello internazionale
- promuove le convenzioni di sicurezza

sicurezza nucleare

“il raggiungimento di adeguate condizioni operative, la prevenzione di incidenti o la mitigazione delle conseguenze di un incidente, tali da fornire la protezione da rischi radiologici al personale sul sito, al pubblico e all’ambiente”

IAEA, Nuclear Safety Standards

Sicurezza

- “cultura di sicurezza nucleare”
- normativa internazionale
- reattori con sicurezza passiva
 - # terza generazione EPR/HTR
 - # quarta generazione
- ciclo del combustibile







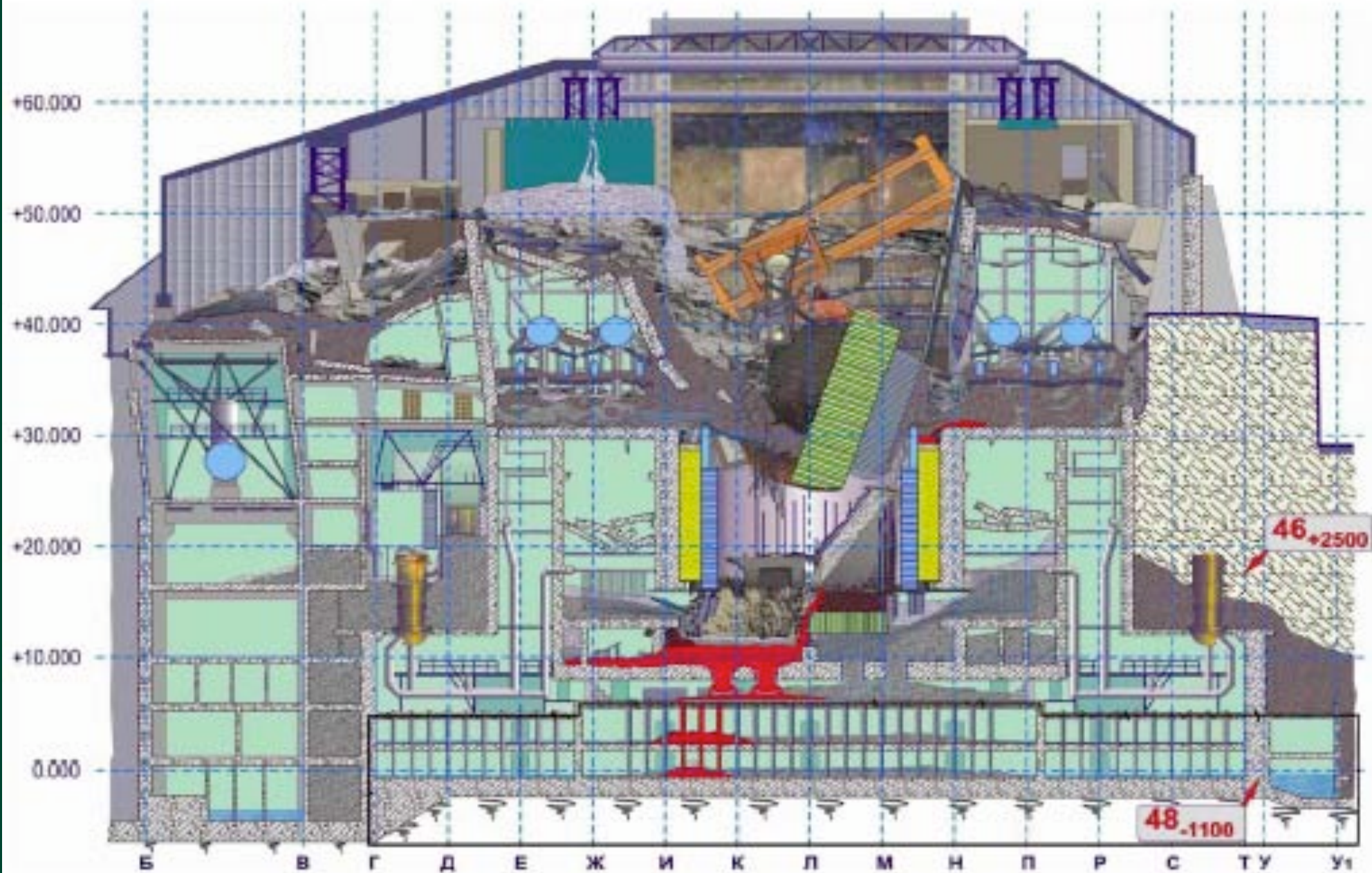


Figure 4. Sectional view of the Shelter (south-north). Solidified LFCM flows are indicated in red.





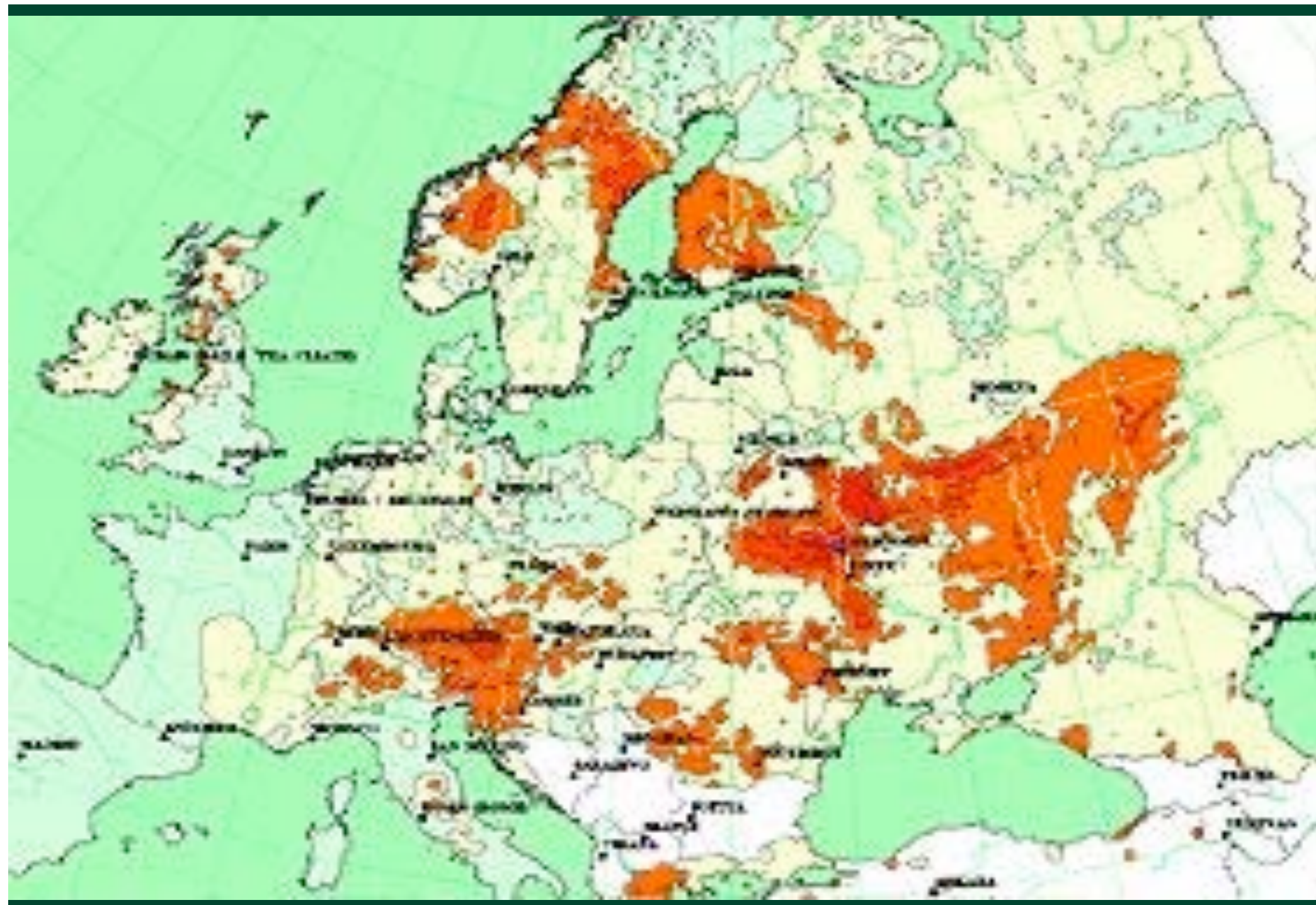
Radiazione emessa

fra il 5% e 20% quella presente nel reattore
400 volte quella di Hiroshima
1000 volte meno degli esperimenti atomici
krypton e xenon emessi come gas
iodio come vapore e particelle solide
cesio e tellurio come aerosol

tempi di dimezzamento

iodio-131 8 giorni

stronzio-90 e cesio-137 circa 30 anni



Disastro a molte facce:

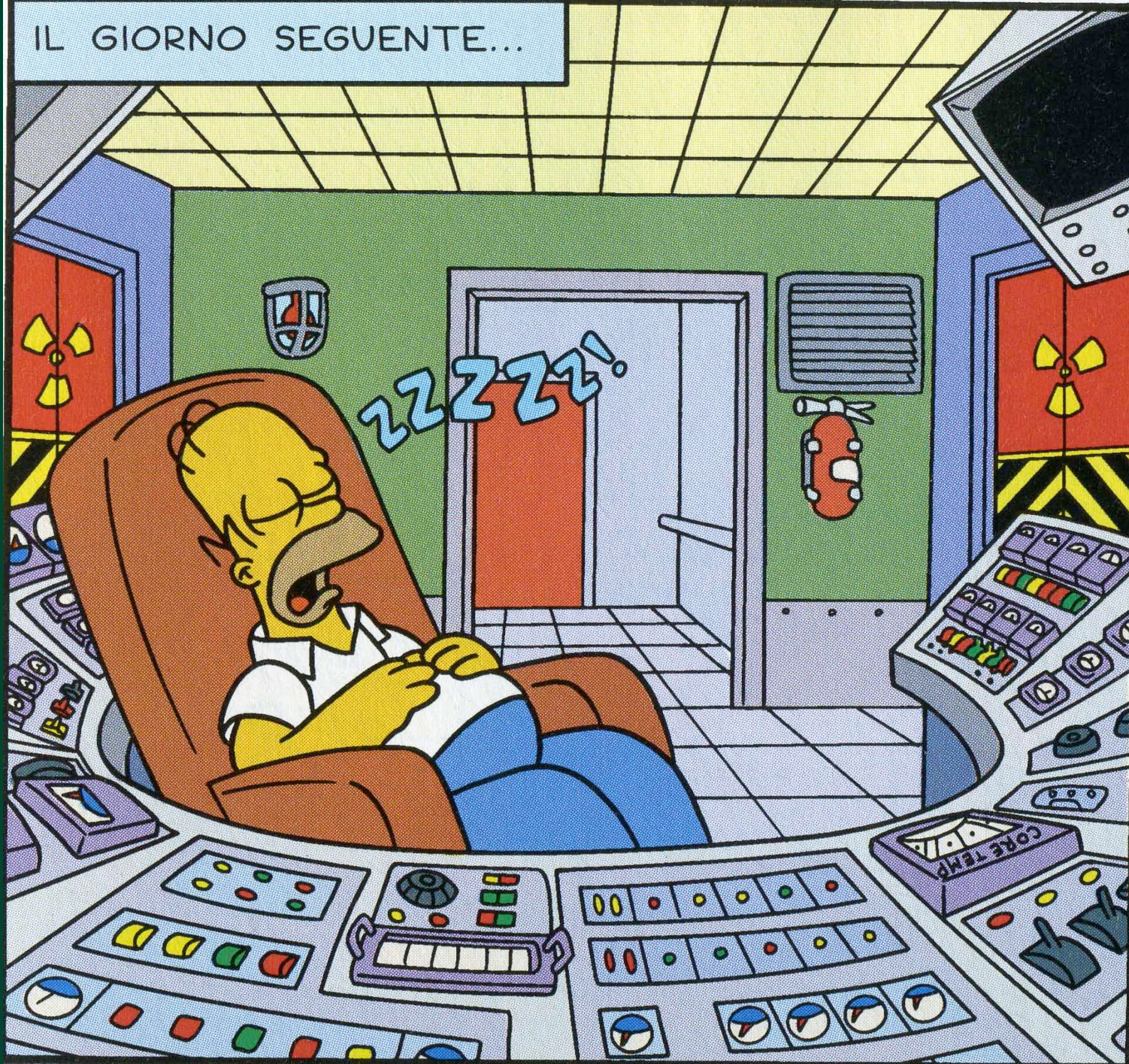
- sanitario
- ambientale
- economico
- sociale



cause: il fattore umano

- il personale che dirigeva l'impianto e condusse le operazioni non era informato dei problemi strutturali del reattore
- i dirigenti non erano qualificati per gestire grandi reattori nucleari
- scarso controllo da parte di enti preposti
- scarso addestramento del personale
- gli operatori procedettero con scarsa cura e violarono le procedure d'impianto.
- insufficiente comunicazione fra gli operatori ed i responsabili della sicurezza
- gli operatori pensarono molti sistemi di sicurezza del reattore

IL GIORNO SEGUENTE...



cause: la progettazione

- instabilità a bassa potenza - contro l'intuizione e ignorata dal personale
- sensibilità positiva al vuoto
- la particolare forma delle barre: appena inserite a causa della punta di grafite e la parte cava aumentano la reattività anziché diminuirla, anche perché espellono l'acqua
 - * contro l'intuizione
 - * il personale non lo sapeva

reattori RBMK

dimensione: diametro 12m altezza 7m

moderatore: grafite (2488 blocchi)

combustibile: uranio arricchito al 2% in 1661

canali entro i blocchi di grafite

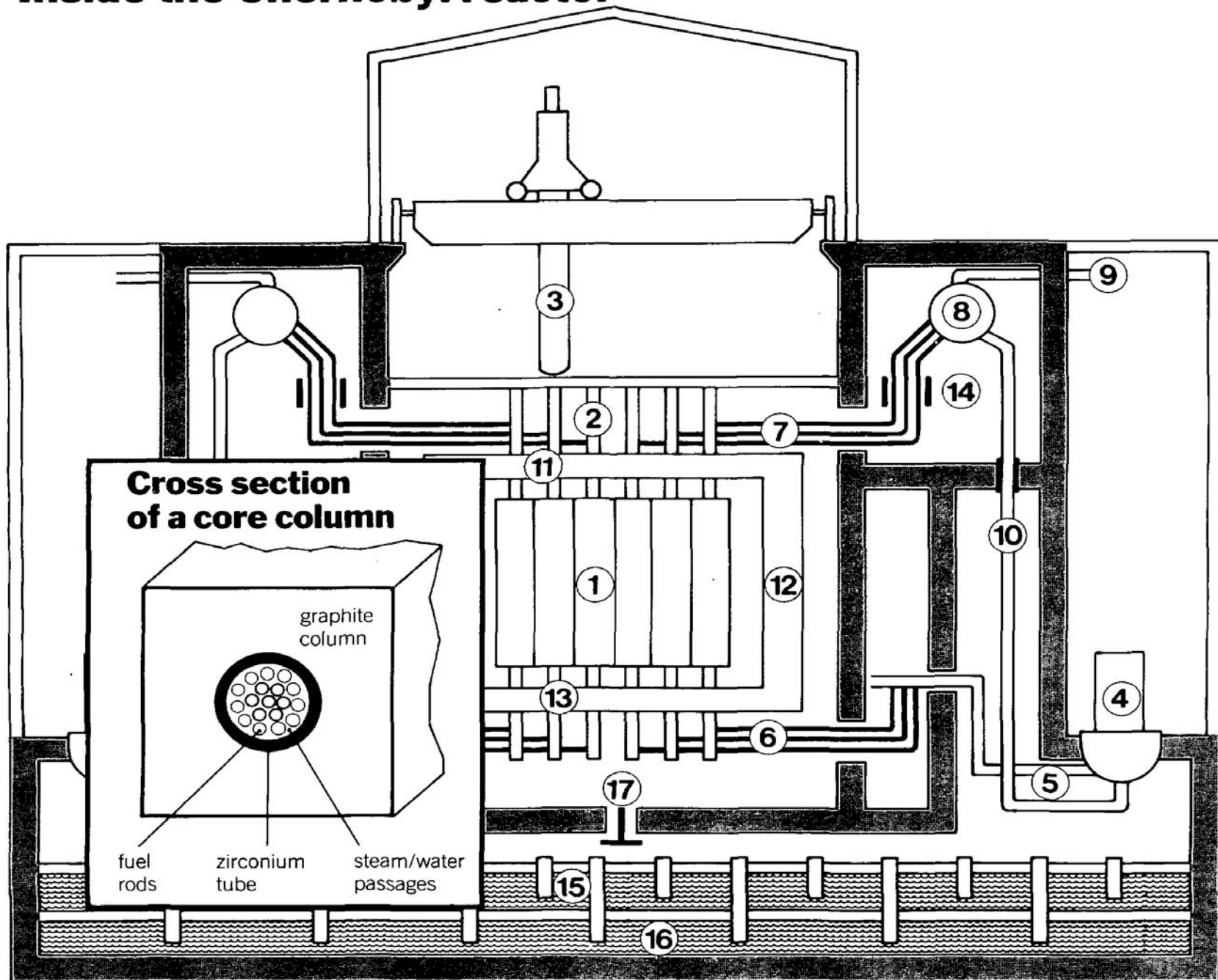
refrigerante: acqua, nei canali indipendenti

potenza: 3200 MWt

temperatura della grafite: 600 °C

**barre di controllo: 211 di carburo di cadmio,
con punta di grafite e 1 m d'acqua**

Inside the Chernobyl reactor



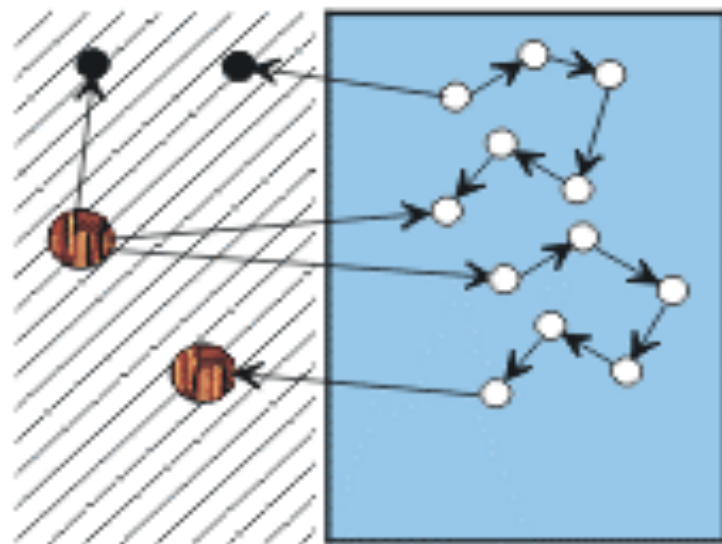
carenze dei reattori RBM

- instabilità dinamica del nocciolo (vibra!)
- limitata efficacia del sistema di protezione (insufficiente rapidità di inserzione delle barre di controllo)
- insufficienti caratteristiche della refrigerazione di emergenza (sistema complesso, insufficiente ridondanza)
- assenza di un sistema di contenimento (solo una parte dei circuiti primari è in compartimenti a tenuta)

carenze dei reattori RBMK

- mancanza di un tubo di calandra che separi il tubo col combustibile dalla grafite
- eccessiva dipendenza della regolazione e controllo dell'impianto da interventi degli operatori
- incompatibilità chimica dei materiali presenti nel nocciolo (grafite-acqua, possibilità di produzione di idrogeno)
- reazione positiva fra reattività e vapore (instabilità intrinseca)

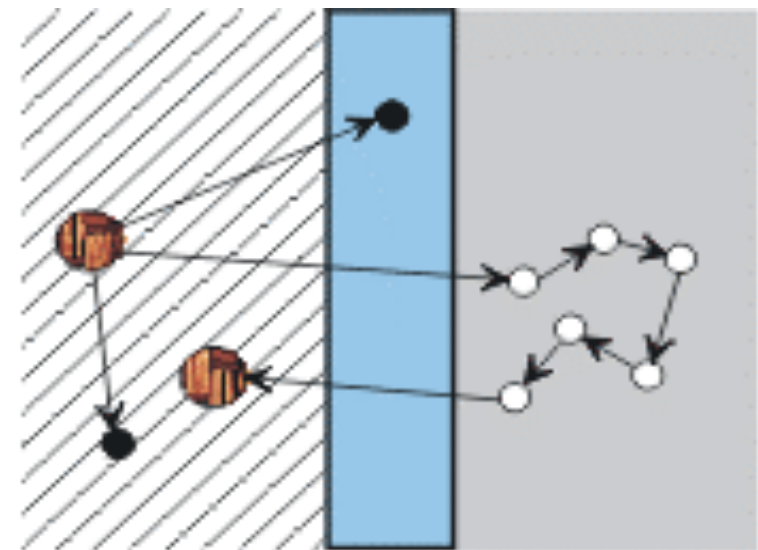
A



Uranium

Water

A

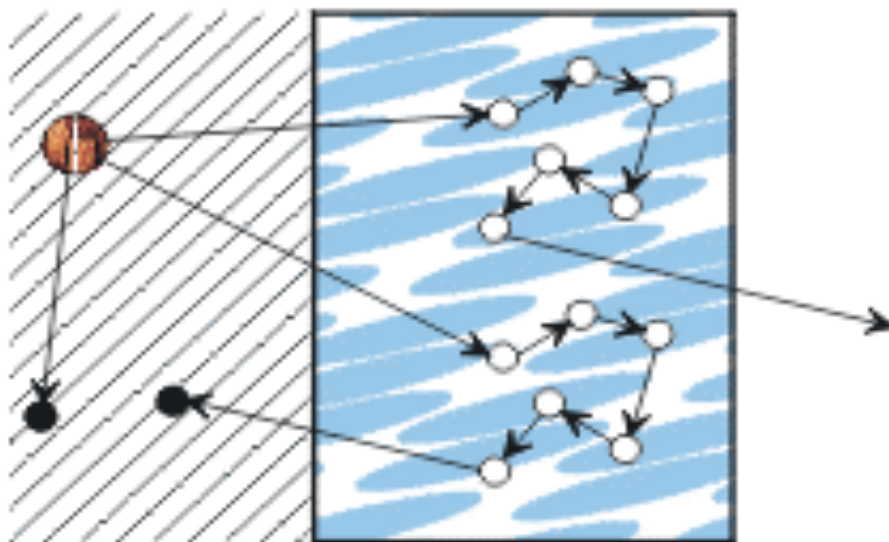


Uranium

Water

Graphite

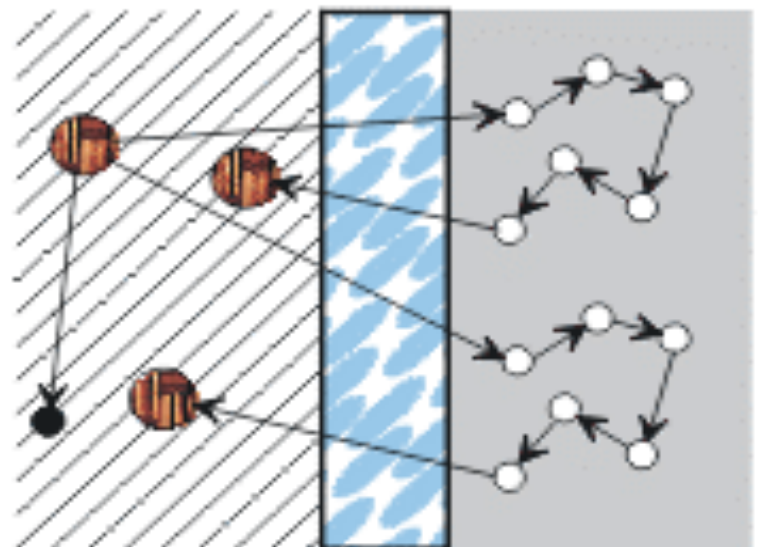
B



Uranium

Water steam

B



Uranium

Steam

Graphite

Reactors PWR and VVER

Reactor RBMK (Chernobyl)

Illusione dissolta

esistono tecnologie assolutamente sicure

Debolezze cruciali dell'industria energetica nucleare emerse da Chernobyl:

- mancanza un sistema internazionale efficace per l'attribuzione di responsabilità e la definizione di compensazioni per danni nucleari;
- inadeguatezza degli strumenti legali internazionali per garantire la sicurezza;
- debolezza delle procedure di informazione sia interna che internazionale in caso di emergenza.

Debolezze cruciali dell'industria energetica nucleare emerse da Chernobyl:

- carenza di adeguati provvedimenti scientifici, tecnici, amministrativi e legali per la sicurezza nucleare, soprattutto delle installazioni nucleari e della gestione delle scorie radioattive;**
- inesistenza di precise forme organizzative per la cooperazione internazionale in caso di emergenze radiologiche;**

incidenti in impianti nucleari

aspetti comuni:

condizioni tecniche inattese

confusione immediata

inadeguata comunicazione

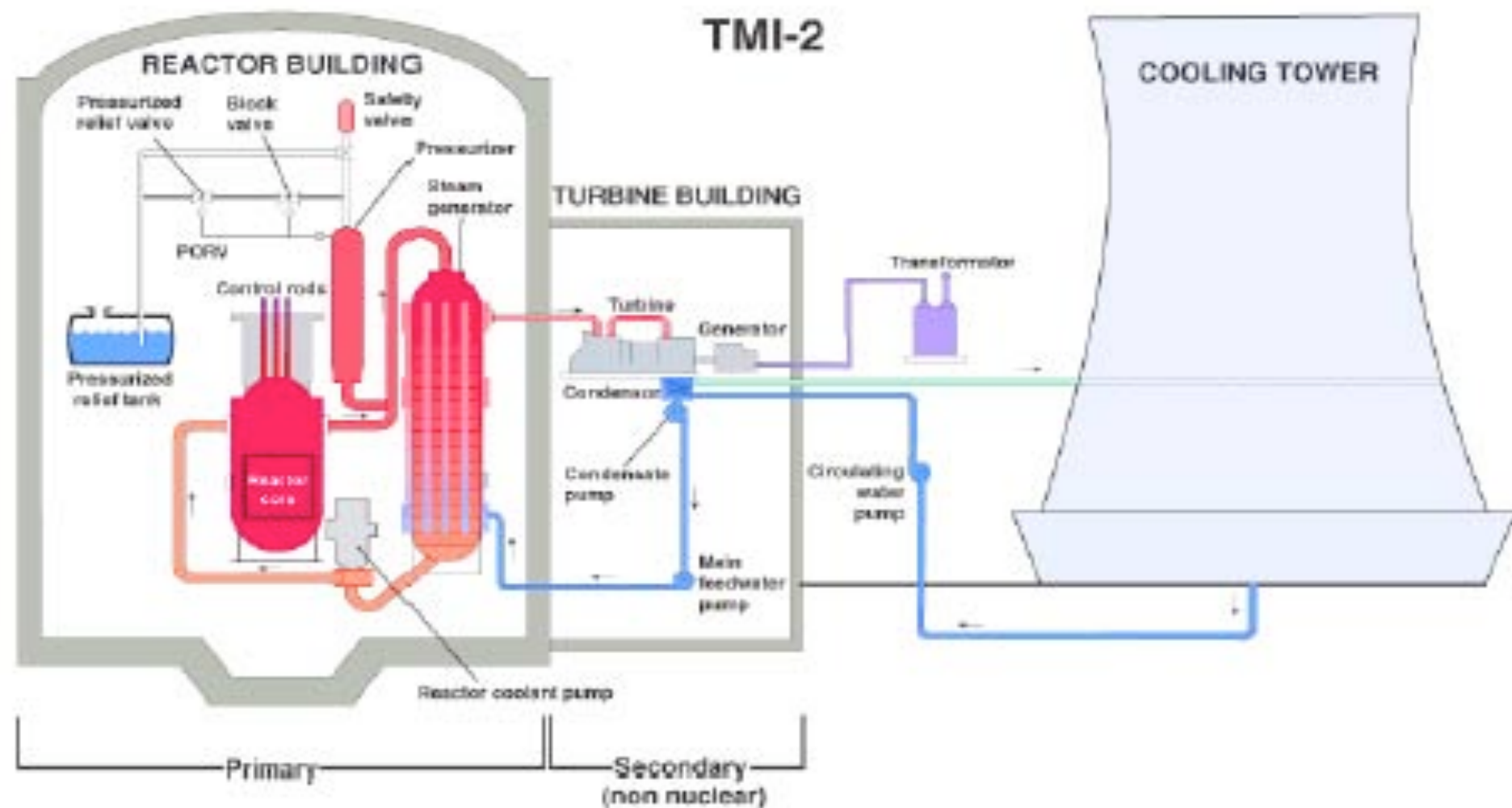
errori umani, spesso inimmaginabili

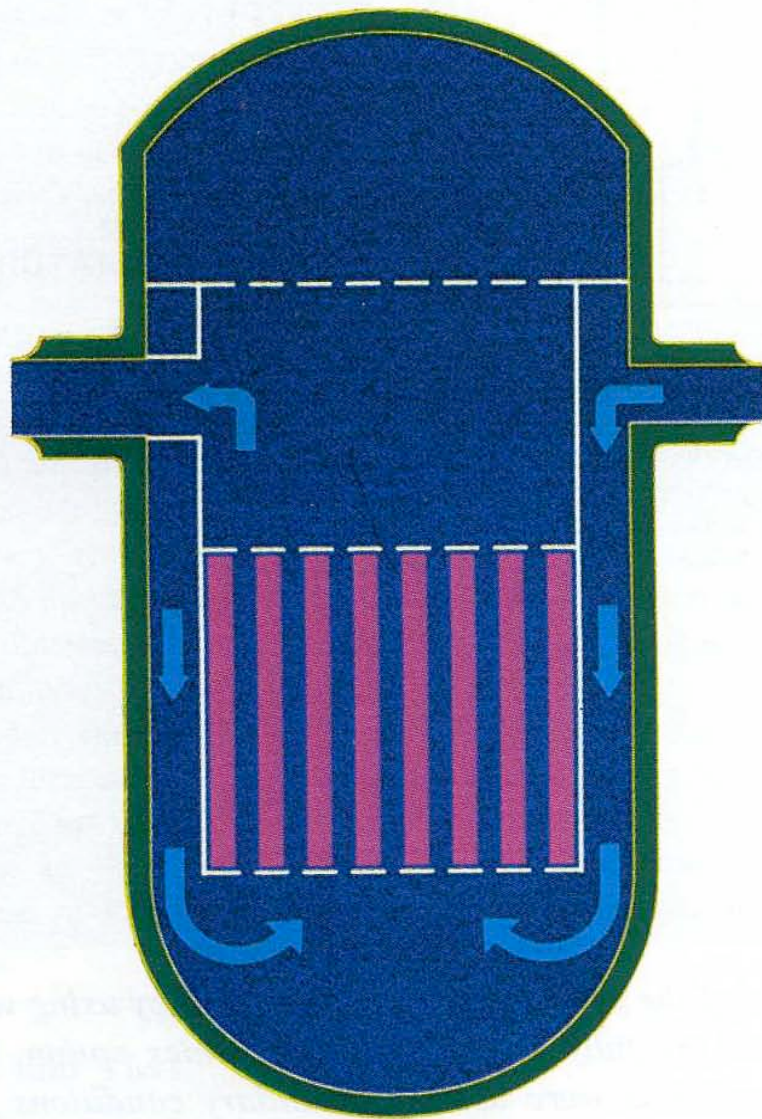


Serious reactor accidents

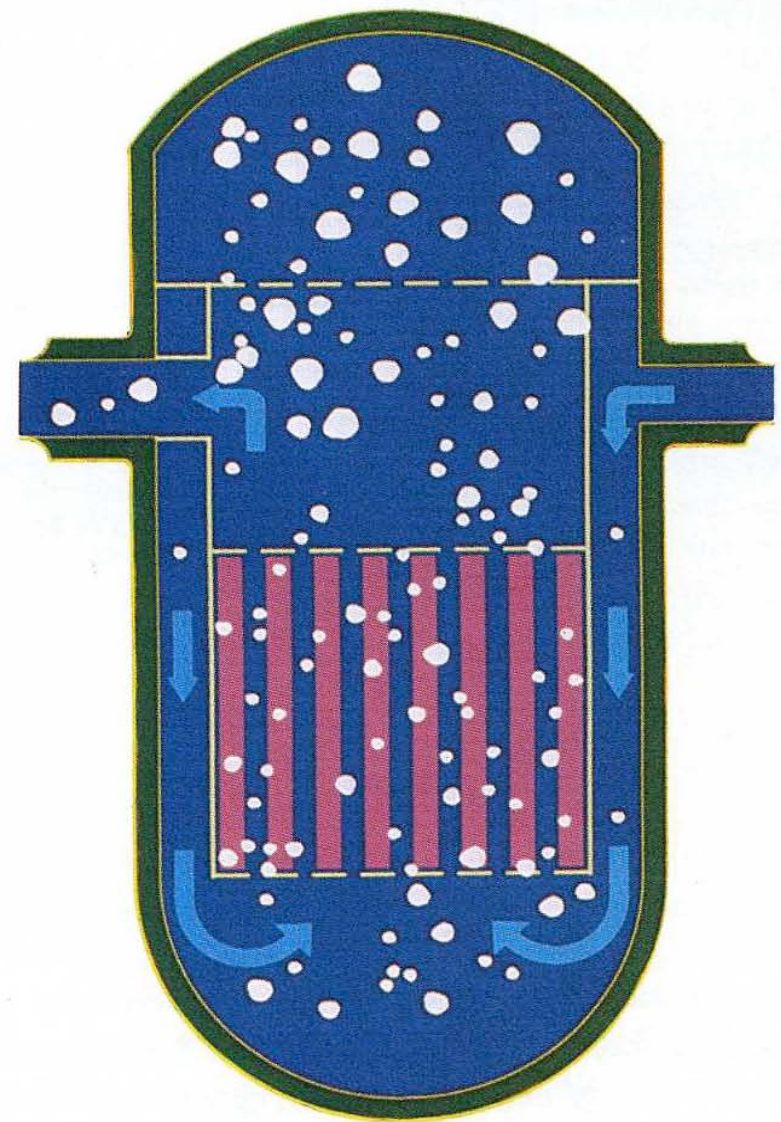
Serious accidents in military, research and commercial reactors. All except Browns Ferry and Vandellos involved damage to or malfunction of the reactor core. At Browns Ferry a fire damaged control cables and resulted in an 18-month shutdown for repairs, at Vandellos a turbine fire made the 17 year old plant uneconomic to repair.

Reactor	Date	Immediate Deaths	Environmental effect	Follow-up action
NRX, Canada (experimental, 40 MWt)	1952	Nil	Nil	Repaired (new core) closed 1992
Windscale-1, UK (military plutonium-producing pile)	1957	Nil	Widespread contamination. Farms affected (c 1.5×10^{15} Bq released)	Entombed (filled with concrete) Being demolished.
SL-1, USA (experimental, military, 3 MWt)	1961	Three operators	Very minor radioactive release	Decommissioned
Fermi-1 USA (experimental breeder, 66 MWe)	1966	Nil	Nil	Repaired and restarted, then closed in 1972
Lucens, Switzerland (experimental, 7.5 MWe)	1969	Nil	Very minor radioactive release	Decommissioned
Browns Ferry, USA (commercial, 2 x 1080 MWe)	1975	Nil	Nil	Repaired
Three-Mile Island-2, USA (commercial, 880 MWe)	1979	Nil	Minor short-term radiation dose (within ICRP limits) to public, delayed release of 2×10^{14} Bq of Kr-85	Clean-up program complete, in monitored storage stage of decommissioning
Saint Laurent-A2, France (commercial, 450 MWe)	1980	Nil	Minor radiation release (8×10^{10} Bq)	Repaired, (Decomm. 1992)
Chernobyl-4, Ukraine (commercial, 950 MWe)	1986	47 staff and firefighters (32 immediate)	Major radiation release across E.Europe and Scandinavia (11×10^{18} Bq)	Entombed
Vandellos-1, Spain (commercial, 480 MWe)	1989	Nil	Nil	Decommissioned

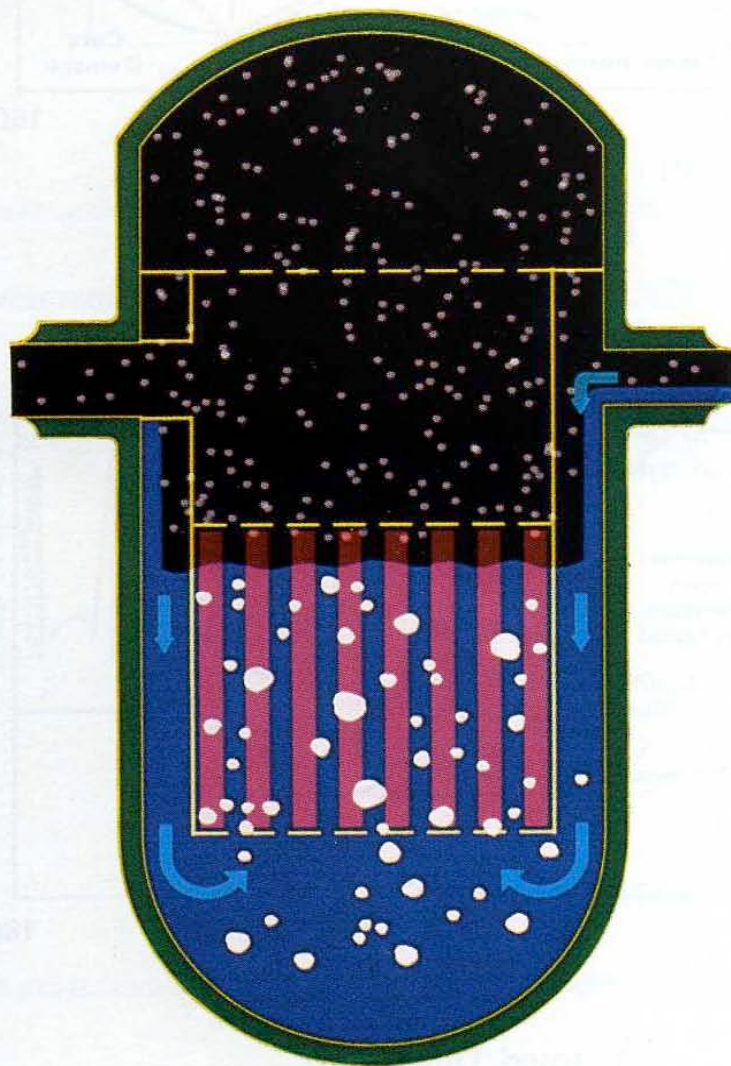




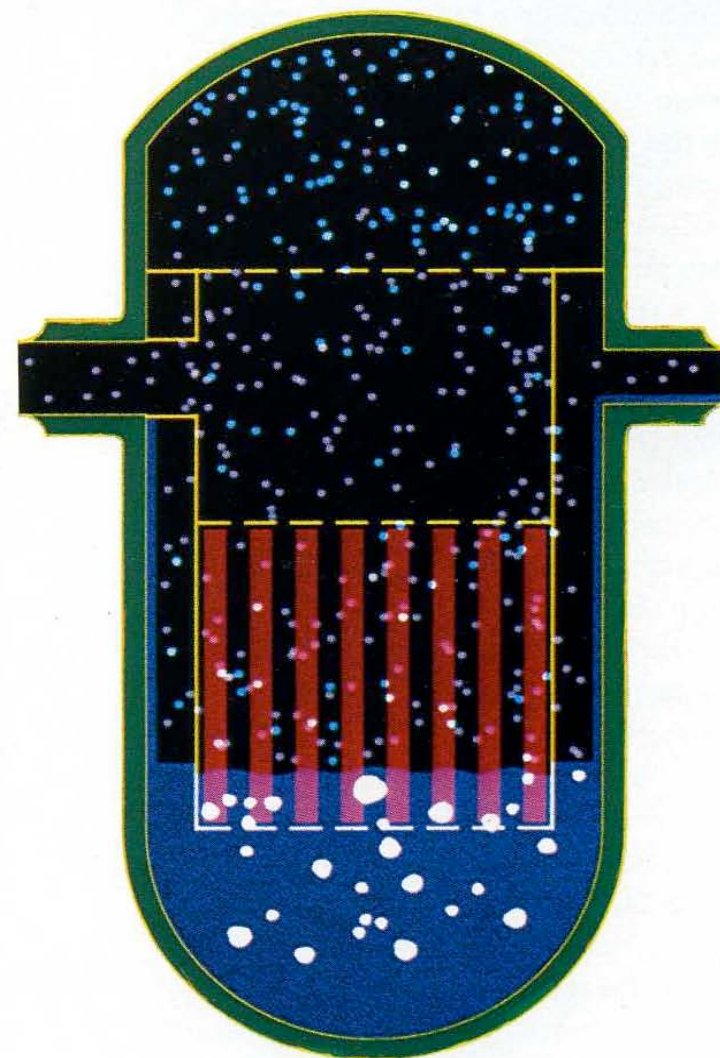
$t = 0$
Normal operation



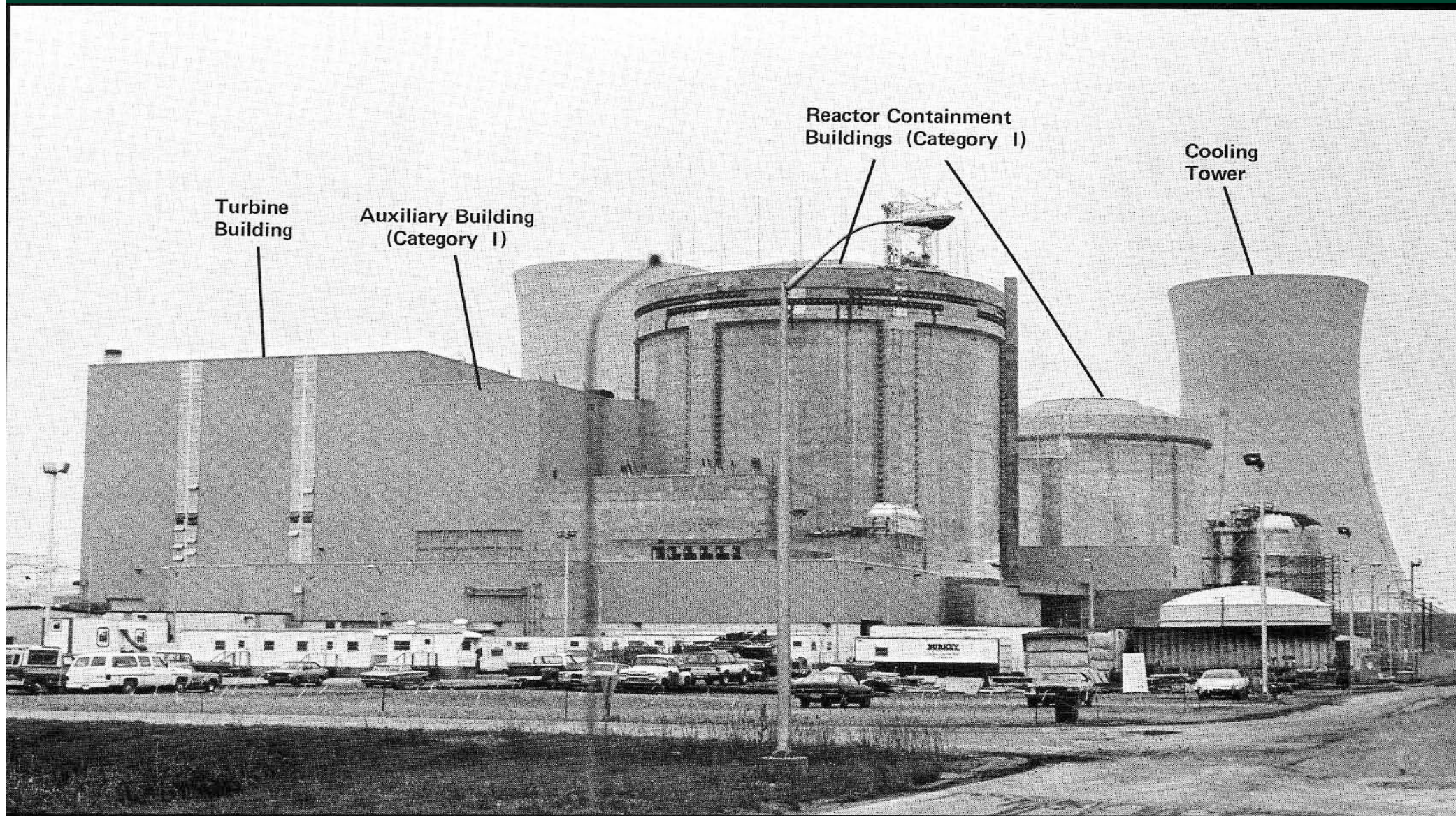
$t = 70 \text{ min}$
Equilibrium conditions in core
Cooling by boiling and forced convection



$t = 102 \text{ min}$
Primary pumps off
Steam and water separate
Cooling by natural convection
Core temperature rises



$t = 180 \text{ min}$
Vessel head filled with hydrogen from cladding
oxidation
Upper 75% of core uncovered



Some energy-related accidents since 1977

Place	year	number killed	comments
Machhu II, India	1979	2500	hydro-electric dam failure
Hirakud, India	1980	1000	hydro-electric dam failure
Ortuella, Spain	1980	70	gas explosion
Donbass, Ukraine	1980	68	coal mine methane explosion
Israel	1982	89	gas explosion
Guavio, Colombia	1983	160	hydro-electric dam failure
Nile R, Egypt	1983	317	LPG explosion
Cubatao, Brazil	1984	508	oil fire
Mexico City	1984	498	LPG explosion
Tbilisi, Russia	1984	100	gas explosion
northern Taiwan	1984	314	3 coal mine accidents
Chernobyl, Ukraine	1986	31+	nuclear reactor accident
Piper Alpha, North Sea	1988	167	explosion of offshore oil platform
Asha-ufa, Siberia	1989	600	LPG pipeline leak and fire
Dobrnja, Yugoslavia	1990	178	coal mine
Hongton, Shanxi, China	1991	147	coal mine
Belci, Romania	1991	116	hydro-electric dam failure
Kozlu, Turkey	1992	272	coal mine methane explosion
Cuenca, Ecuador	1993	200	coal mine
Durunkha, Egypt	1994	580	fuel depot hit by lightning
Seoul, S.Korea	1994	500	oil fire
Minanao, Philippines	1994	90	coal mine
Dhanbad, India	1995	70	coal mine
Taegu, S.Korea	1995	100	oil & gas explosion
Spitsbergen, Russia	1996	141	coal mine
Henan, China	1996	84	coal mine methane explosion
Datong, China	1996	114	coal mine methane explosion
Henan, China	1997	89	coal mine methane explosion
Fushun, China	1997	68	coal mine methane explosion
Kuzbass, Russia/Siberia	1997	67	coal mine methane explosion
Huainan, China	1997	89	coal mine methane explosion
Huainan, China	1997	45	coal mine methane explosion
Guizhou, China	1997	43	coal mine methane explosion
Donbass, Ukraine	1998	63	coal mine methane explosion
Liaoning, China	1998	71	coal mine methane explosion
Warri, Nigeria	1998	500+	oil pipeline leak and fire
Donbass, Ukraine	1999	50+	coal mine methane explosion
Donbass, Ukraine	2000	80	coal mine methane explosion
Shanxi, China	2000	40	coal mine methane explosion
Muchonggou, Guizhou, China	2000	162	coal mine methane explosion
Jixi, China	2002	115	coal mine methane explosion
Gaoqiao, SW China	2003	234	gas well blowout with H ₂ S
Kuzbass, Russia	2004	47	coal mine methane explosion
Donbass, Ukraine	2004	36	coal mine methane explosion
Henan, China	2004	148	coal mine methane explosion
Chenjiashan, Shaanxi, China	2004	166	coal mine methane explosion
Sunjiawan, Liaoning, China	2005	215	coal mine methane explosion
Fukang, Xinjiang, China	2005	83	coal mine methane explosion
Xingning, Guangdong, China	2005	102	coal mine flooding
Dongfeng, Heilongjiang, China	2005	164	coal mine methane explosion
Bhatdih, Jharkhand, India	2006	54	coal mine methane explosion

Comparison of accident statistics in primary energy production.
(Electricity generation accounts for about 40% of total primary energy).

Fuel	Immediate fatalities 1970-92	Who?	Normalised to deaths per TWy* electricity
Coal	6400	workers	342
Natural gas	1200	workers & public	85
Hydro	4000	public	883
Nuclear	31	workers	8

Dopo Chernobyl

- 26 settembre 1986: adozione della Convenzione sulla tempestiva notifica di un incidente nucleare
- 26 settembre 1986: adozione della Convenzione sull'assistenza in caso di incidente nucleare o di emergenza radiologica
- 21 settembre 1988 adozione del Protocollo congiunto riguardante l'applicazione della convenzione di Vienna sulla responsabilità civile per il danno nucleare e della convenzione di Parigi sulla responsabilità di parti terze nell'ambito dell'energia nucleare

- 17 giugno 1994: adozione della Convenzione sulla sicurezza nucleare
- 5 settembre 1997: adozione della Convenzione congiunta in materia di sicurezza della gestione del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi
- 2005 emendamento della convenzione sulla protezione fisica dei materiali fissili

- 12 settembre 1997: adozione del Protocollo di emendamento della Convenzione di Vienna sulla responsabilità civile per il danno nucleare
- 12 settembre 1997: adozione della Convenzione sulla compensazione supplementare per danni nucleari
- 12 febbraio 2004: adozione del Protocollo di emendamento della Convenzione sulla responsabilità di parti terze nell'ambito dell'energia nucleare
- 12 febbraio 2004: adozione del Protocollo di emendamento della Convenzione sulla responsabilità civile per il danno nucleare

La convenzione sulla sicurezza impone delle condizioni molto strette

- a livello tecnico, per la struttura degli edifici, per tutti gli impianti, per la strumentazione ed i sistemi di controllo, per migliorare gli aspetti umani dell'interfaccia macchina/operatore, incluse informazioni più chiare, e metodologie di analisi probabilistiche del rischio,

- a livello normativo per la legislazione nazionale, per il quadro della regolamentazione e delle procedure di controllo e di verifica.

Il concetto di difesa in profondità sta imponendosi come strategia fondamentale e coinvolge tutte le fasi della produzione energetica, dalla scelta del sito e progettazione degli impianti, alla formazione del personale e alla operazione delle centrali. Richiede la creazione di barriere fisiche successive che garantiscano il contenimento del materiale radioattivo in ogni condizione. Impone la creazione di una forte cultura di sicurezza in tutti coloro che ad ogni titolo sono coinvolti nelle attività nucleari e un sistema efficace e continuo di verifiche.

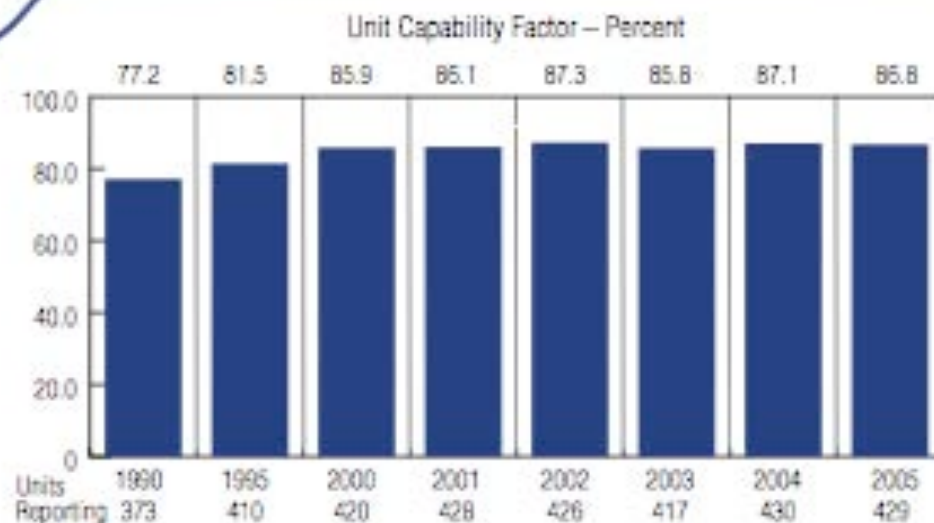
L'obiettivo finale è chiaramente quello di creare un corretto bilancio fra i rischi e i benefici, in modo tale che in caso di conflitto fra questi due aspetti debba prevalere la protezione dai rischi per gli individui, le proprietà e l'ambiente

Emendamento alla convenzione sulla protezione fisica del materiale nucleare

- misure legali, tecniche, amministrative e barriere fisiche a protezione del materiale e degli impianti nucleari
- protezione contro furto, rapina e altre forme di possesso illegale
- misure per individuare e recuperare materiale rubato
- protezione di materiale e impianti da atti di sabotaggio

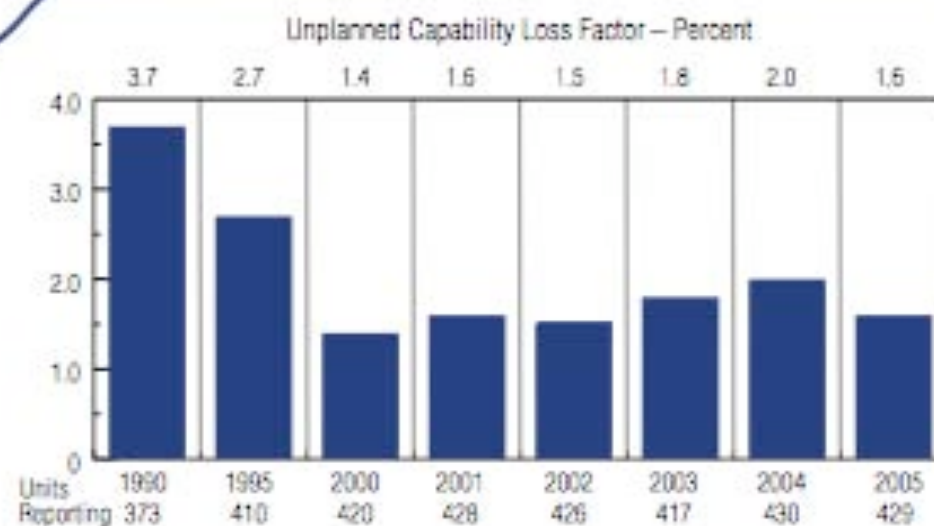
Unit Capability Factor

Unit capability factor is the percentage of maximum energy generation that a plant is capable of supplying to the electrical grid, limited only by factors within control of plant management. A high unit capability factor indicates effective plant programmes and practices to minimise unplanned energy losses and to optimise planned outages.



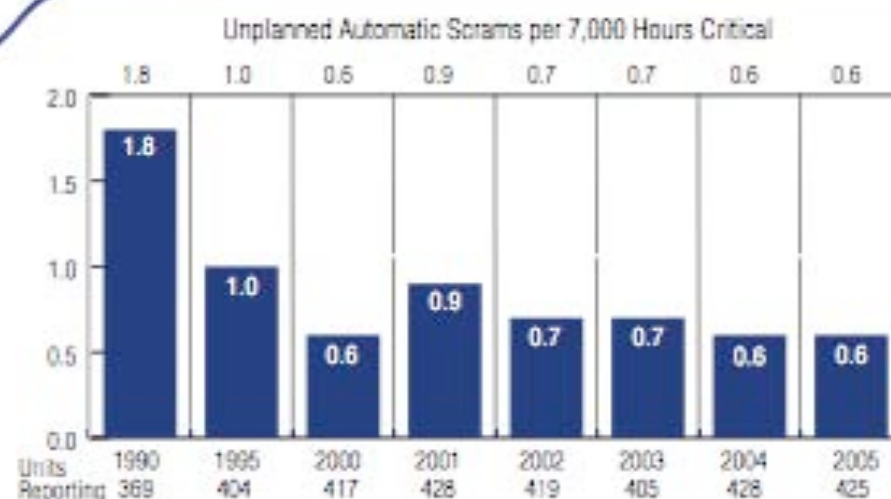
Unplanned Capability Loss Factor

The unplanned capability loss factor is the percentage of maximum energy generation that a plant is not capable of supplying to the electrical grid because of unplanned energy losses, such as unplanned shutdowns or outage extensions. A low value indicates important plant equipment is well maintained and reliably operated and there are few outage extensions.



Unplanned Automatic Scrams per 7,000 Hours Critical

The unplanned automatic scrams per 7,000 hours critical indicator tracks the mean scram (automatic shutdown) rate for approximately one year (7,000 hours) of operation. Unplanned automatic scrams result in thermal and hydraulic transients that affect plant systems.



Industrial Safety Accident Rate

The industrial safety accident rate tracks the number of accidents that result in lost work time, restricted work, or fatalities per 200,000 work-hours. The nuclear industry continues to provide one of the safest industrial work environments.



The International Nuclear Event Scale

For prompt communication of safety significance

Level, Descriptor	Off-Site Impact	On-Site Impact	Defence-in-Depth Degradation	Examples
7 Major Accident	<i>Major Release:</i> Widespread health and environmental effects			Chernobyl, Ukraine, 1986 (fuel meltdown and fire)
6 Serious Accident	<i>Significant Release:</i> Full implementation of local emergency plans			Mayak at Ozersk, Russia, 1957 (reprocessing plant criticality)
5 Accident with Off-Site Risks	<i>Limited Release:</i> Partial implementation of local emergency plans	Severe damage to reactor core or to radiological barriers		Windscale, UK, 1957 (military). Three Mile Island, USA, 1979 (fuel melting).
4 Accident Mainly in Installation either of:	<i>Minor Release:</i> Public exposure of the order of prescribed limits	Significant damage to reactor core or to radiological barriers, worker fatality		Saint-Laurent, France, 1980 (fuel rupture in reactor). Tokai-mura, Japan, 1999 (criticality in fuel plant for an experimental reactor).
3 Serious Incident any of:	<i>Very Small Release:</i> Public exposure at a fraction of prescribed limits	Major contamination, Acute health effects to a worker	Near Accident. No safety layers remaining	Vandelllos, Spain, 1989 (turbine fire, no radioactive contamination). Davis-Besse, USA, 2002 (severe corrosion) Paks, Hungary, 2003 (fuel damage)
2 Incident	nil	Significant spread of contamination, Overexposure of worker	Incidents with significant failures in safety provisions	
1 Anomaly	nil	nil	Anomaly beyond the authorised operating regime	
0	nil	nil	No safety significance	
Below Scale	nil	nil	No safety relevance	

Source: International Atomic Energy Agency

**Sito con gli eventi di problemi
nucleari civili e di radioattività**

www-news.iaea.org/news/default.asp

Send Date	Event Title	Event Date / Rating	Location or Facility	Type	Country
2011-02-03	Hydrogen Recombiner functional testing not satisfactory	2011-01-24 0	LAGUNA VERDE-2	Power Reactor	Mexico
2011-02-03	Reactor trip due to high pressure in the reactor pressure vessel	2011-01-19 [N/A]	LAGUNA VERDE-2	Power Reactor	Mexico
2011-01-20	Reactor trip due to failure in the Main Generator	2011-01-15 0	LAGUNA VERDE-1	Power Reactor	Mexico
2011-01-12	Potential damage in riser pipe at Laguna Verde NPP U2	2010-10-22 1	LAGUNA VERDE-2	Power Reactor	Mexico
2011-01-12	Non Usual Event declared due to loss of outside power at Laguna Verde NPP U1	2010-12-02 1	LAGUNA VERDE-1	Power Reactor	Mexico
2011-01-05	Overexposure of a field radiography worker	2009-03-03 3	Argus, Jinju, Souther part of Republic of Korea	Radiation Source	Korea, Republic of
2011-01-05	Overexposure of field radiography workers	2008-11-04 2	Argus/ Yeosu, Southern part of Republic of Korea	Radiation Source	Korea, Republic of
2010-12-08	Lost or stolen sources containing Co-60	2010-11-05 1	Closed Iron foundry in Town Lublin	Other	Poland
2010-12-03	Several mine workers overexposed by X-rays	2010-12-02 2	Boliden Mineral, Gällivare	Mining/Milling	Sweden
2010-10-25	Inadvertent Containment Spray of Reactor Coolant	2010-09-17 2	SHINKORI-1	Power Reactor	Korea, Republic of
2010-09-23	Radiography overexposure	2010-09-16 2	Inspecta Oy/Kotka	Radiation Source	Finland
2010-09-02	Exposure of a worker in excess of statutory annual dose limits	2010-08-31 2	LEIBSTADT	Power Reactor	Switzerland
2010-08-13	Co-60 orphan source discovered in a container of metal scraps in the Genova Port	2010-07-20 2	Genova port	Other	Italy
2010-08-06	Extremity Overexposure	2010-08-04 2	ISOAID, LLC/Port Richey, FL	Radiation Source	United States of America

**La realtà socio-politica impone all'energia nucleare di essere più sicura delle altre forme di generazione energetica.
Deve essere infatti "sicura" sia nei fatti che nella percezione del pubblico.**

	First weapons test	Safeguards situation for nuclear power
USA	1945	All civil nuclear facilities are subject to IAEA safeguards
UK	1952	All civil nuclear facilities are subject to IAEA safeguards
Russia	1949	IAEA safeguards not generally applied, though this is changing*.
France	1960	All civil nuclear facilities are under Euratom safeguards, all civil facilities containing safeguards-obligated nuclear material are subject to IAEA safeguards.
China	1964	All imported nuclear power plants are under IAEA safeguards, as is the Russian-supplied Shaanxi centrifuge enrichment plant.
India	1974	Six civil power reactors are under item-specific IAEA safeguards, eight more becoming subject to IAEA safeguards 2008-14 with all future civil facilities, pursuant to 2008 US-India agreement and 2008 IAEA agreement.
Pakistan	1998	Civil power reactors under item-specific IAEA safeguards
Israel	nil	No nuclear power
North Korea	2006	No nuclear power

l'innovazione tecnologica è indispensabile per

- limitare l'uso di petrolio senza incorrere in eccessivi costi economici e ambientali**
- sviluppare sorgenti di energia rinnovabili efficienti, pulite ed economiche per i bisogni fondamentali dei paesi meno sviluppati**
- migliorare la qualità dell'aria nelle città anche soddisfacendo la crescente richiesta di automobili**
- usare le grandi disponibilità di carbone evitando l'inquinamento atmosferico, le piogge acide e l'impatto sul clima**
- sviluppare l'energia nucleare riducendo i rischi di incidenti e di proliferazione militare**

**l'essenza del problema energetico:
non è vero che l'energia sta finendo
stanno finendo piuttosto**

- il petrolio a basso prezzo**
- l'ambiente**
- la tolleranza delle disparità fra i popoli**
- il denaro per soluzioni ottimali**
- il tempo per una transizione dolce**
- leadership adeguate a fare ciò che va fatto**

oltre alla ricerca e all'innovazione tecnologica sono indispensabili

- innovazioni istituzionali a livello nazionale e internazionale**
- leader politici lungimiranti preoccupati dei diritti dei poveri del mondo e delle future generazioni**

È importante che il pubblico abbia una chiara comprensione dei rischi e dei benefici rappresentati dall'energia nucleare.

Occorre un maggior coinvolgimento del pubblico anche nel processo di sviluppo della legislazione internazionale sulla sicurezza dell'energia nucleare: solo così si può eliminare, o almeno ridurre l'attuale diffidenza generalizzata e spesso aprioristica per questo tipo di energia.



Pierot