

**Fukushima**

**11-22 marzo 2011**





Unit 6

Unit 5

Unit 1

Unit 2

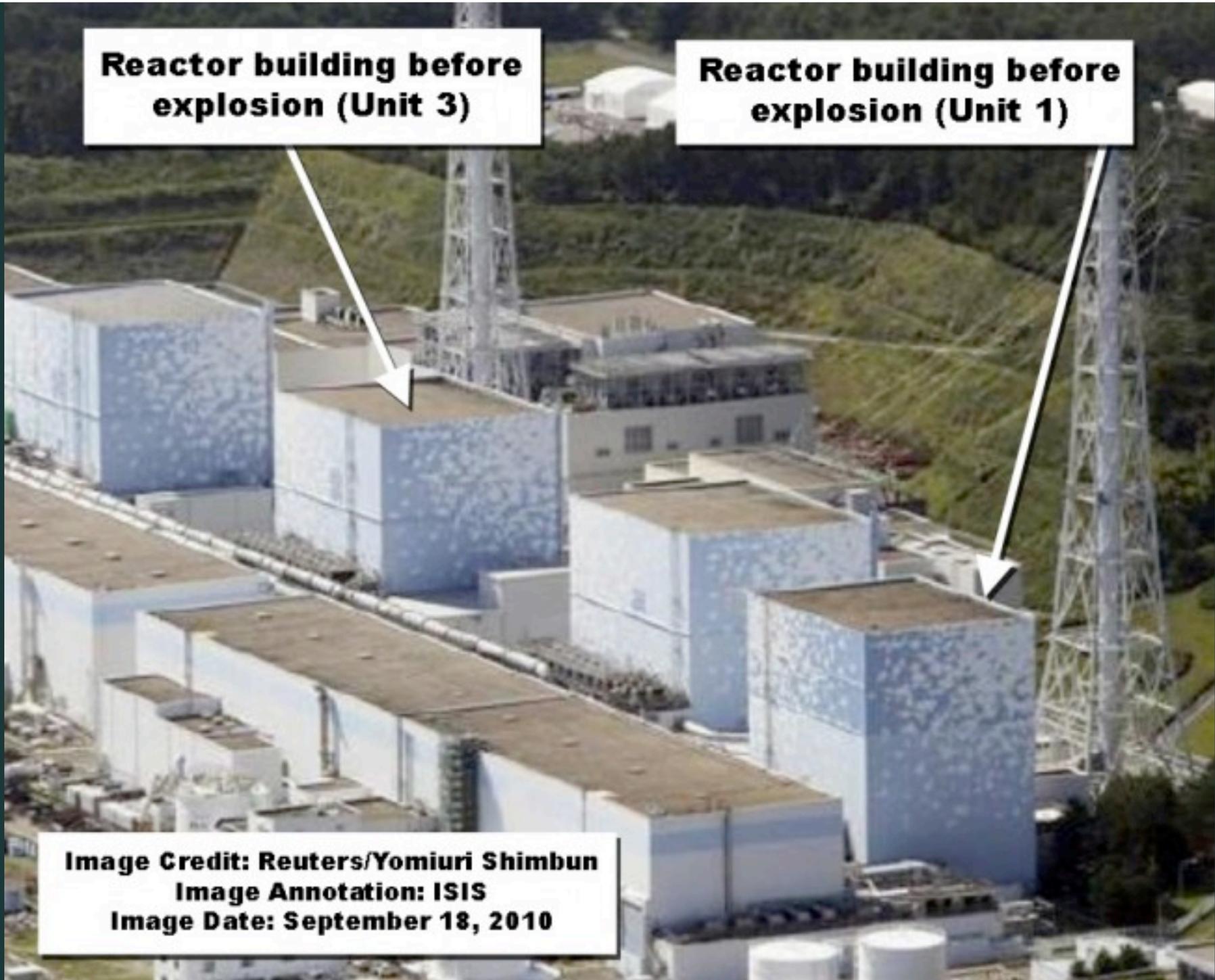
Unit 3

Unit 4

**Reactor building before  
explosion (Unit 3)**

**Reactor building before  
explosion (Unit 1)**

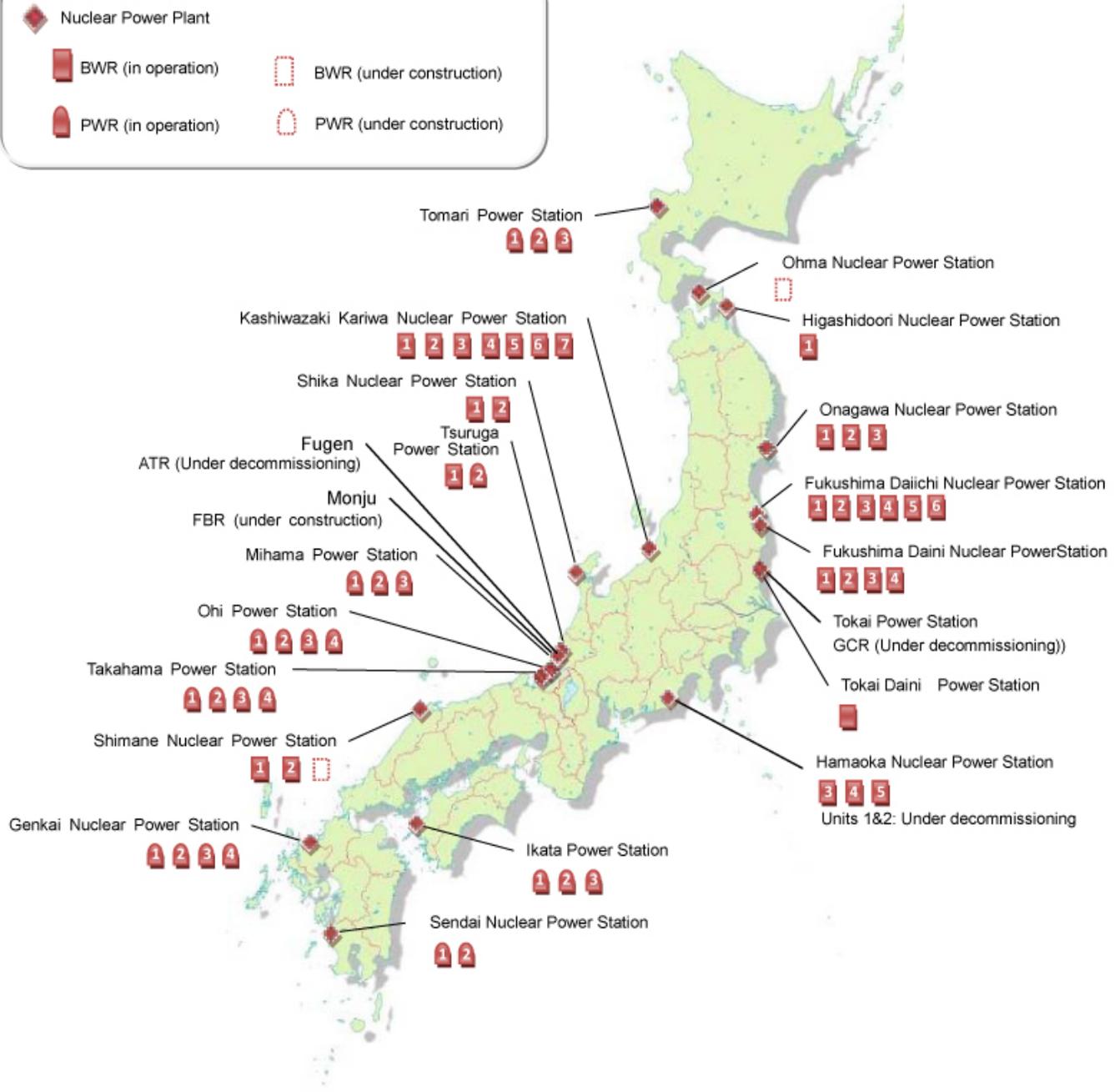
**Image Credit: Reuters/Yomiuri Shimbun  
Image Annotation: ISIS  
Image Date: September 18, 2010**



## Reactor data

Unit	Type <sup>[16]</sup>	Start construction <sup>[17]</sup>	First criticality <sup>[17]</sup>	Commercial operation <sup>[17]</sup>	Electric power <sup>[17]</sup>	Reactor supplier <sup>[16]</sup>	Architecture <sup>[4]</sup>	Construction <sup>[4]</sup>	Fuel
Fukushima I – 1	BWR-3	July 25, 1967	October 10, 1970	March 26, 1971	460 MW	General Electric	Ebasco	Kajima	LEU
Fukushima I – 2	BWR-4	June 9, 1969	May 10, 1973	July 18, 1974	784 MW	General Electric	Ebasco	Kajima	LEU
Fukushima I – 3	BWR-4	December 28, 1970	September 6, 1974	March 27, 1976	784 MW	Toshiba	Toshiba	Kajima	LEU/MOX <sup>[6]</sup>
Fukushima I – 4	BWR-4	February 12, 1973	January 28, 1978	October 12, 1978	784 MW	Hitachi	Hitachi	Kajima	
Fukushima I – 5	BWR-4	May 22, 1972	August 26, 1977	April 18, 1978	784 MW	Toshiba	Toshiba	Kajima	
Fukushima I – 6	BWR-5	October 26, 1973	March 9, 1979	October 24, 1979	1,100 MW	General Electric	Ebasco	Kajima	
Fukushima I – 7 (planned) <sup>[18]</sup>	ABWR	April 2012		October 2016	1,380 MW				
Fukushima I – 8 (planned) <sup>[18]</sup>	ABWR	April 2012		October 2017	1,380 MW				

-  Nuclear Power Plant
-  BWR (in operation)
-  BWR (under construction)
-  PWR (in operation)
-  PWR (under construction)



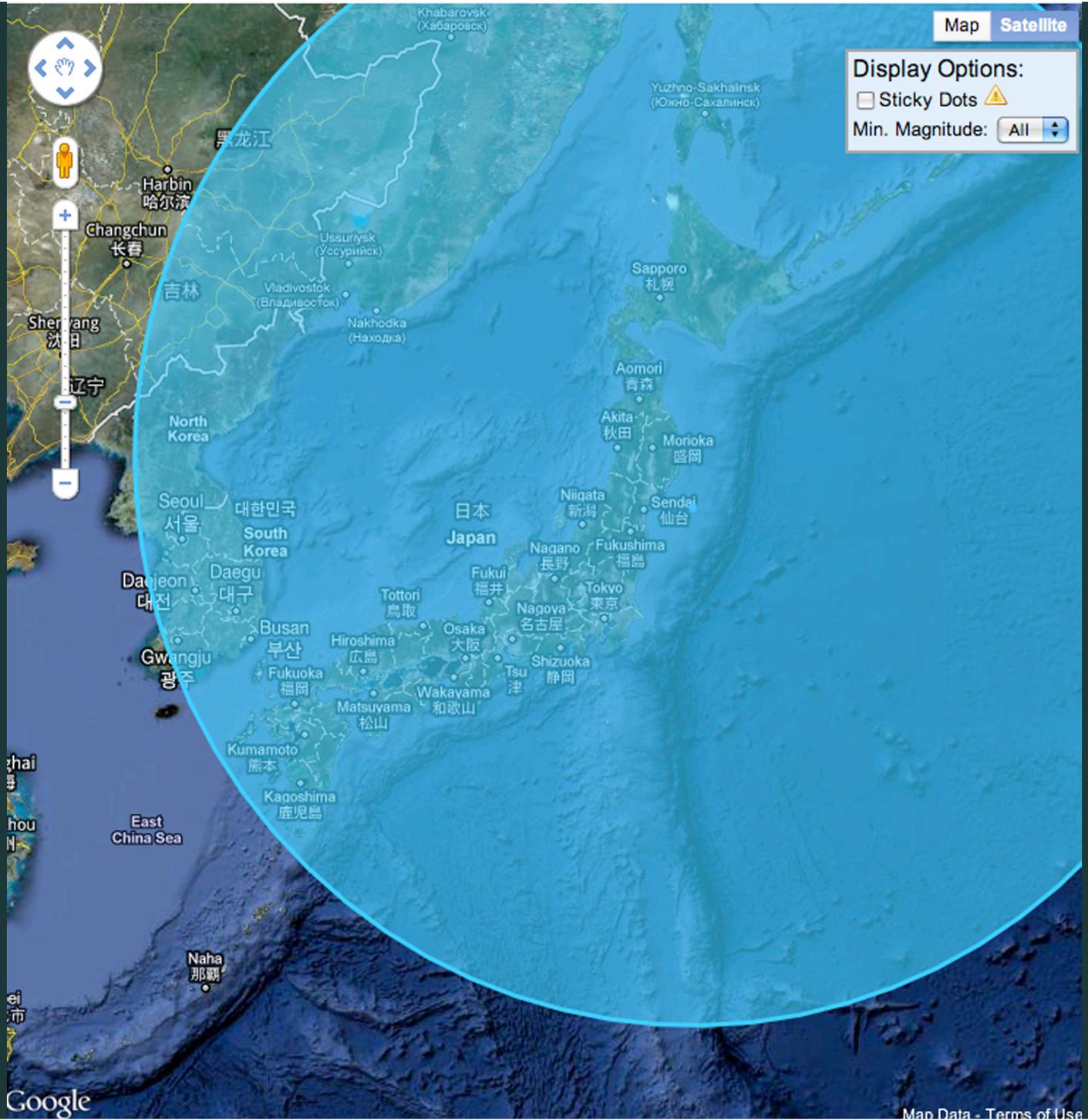
# Energia elettronucleare in Giappone (dati 2009)

reattori in rete 54

potenza installata 47,5 GWe

energia prodotta 263 TWh

frazione nucleare 29,2 %



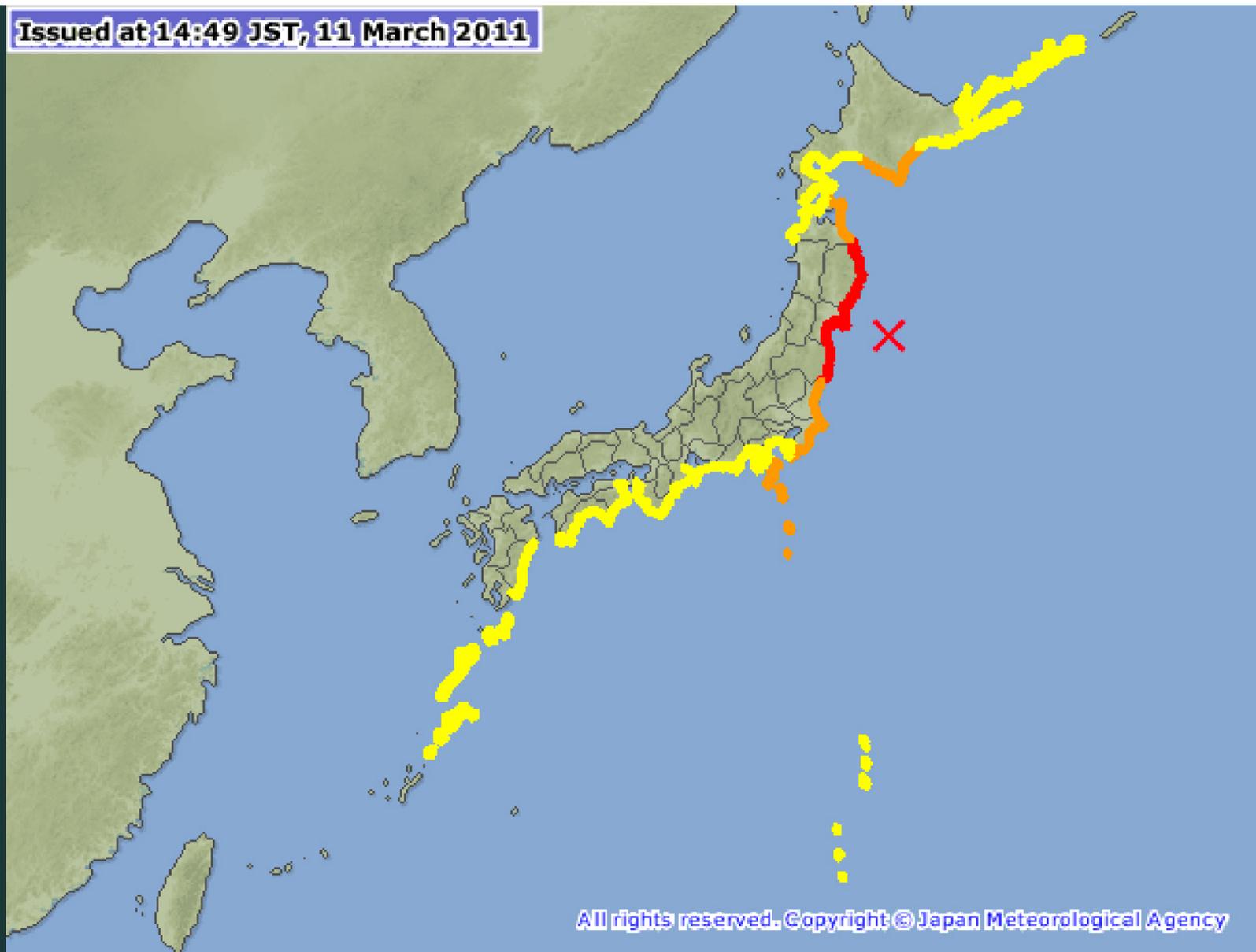
Map Satellite

Display Options:

Sticky Dots

Min. Magnitude: All

Issued at 14:49 JST, 11 March 2011



All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency

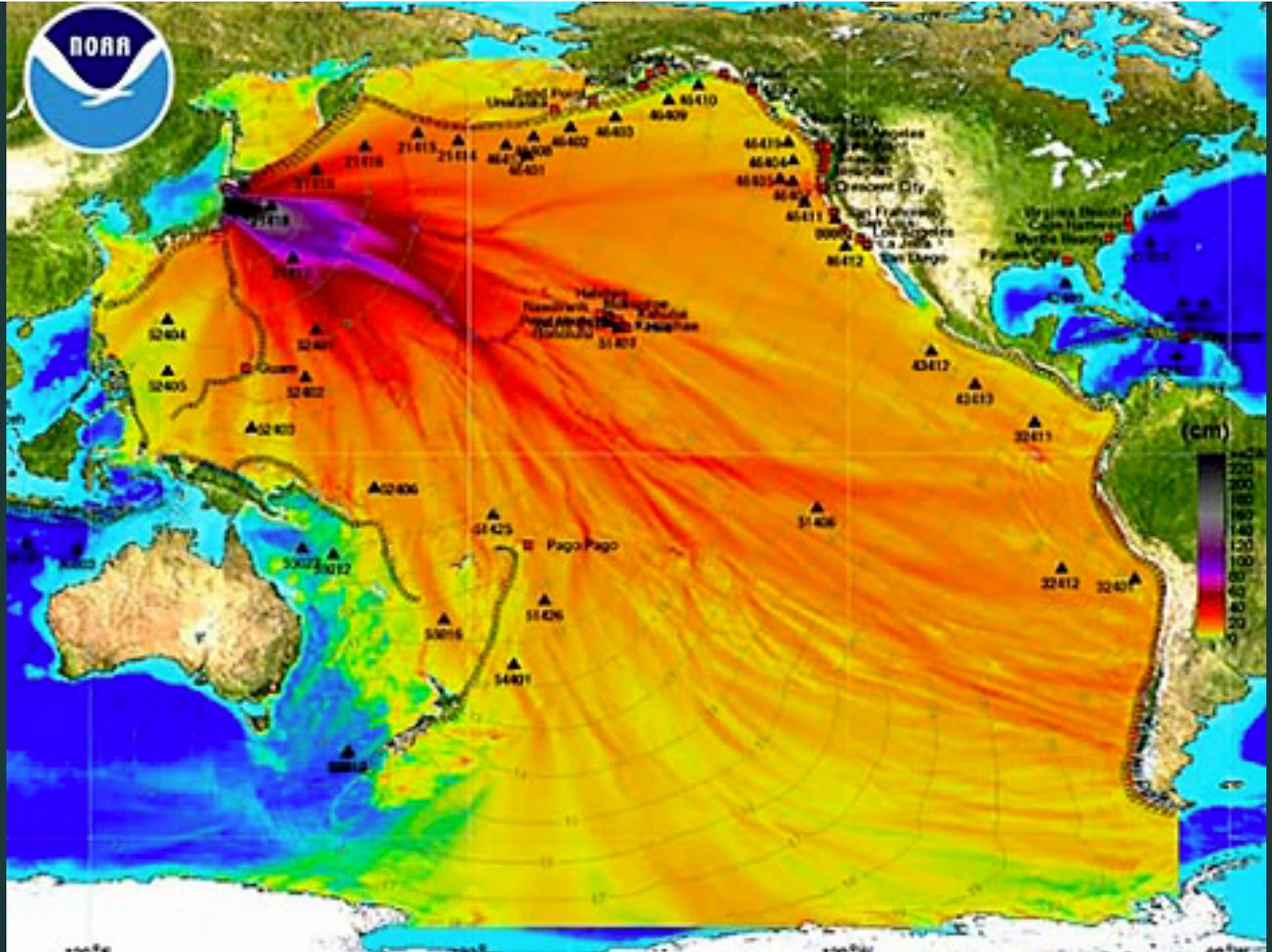
### Tsunami Warning

### Tsunami Advisory

#### Notes

- Major Tsunami** Tsunami height is estimated to be 3 meters or more
- Tsunami** Tsunami height is estimated to be up to 2 meters

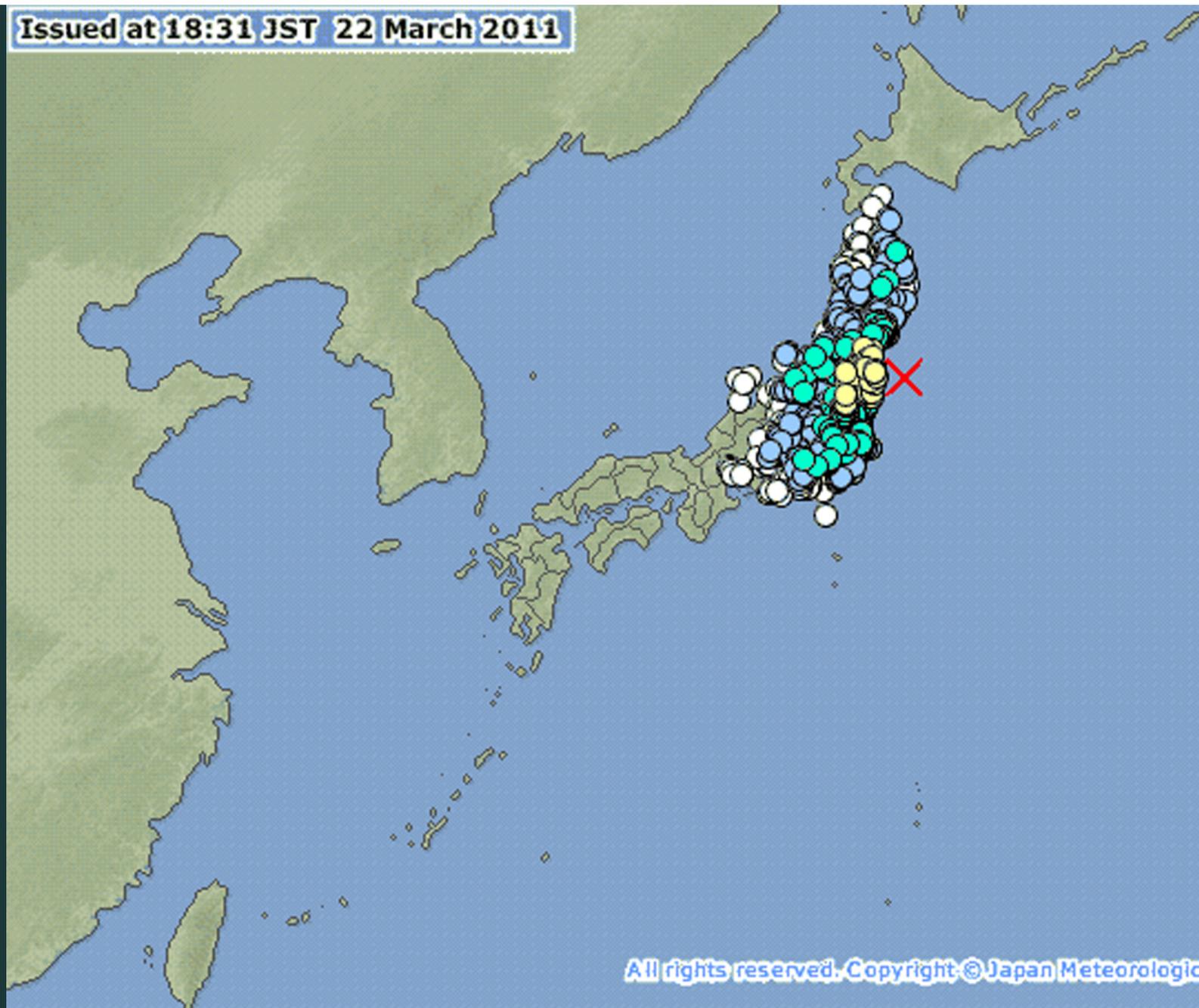
- Tsunami height is estimated to be about 0.5 meter**
- X Epicenter**



(cm)



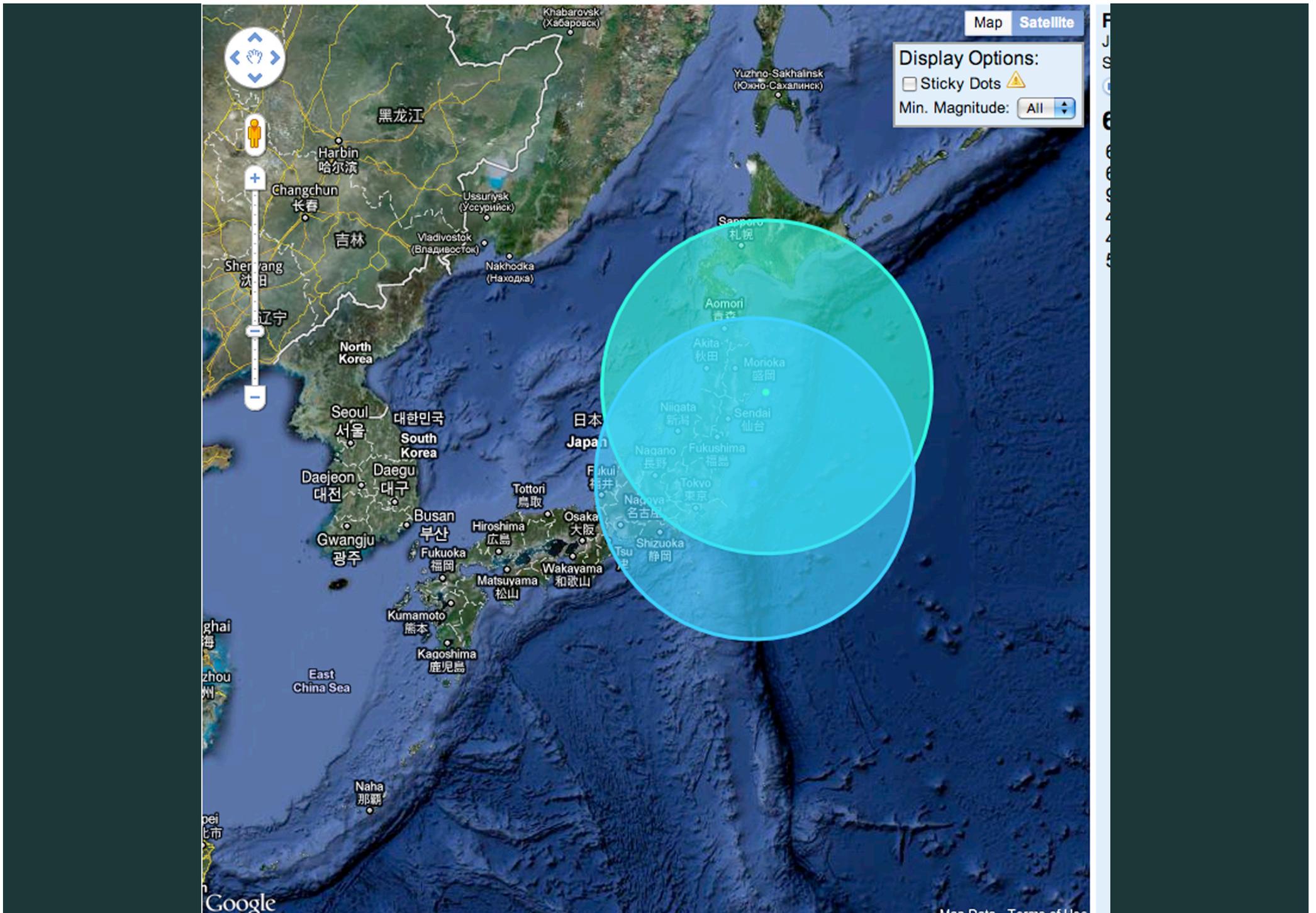
Issued at 18:31 JST 22 March 2011

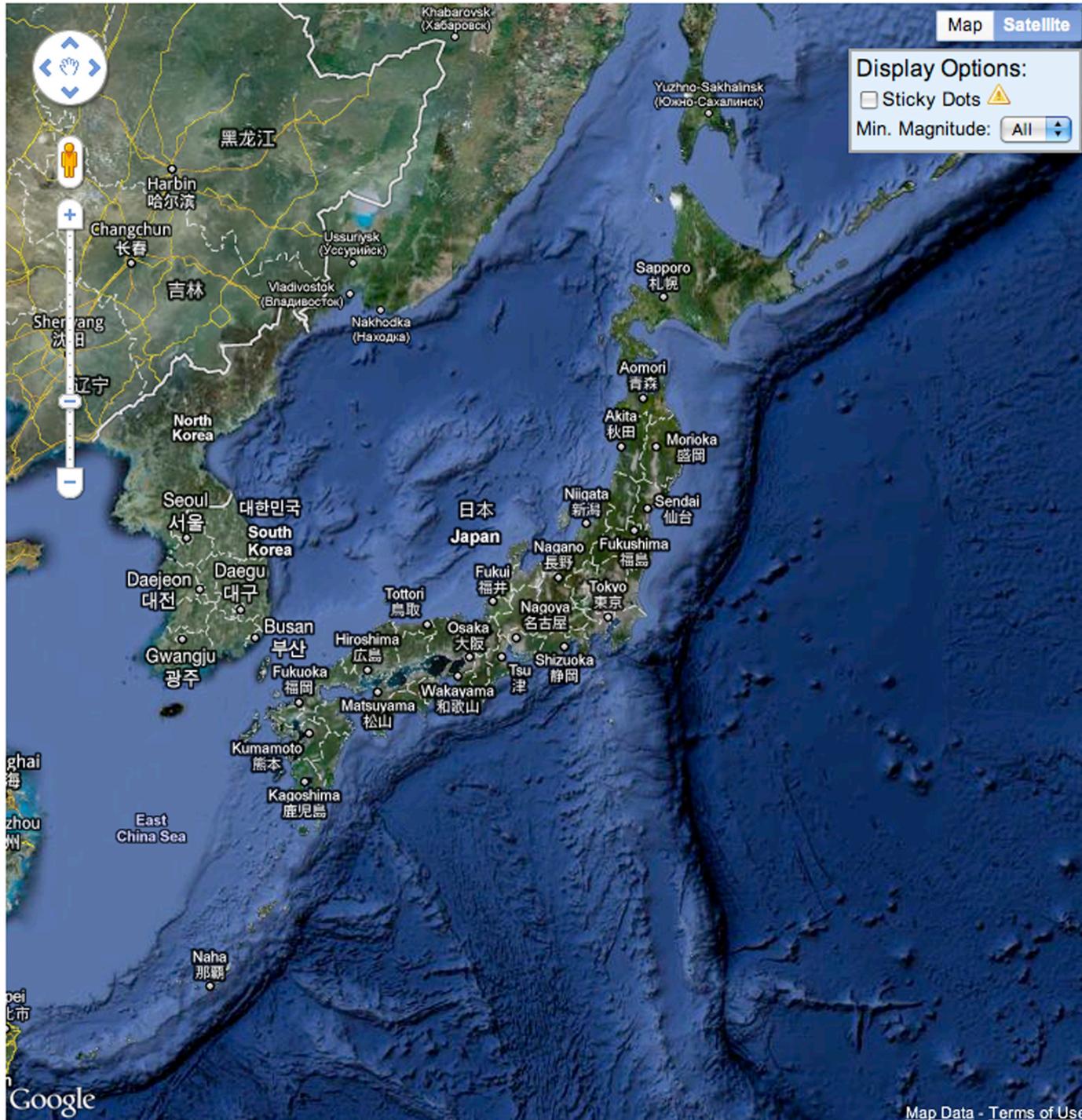


All rights reserved. Copyright © Japan Meteorological Agency

Notes X Epicenter JMA Seismic Intensity

7	6Upper	6Lower	5Upper	5Lower
4	3	2	1	





Map **Satellite**

**Display Options:**

Sticky Dots

Min. Magnitude:

**Wed Mar 23 2011 11:09 JST**

Jump to: last [3](#) / [6](#) / [9](#) / [12](#) / [24](#) hours

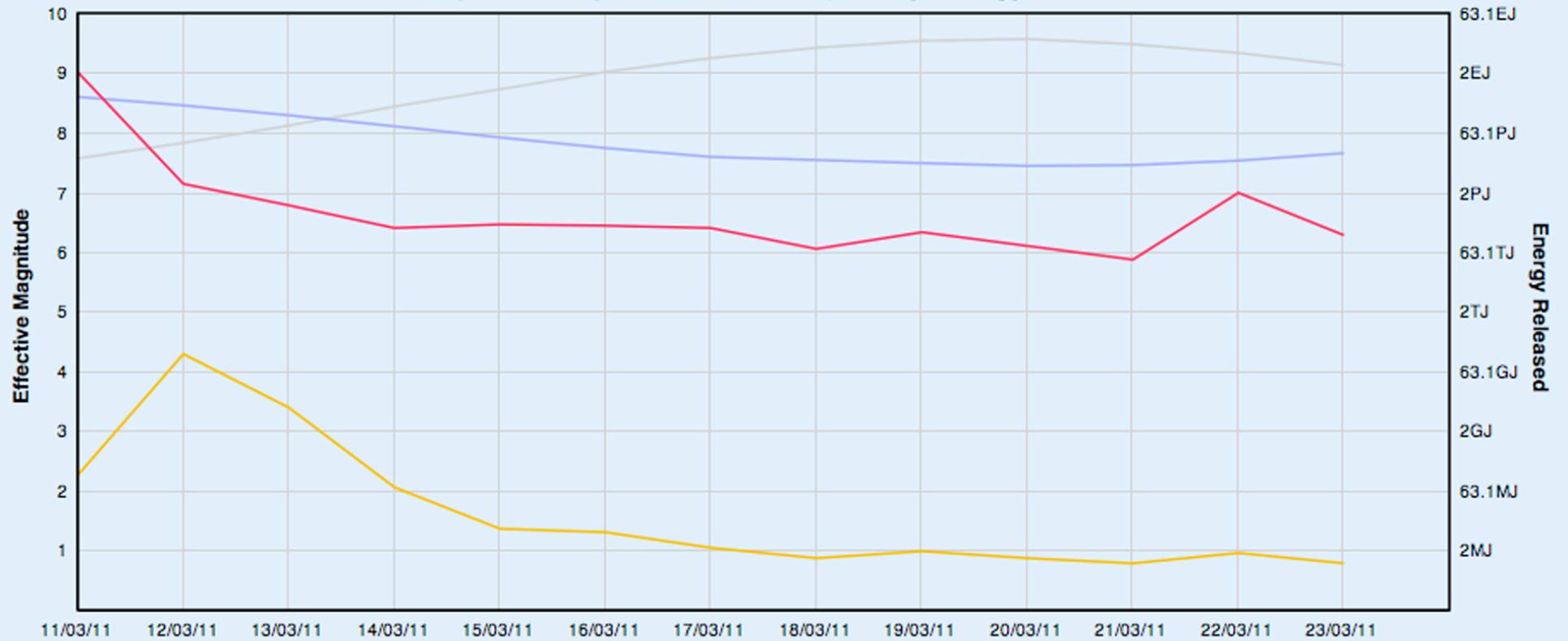
Show day: Today (23/3/2011)



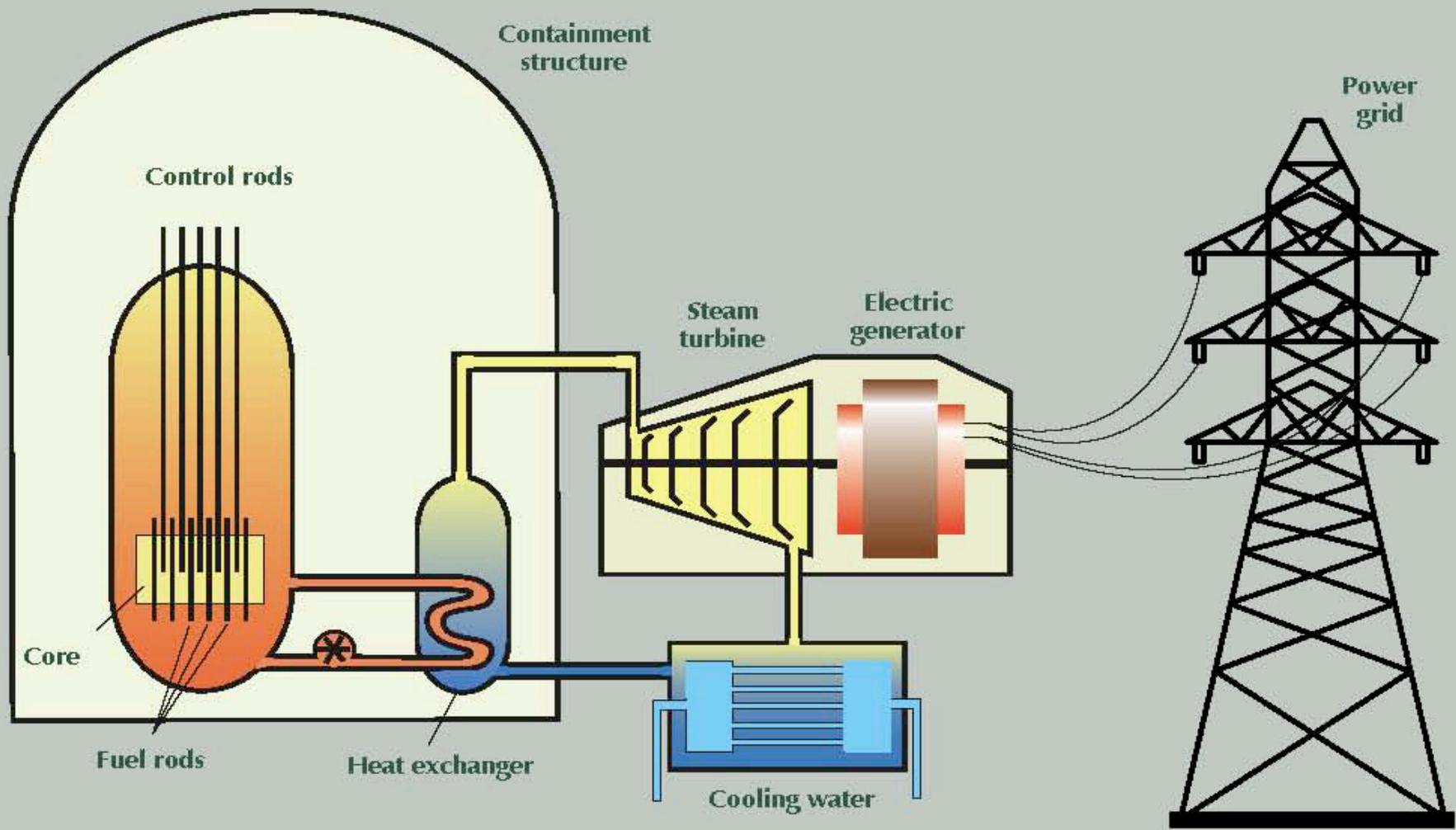
**24 of 29 quakes (29 total):**

- 5.3M, depth: 35km 23/3/2011 09:06
- 5.1M, depth: 28km 23/3/2011 07:53
- 5M, depth: 30km 23/3/2011 07:51
- 5.4M, depth: 16km 23/3/2011 07:36
- 5.7M, depth: 1km 23/3/2011 07:12
- 4.8M, depth: 22km 23/3/2011 06:55
- 4.6M, depth: 35km 23/3/2011 06:32
- 4.2M, depth: 40km 23/3/2011 05:50
- 4.7M, depth: 24km 23/3/2011 05:34
- 4.7M, depth: 32km 23/3/2011 04:26
- 4.9M, depth: 23km 23/3/2011 04:09
- 4.9M, depth: 32km 23/3/2011 04:07
- 4.5M, depth: 57km 23/3/2011 03:50
- 4.6M, depth: 37km 23/3/2011 03:19
- 4.9M, depth: 18km 23/3/2011 02:49
- 4.6M, depth: 25km 23/3/2011 02:46
- 4.4M, depth: 35km 23/3/2011 01:56
- 5.5M, depth: 33km 23/3/2011 01:12
- 5.2M, depth: 41km 23/3/2011 01:05
- 4.9M, depth: 46km 23/3/2011 00:58
- 5.4M, depth: 22km 23/3/2011 00:49
- 4.7M, depth: 34km 23/3/2011 00:19
- 4.9M, depth: 55km 23/3/2011 00:12
- 6.1M, depth: 16km 23/3/2011 00:03

### Japan Earthquake (March 2011) - Daily Energy Release



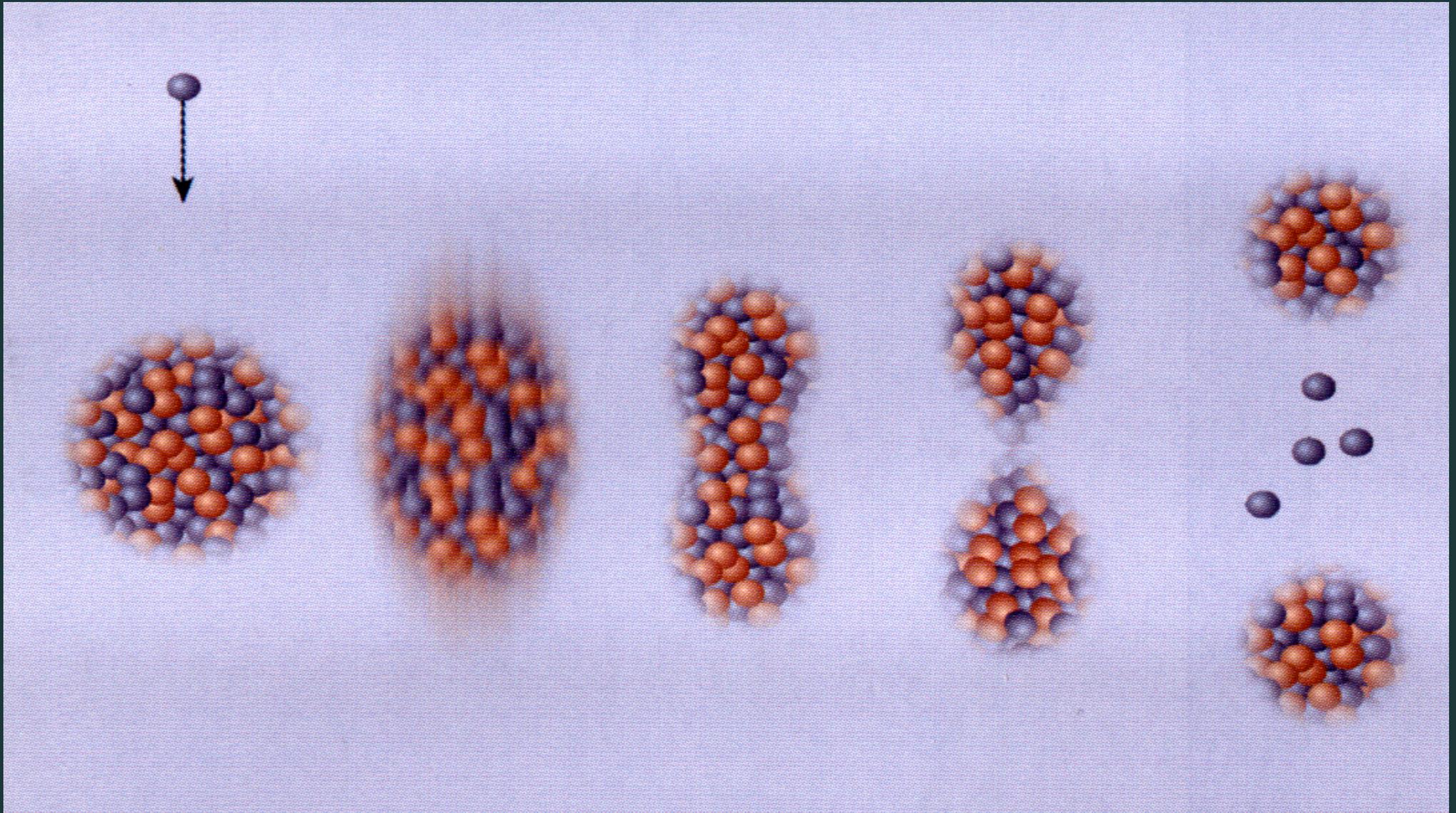




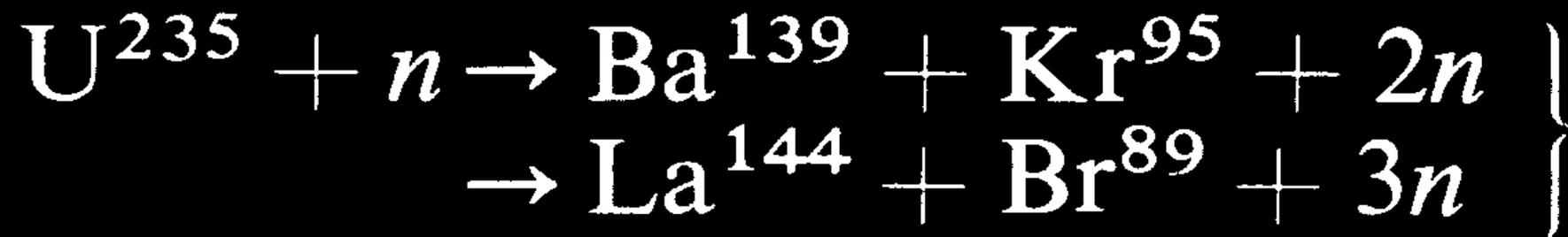


# Uranio naturale $Z=92$ tre isotopi

U-238	99,2745%	$T_{1/2}$	$4,468 \cdot 10^9$ anni
U-235	0,72%	$T_{1/2}$	$7,038 \cdot 10^8$ anni
U-234	0,0055%	$T_{1/2}$	$2,455 \cdot 10^5$ anni



# Reazioni di fissione



**sorpresa!**

**è l'uranio-235 [l'isotopo raro] a subire  
fissione**

*Niels Bohr, primavera 1939*

# energia fissione

combustione di un atomo di carbonio	4,2 eV
esplosione molecola TNT	11 eV
radioattività alfa	4 MeV
reazioni di fusione	20 MeV
fissione uranio-235	200 MeV

# Energia dalla fissione di 1 kg di uranio-235

$$\begin{aligned} E &= 2,58 \times 10^{24} \text{ atomi} \times 200 \text{ MeV} \\ &= 2,58 \times 10^{24} \times 200 \times 10^6 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= 8,256 \times 10^{13} \text{ J} \sim 20 \text{ GWh} \\ &\sim 18 \text{ kton} \end{aligned}$$

**una centrale elettronucleare  
da 1GWe “brucia” l’uranio  
lentamente: bastano  
circa 47 mg di uranio-235 al secondo,  
~1,3 t all’anno  
per produrre annualmente ~ 26 TWh**

# Il fattore 20 milioni

- quantità minime di combustibile

- quantità minime di scorie

⇒ limitati trasporti di materiale

- enorme concentrazione di potenza

⇒ problemi di sicurezza

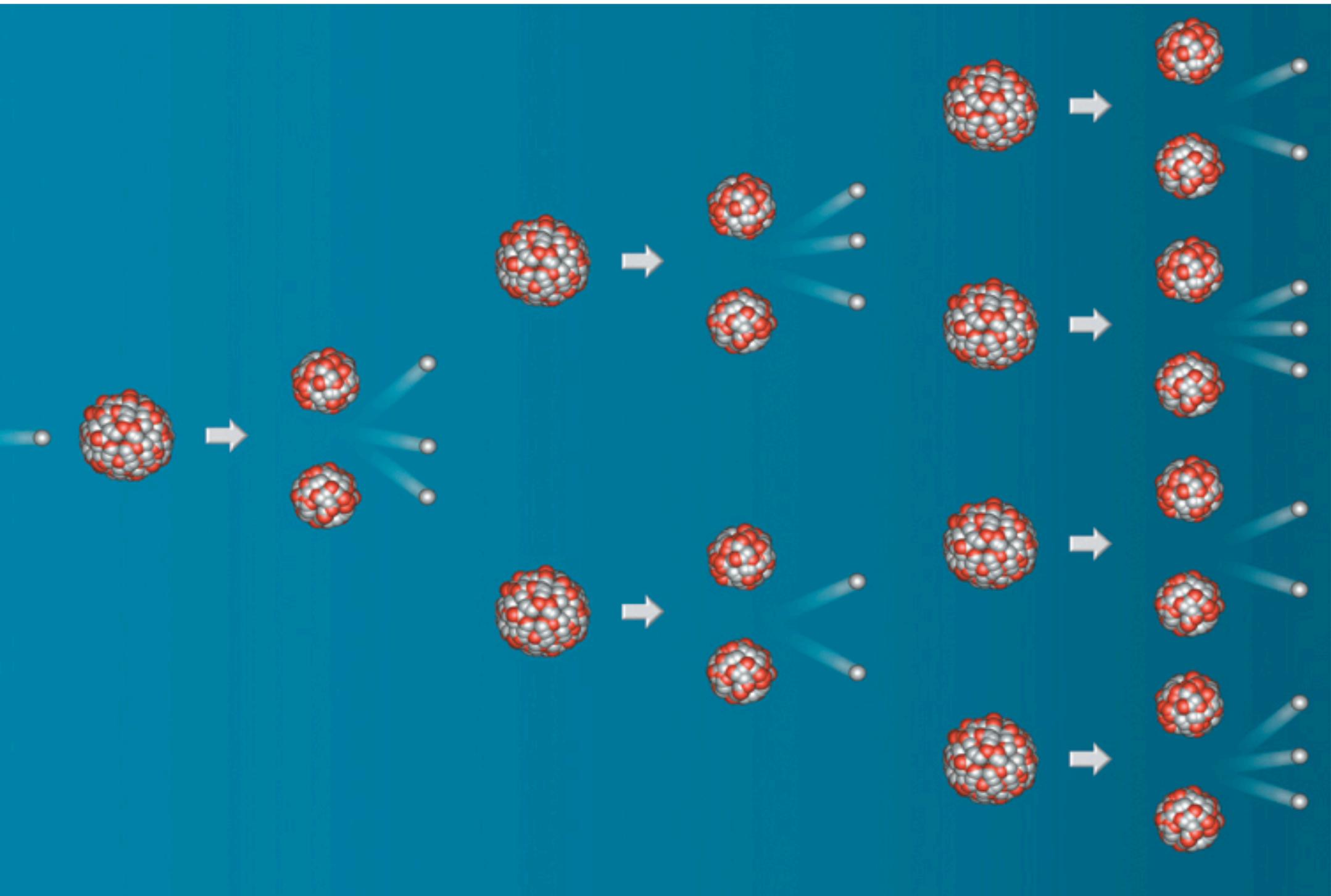
⇒ alti costi d'impianto

⇒ personale altamente qualificato

Fonte di Energia	Combustibile necessario per una centrale da 1000 MW in un anno	Superficie usata in media per una centrale da 1000 MW (km <sup>2</sup> )	Comenti
Biomassa	30.000 km <sup>2</sup> di boschi	30.000	
Eolico	2.700 turbine eoliche da 1,5MW	490	
Solare fotovoltaico	23 km <sup>2</sup> di pannelli solari	23	Situato vicino all'equatore
Biogas	60 milioni di maiali	600	I maiali sono allevati per la carne. L'energia è extra.
Gas Naturale	1,2 km <sup>3</sup>	1	
Petrolio	1.400.000 tonnellate	1	10 milioni di barili di petrolio o 100 petroliere
Carbone	2.500.000 tonnellate	1+ minas	26.260 vvagoni ferroviari
Fissione nucleare	35 tonnellate di ossido di uranio	1+ minas	Da 210 tonnellate di minerale di uranio
Fusione	100 kg di deuterio e 150 kg di trizio	1+ minas	Da 2850 m <sup>3</sup> di acqua e 10 tonnellate di minerale di litio

**un reattore da 1GWe “brucia”  
circa 47 mg di uranio-235 al secondo,  
ossia ci sono  $1,21 \times 10^{20}$  fissioni al secondo  
e servono  $1,21 \times 10^{20}$  neutroni liberi al  
secondo**

**non esiste modo di fornirli dall'esterno  
vengono generati nel combustibile  
poiché la reazione procede “a catena”**



# Condizioni per una reazione a catena

- in ogni fissione deve venir generato più di un neutrone
- i neutroni devono interagire con i nuclei fissili; anche se questi materiali sono molto densi, gli atomi sono quasi tutti vuoti e i neutroni possono sfuggire senza trovare nuclei fissili sul loro cammino
- a seguito dell'interazione devono produrre fissione e non processi alternativi
- i neutroni non devono venir assorbiti da impurità

**Il parametro caratteristico della reazione a catena è il fattore  $k$  di moltiplicazione dei neutroni:**

**$k$  = rapporto fra il numero di neutroni nella generazione corrente e quello nella generazione precedente**

**$k < 1$  condizione sottocritica**

**la reazione a catena si spegne**

**$k = 1$  condizione critica**

**la reazione a catena si mantiene**

**$k > 1$  condizione supercritica**

**la reazione a catena cresce fuori controllo**

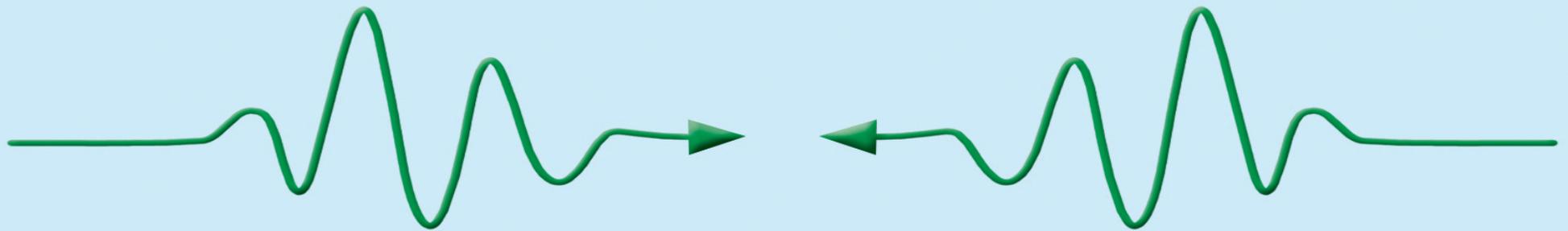
# Processi alternativi nell'interazione neutrone-uranio

- diffusione elastica
  - diffusione con perdita di energia
  - assorbimento senza fissione
  - reazioni nucleari
- ogni processo avviene con una precisa probabilità
- le probabilità dipendono dall'energia del neutrone

# Neutroni veloci e neutroni termici

- i neutroni emessi nella fissione sono “veloci”
  - energia media 2 MeV
  - velocità media 20 000 km/s
- neutroni “termici” hanno l’energia dell’agitazione alla temperatura ambiente
  - energia media 0,025 eV
  - velocità media  $< 2$  km/s

isotopo	neutroni termici			neutroni veloci		
	$\sigma$ fissione	$\sigma$ cattura	rapporto % fissione/totale	$\sigma$ fissione	$\sigma$ cattura	rapporto % fissione/totale
U-233	530	45	90	1,9	0,3	80
U-235	579	100	85	2,0	0,5	80
U-238	-	3	-	0,05	0,3	17
Pu-239	741	267	74	1,9	0,6	76
Pu-240	-	290	-	0,4	0,6	40
Pu-241	1009	368	73	2,6	0,6	81
Pu-242	-	19	-	0,3	0,4	43
Am-241	3	832	0,4	0,4	1,9	17

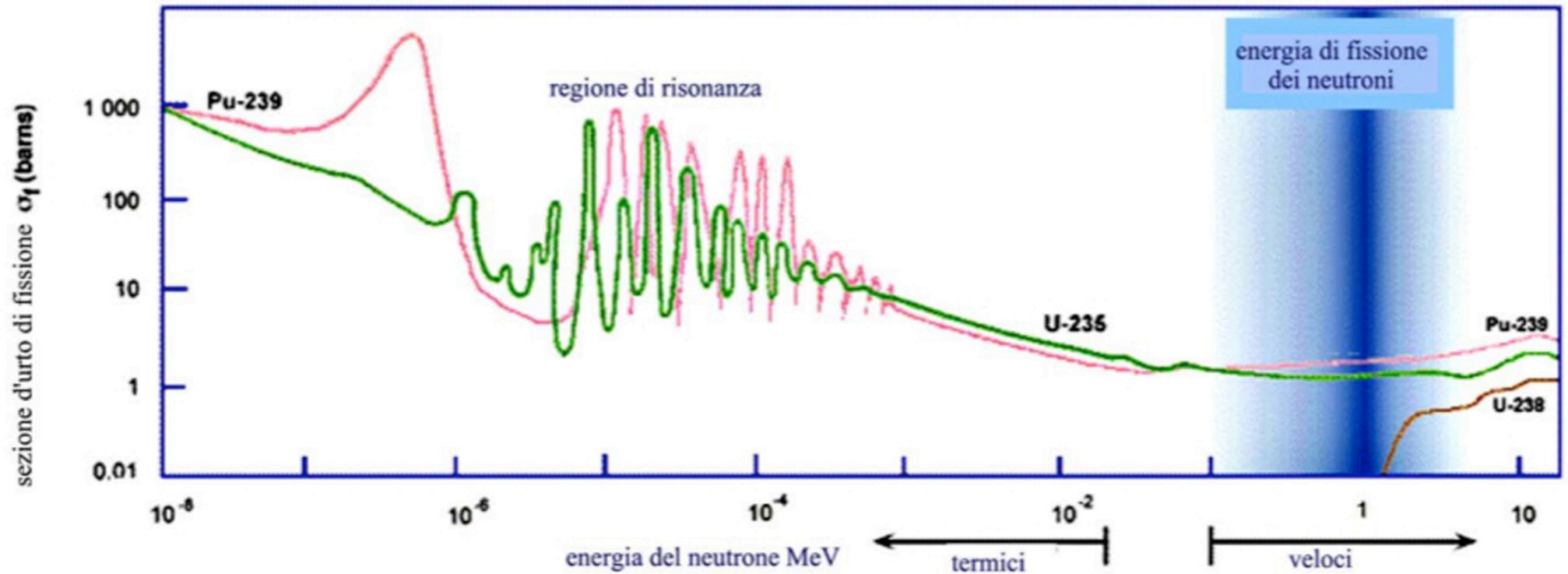


**pacchetti d'onda grossi**

**pacchetti d'onda piccoli**

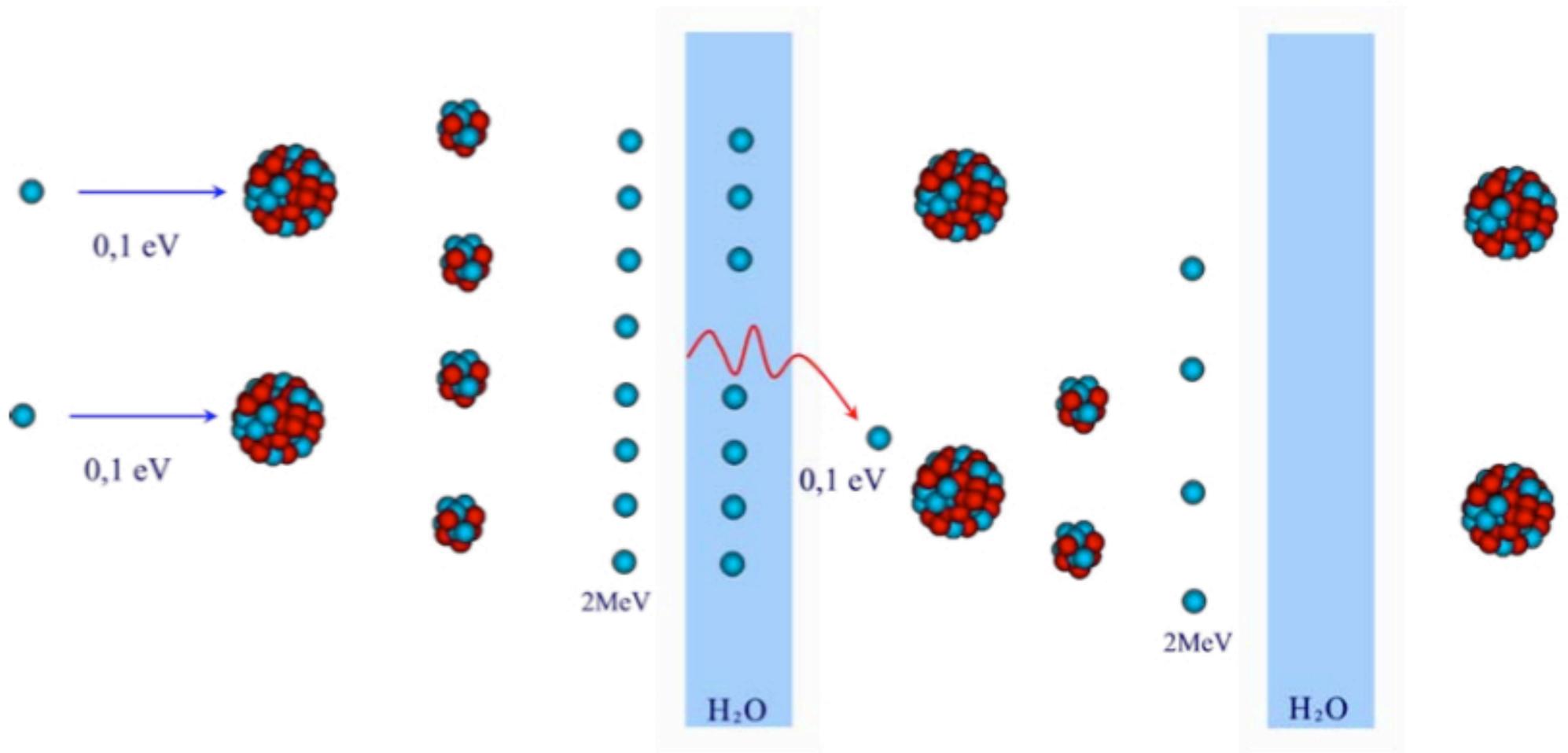


### sezione d'urto di fissione - Uranio e Plutonio



# termalizzare i neutroni

- diffondere i neutroni da nuclei leggeri:  
idrogeno, deuterio, carbonio
- ridurre al minimo l'assorbimento
- inserire l'uranio in un moderatore:  
acqua / acqua pesante/ grafite  
struttura di molti metri cubi
- aspettare che avvengano gli urti necessari:  
18 con idrogeno, 31 con deuterio, 118 con  
carbonio; 40  $\mu\text{s}$  di intervallo fra  
due interazioni successive con uranio



# la via del reattore

neutroni termici con un moderatore

- alta frequenza di fissioni
- alta efficienza
- uranio naturale o poco arricchito (LEU < 5%)
- reazione lenta e controllata
- il calore prodotto estratto da un refrigerante
- grandi dimensioni
- produzione di energia elettrica in una centrale termica
- una reazione nucleare esplosiva è impossibile

**nei reattori la reazione deve mantenersi in modo controllato, né spegnersi, né, soprattutto, divergere**

**la condizione  $k = 1$  è instabile e richiederebbe continui delicati aggiustamenti**

**- rischioso e inaccettabile da ogni buon ingegnere**

**- i reattori “salvati” dai neutroni ritardati**

**lo 0,65% dei neutroni sono emessi dopo  $\sim 10$  s**

**- si può operare in condizione sottocritica lasciando ai neutroni ritardati il compito di mantenere la reazione a catena**



## fattore intrinseco di sicurezza

se la reazione inizia a divergere ( $k > 1$ )  
o viene meno il refrigerante

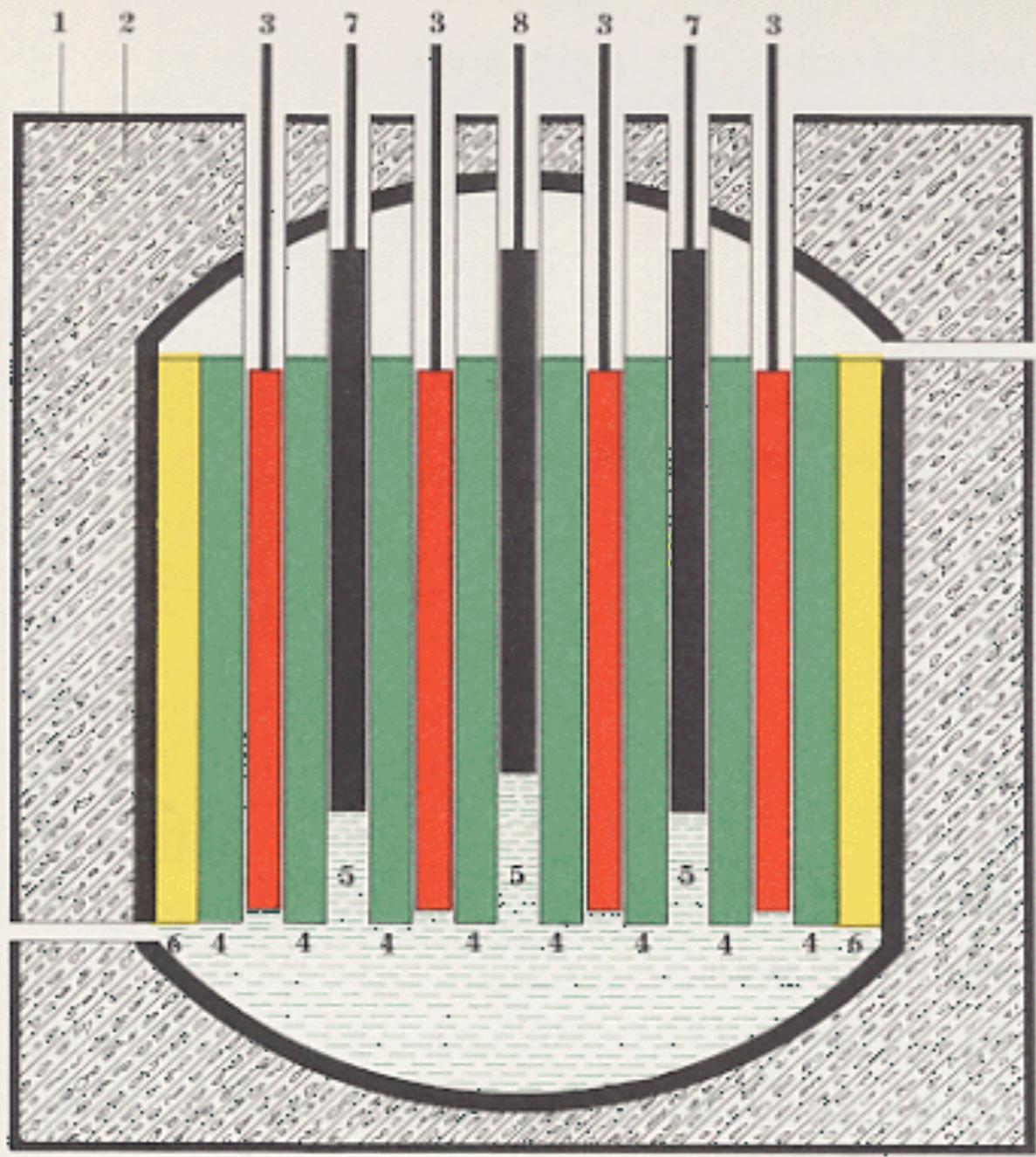
- l'uranio-238 si riscalda e cresce l'agitazione termica delle molecole
- l'assorbimento risonante di neutroni avviene non solo per energie "speciali" ma per ampi valori di energia (effetto Doppler)
- la reazione a catena tende a spegnersi

**dal nocciolo alla rete**

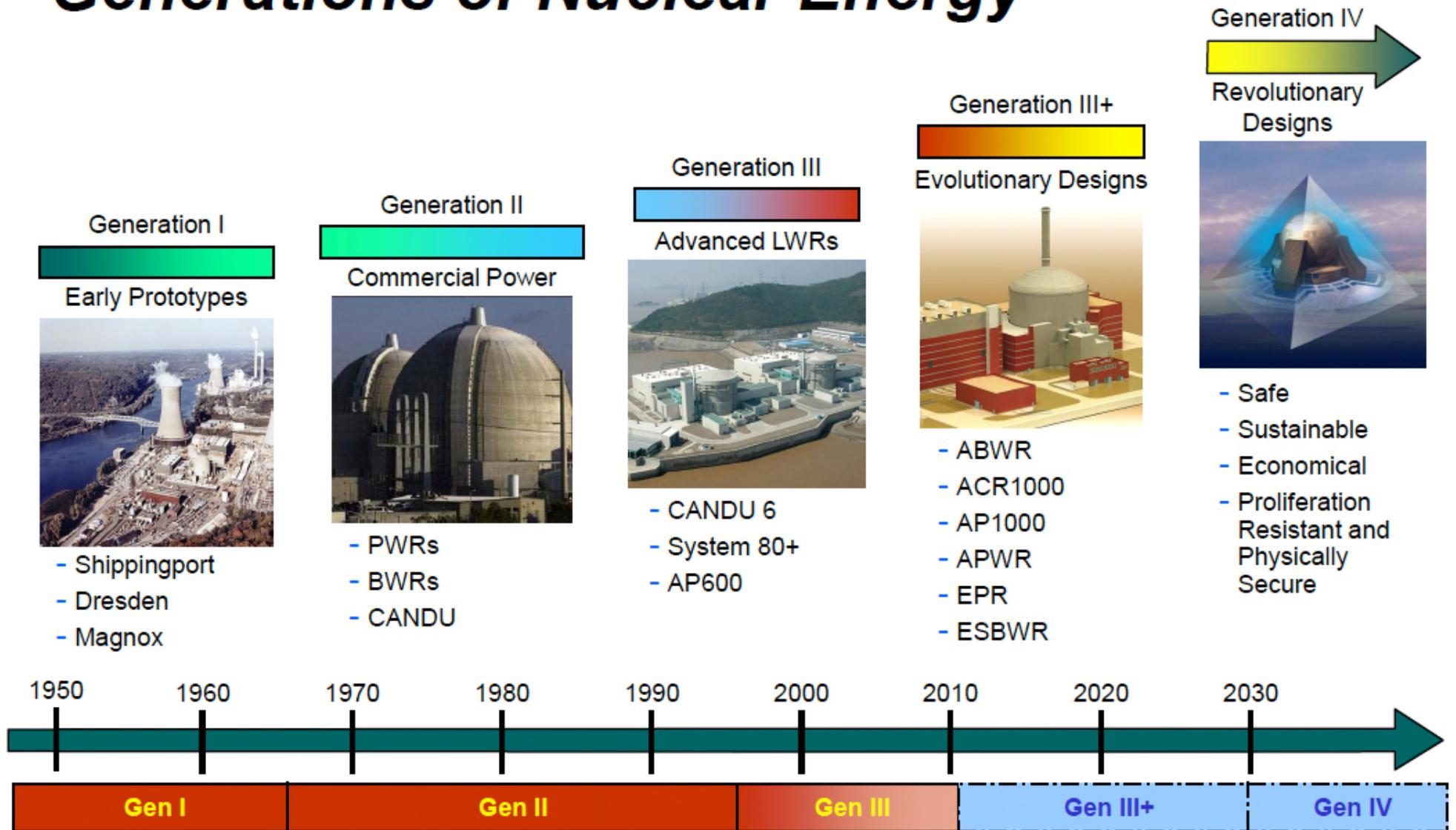
**la struttura logica di un impianto elettronucleare**

# elementi strutturali di una centrale nucleare

- nocciolo ove si sviluppa la reazione a catena e si produce calore
- sistema di estrazione del calore
- schermatura per contenere le radiazioni
- sistemi di regolazione della potenza mediante controllo della reazione a catena
- materiali che riflettano all'interno i neutroni che raggiungono le pareti
- vasca per gli elementi di combustibile esausto



# Generations of Nuclear Energy



# Tipi di impianti elettronucleari in operazione

Tipo di reattori	sigla	combustibile	moderatore	refrigerante
Reattori ad acqua pressurizzata	PWR	LEU UO <sub>2</sub>	acqua	acqua
Reattori ad acqua bollente	BWR	LEU UO <sub>2</sub>	acqua	acqua
Reattori raffreddati a gas	Magnox	U naturale metallico	grafite	CO <sub>2</sub>
CANDU	PHWR	UO <sub>2</sub> naturale	acqua pesante	acqua pesante
Reattori ad acqua e grafite	RBMK	LEU UO <sub>2</sub>	grafite	acqua
Reattori a neutroni veloci	FBR	UO <sub>2</sub> PuO <sub>2</sub>	nessuno	sodio liquido

**fattore intrinseco di sicurezza dei reattori moderati e refrigerati ad acqua o acqua pesante:  
reazione negativa fra reattività e vapore**

**se la reazione inizia a divergere ( $k > 1$ )  
o viene meno il raffreddamento**

- l'acqua del moderatore si riscalda ed evapora**
- il vapore non è in grado di moderare i neutroni**
- la reazione a catena si spegne**

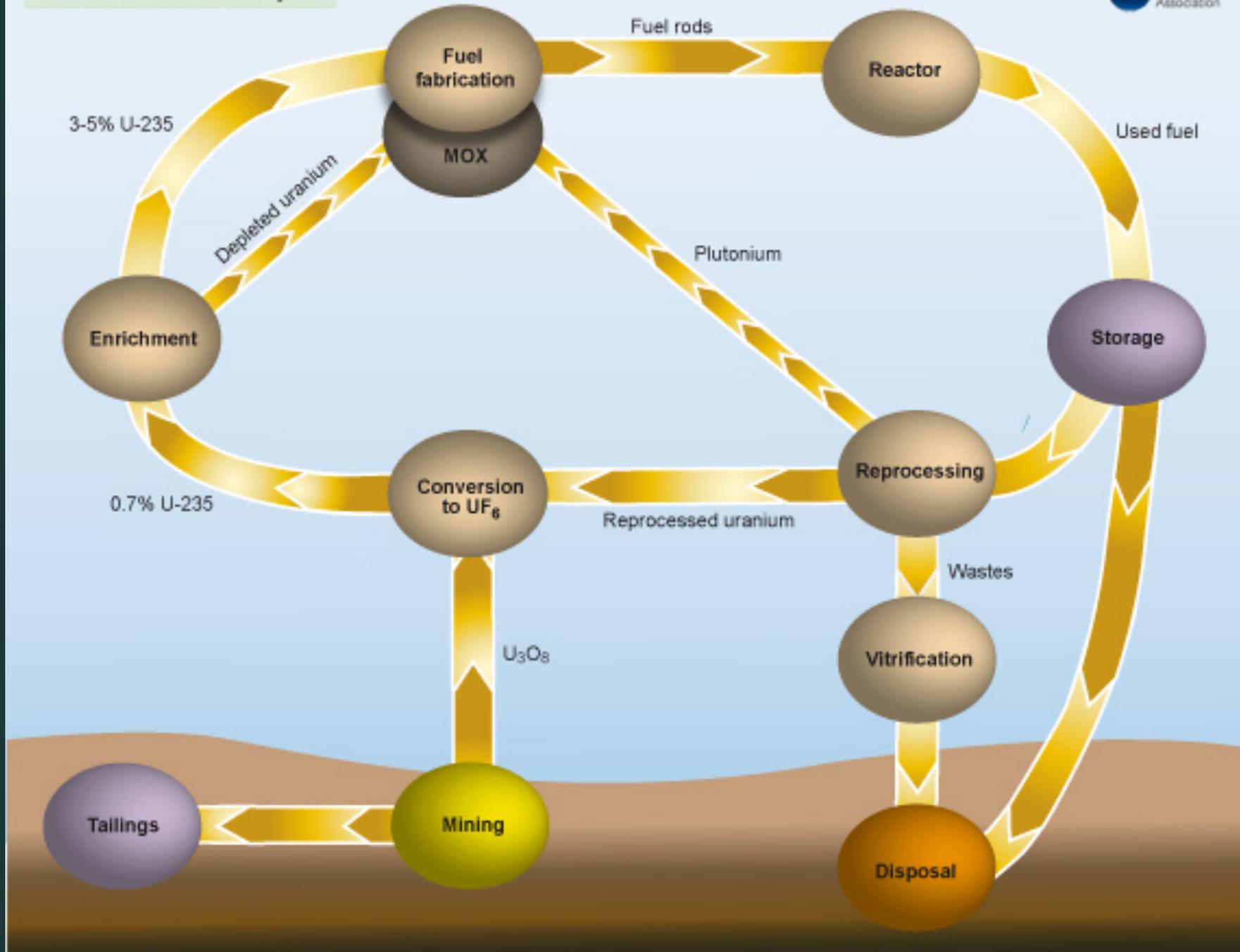
# Elementi di combustibile

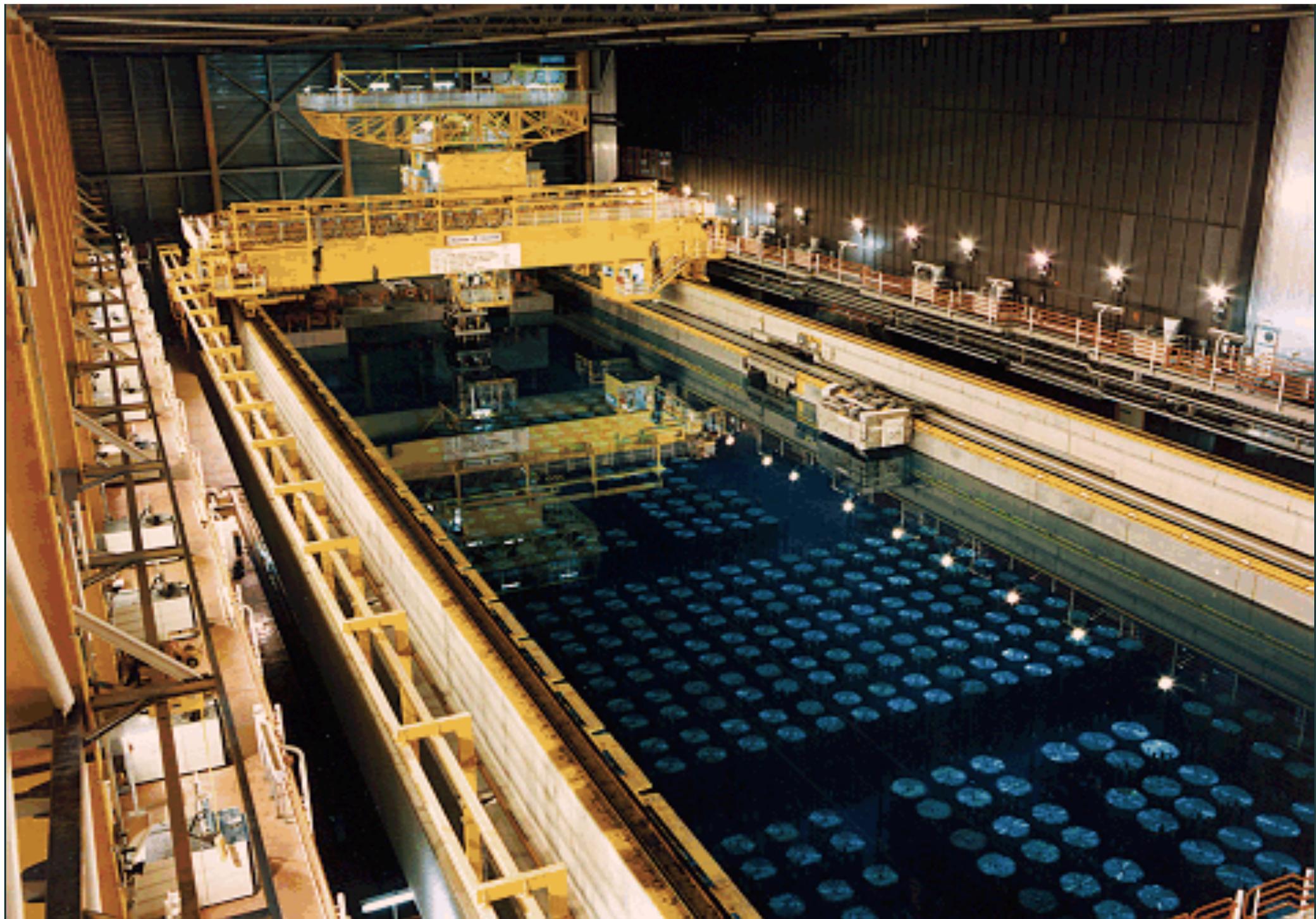
- pastiglie di ossido di uranio  $\text{UO}_2$  ceramiche  
1 cm diametro e 1,5 cm lunghezza
- barre di combustibile lunghe alcuni metri  
in un tubo di zirconio permeabile ai neutroni e  
resistente alla corrosione
- nei reattori ad acqua rifornimento a reattore  
spento solitamente ogni 2 anni
- nei reattori a grafite o acqua pesante ogni  
elemento estraibile indipendentemente

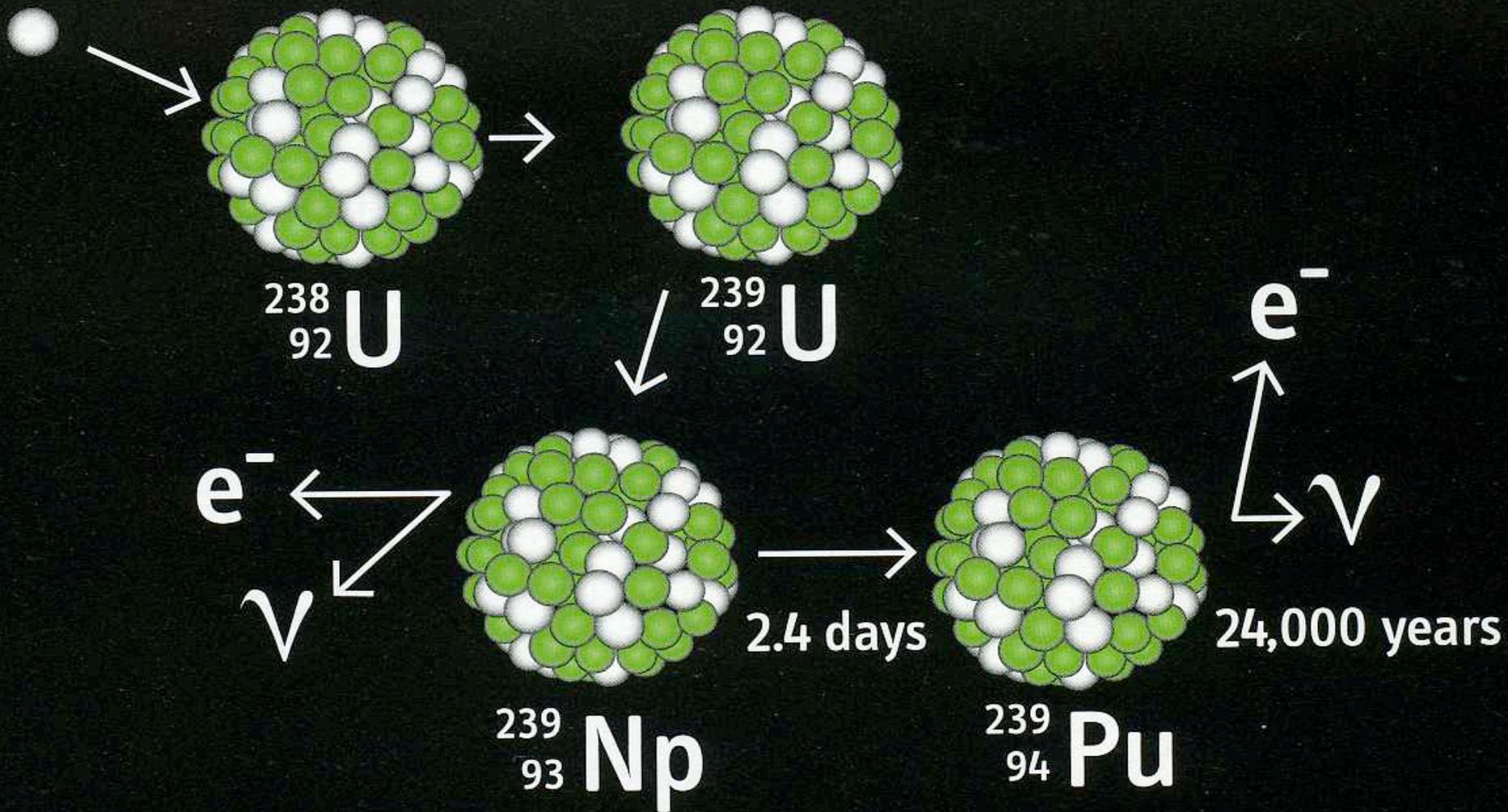
# combustibile

- ossido di uranio leggermente arricchito
  - ~ 2,5% per i BWR
  - ~ 4,5% per i PWR
- MOX miscela di ossidi di uranio naturale o impoverito con ~ 5% di plutonio

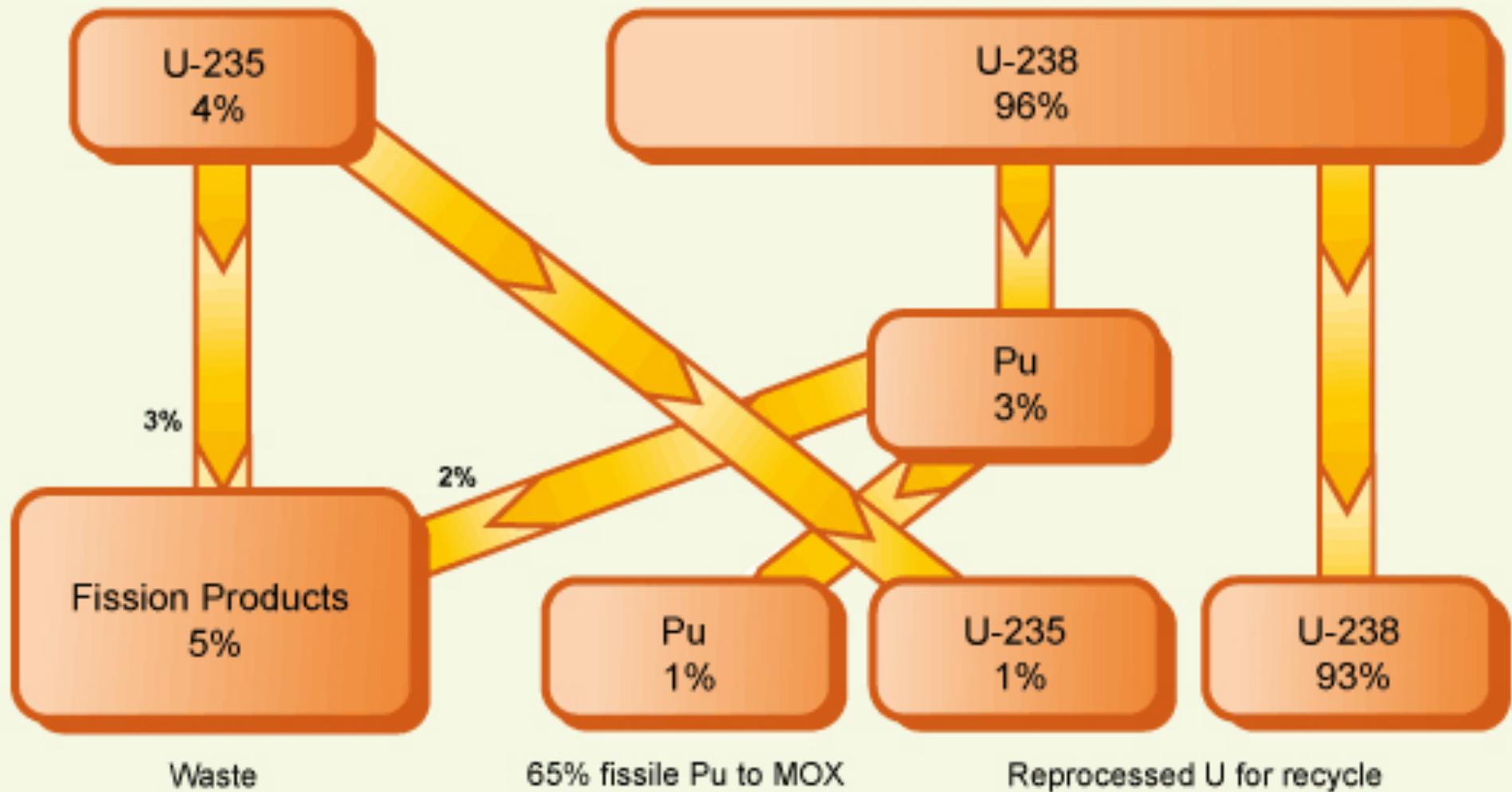
# The Nuclear Fuel Cycle







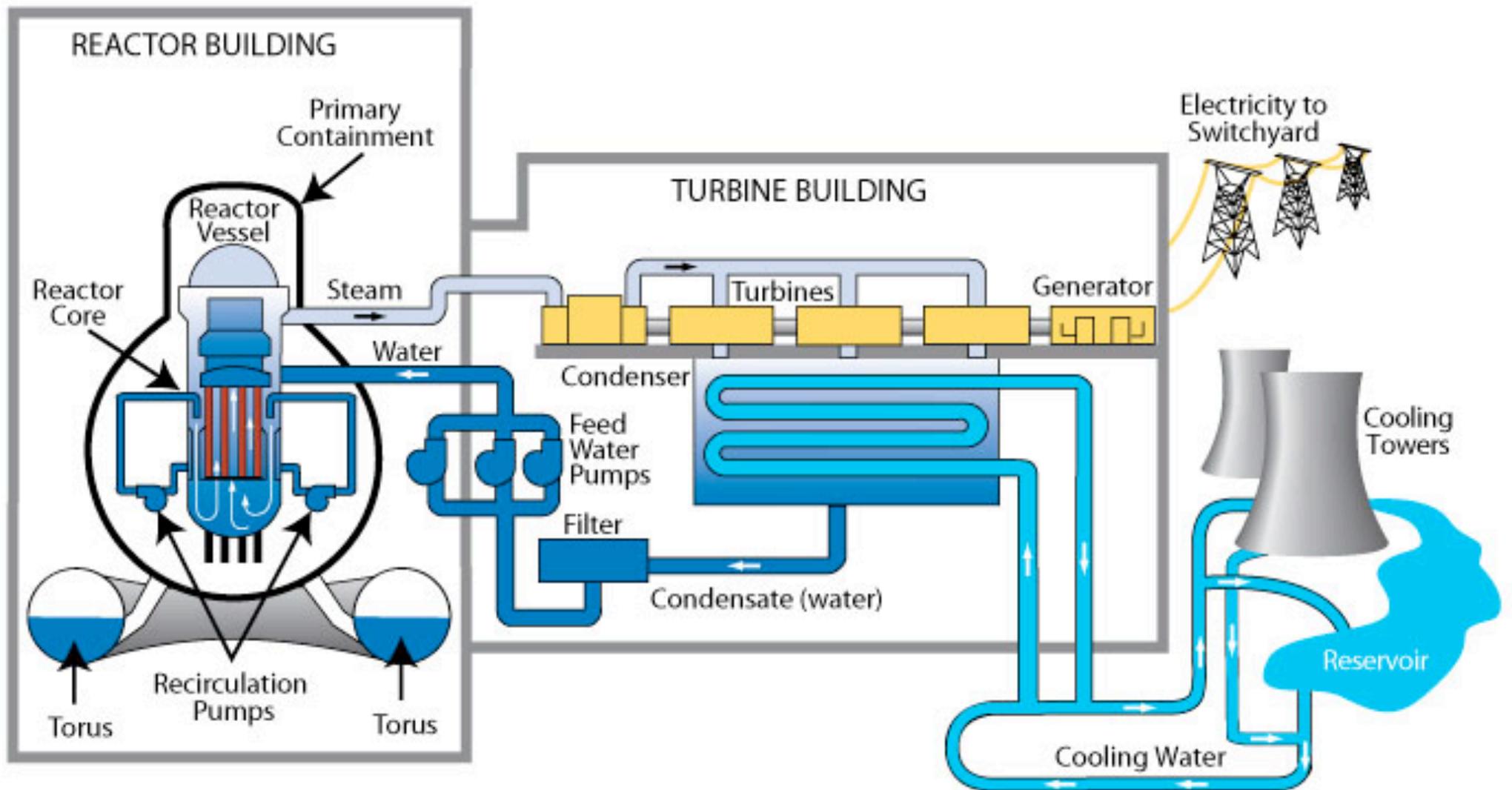
# Reaction in standard $UO_2$ fuel

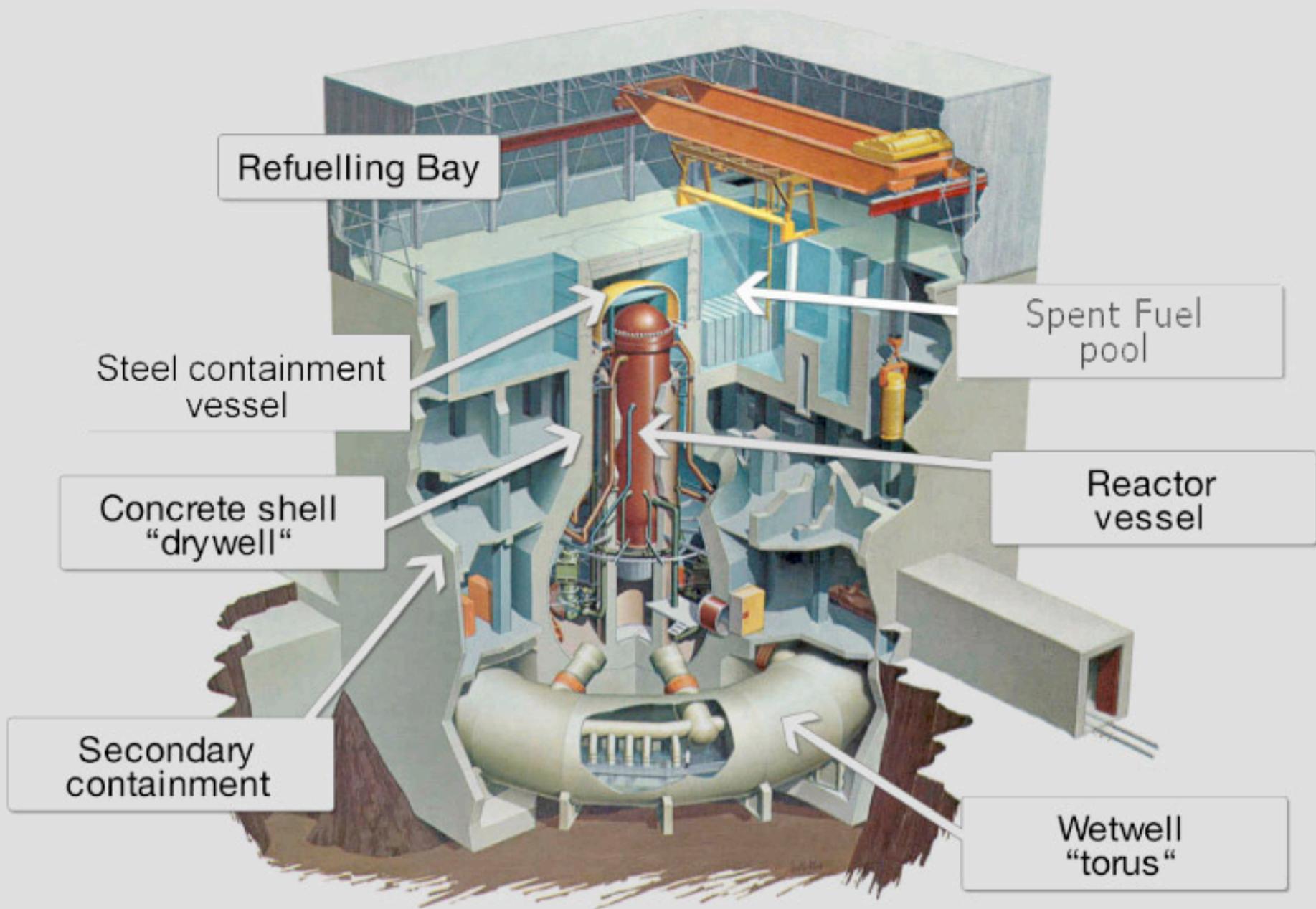


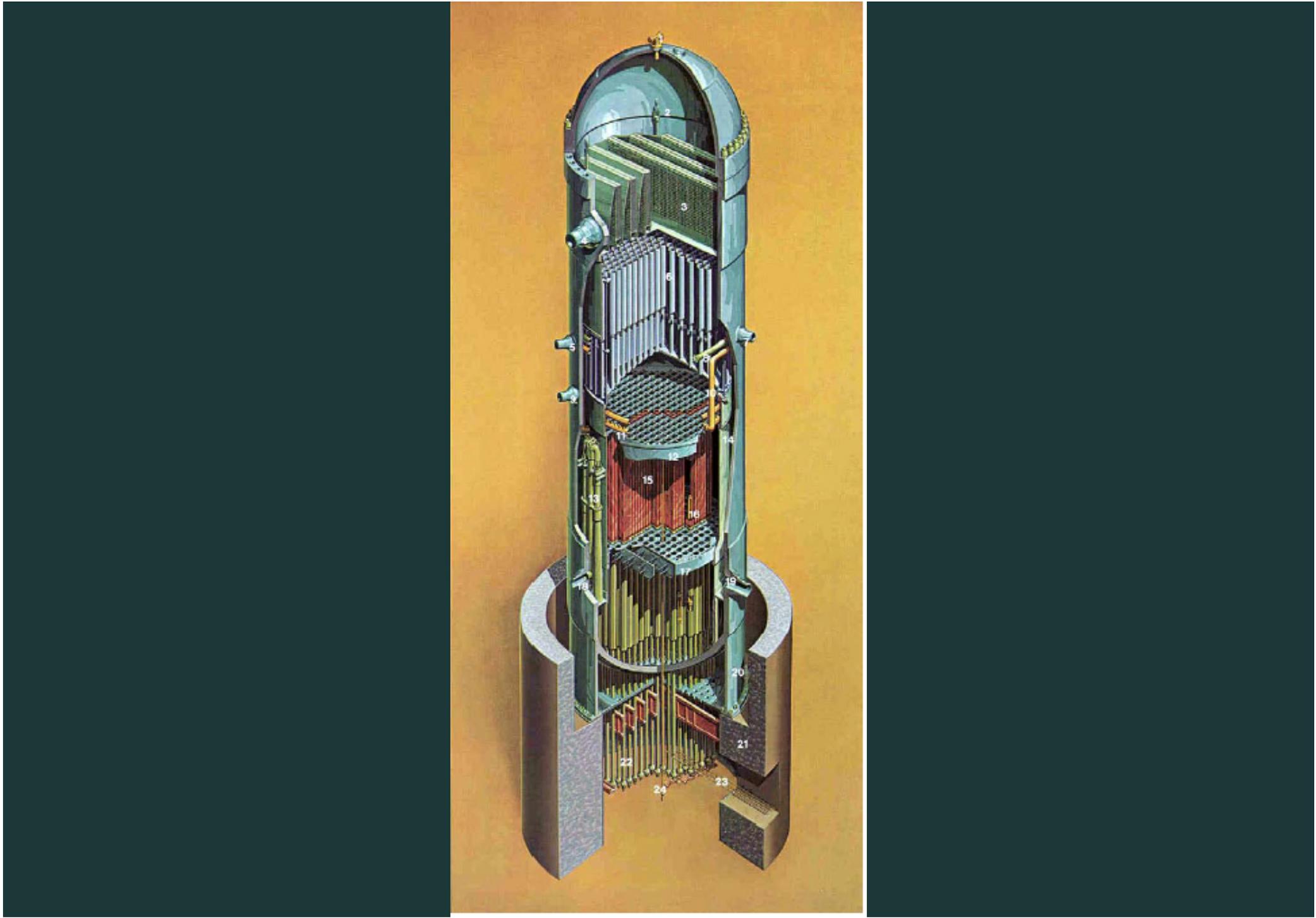
Basis: 45,000 MWd/t burn-up, ignores minor actinides

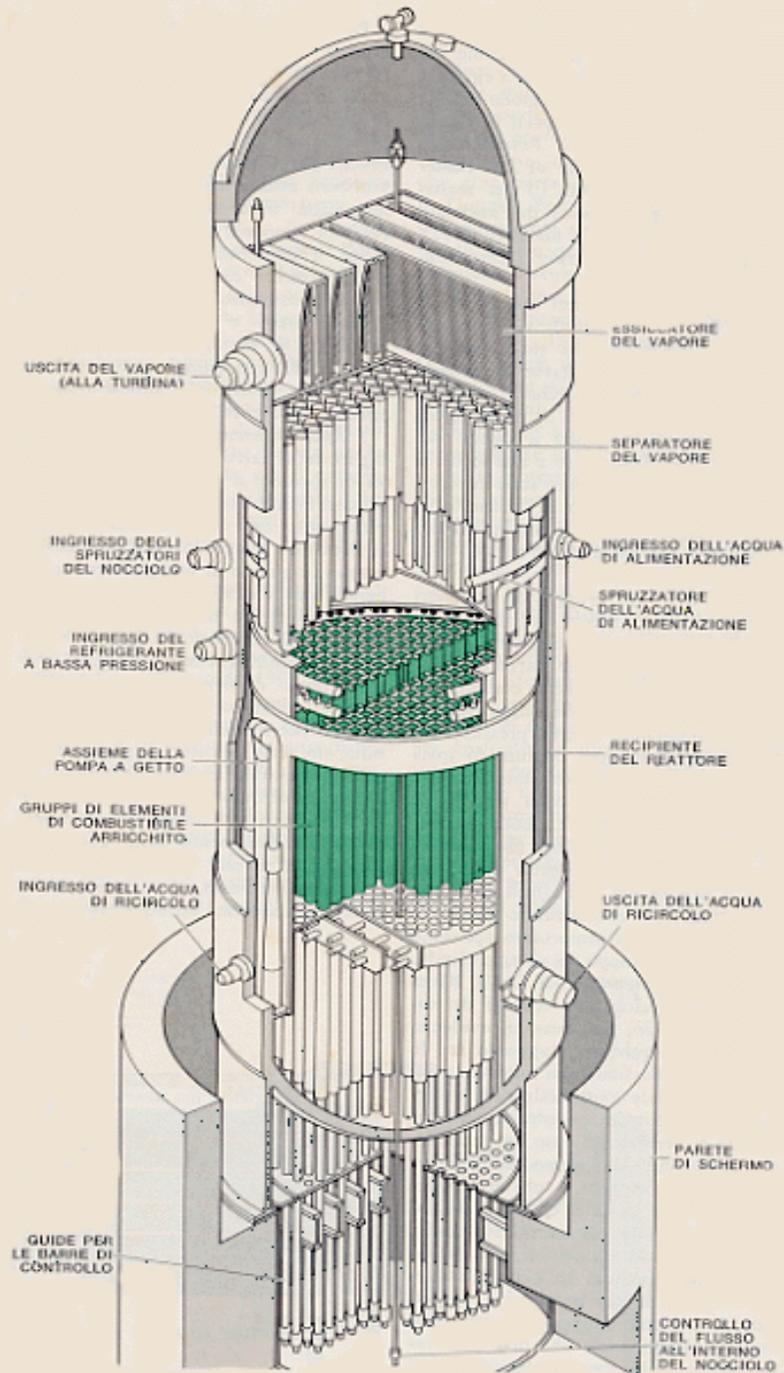
# Reattori ad acqua bollente (BWR)

- unico circuito di raffreddamento primario
- l'acqua bollendo genera il vapore per le turbine
- temperatura dell'acqua ~285 °C
- pressione dell'acqua ~75 atmosfere
- nocciolo alto ~20 m e diametro 6 m
- 750 elementi di combustibile di 90-100 barre  
carico totale 165 t di combustibile
- vapore nella parte superiore del reattore viene essiccato prima di uscire dal "vessel"









Il reattore ad acqua bollente richiede un recipiente a pressione per contenere l'acqua e il vapore.





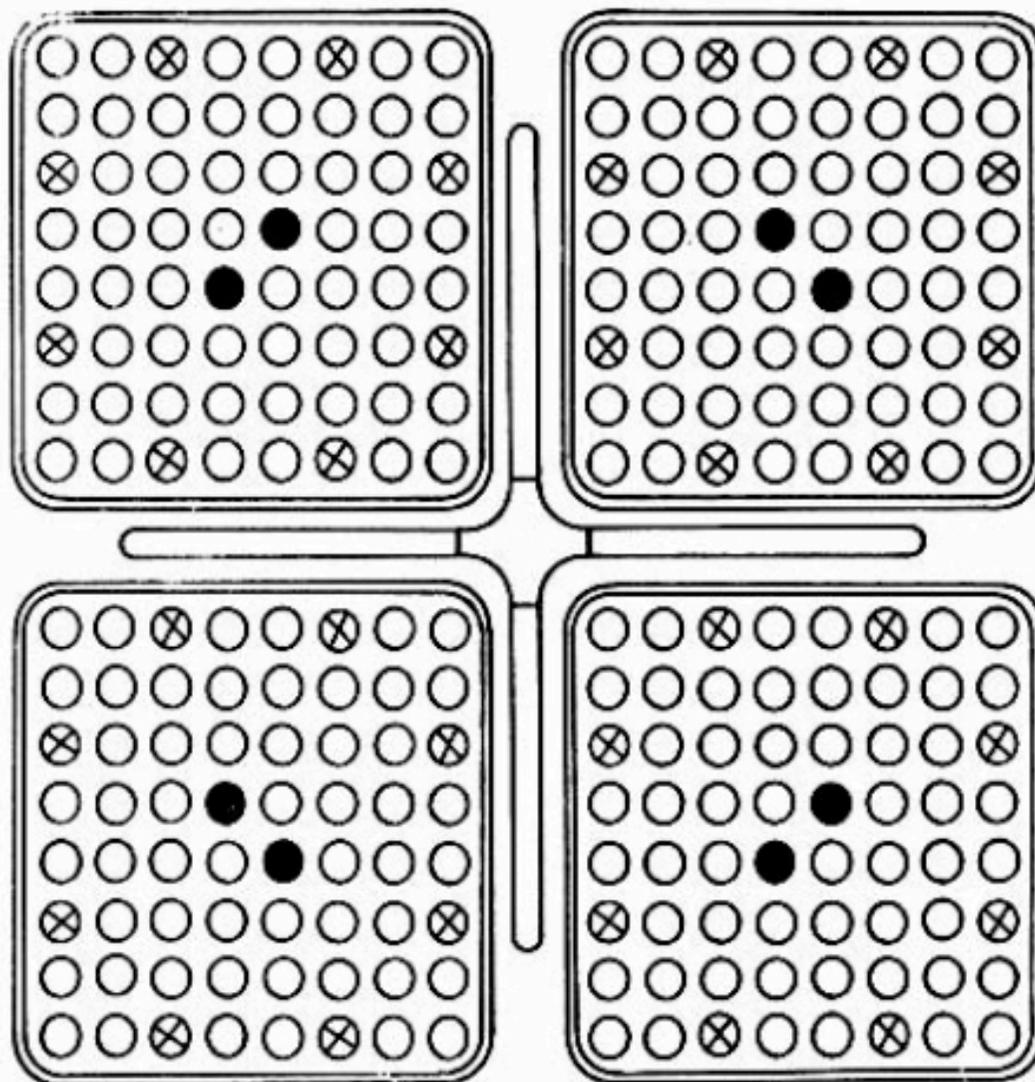
Modulo di combustibile



Barra di controllo

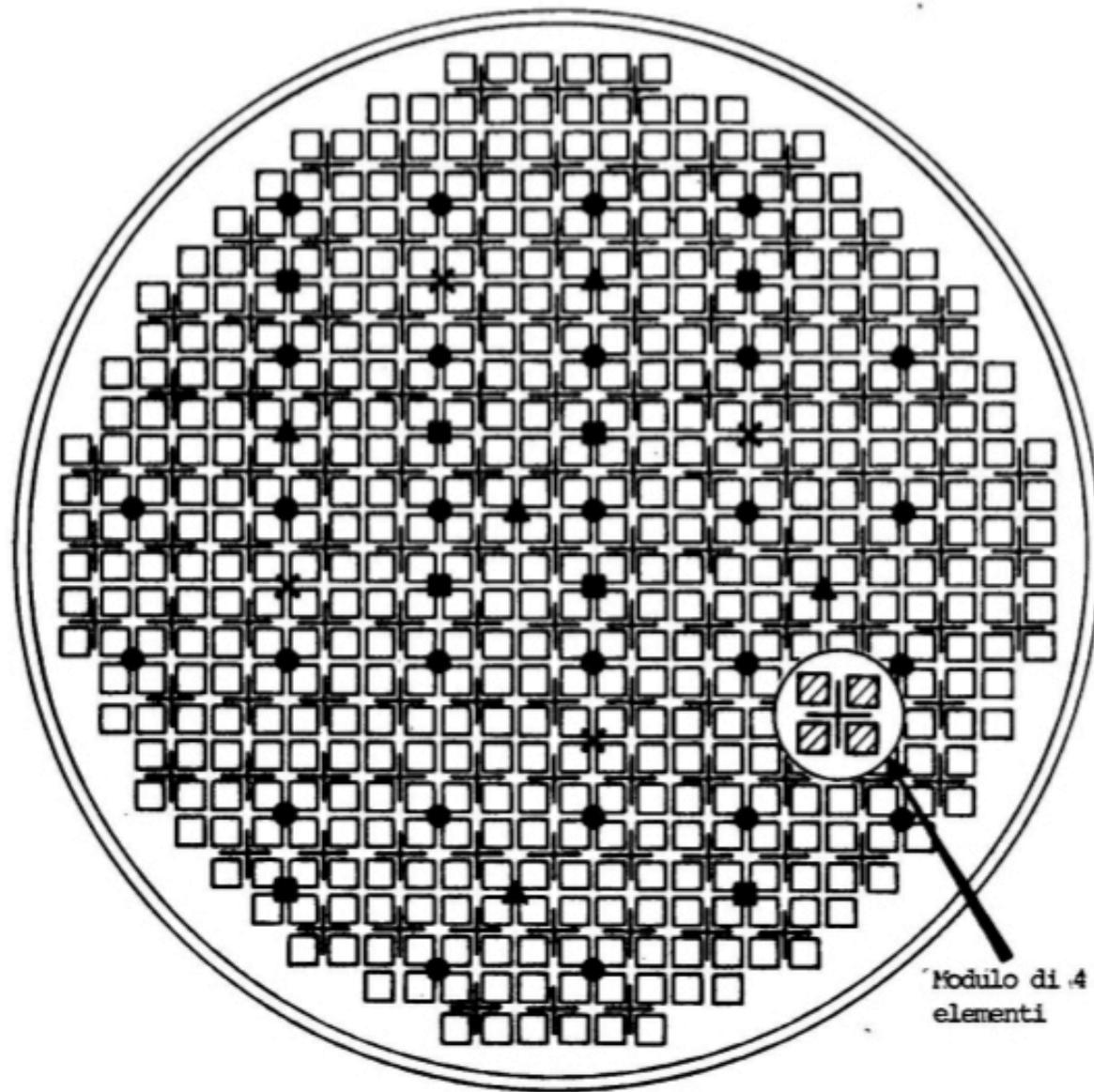


Elemento di combustibile



○ barra di combustibile  
● barra d'acqua

modulo contenente 4 elementi di combustibile



+ Barra di controllo

□ Elem. combustibile

▲ Sorgente

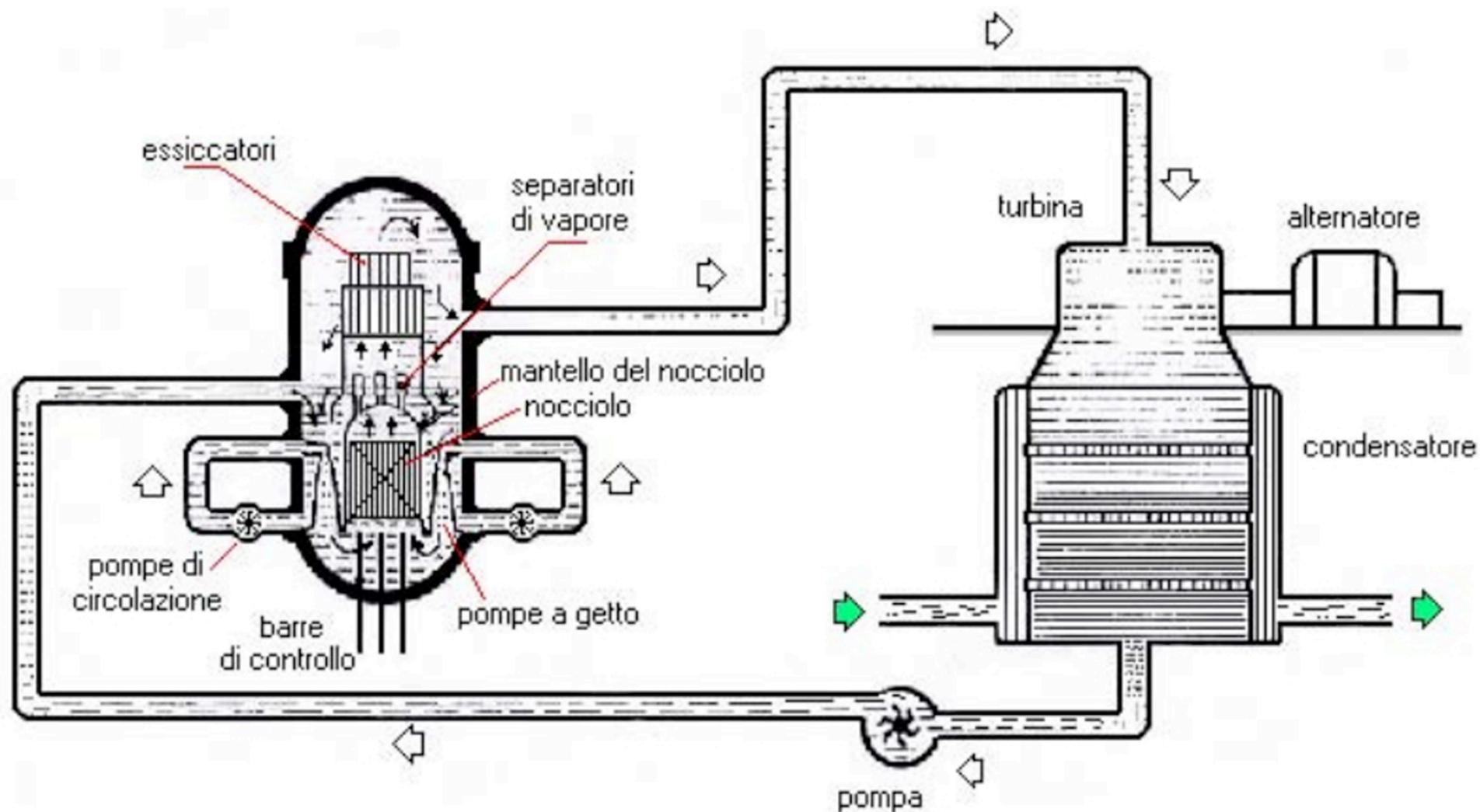
■ -

X -

● -

} Strumentazione "in core"

Sezione del nocciolo a 624 elementi



Le barre di controllo, utilizzate per l'arresto del reattore e per mantenere una uniforme distribuzione di potenza all'interno del reattore stesso, sono inserite dal basso da un sistema ad azionamento idraulico ad alta pressione.

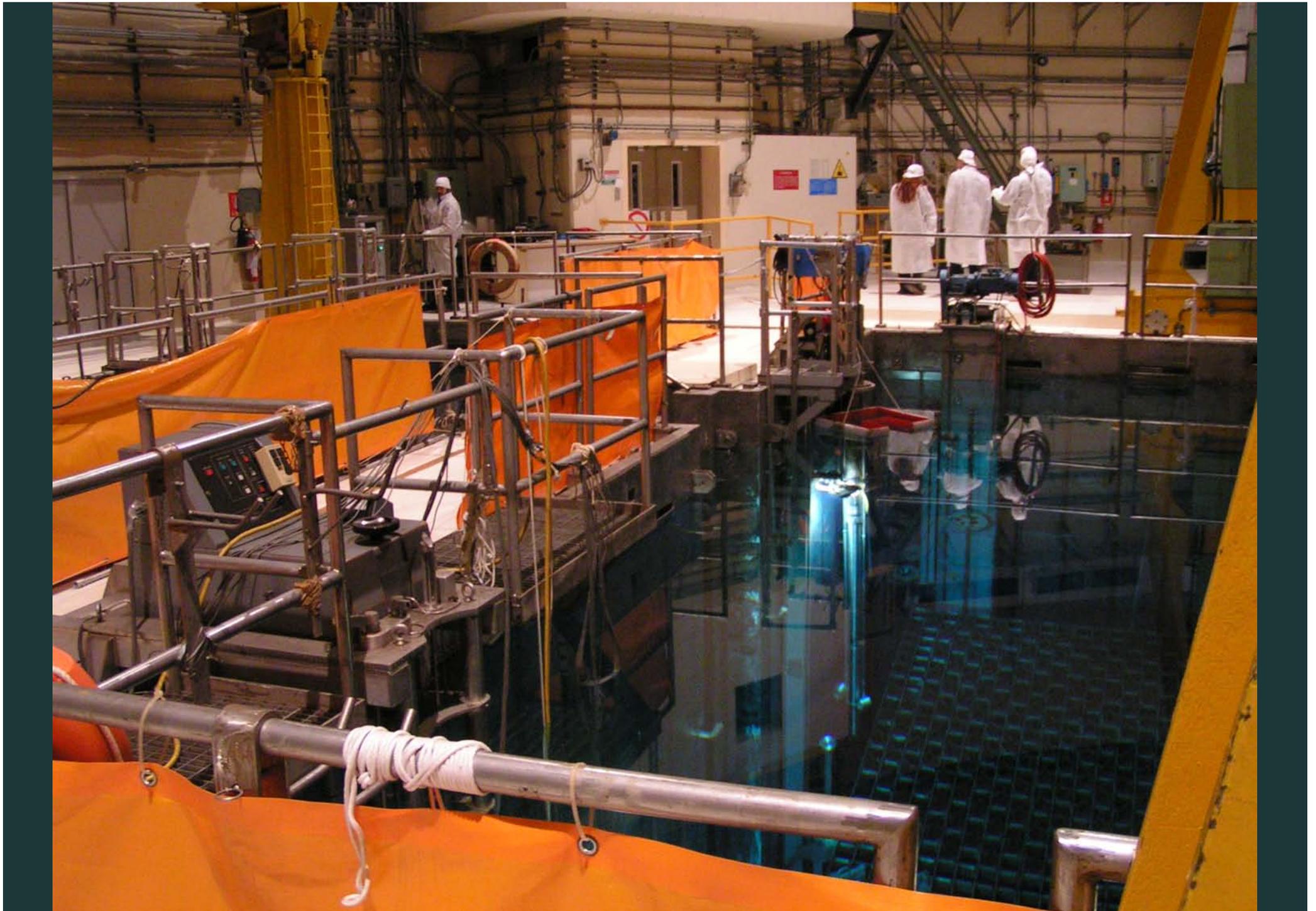
Un anello toroidale di acqua o una piscina di soppressione sono utilizzati per asportare il calore in caso di arresto improvviso del reattore.

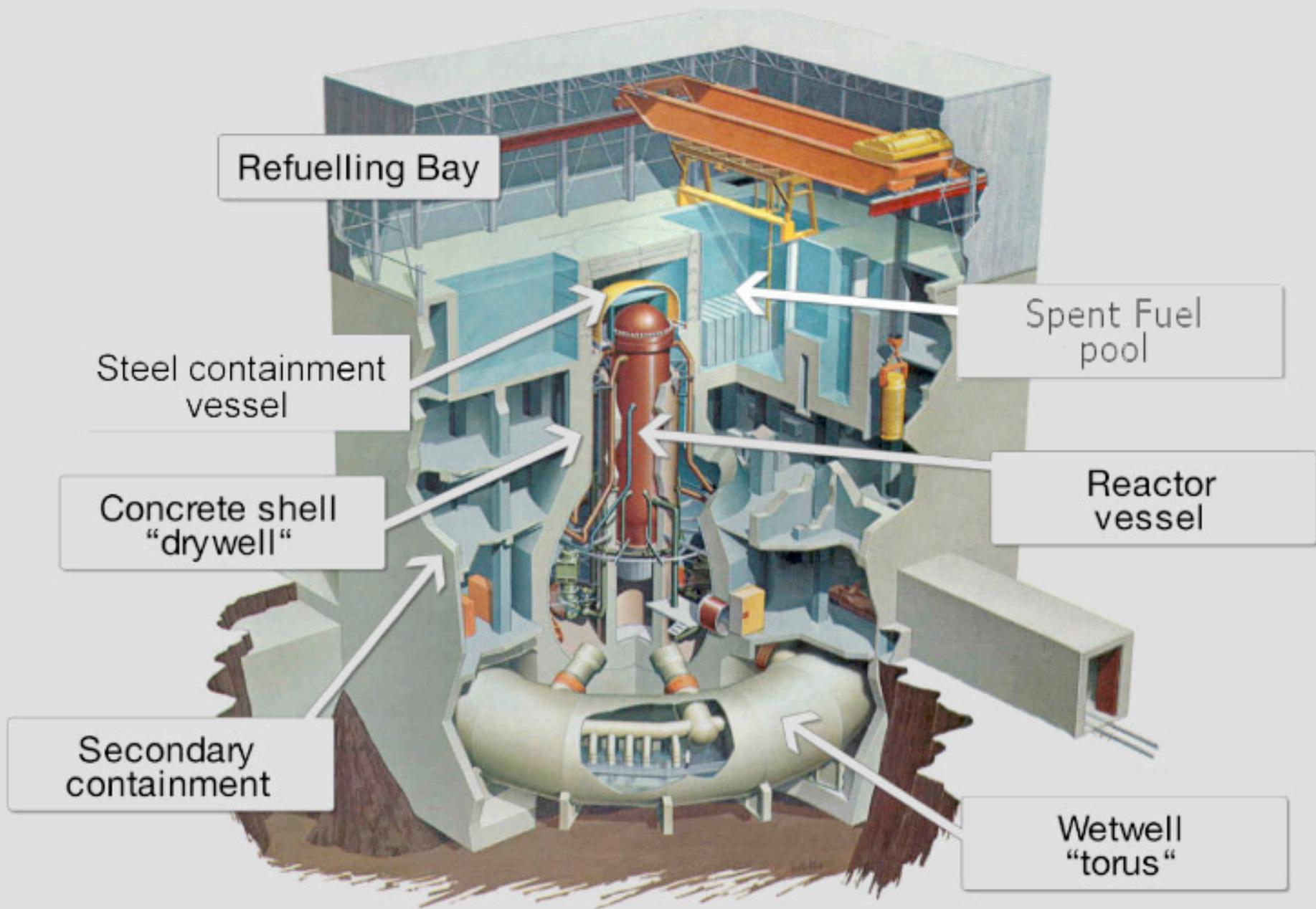
# Autoregolazione dei BWR

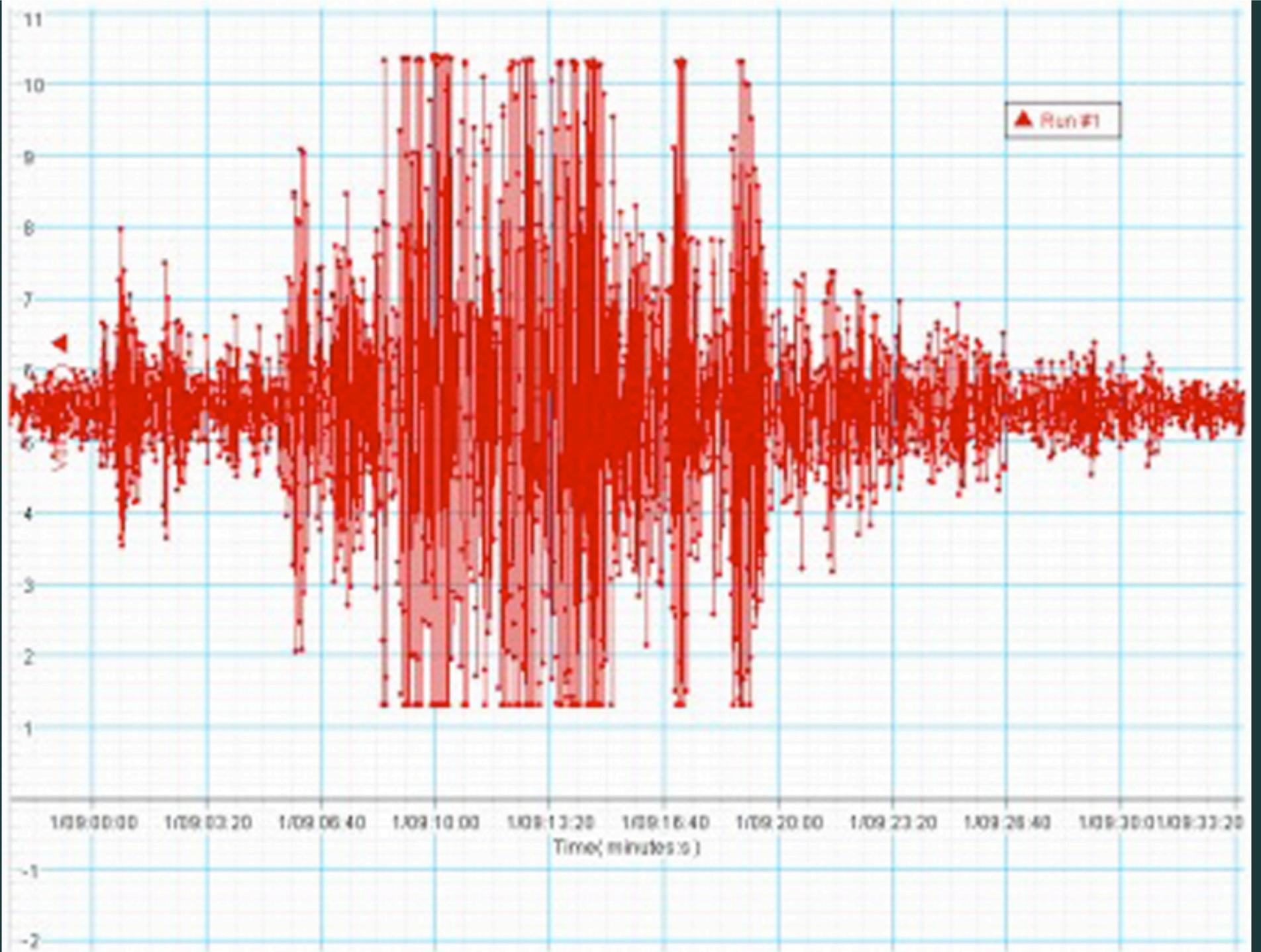
- la parte superiore degli elementi di combustibile è immersa in una miscela bifase acqua-vapore che riduce l'effetto di moderazione dei neutroni e la densità di potenza
- autoregolazione: si può variare la potenza senza agire sulle barre di controllo aumentando o riducendo il flusso d'acqua in modo da variare il livello della parte in acqua del combustibile e quindi la frequenza delle reazioni

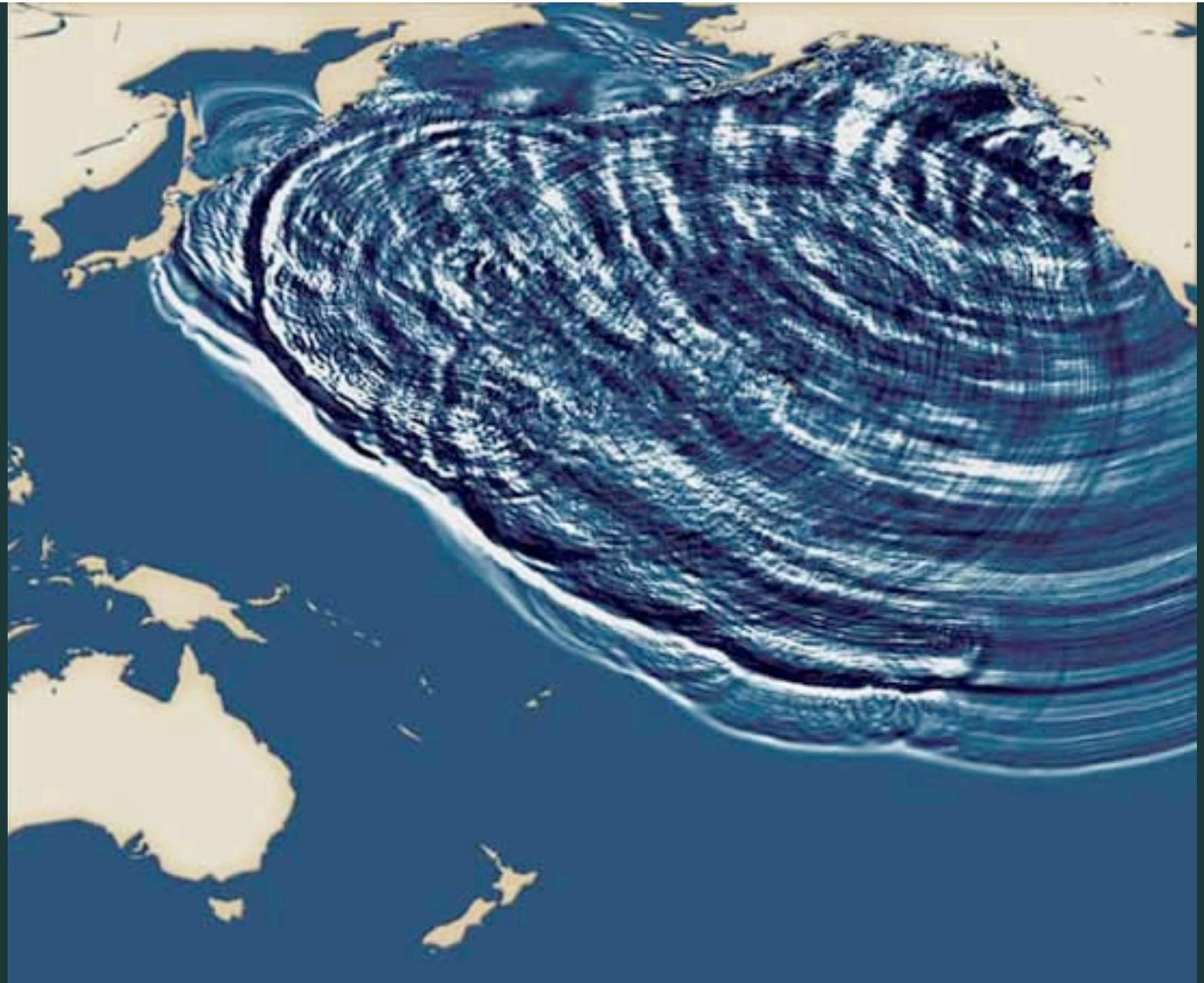
# deposizione degli elementi di combustibile esausto

- le barre di combustibile esausto calde e radioattive vengono estratte dall'alto con gru mantenendole immerse in acqua
- sono riposte in cisterne di acqua sopra il reattore
- rimangono immerse in acqua borata di livello molte volte la loro lunghezza
- le barre vengono conservate in strutture rigide a distanze adeguate a impedire il raggiungimento di condizioni di criticità



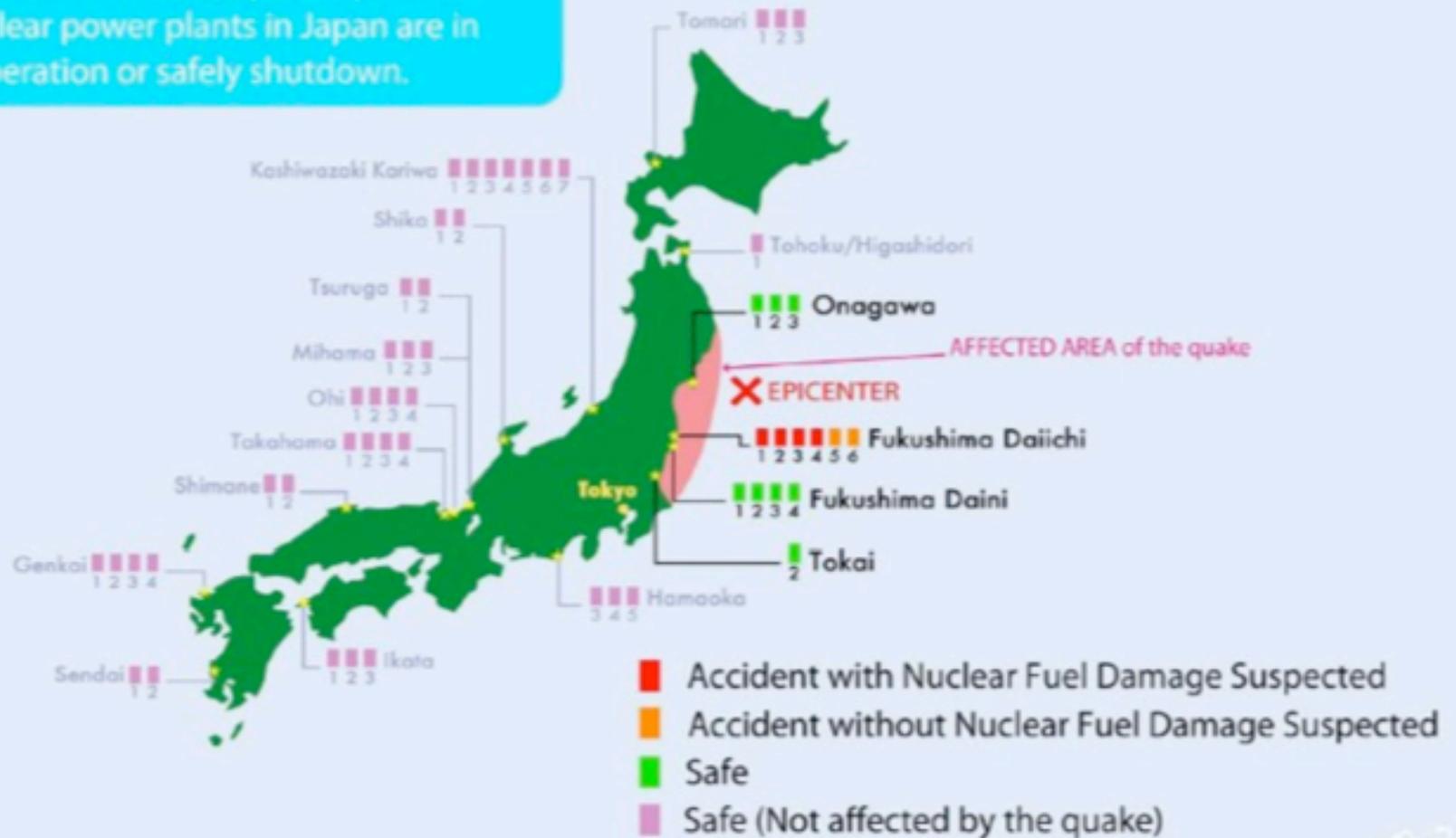






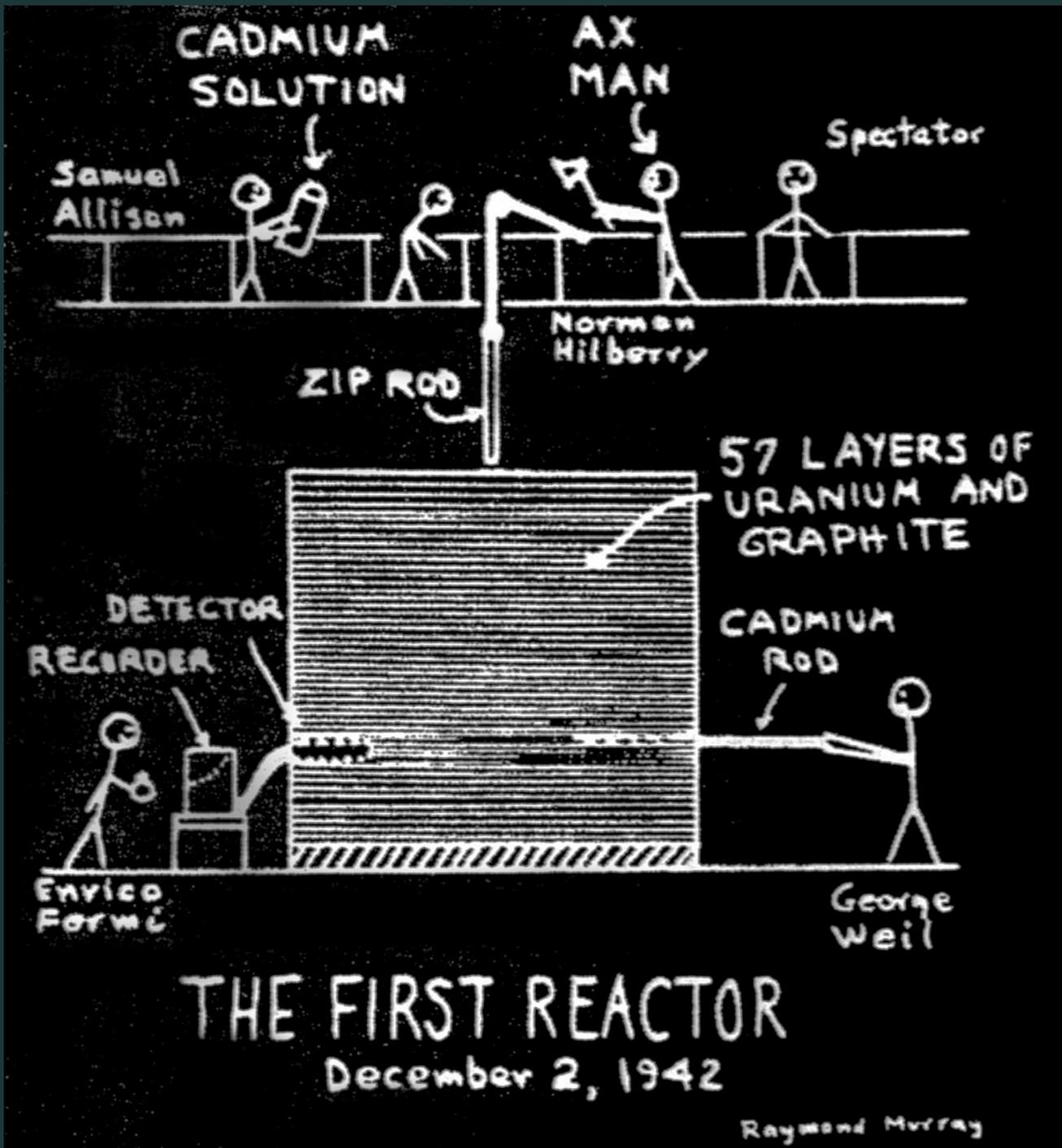
# Status of the Nuclear Power Plants after the Earthquake

Every efforts and measures have been taken at Fukushima Daiichi nuclear power plants. Other nuclear power plants in Japan are in normal operation or safely shutdown.



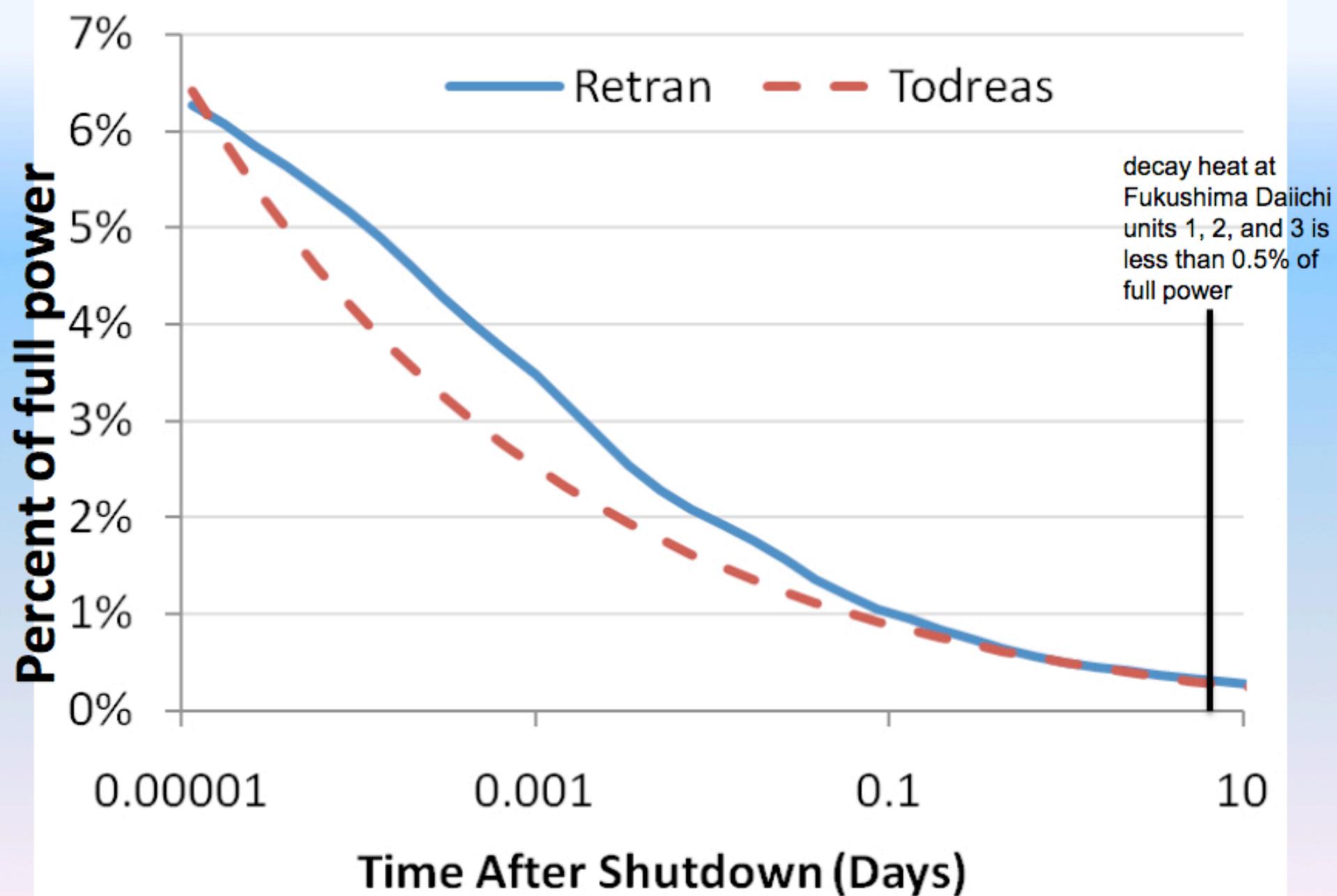
# Conseguenze su Fukushima

- il terremoto fa agire lo spegnimento nei reattori della fissione mediante le barre di controllo (SCRAM - "safety control rod axe man")
- si interrompe l'energia elettrica
- la radioattività del combustibile, dei prodotti di fissione e del materiale attivato dai neutroni produce calore e il reattore conserva una potenza residua
- a Fukushima la potenza residua è ~0,5% (di solito si arriva al 7%)



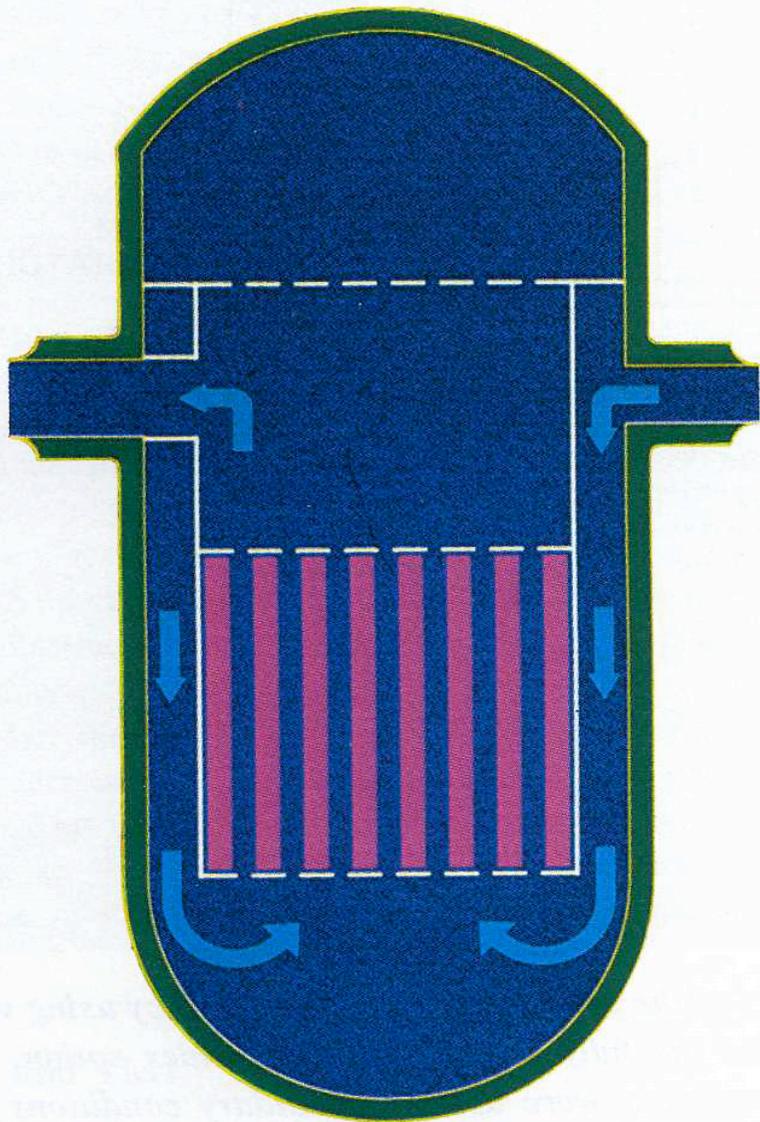
Status of Fukushima I at 21 March 22:00 JST (21 March 13:00 UTC) <sup>[220]</sup>	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6
Power output (MWe)	460	784	784	784	784	1,100
Type of reactor	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
Core fuel assemblies <sup>[222]</sup>	400	548	548	0 <sup>[169]</sup>	548	764
Spent fuel assemblies <sup>[169]</sup>	292	587	514	1,479	826	1,136
Spent fuel residual decay heat <sup>[223][224]</sup>	60 kW	400 kW	200 kW	2,000 kW	700 kW	600 kW
Fuel type	Low-enriched uranium	Low-enriched uranium	Mixed-oxide (MOX) and low-enriched uranium	Low-enriched uranium	Low-enriched uranium	Low-enriched uranium
Status at earthquake	In service	In service	In service	Outage (scheduled)	Outage (scheduled)	Outage (scheduled)

# Decay Heat Generation After Shutdown

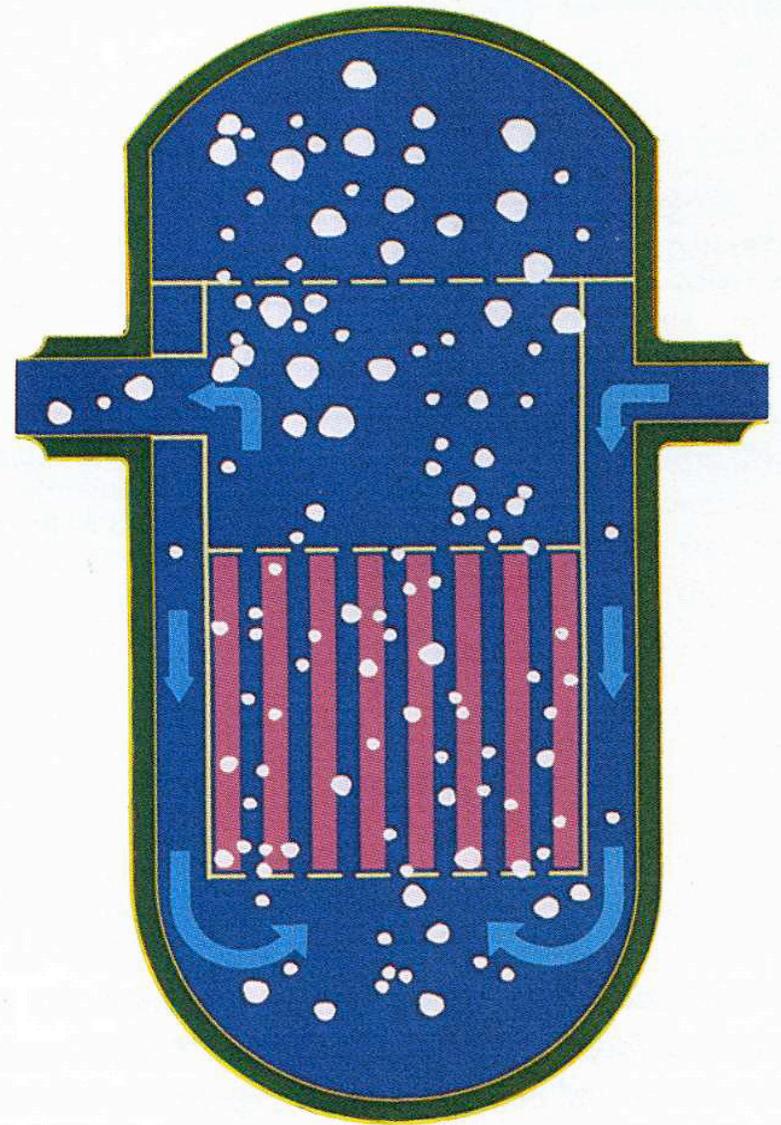


# Rischi del riscaldamento del nocciolo

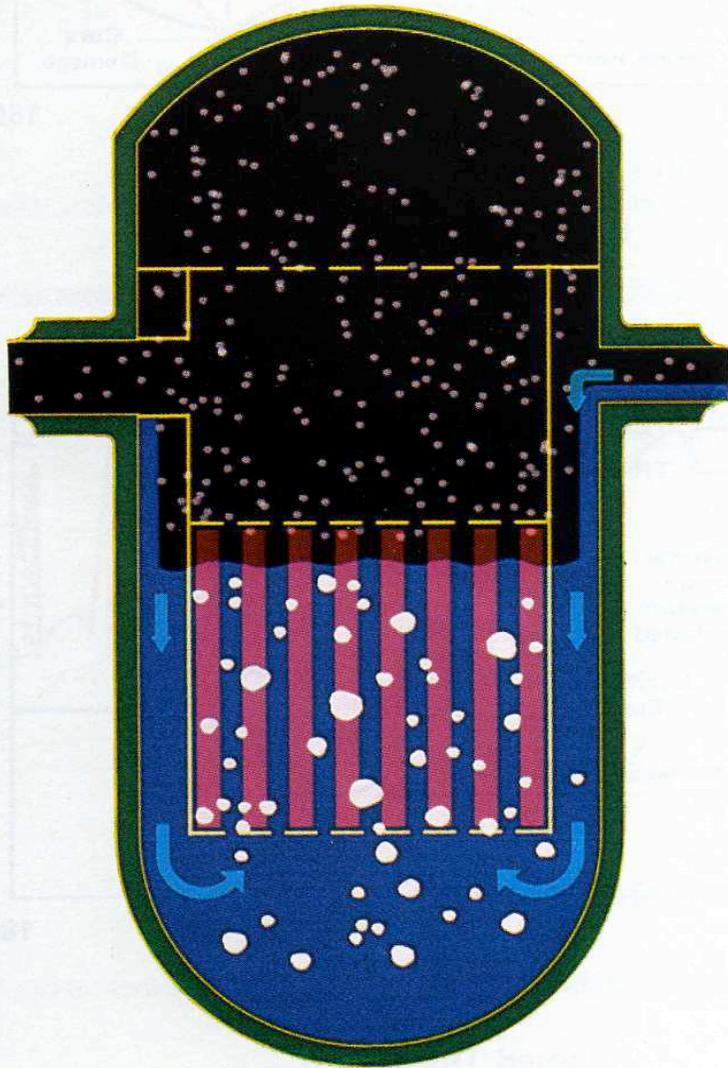
- l'acqua evapora scoprendo le barre
- lo zirconio reagisce col vapore producendo idrogeno
- l'idrogeno in presenza di ossigeno libero può incendiarsi o esplodere
- le barre possono perdere la protezione e liberare sostanze radioattive
- le barre in parte o in toto possono fondere liberando radiazione e danneggiando gli schermi di contenimento



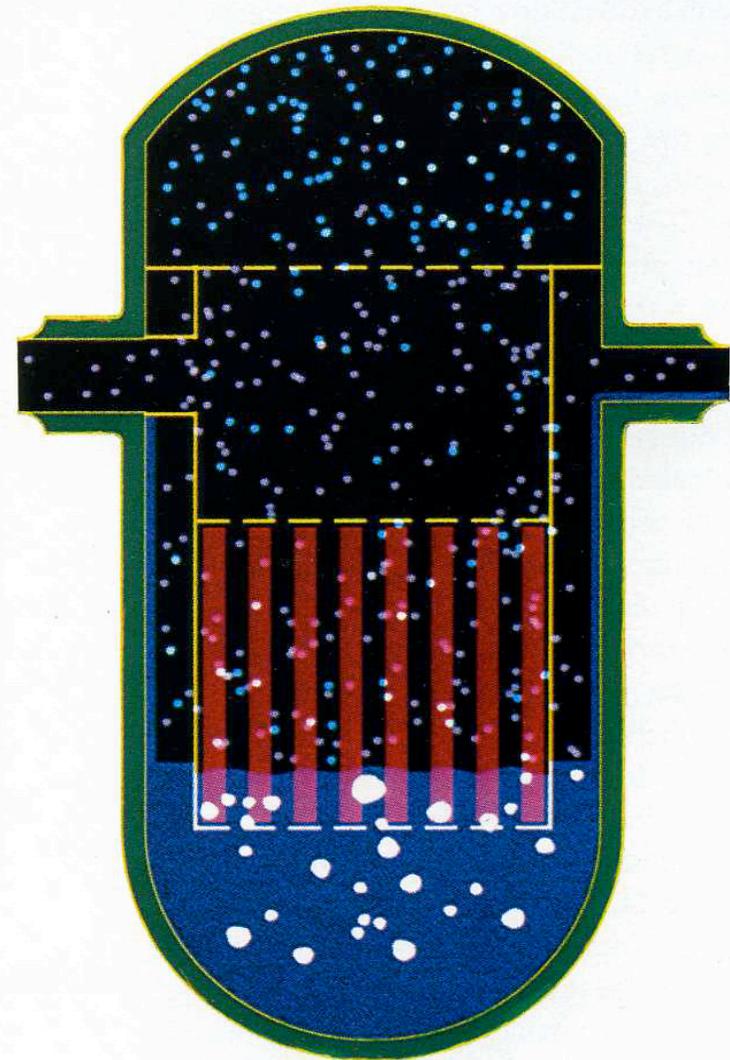
$t = 0$   
Normal operation



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



**t = 102 min**  
**Primary pumps off**  
**Steam and water separate**  
**Cooling by natural convection**  
**Core temperature rises**



**t = 180 min**  
**Vessel head filled with hydrogen from cladding**  
**oxidation**  
**Upper 75% of core uncovered**

# Problemi nelle vasche del combustibile esausto

- l'interruzione del raffreddamento delle vasche e le scosse telluriche hanno fatto evaporare parte dell'acqua di copertura
- a temperature sopra  $\sim 300$  °C si innesca la reazione del zirconio con l'acqua producendo ossido di zirconio e idrogeno
- l'idrogeno può incendiarsi in aria e produrre esplosioni

# Diario degli eventi

## Venerdì 11 marzo

- le unità 1, 2 e 3 si spengono automaticamente all'arrivo dell'onda sismica
- le unità 4, 5 e 6 sono già spente
- la centrale resta senza corrente
- i generatori diesel d'emergenza (EDG) provvedono alle pompe d'emergenza del nocciolo
- arriva l'onda tsunami
- i generatori diesel si spengono
- entrano in funzione i sistemi ausiliari di raffreddamento pilotati dal vapore (*reactor core isolation cooling* - RCIC) per i reattori 1,2 e 3 e, per il reattore 3, anche il sistema di iniezione di refrigerazione ad alta pressione (HPCI)
- ordine di evacuazione per le persone entro 3 km dalla centrale

# Diario degli eventi

## Sabato 12 marzo

- le batterie di emergenza si esauriscono
- le capacità di raffreddamento dei 3 reattori diminuiscono e il materiale e vapore si surriscalda
- aumenta la pressione nel contenitore primario dei 3 reattori
- si inizia a sfogare vapore (debolmente radioattivo) dal reattore 1
- evacuazione per le persone entro 10 km dalla centrale
- esplosione di idrogeno nell'edificio del reattore 1 con distruzione della copertura della parte superiore che ospita la vasca per il combustibile esausto
- la zona d'evacuazione estesa a 20 km dalla centrale
- si pompa acqua di mare nel reattore 1

# Diario degli eventi

## Domenica 13 marzo

- si inizia a sfogare vapore (debolmente radioattivo) dal reattore 3
- si pompa acqua di mare nel reattore 3

## Lunedì 14 marzo

- esplosione di idrogeno nell'edificio del reattore 3 con danni alla copertura della parte superiore che ospita la vasca per il combustibile esausto
- si sospetta che il livello dell'acqua nei 3 reattori non copra completamente le barre di combustibile, con possibili danni alle barre
- le strutture di confinamento rimangono intatte
- si pompa acqua di mare nel reattore 2

**Image Credit: DigitalGlobe**  
**Image Annotation: ISIS**  
**Image Date: March 14, 2011**

**Smoke or dust plume from the explosion**

**After the explosion at Unit 3, damage to the reactor building can be seen. Steam can be seen venting out of the reactor building**

**Steam venting out of the building**

**After the explosion at Unit 1, the top of the reactor building is damaged**



# Diario degli eventi

## Martedì 15 marzo

- incendio nel reattore 4, con danni alla copertura dell'edificio
- si inizia a sfogare vapore (debolmente radioattivo) dal reattore 2
- esplosione di idrogeno nell'edificio del reattore 2
- si sospettano danni al serbatoio di sfioro nel contenitore primario
- l'edificio del reattore 2 rimane intatto
- esplosione di idrogeno nell'edificio del reattore 4, con ulteriori danni alla copertura dell'edificio
- rischio che l'acqua della vasca per il combustibile esausto del reattore 4 inizi a bollire
- il livello dell'acqua nel reattore 5 scende a 2 m sopra il combustibile attivo
- i due generatori diesel d'emergenza (EDG) del reattore 6 forniscono energia per i sistemi di raffreddamento dei reattori 5 e 6

# Diario degli eventi

## Mercoledì 16 marzo

- nuovo incendio nella zona del combustibile esausto del reattore 4
- completata l'evacuazione della zona di 20 km
- emissione di vapore dalla zona del combustibile esausto del reattore 3: probabilmente l'acqua di copertura sta bollendo

## Giovedì 17 marzo

- elicotteri versano acqua nella vasca del combustibile esausto del reattore 3
- personale d'emergenza usa autopompe speciali dei vigili del fuoco e cannoni d'acqua antisommossa per alzare il livello di copertura nella vasca del combustibile esausto del reattore 3

# Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant



Unit 1

Unit 2

Unit 3

Unit 4

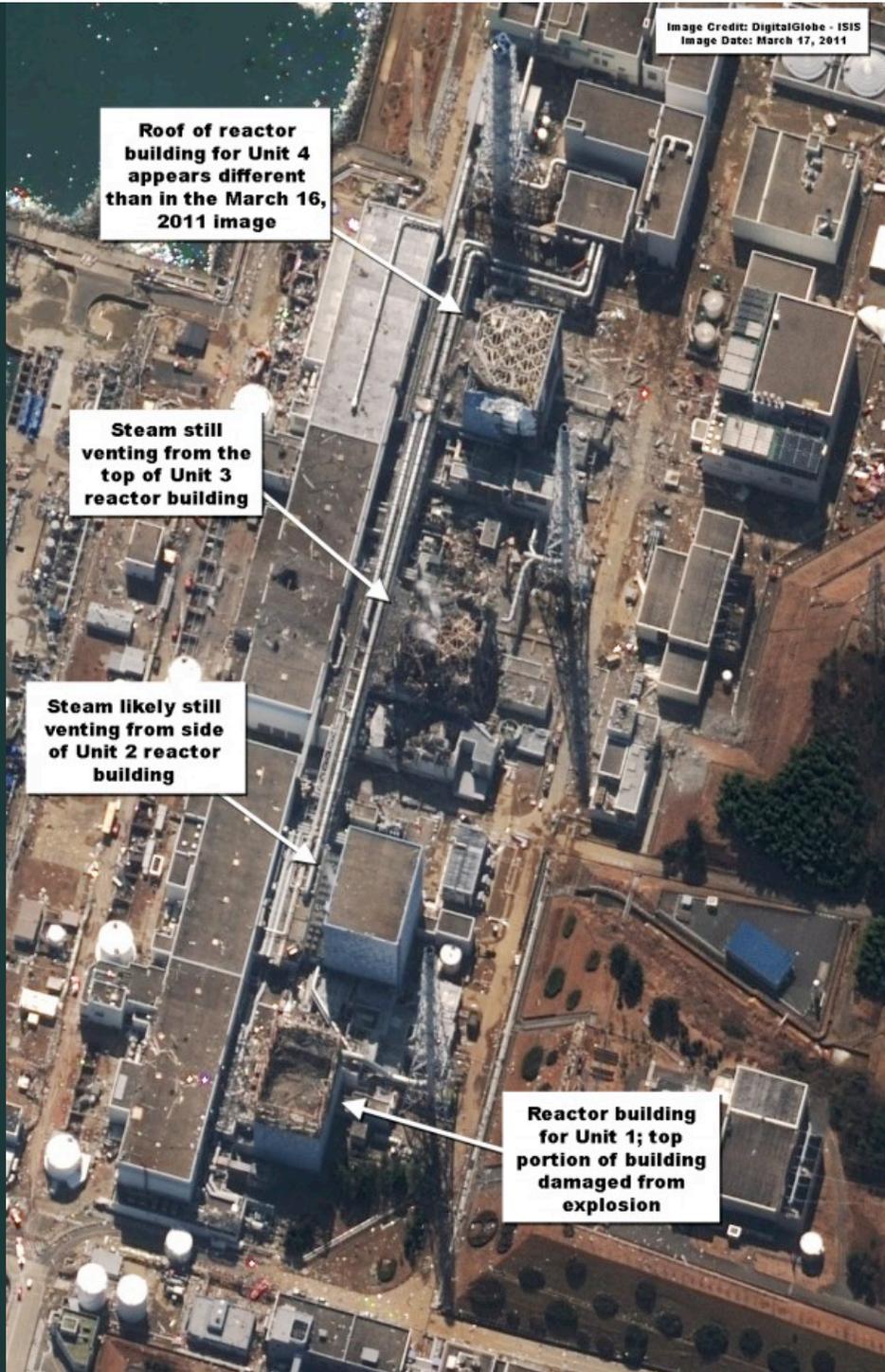
Image Credit: DigitalGlobe - ISIS  
Image Date: March 17, 2011

Roof of reactor building for Unit 4 appears different than in the March 16, 2011 image

Steam still venting from the top of Unit 3 reactor building

Steam likely still venting from side of Unit 2 reactor building

Reactor building for Unit 1; top portion of building damaged from explosion



# Diario degli eventi

## Venerdì 18 marzo

- si continua a versare acqua nella vasca del combustibile esausto del reattore 3
- problemi nelle vasche del combustibile esausto dei reattori 4 reattori

## Sabato 19 marzo

- i due generatori diesel d'emergenza (EDG) del reattore 6 forniscono energia per i sistemi di raffreddamento dei reattori 5 e 6
- si inizia il raffreddamento delle vasche del combustibile esausto dei reattori 5 e 6
- latte, ortaggi e acqua potabile in prossimità alla centrale superano i livelli di radioattività previsti
- tracce di iodio e cesio radioattivi (entro i limiti) nei sistemi idrici fino a Tokyo



**Unit 1 reactor building; top portion damaged from earlier explosion**

**Unit 3 reactor building; steam is no longer visible venting from the building**

**Unit 4 reactor building**

**Unit 2 reactor building; steam can still be seen venting through a hole from removed panel**

**Image Credit: DigitalGlobe - ISIS  
Image Date: March 18, 2011**

## Fukushima Daiichi Summary Table - Units 1-6

LEGEND No Immediate Concern Concern Severe Condition

Unit	1	2	3	4	5	6
Power (MWe/th)	460/1380	784/2381	784/2381	784/2381	784/2381	1100/3293
Type of Reactor	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
Status at the time of event	In service – auto shutdown following earthquake			Shut down for outage before earthquake		
Core and Fuel	Damaged			No fuel rods	No damage expected	
Containment Integrity	No damage reported	Damage suspected	No information	Outage configuration	No damage expected	
Off-site power	Recovery ongoing		Not available			
Diesel generators	Not available				Two emergency diesel generators powering Units 5 and 6	
Building	Severe damage	Slight damage	Severe damage		No damage reported	
Water level in reactor pressure vessel	About half of fuel assembly				Outage configuration	Above fuel
Pressure of reactor pressure vessel	Stable	Unreliable data	Stabilised	Outage configuration	No information	
Containment Pressure Drywell	No information	Stable	Stable	Outage configuration	No information	
Water injection to reactor pressure vessel	Sea water	Sea water	Sea water	Outage configuration	Not necessary	
Water injection to containment vessel	Not available			Not necessary		
Spent fuel pool temperature	No information				Stabilising	

# Diario degli eventi

## Domenica 20 marzo

- diminuisce la temperatura nelle vasche del combustibile esausto dei reattori 5 e 6
- i reattori 5 e 6 raggiungono la condizione di spegnimento "freddo"
- si continua a versare acqua di mare nelle vasche del combustibile esausto dei reattori 2 e 3
- arriva corrente elettrica al sistema di emergenza del reattore 2

## Lunedì 21 marzo

- arriva corrente elettrica ai reattori 1, 2, 5 e 6
- inizia il controllo delle strutture e impianti danneggiati delle unità 1 e 2

## Fukushima Daiichi Summary Table - Units 1-6 (20 March 2011, 21:00 UTC):

LEGEND No Immediate Concern Concern Severe Condition

Unit	1	2	3	4	5	6
Power (MWe/th)	460/1380	784/2381	784/2381	784/2381	784/2381	1100/3293
Type of Reactor	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
Status at Time of Event	In service – auto shutdown following earthquake			Shut down for outage before earthquake		
Core and Fuel	Damaged			No fuel rods	Cold shutdown	
Containment Integrity	No damage reported	Damage suspected	No information	Outage configuration	No damage expected	
Off-site Power	Substation connected	Power center (in Unit) connected	Not available		Not available	
Diesel Generators	Not available				Two emergency diesel generators powering Units 5 and 6	
Building	Severe damage	Slight damage	Severe damage		No damage reported	
Water Level in Reactor Pressure Vessel	About half of fuel assembly (stable)			Outage configuration	Above fuel	
Pressure of Reactor Pressure Vessel	Stabilised	Unreliable data	Elevated	Outage configuration	Stabilised	Stabilised
Containment Pressure Drywell	Stable	Stable	Elevated	Outage configuration	No information	
Water Injection to Reactor Pressure Vessel	Sea water	Sea water	Sea water	Outage configuration	Freshwater injection in progress	
Water Injection to Containment Vessel	Not available			Not necessary		
Spent Fuel Pool Temperature	No information	Spraying from outside	Spraying from outside	Spraying from outside	Cooling restored	

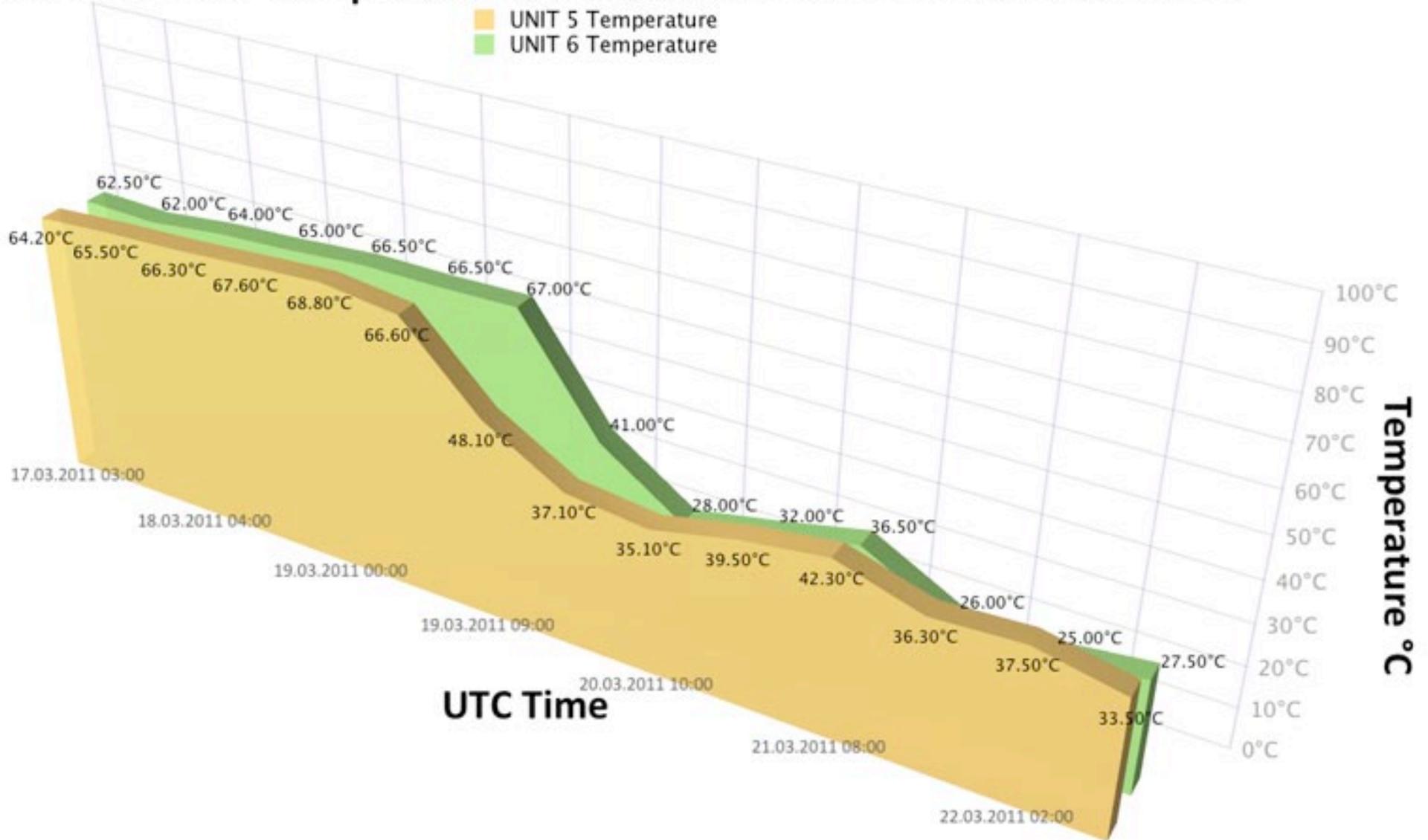
# Diario degli eventi

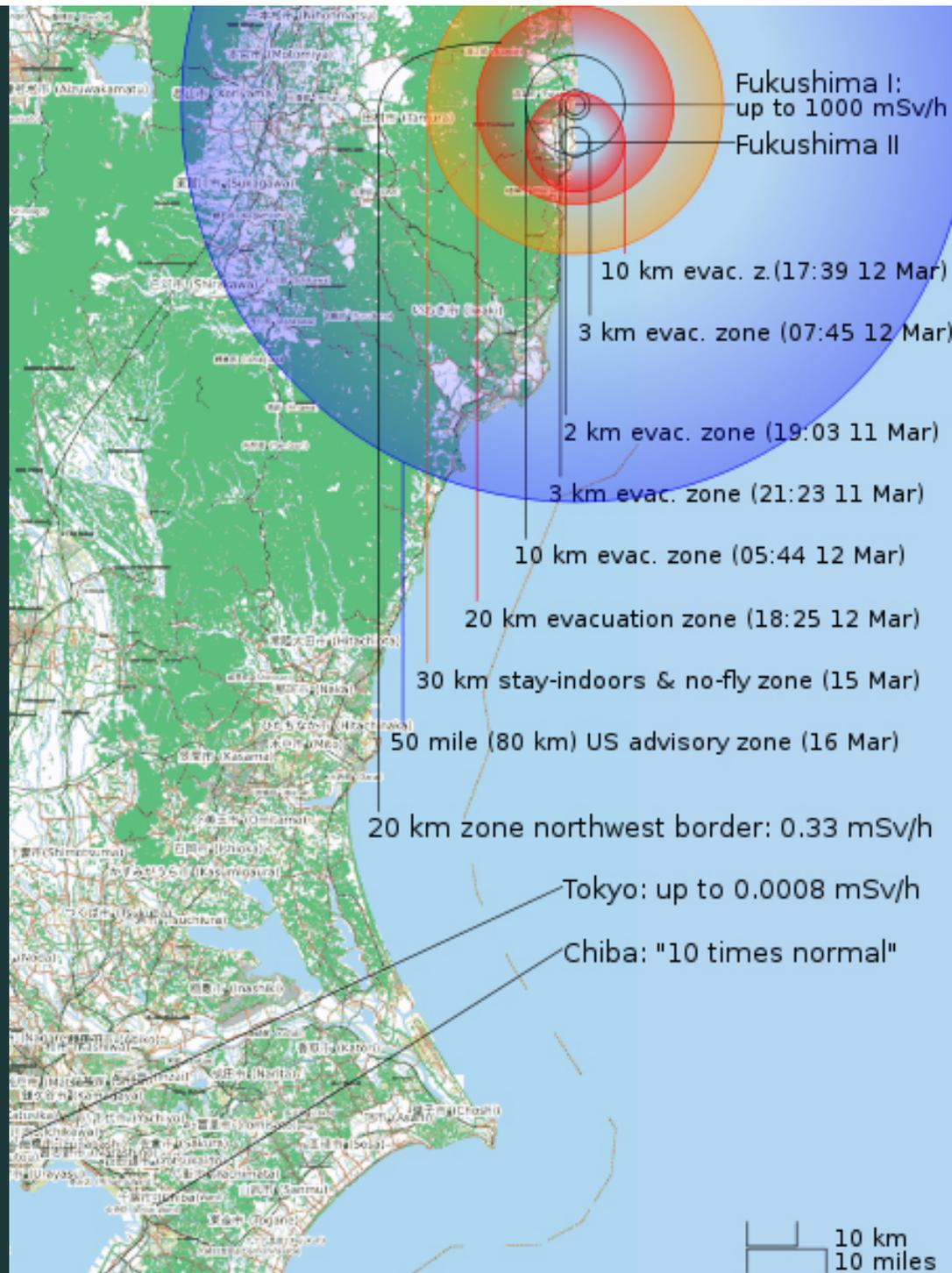
## Martedì 22 marzo

- arriva corrente elettrica a tutta la centrale
- continuano i controlli dei componenti delle unità 1 e 2 prima di collegarle alla rete
- continua oil raffreddamento delle vasche del combustibile esausto dei reattori 5 e 6
- radioattività per iodio-131 e cesio-134 e 137 superiore ai limiti nei canali di scarico in mare dei reattori 1,2,3 e 4

	<b>Capacity</b>	<b>Irradiated Fuel Assemblies</b>	<b>Unirradiated Fuel Assemblies</b>	<b>Most Recent of Irradiated</b>
<b>Unit 1</b>	<b>900</b>	<b>292</b>	<b>100</b>	<b>March 2010</b>
<b>Unit 2</b>	<b>1,240</b>	<b>587</b>	<b>28</b>	<b>Sept 2010</b>
<b>Unit 3</b>	<b>1,220</b>	<b>514</b>	<b>52</b>	<b>June 2010</b>
<b>Unit 4</b>	<b>1,590</b>	<b>1,331</b>	<b>204</b>	<b>Nov 2010</b>
<b>Unit 5</b>	<b>1,590</b>	<b>946</b>	<b>48</b>	<b>Jan 2011</b>
<b>Unit 6</b>	<b>1,770</b>	<b>876</b>	<b>64</b>	<b>Aug 2010</b>

# Spent Fuel Pool Temperatures at Fukushima Daiichi Units 5 and 6



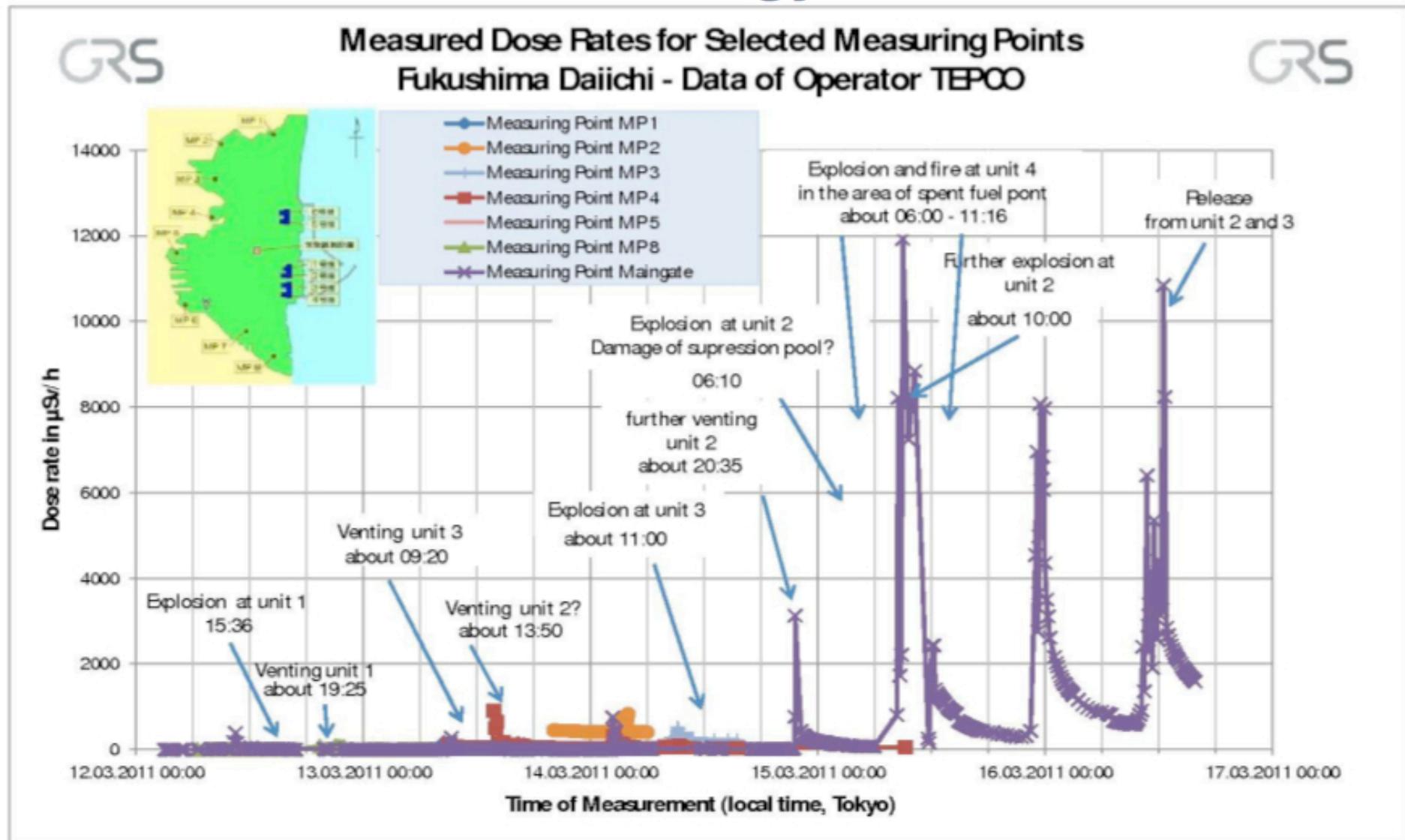


**Table 2.6 Symptoms of radiation sickness from observations made in Japan and on victims of nuclear accidents.**

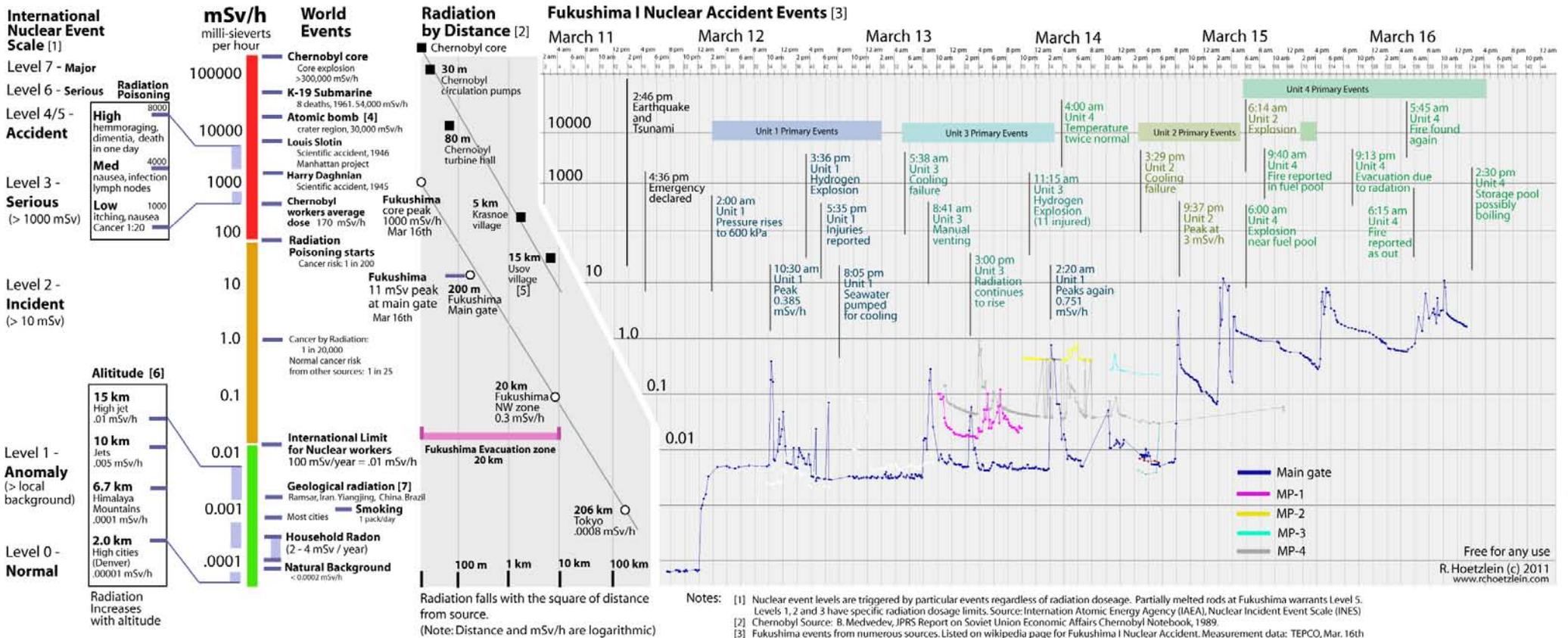
Based on Glasstone and Dolan, 1977, Table 12.108.

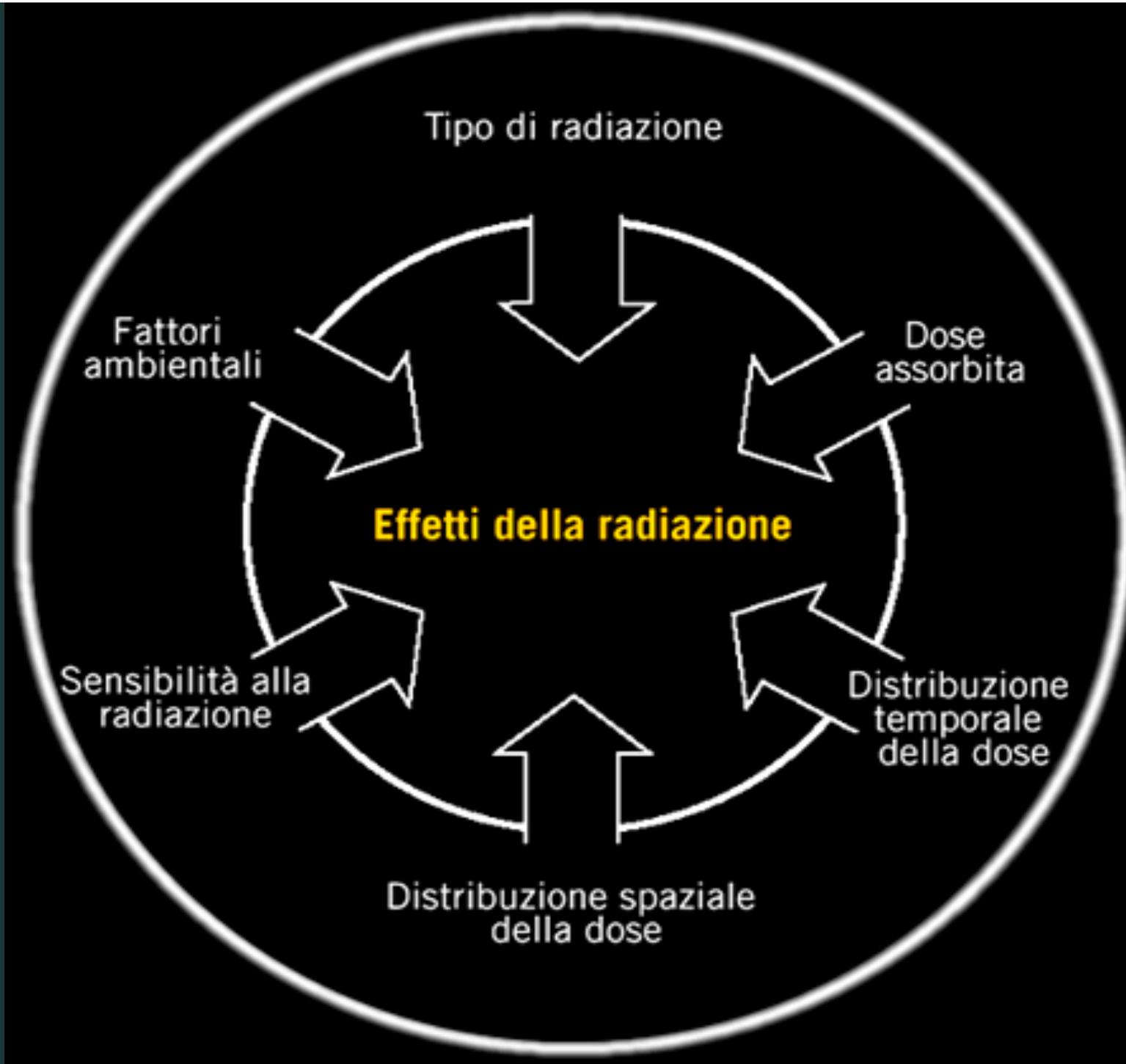
Symptoms	Dose			
	150 rem	500 rem	600 rem	1000 rem
Nausea and vomiting				
Incidence	Commonly	100%	100%	100%
Onset	A few hours	A few hours	A few hours	~ $\frac{1}{2}$ hour
Duration	≤ 1 day	1–2 days	≤ 2 days	≤ 1 day
Latent period (no symptoms)	2 weeks	2–3 weeks	≤ 2 weeks	1 week
Final phase				
Duration	1 month	1 month	≤ 1 month	1 week
Symptoms	Some loss of appetite; malaise; some depletion of leucocytes	Nausea; vomiting; malaise; diarrhea; hemorrhage under skin, from gums and intestines, and into organs; loss of hair; depletion of blood platelets; infection		
Survival	Essentially 100%	~50%	~10%	~0%

# Radiation release chronology – Fukushima Dai-ichi



# Fukushima Nuclear Accident - Radiation Comparison March 17th, 2011





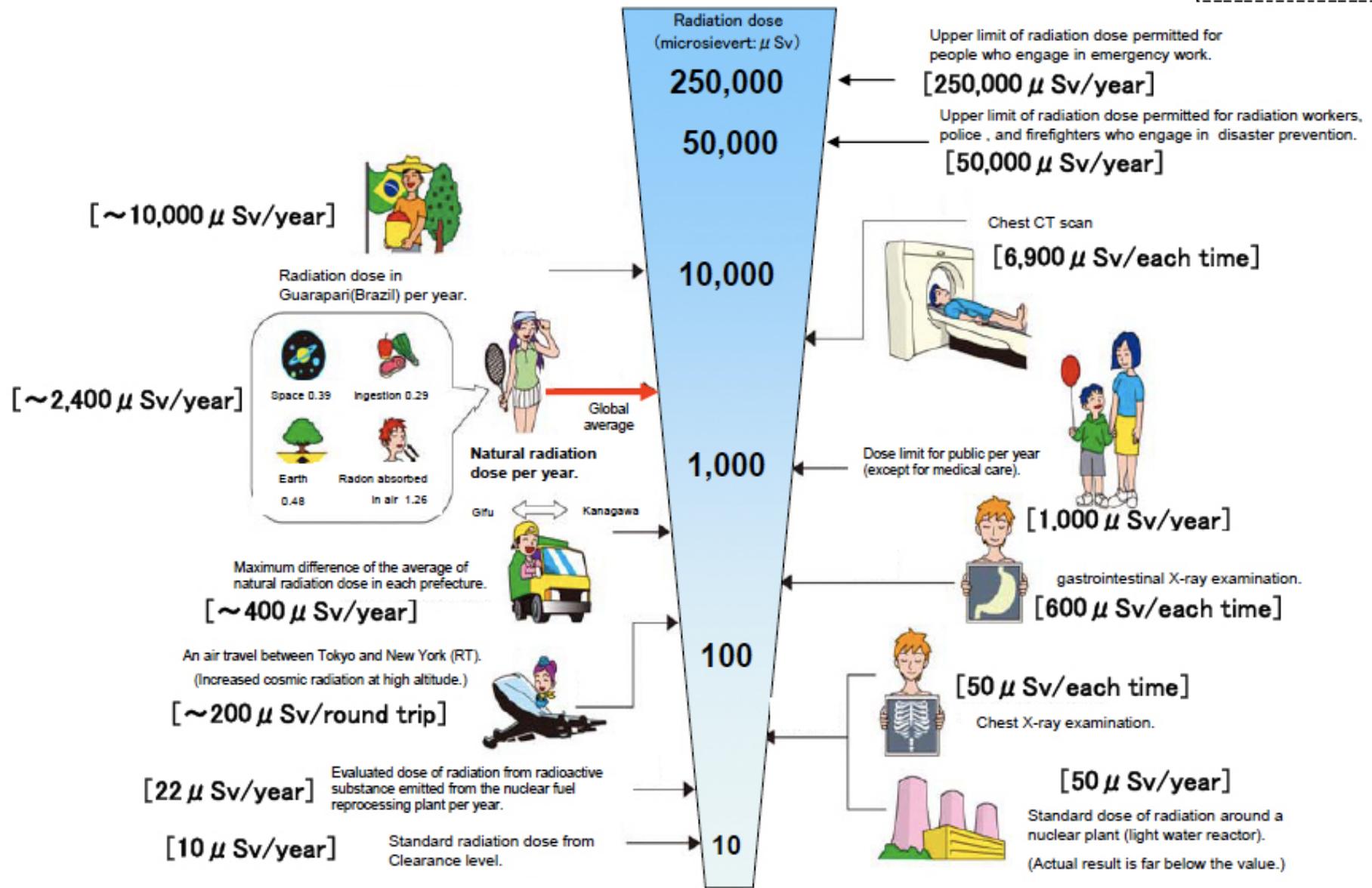






# Radiation in Daily-life

※Unit :  $\mu\text{Sv}$



(Ref) Average dose rate at the monitoring post of Tokyo (3/17 9:00~3/18 9:00, March) :  $0.050 \mu\text{Sv}/\text{h} = 438 \mu\text{Sv}/\text{y}$

Dose addizionale dovuta a 30 ore di volo ad una altitudine di 10000 metri

0,1 mSv/a

ca. 7000 mSv

Dose letale per un singolo irraggiamento su tutto il corpo

Dose limite di esposizione alle radiazioni artificiali non terapeutiche consentita ai cittadini europei

1 mSv/a

ca. 4000 mSv

Grave malattia (letale al 50%) per un singolo irraggiamento su tutto il corpo

Esposizione media alle radiazioni in Europa per diagnosi e trattamenti medici

1,1 mSv/a

ca. 1000 mSv

Primi segni di una leggera malattia per un singolo irraggiamento su tutto il corpo

Esposizione naturale media in Europa

2,4 mSv/a

ca. 250 mSv

Primi effetti clinici rilevabili per un singolo irraggiamento su tutto il corpo

Dose naturale addizionale per abitanti in case fatte di calcestruzzo o granito

3 mSv/a

200 mSv/a

Massima esposizione naturale sulla terra

20 mSv/a

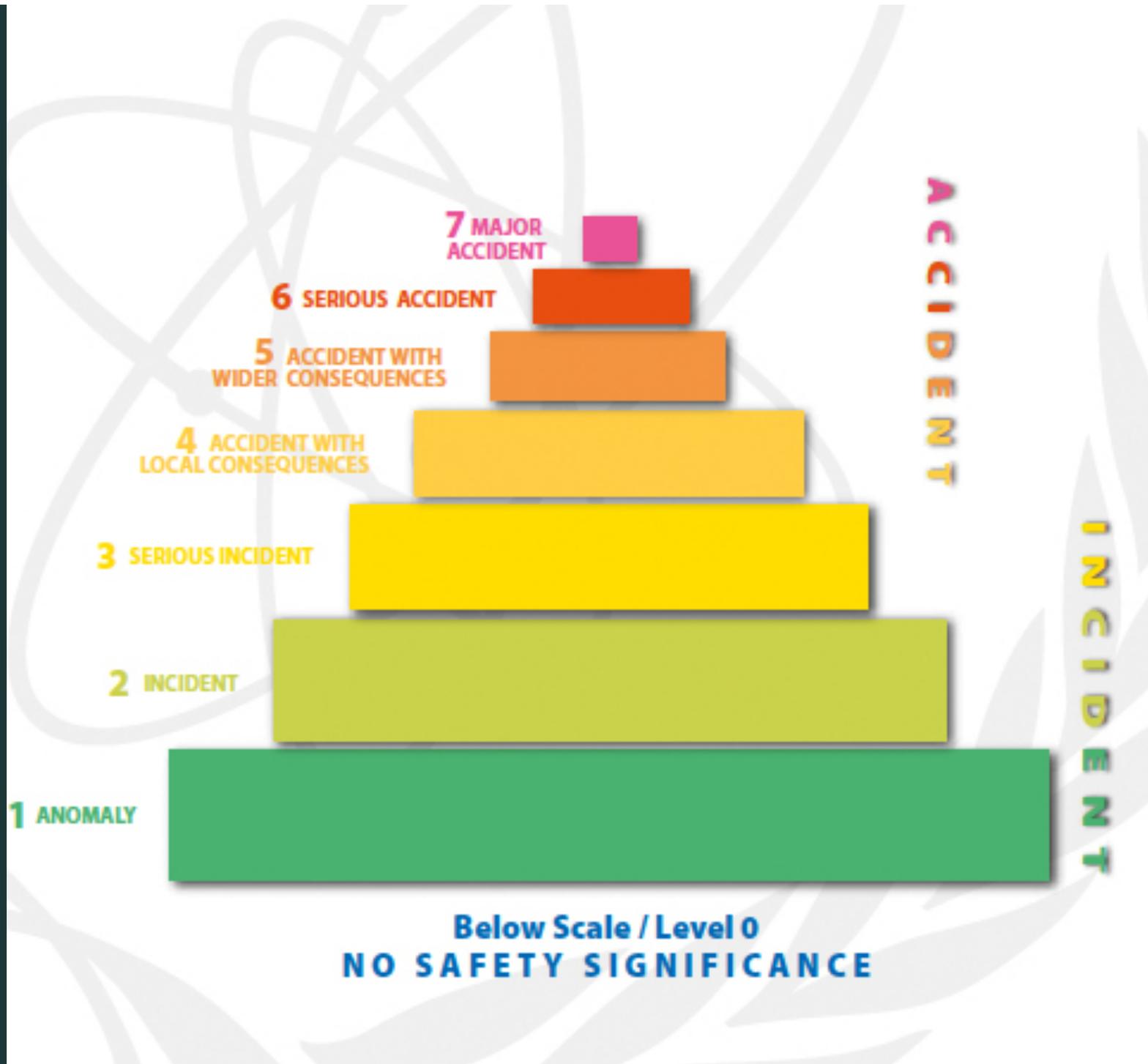
Valore limite di esposizione consentita in Europa per motivi professionali

# Dose Rates in Prefectures Near Fukushima plant as of 17 March at 18:00

Regions and Prefectures of Japan



Prefecture	Dose Rate 17 March At 18:00 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Normal Natural Radiation Dose Rate ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Map Reference
Ibaraki	0.244	0.036 – 0.056	8
Tochigi	0.213	0.030 – 0.067	9
Gunma	0.109	0.017 – 0.045	10
Saitama	0.068	0.031 – 0.060	11
Chiba	0.041	0.022 – 0.044	12
Tokyo	0.053	0.028 – 0.079	13
Kanagawa	0.056	0.035 – 0.069	14
Niigata	0.048	0.031 – 0.153	15



## The International Nuclear Event Scale

For prompt communication of safety significance

Level, Descriptor	Off-Site Impact	On-Site Impact	Defence-in-Depth Degradation	Examples
<b>7 Major Accident</b>	<i>Major Release:</i> Widespread health and environmental effects			Chernobyl, Ukraine, 1986 (fuel meltdown and fire)
<b>6 Serious Accident</b>	<i>Significant Release:</i> Full implementation of local emergency plans			Mayak at Ozersk, Russia, 1957 (reprocessing plant criticality)
<b>5 Accident with Off-Site Risks</b>	<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).
<b>4 Accident Mainly in Installation</b> 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).
<b>3 Serious Incident</b> 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)
<b>2 Incident</b>	nil	Significant spread of contamination, Overexposure of worker	Incidents with significant failures in safety provisions	
<b>1 Anomaly</b>	nil	nil	Anomaly beyond the authorised operating regime	
<b>0</b>	nil	nil	No safety significance	
<b>Below Scale</b>	nil	nil	No safety relevance	

Source: International Atomic Energy Agency

## EXAMPLES OF EVENTS AT NUCLEAR FACILITIES

	People and Environment	Radiological Barriers and Control	Defence-in-Depth
7	<i>Chernobyl, 1986</i> — Widespread health and environmental effects. External release of a significant fraction of reactor core inventory.		
6	<i>Kyshtym, Russia, 1957</i> — Significant release of radioactive material to the environment from explosion of a high activity waste tank.		
5	<i>Windscale Pile, UK, 1957</i> — Release of radioactive material to the environment following a fire in a reactor core.	<i>Three Mile Island, USA, 1979</i> — Severe damage to the reactor core.	
4	<i>Tokaimura, Japan, 1999</i> — Fatal overexposures of workers following a criticality event at a nuclear facility.	<i>Saint Laurent des Eaux, France, 1980</i> — Melting of one channel of fuel in the reactor with no release outside the site.	
3	<i>No example available</i>	<i>Sellafield, UK, 2005</i> — Release of large quantity of radioactive material, contained within the installation.	<i>Vandellós, Spain, 1989</i> — Near accident caused by fire resulting in loss of safety systems at the nuclear power station.
2	<i>Atucha, Argentina, 2005</i> — Overexposure of a worker at a power reactor exceeding the annual limit.	<i>Cadarache, France, 1993</i> — Spread of contamination to an area not expected by design.	<i>Forsmark, Sweden, 2006</i> — Degraded safety functions for common cause failure in the emergency power supply system at nuclear power plant.
1			Breach of operating limits at a nuclear facility.

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

**[www-news.iaea.org/news/default.asp](http://www-news.iaea.org/news/default.asp)**

Pierot

Pierot