



La dinamica dell'incidente di Fukushima

lamberto.matteocci@isprambiente.it

***Incidente alla Centrale Nucleare di Fukushima - Aspetti di protezione dalle radiazioni
Varese – 13 e 14 settembre, 2012***



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale





TMI - 1979



Chernobyl - 1986



Fukushima - 2011

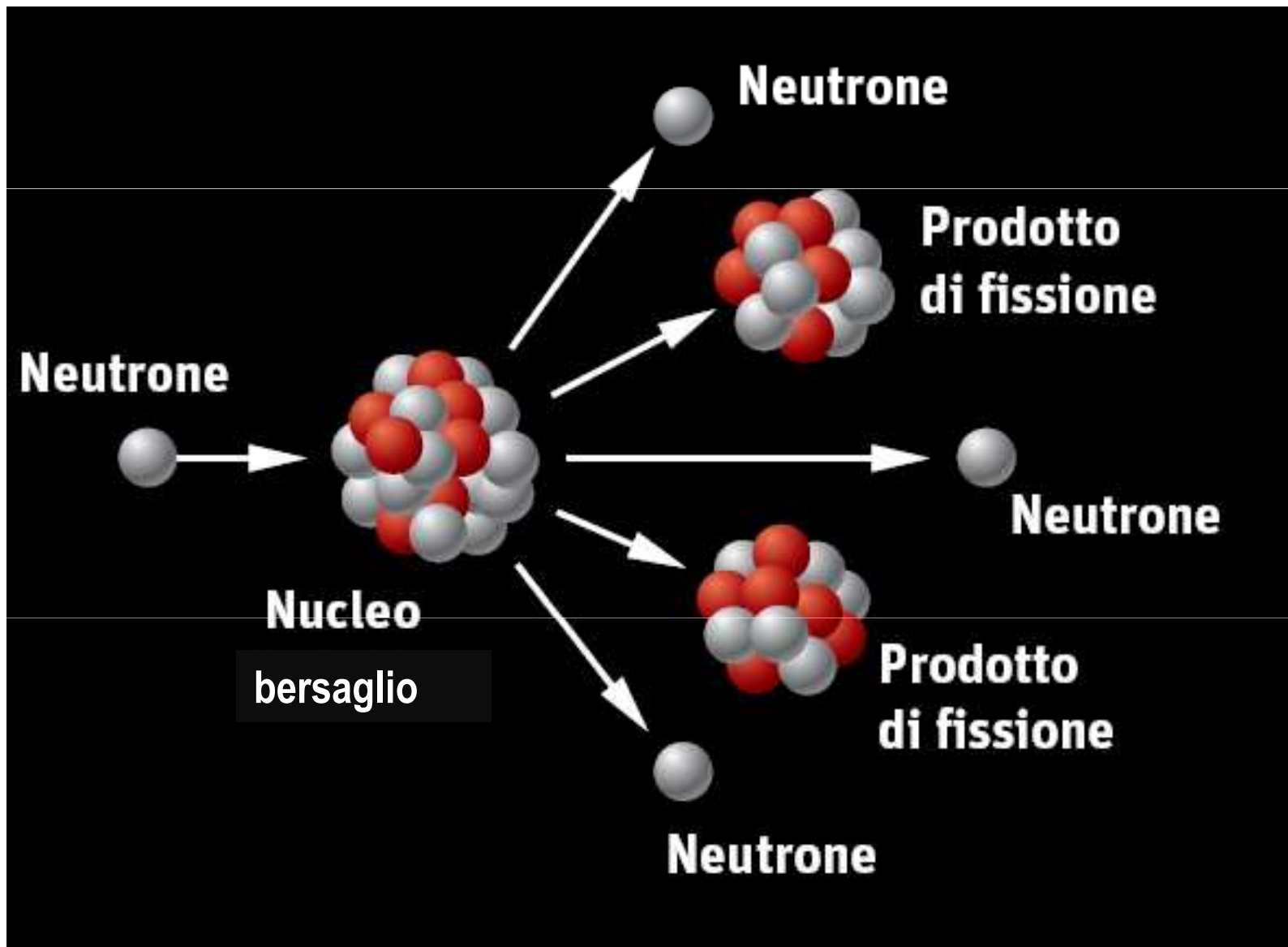


*La natura dei problemi
è nella natura delle cose*

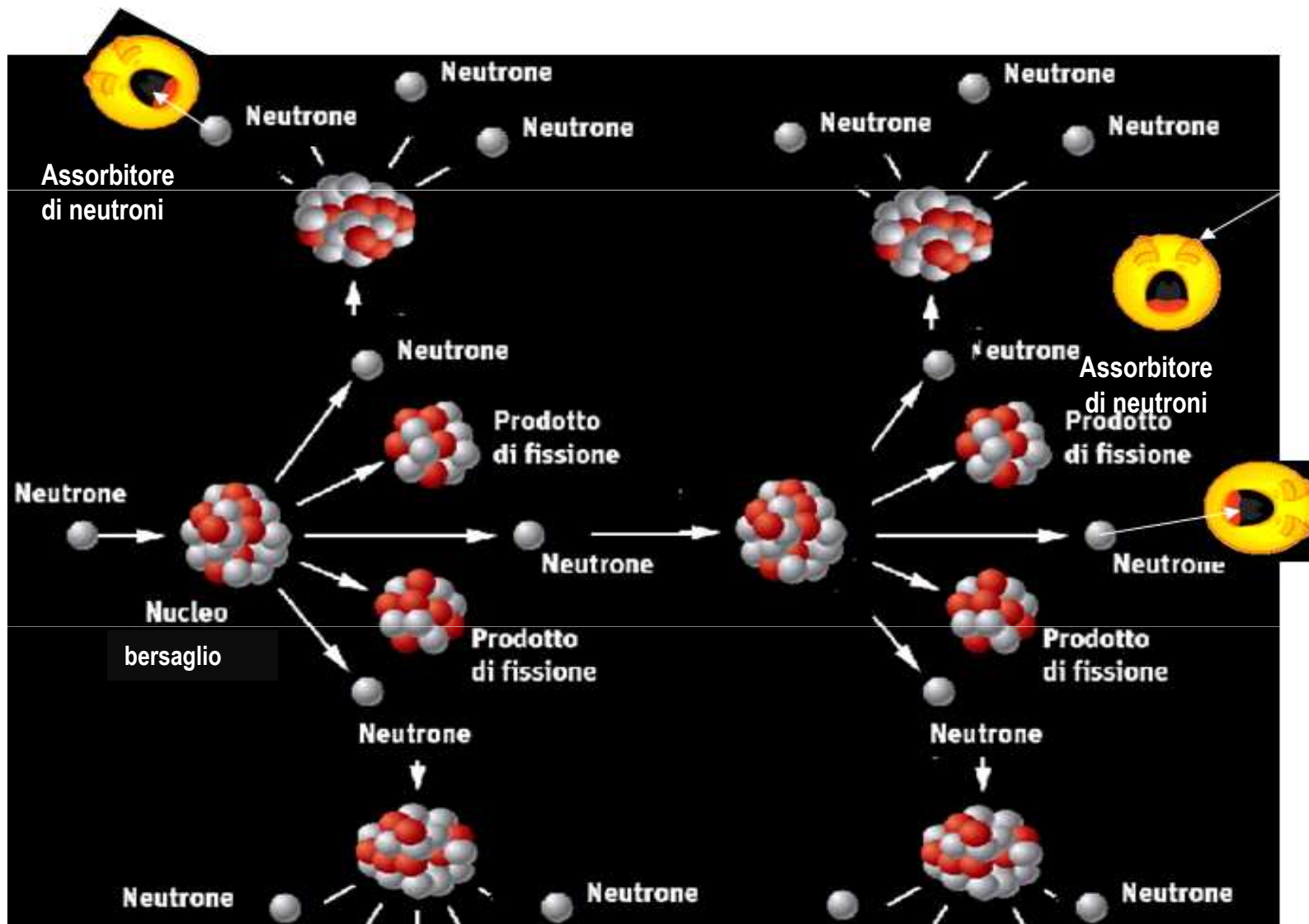
*La gestione dei problemi è
nelle capacità dell'uomo*



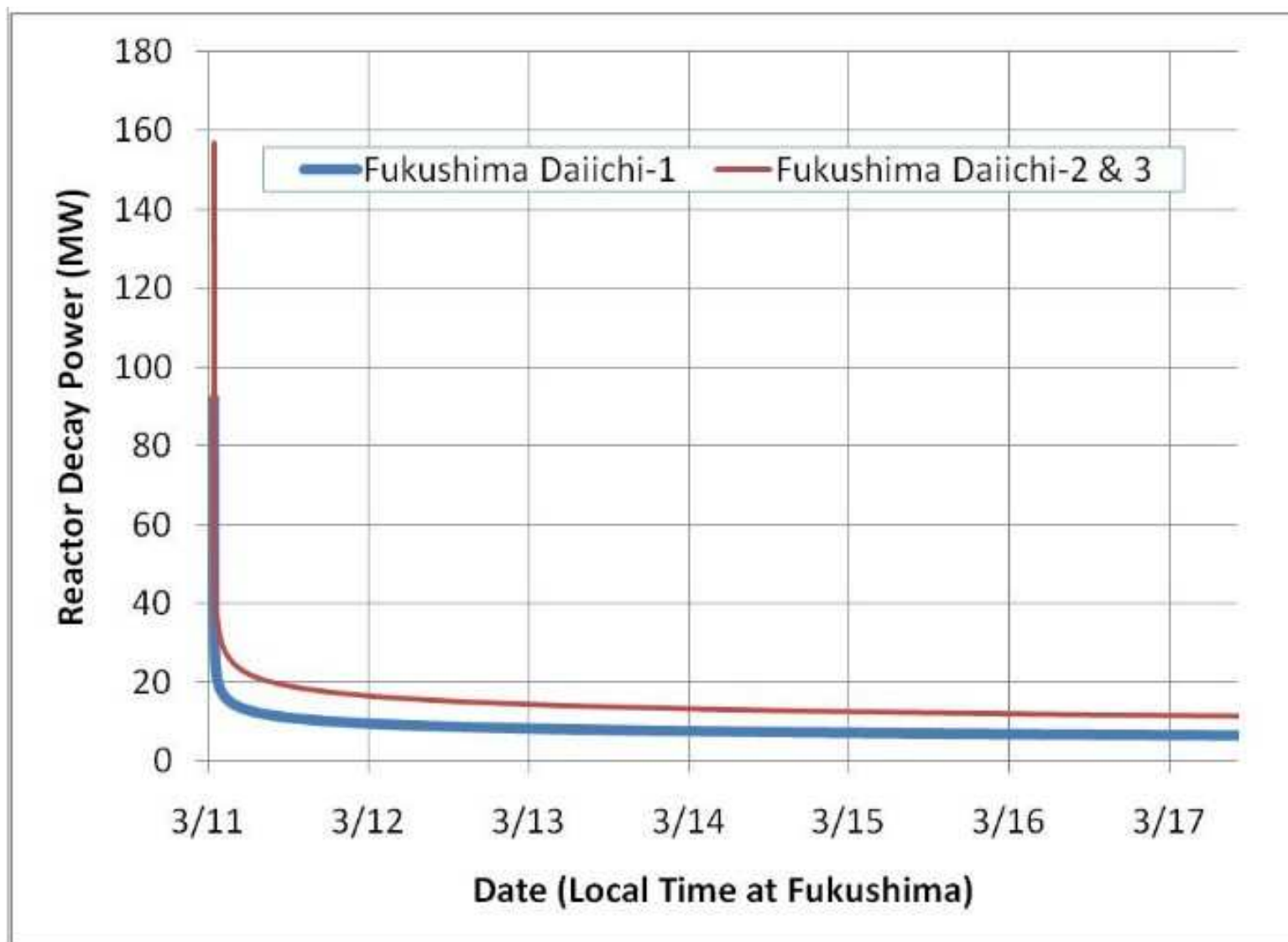
Fissione nucleare



La reazione a catena



Calore di decadimento



La fissione nucleare comporta generazione di radioisotopi artificiali

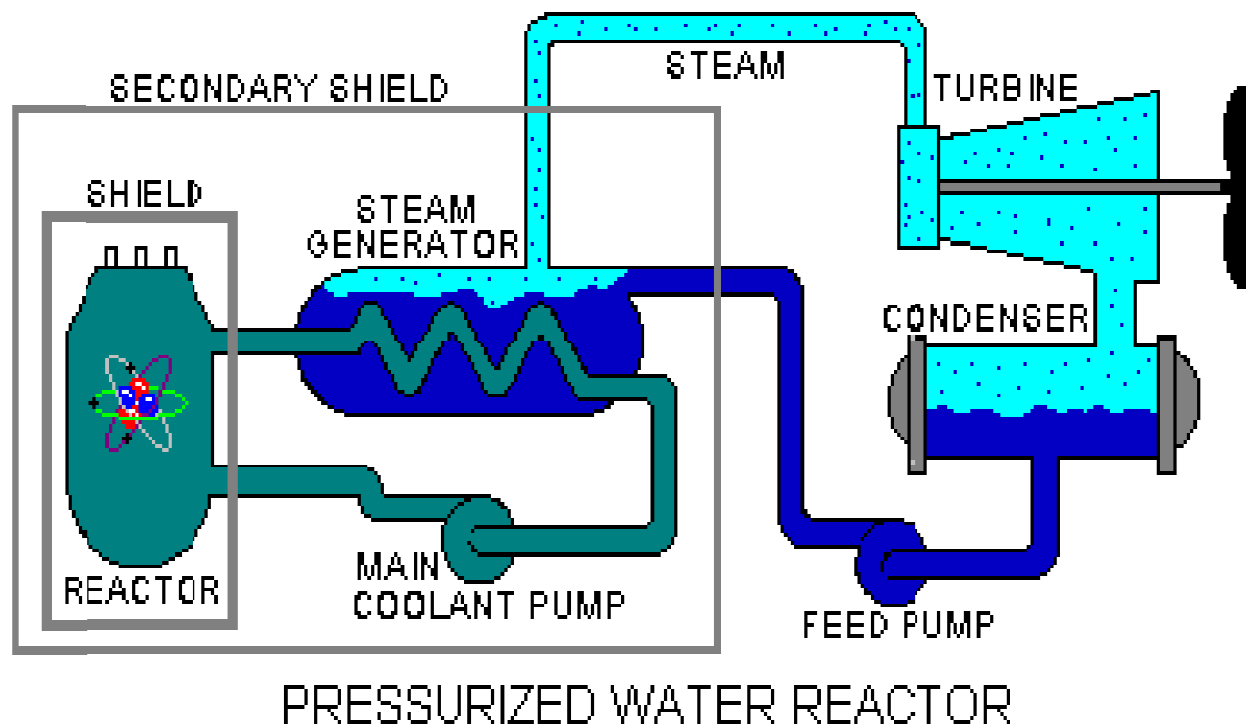
**Decadimento radioattivo con emissione di
radiazioni ionizzanti anche per tempi molto lunghi**

Presenza di calore di decadimento

**Proprietà fissili delle materie nucleari
Reazione a catena che va controllata**



Centrale nucleare a fissione



Come si assicura la sicurezza

La Tecnologia

Il Diritto

I Sistemi di Gestione



Il concetto di rischio

**R= Probabilità evento x Conseguenze
(Sanitarie, Sociali, Economiche)**

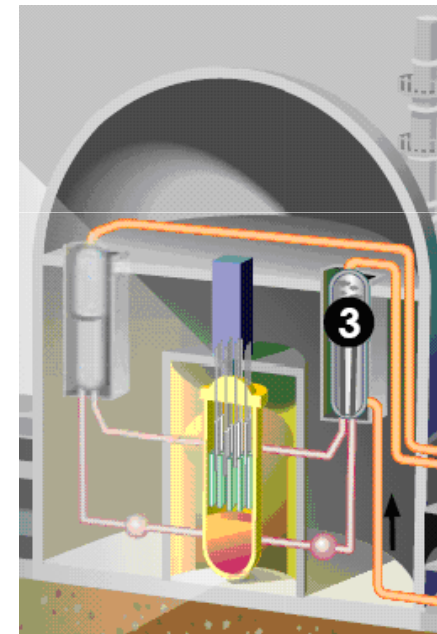
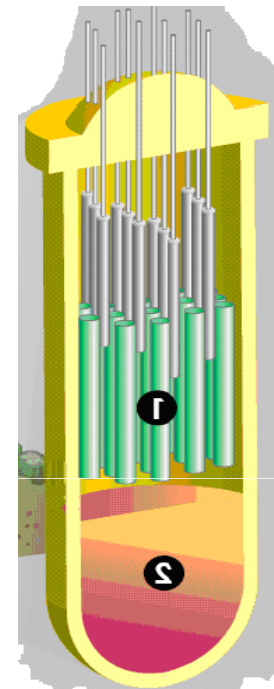


La Tecnologia

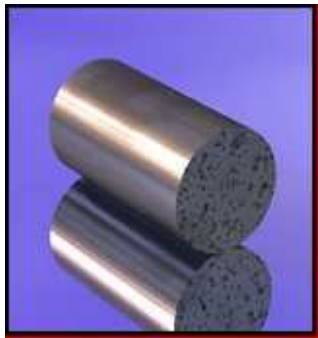


Le funzioni di sicurezza

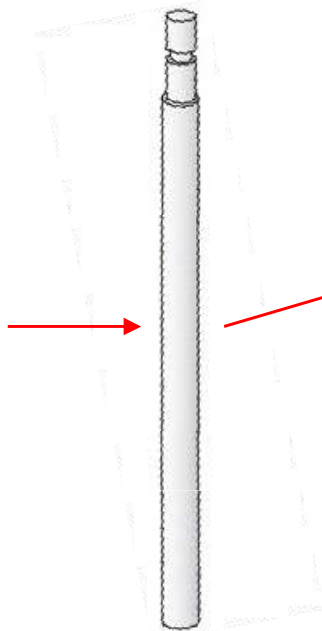
- ❑ Controllo affidabile della **reazione a catena** e, all'occorrenza, arresto rapido del reattore, per evitare una eccessiva generazione di energia
- ❑ Asportazione del **calore generato** – anche dopo lo spegnimento del reattore - per mantenere condizioni di temperatura e di pressione compatibili con le caratteristiche del combustibile e dei componenti. In queste condizioni quasi tutta la **radioattività** resta confinata all'interno del combustibile
- ❑ Mitigazione dei rilasci di radioattività – **Sistema di contenimento**



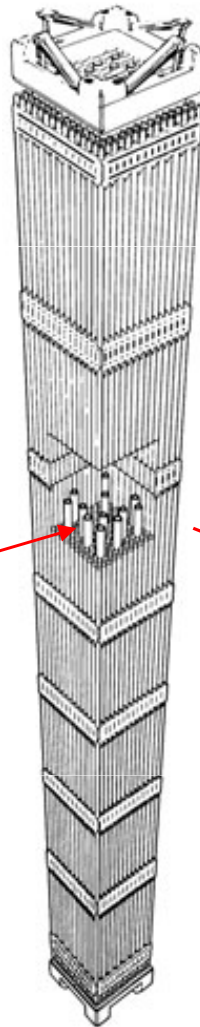
Il reattore nucleare



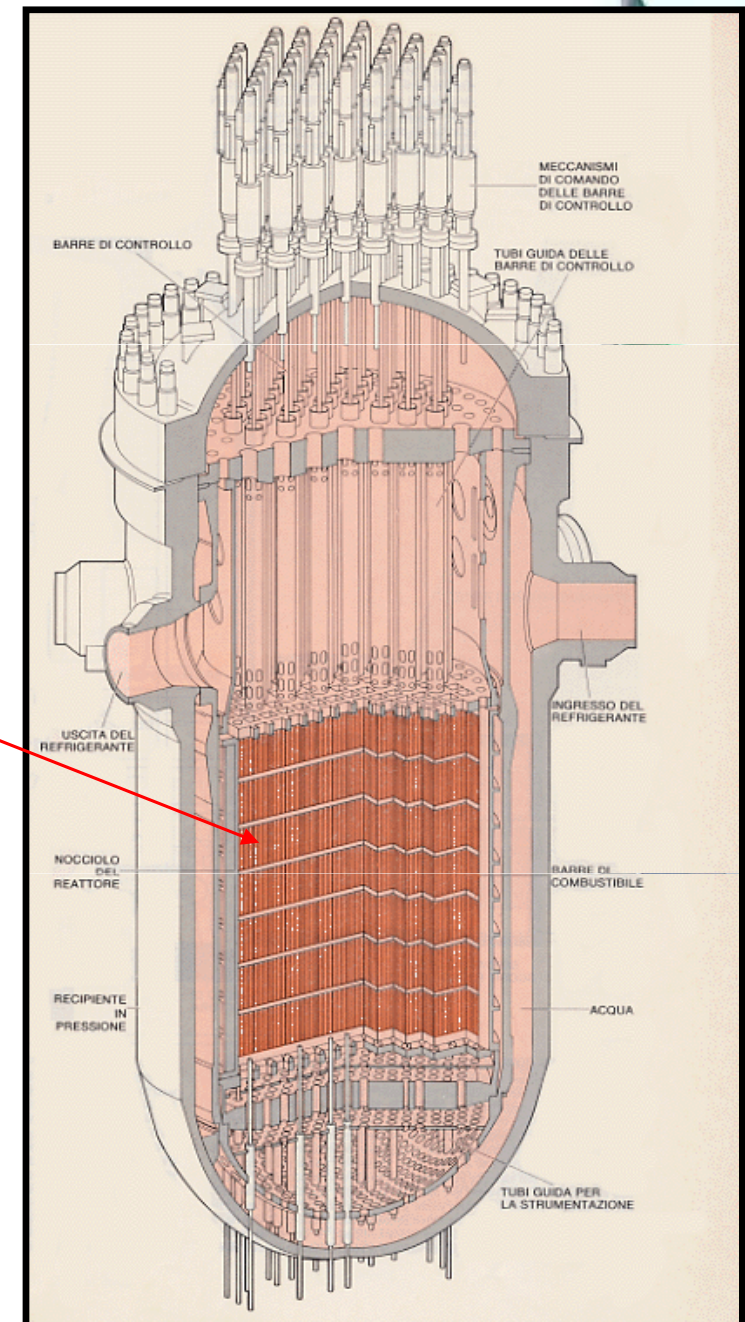
Pastiglia di uranio



Barretta di combustibile

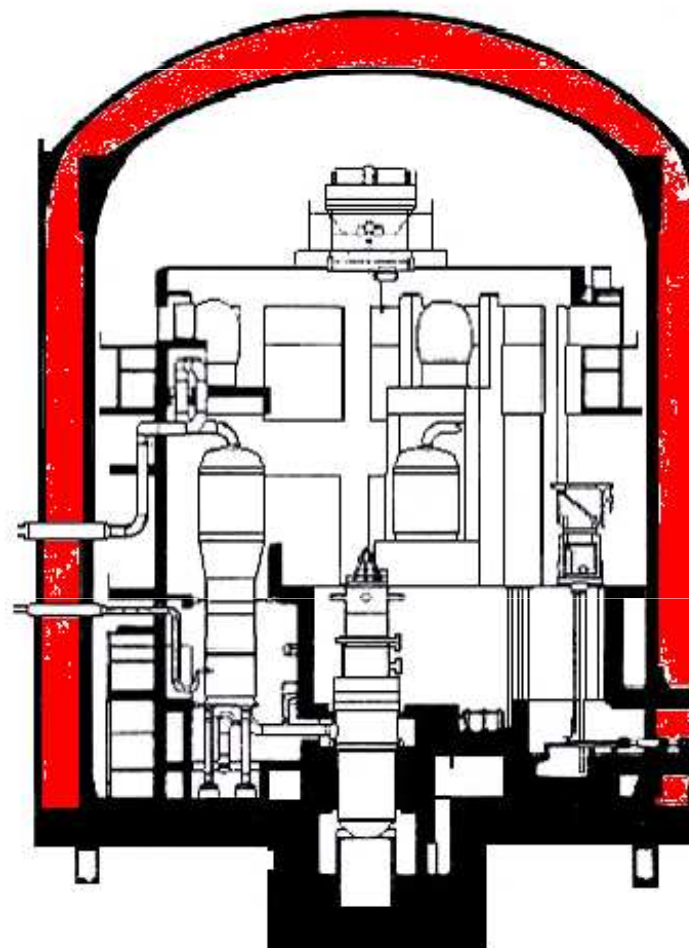
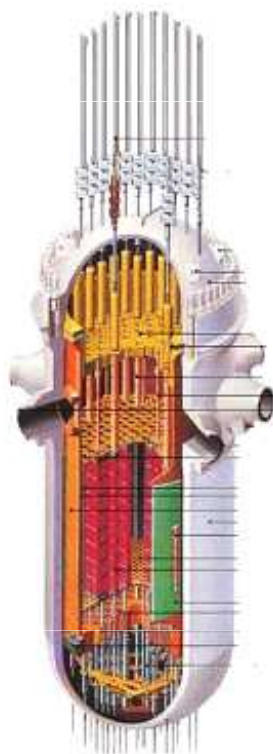
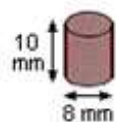


Elemento di combustibile



La difesa in profondità

Le barriere che prevengono il rilascio di radioattività nell'ambiente



La difesa in profondità

Livelli	Obiettivo	Principali misure
Livello 1	Prevenzione di condizioni operative anomale e di malfunzionamenti	Ampi margini progettuali ed elevata qualità nella gestione e nell'esercizio
Level 2	Controllo di situazioni anomale e malfunzionamenti	Sistemi di controllo e sorveglianza
Level 3	Controllo di eventuali incidenti all'interno delle condizioni di progetto	Sistemi di sicurezza e procedure di gestione degli incidenti
Livello 4	Controllo di eventuali situazioni incidentali molto gravi al fine di limitarne l'evoluzione e mitigarne gli effetti	Misure aggiuntive di sicurezza e specifiche procedure di gestione degli incidenti
Livello 5	Mitigazione delle conseguenze radiologiche associate a significativi rilasci di radioattività all'ambiente	Pianificazione delle Emergenze



L'analisi di sicurezza

Obiettivi

**Ampio spettro eventi di riferimento (di
origine tecnologica, umana e naturale)
esclusione-protezione-verifica accettabilità
conseguenze**

Strutture e sistemi di sicurezza

Procedure di gestione incidentale



Il diritto



Gli strumenti del diritto

**Convenzione per la sicurezza nucleare, Direttiva
UE sicurezza nucleare, Legislazione nazionale**

**I principi di responsabilità (nazionale, e
dell'esercente)**

Il regime autorizzativo,

**Il sistema di controllo tramite un'autorità
indipendente dotata di adeguate risorse**

Le verifiche di sicurezza

Etc

Meccanismo di Peer review internazionale



I sistemi di gestione

Sistema organizzativo

Qualificazione del personale

Garanzia della qualità

La cultura della sicurezza





TMI - 1978



Chernobyl - 1986



Fukushima- 2011



Il perché degli incidenti

Incidente di Three Mile Island

Incidente di Chernobyl

Incidente di Fukushima

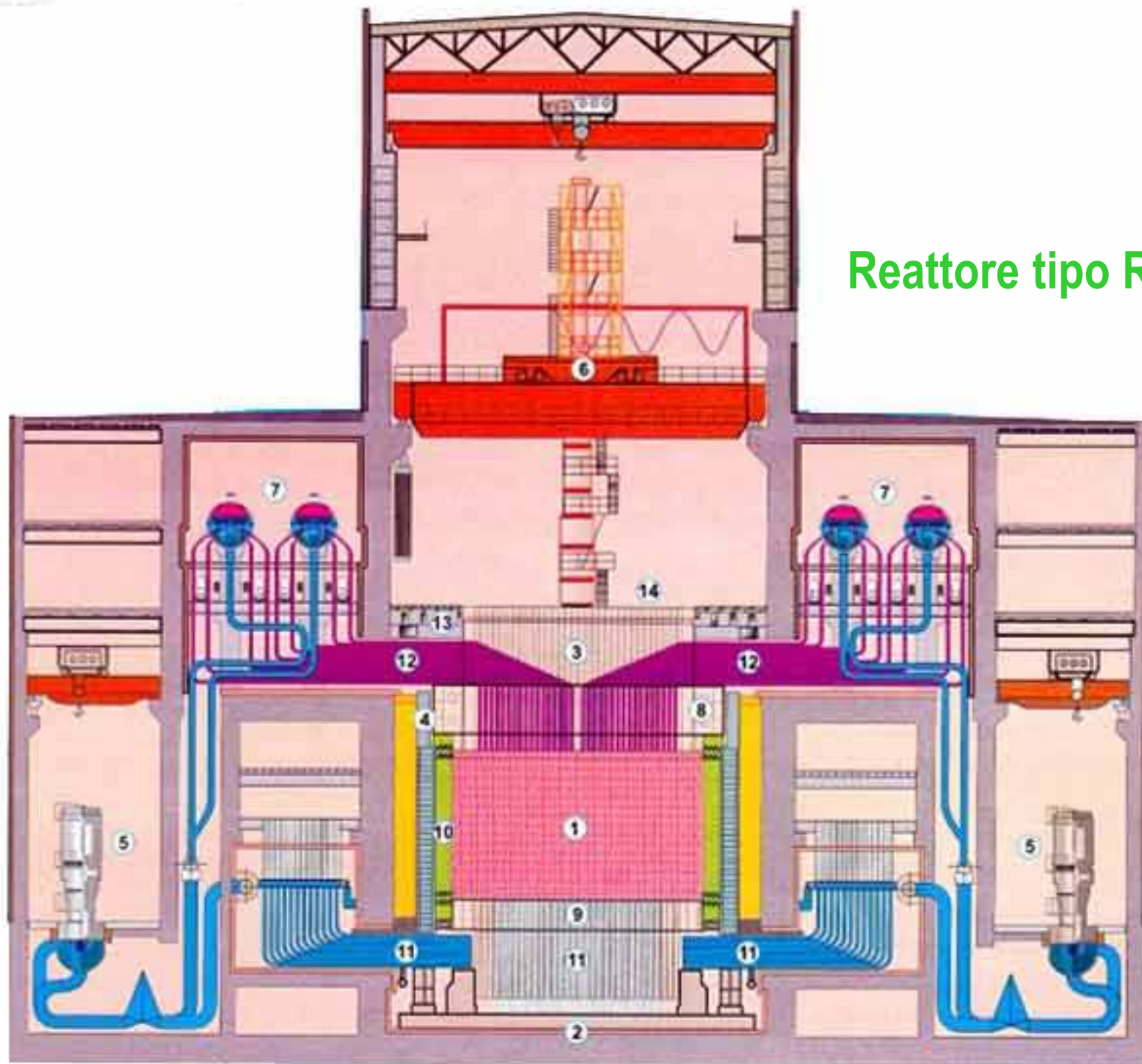


Il perché degli incidenti

Le responsabilità dell'uomo

Three Mile Island	Tecnologia Sistemi di Gestione
Chernobyl	Tecnologia Diritto Sistemi di gestione
Fukushima	Tecnologia Diritto Sistemi di gestione

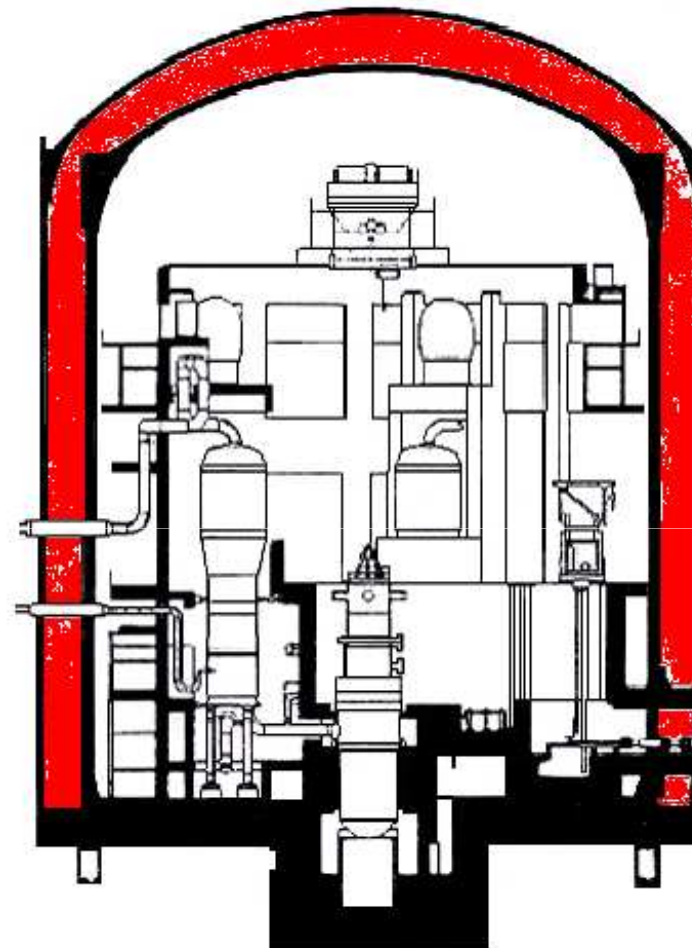
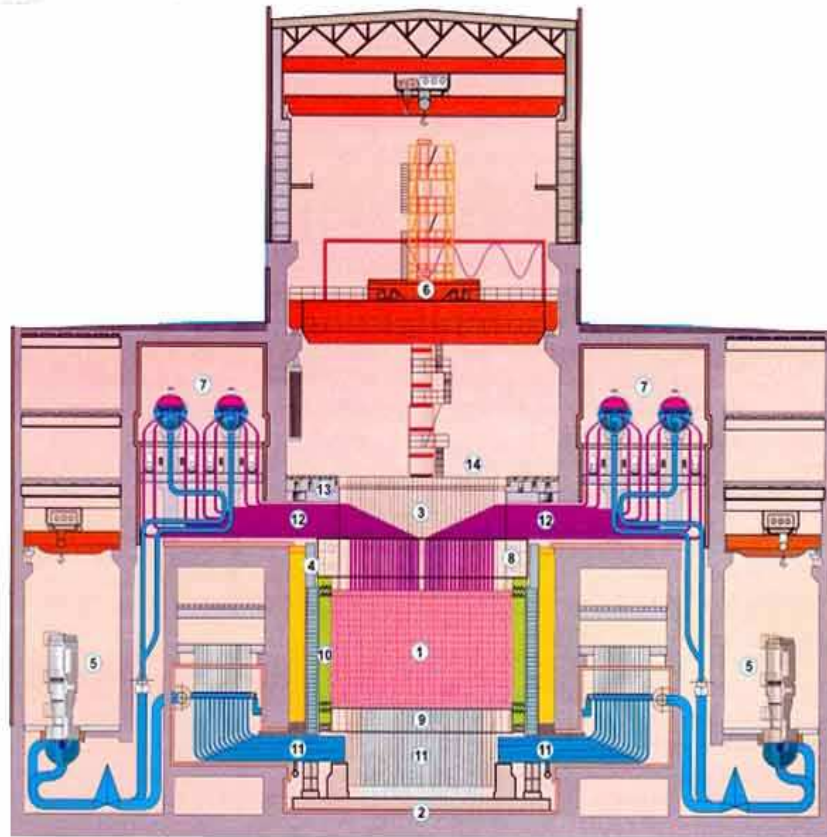




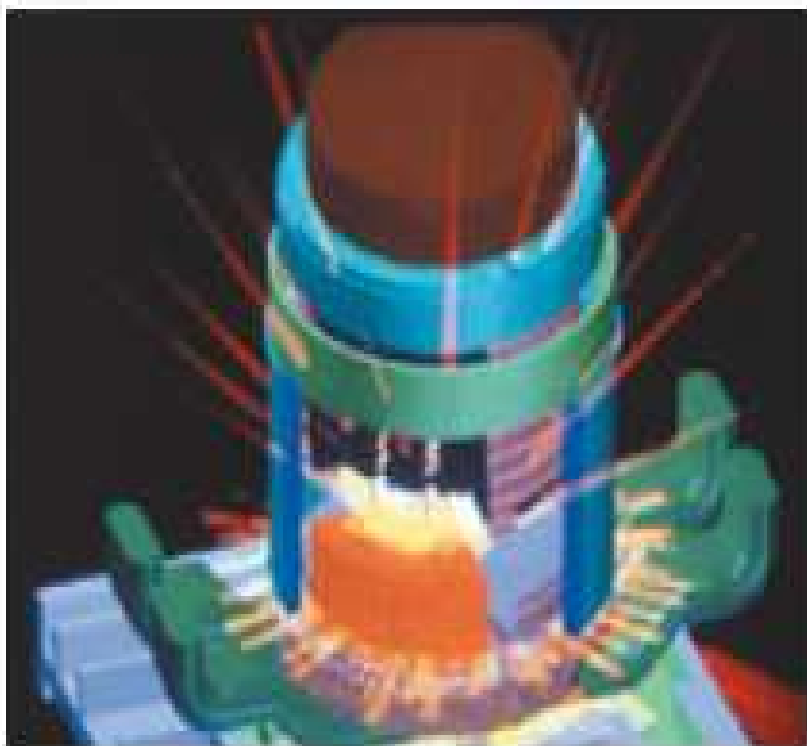
Reattore tipo RBMK



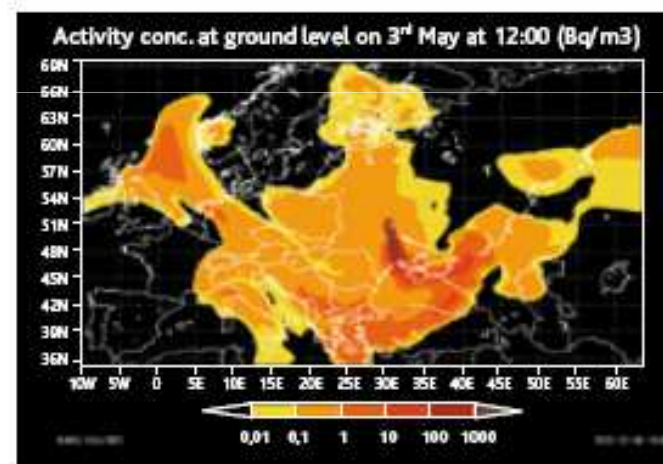
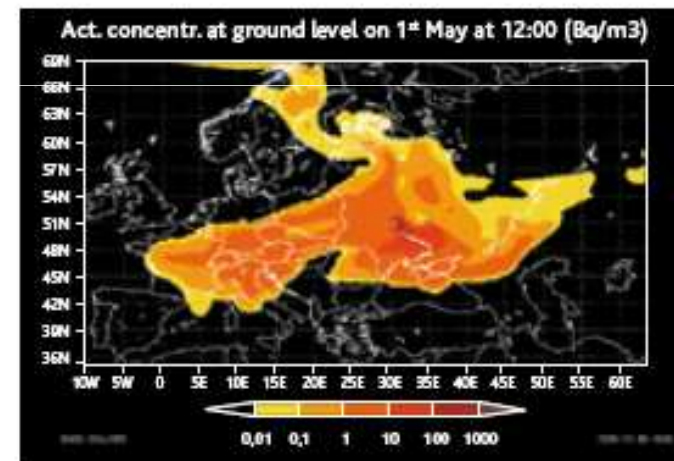
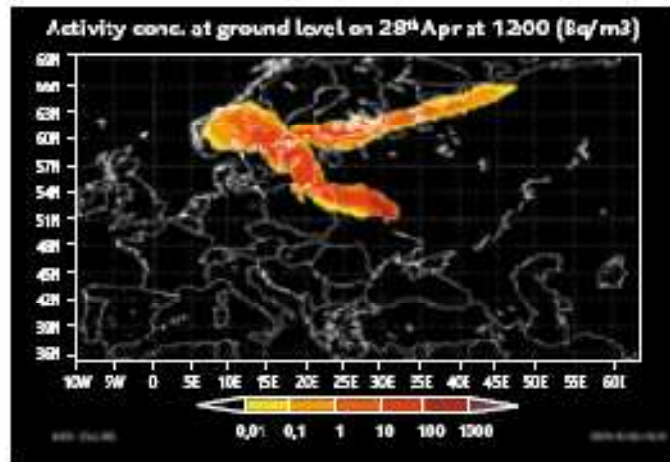
Reattore RBMK e Reattore PWR



L'esplosione del reattore



Dispersion della contaminazione a livello continentale

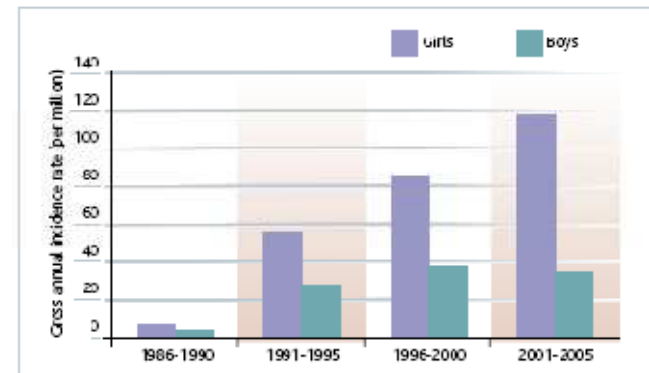


Le conseguenze

Ambientali



Sanitarie



Sociali





Il Sarcofago



Cosa si è fatto dopo Chernobyl

Miglioramento della sicurezza delle centrali analoghe e spegnimento di alcune di esse

Provvedimenti per la mitigazione degli incidenti molto gravi

Convenzioni internazionali (Sicurezza e Pronta notifica)

Rafforzamento sistemi di gestione e della cultura di sicurezza e degli strumenti di gestione delle emergenze

Maggior trasparenza e informazione al pubblico



Incidente di Fukushima



Prima



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Dopo



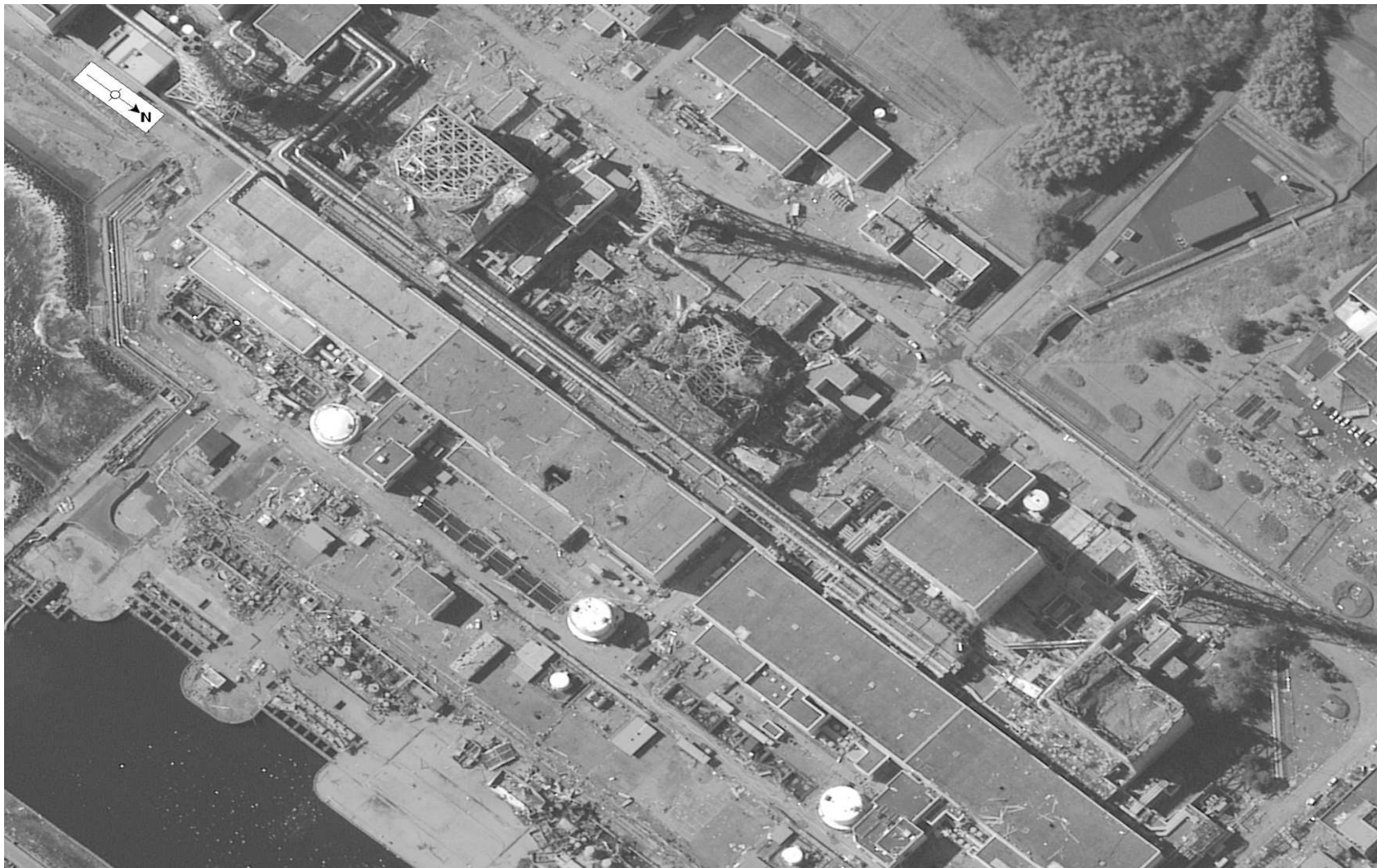
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Dopo



19 MAR 2011, 10:44 am local time

Operazioni di iniezione d'acqua



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

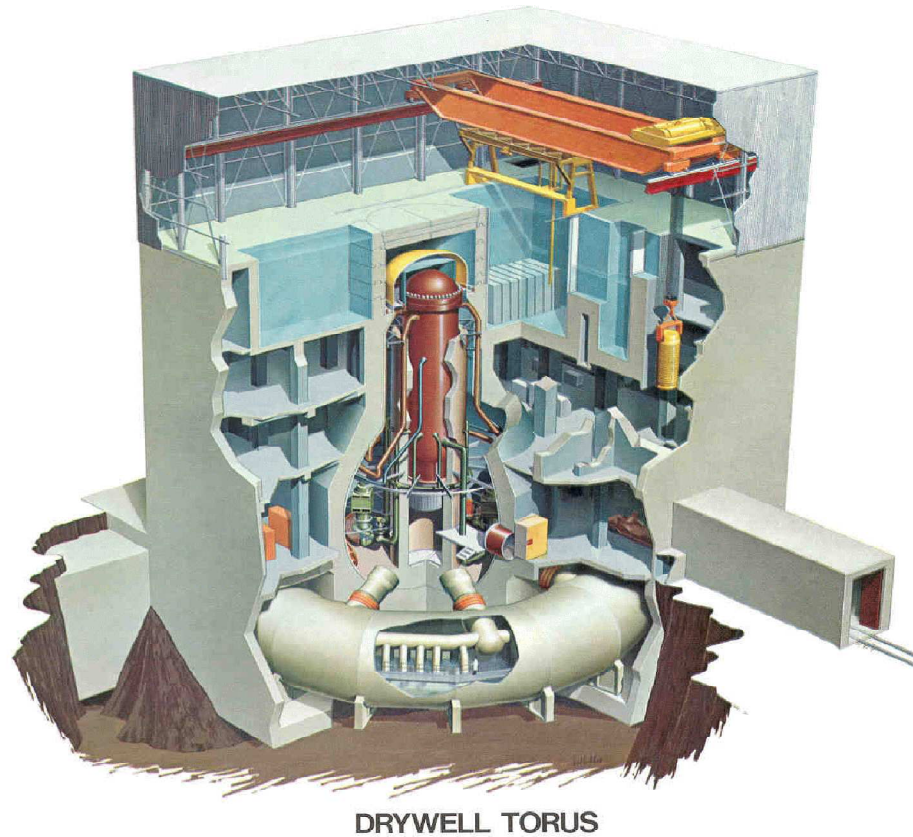
Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Quali le ragioni che hanno portato a queste catastrofiche conseguenze?



L'edificio reattore ed il recipiente in pressione



GENERAL  ELECTRIC

GEZ-4396

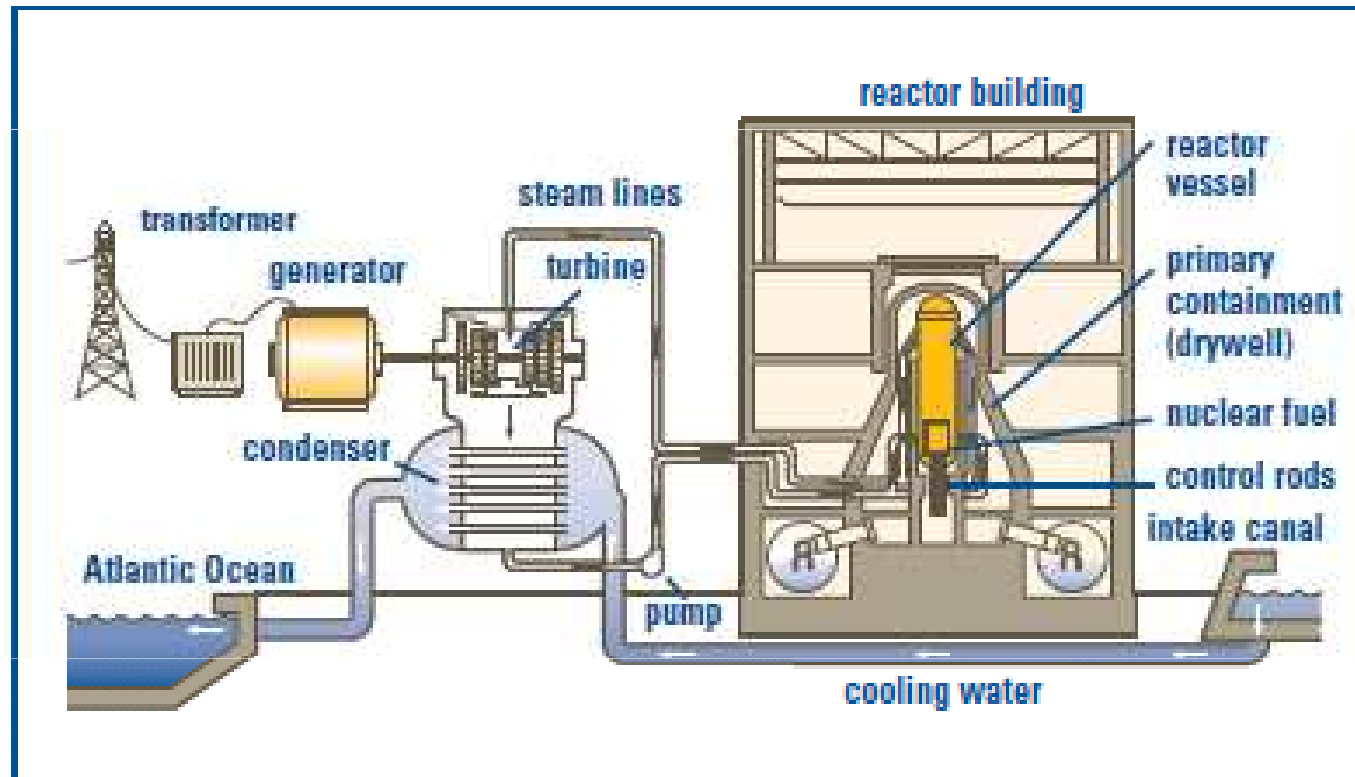


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

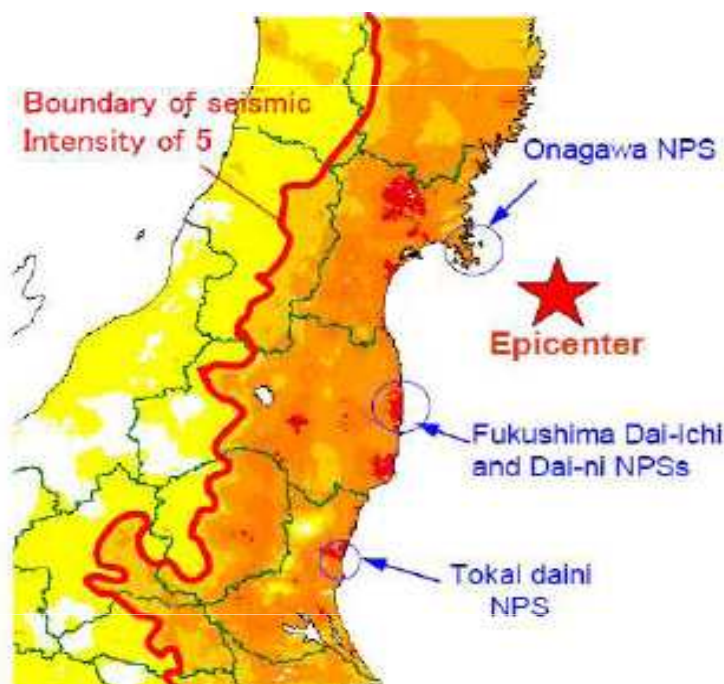
L'edificio reattore



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



- Occurrence: 14:46 March 11, 2011
- Mw(moment magnitude): 9.0
- Epicenter: approximately 130km off the coast of Sanriku (at 38.10 degrees north latitude, 142.86 degrees east longitude and 23.7km deep)



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale





Ore 14:46 del 11 marzo: terremoto magnitudo 9 seguito dopo 30 minuti da uno tsunami con onde anche oltre 14 metri di altezza





Al 12 maggio 15,000 morti e 10,000 dispersi



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

La sequenza degli eventi

Onda da tsunami di 14 m

Ingenti danni su più unità

Perdita dell'alimentazione elettrica di emergenza e di tutti i generatori diesel (eccetto 1)

Perdita dei sistemi di sicurezza

Situazione prolungata di perdita dell'alimentazione elettrica

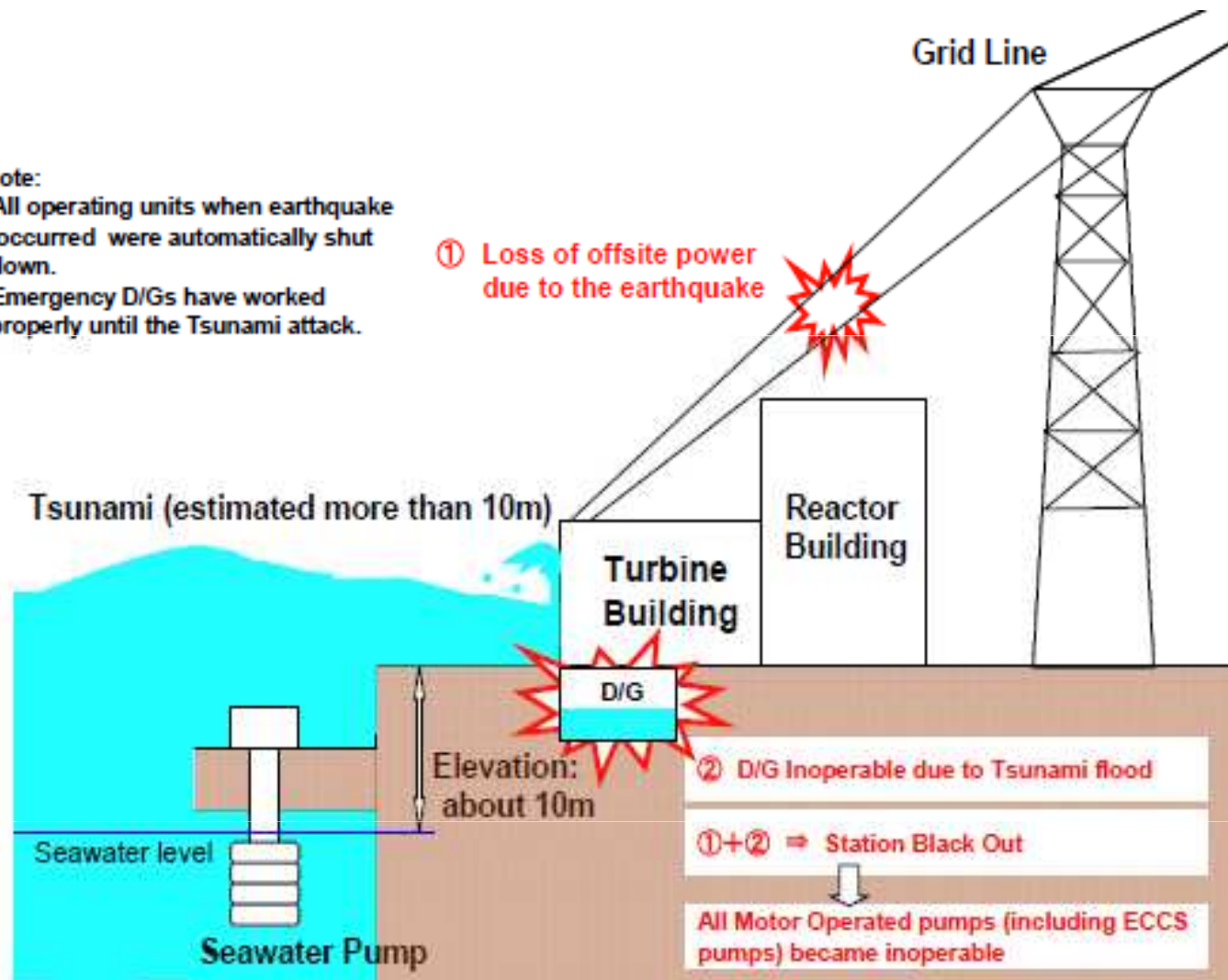
Una serie di esplosioni

Presenza di contaminazione e di alti campi di radiazioni



Note:

- All operating units when earthquake occurred were automatically shut down.
- Emergency D/Gs have worked properly until the Tsunami attack.



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Fukushima Daiichi – Feedback

11.03.2011 - 14:46

Terremoto (M 9.0); SCRAM; perdita alimentazioni elettriche esterne; attivazione automatica dei diesel di emergenza; attivazione IC/RCIC;



Fukushima Daiichi – Feedback

11.03.2011 - 15:37

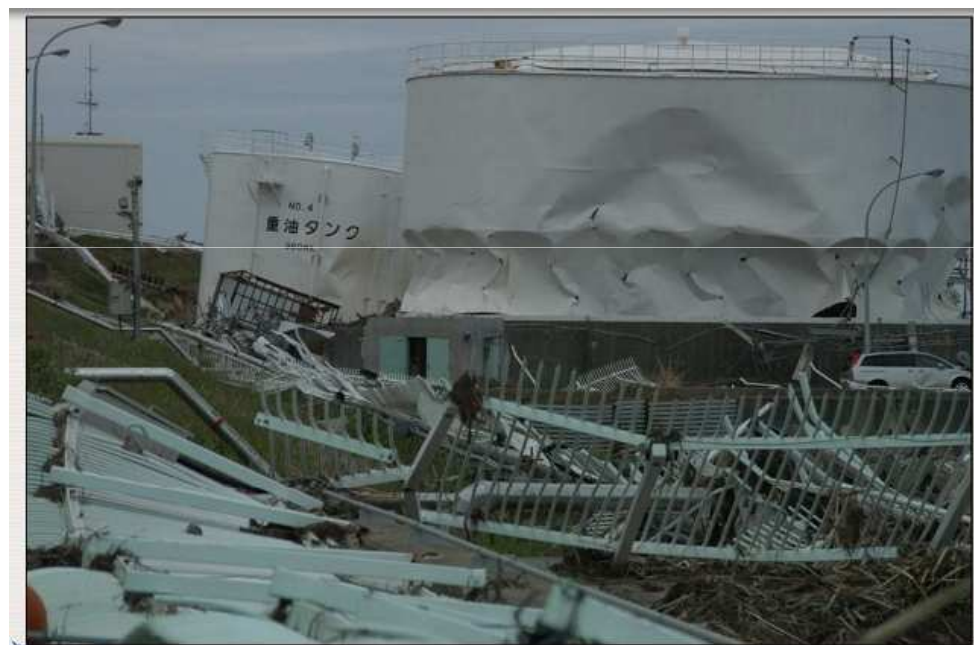
Il picco di tsunami inonda l'impianto (14 metri).

Perse tutte le alimentazioni elettriche, mezzi di soccorso, serbatoi di combustibile.



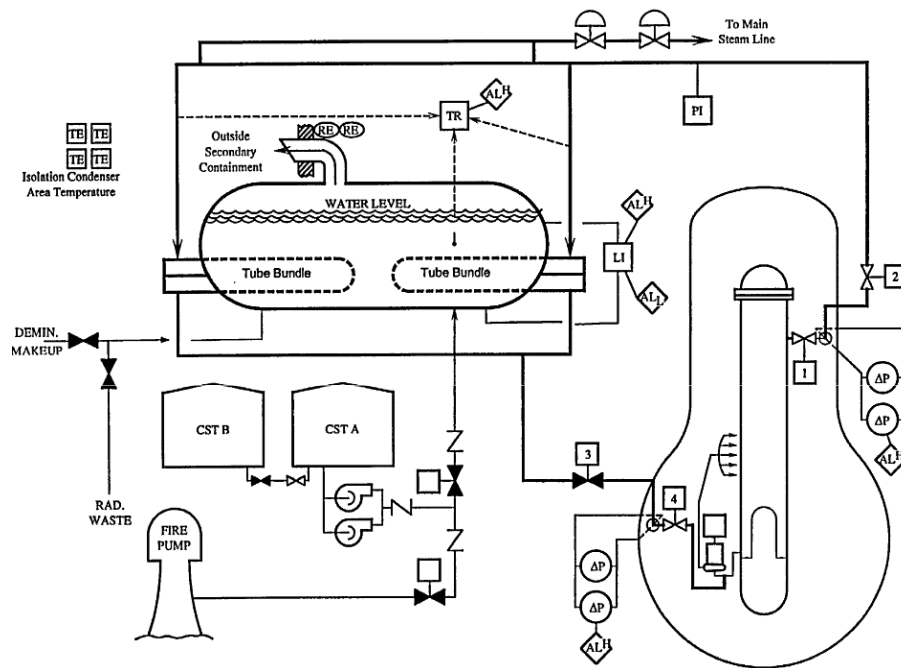




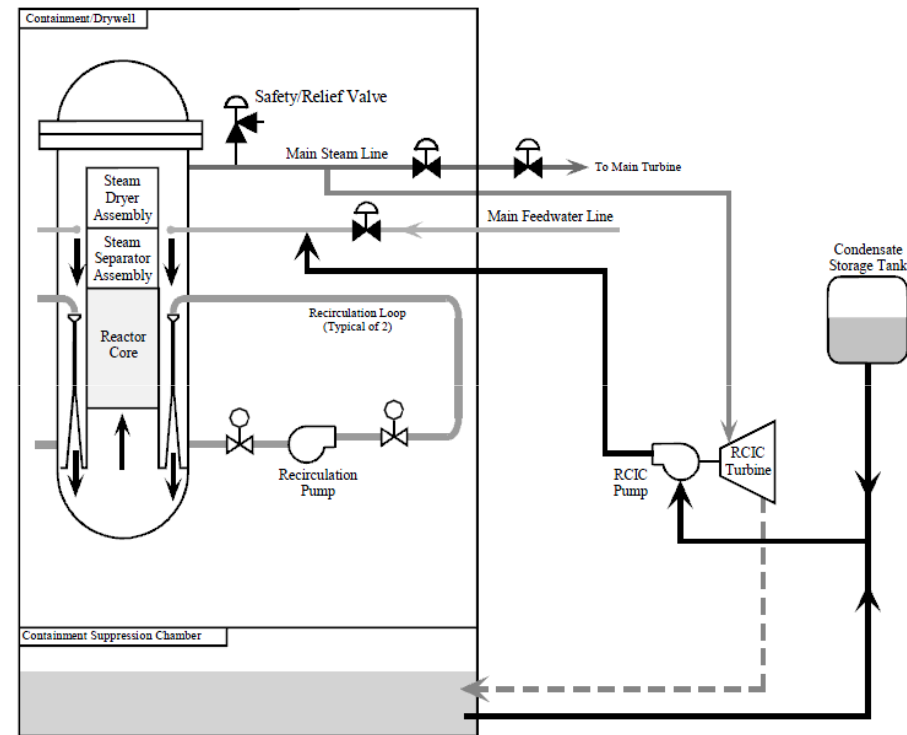


Fukushima Daiichi – Feedback

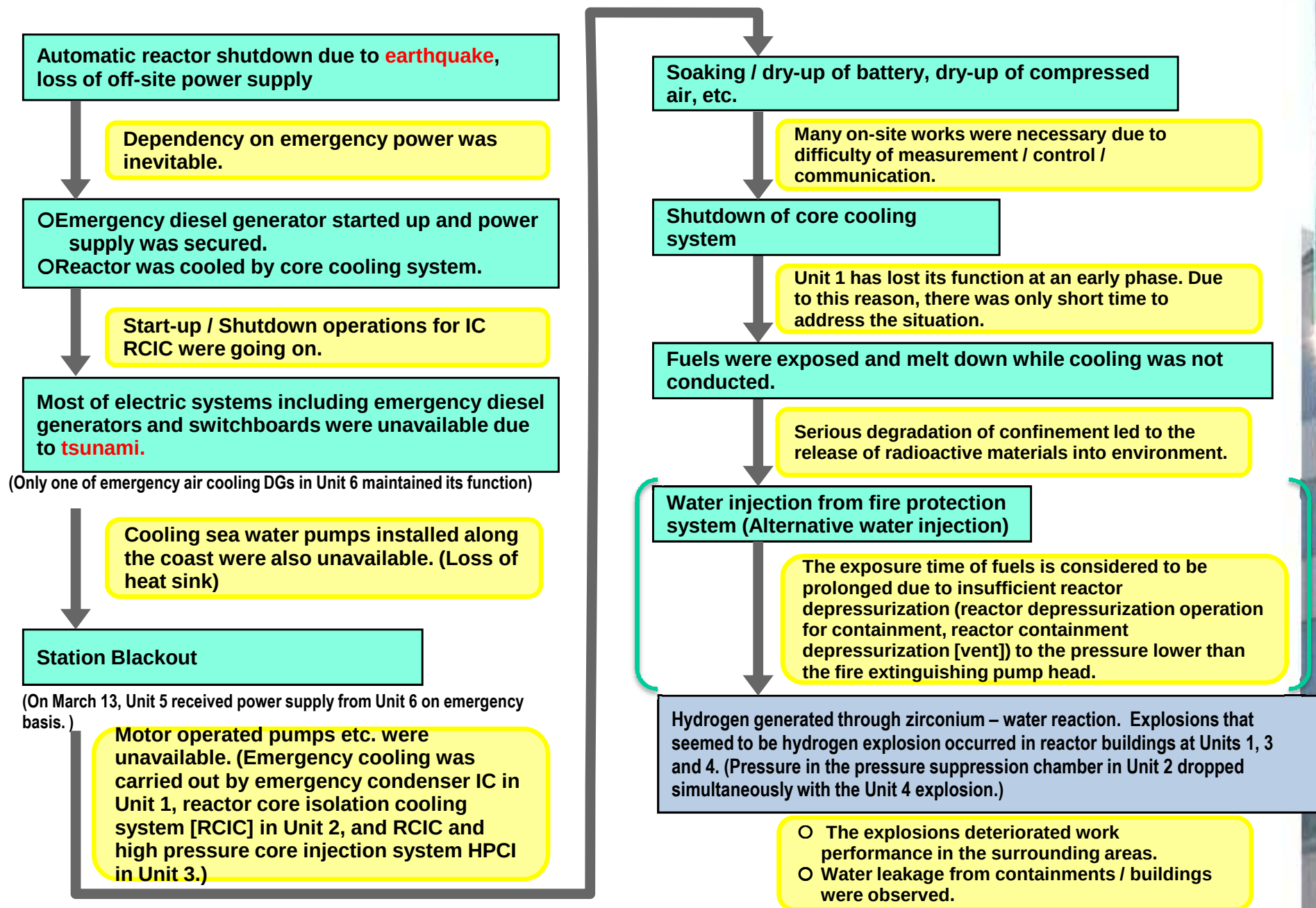
A seguito della perdita dei diesel di emergenza (SBO) restano attivi i sistemi di emergenza per la refrigerazione del nocciolo;
Le valvole di sicurezza sono comandate mediante alimentazione in continua.



IC-Isolation Condenser
Unità 1



RCIC- Reactor Core Isolation Colling
Unità 2&3



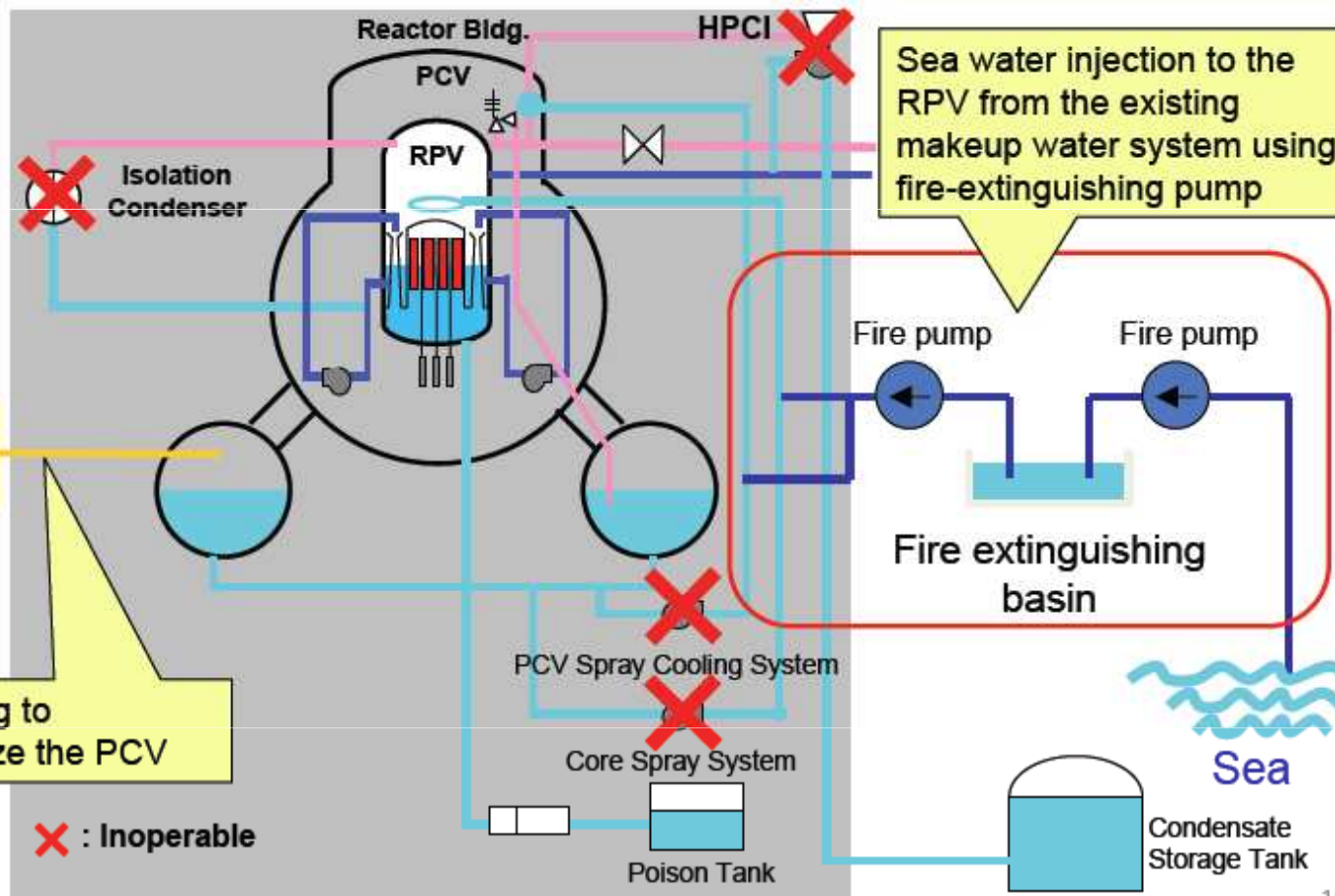
Stack



SGTS

S/C Venting to depressurize the PCV

✗ : Inoperable

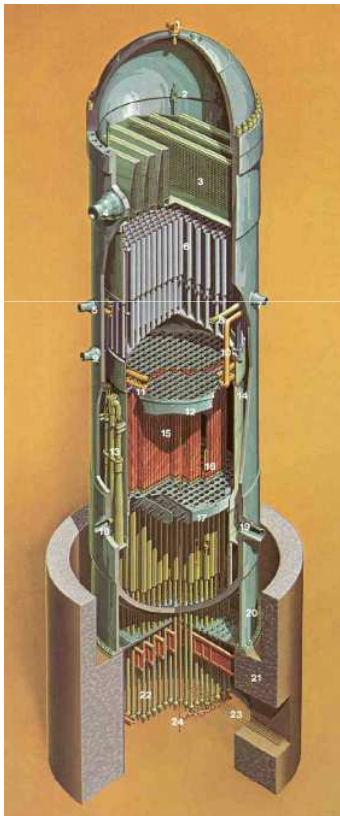
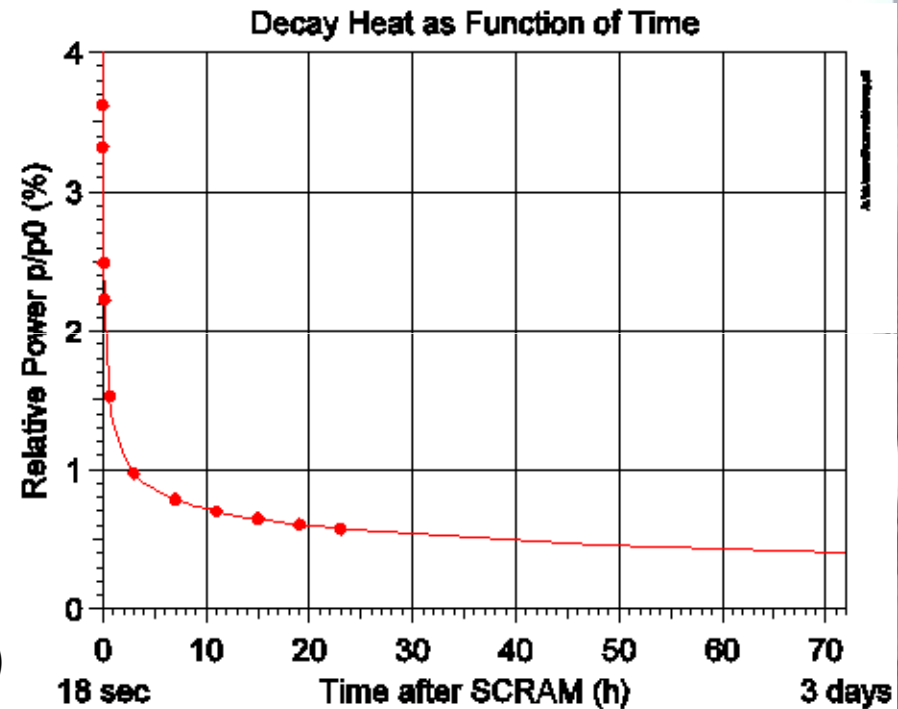


10

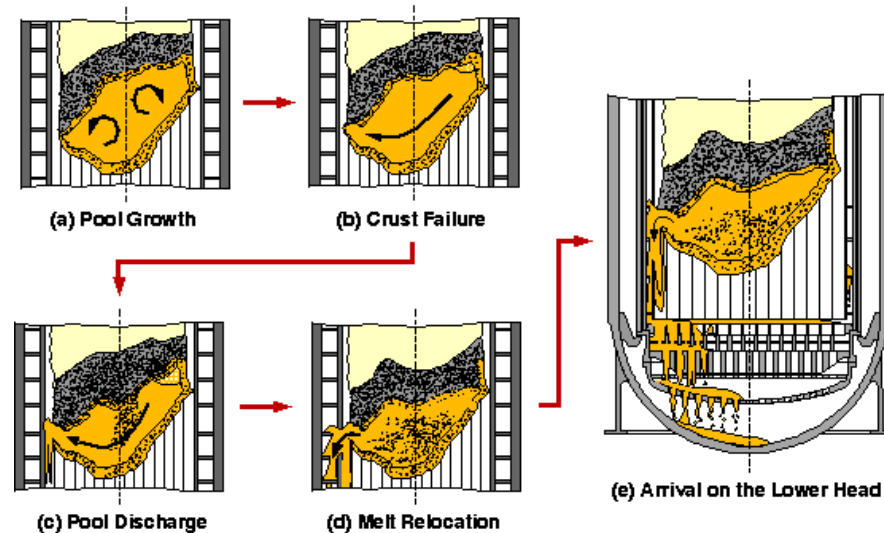


Fukushima Daiichi – Feedback

Dopo circa un'ora la potenza del reattore è scesa all'1,5 % della potenza nominale
(Unità 1: 1300MWt ~ 20 MWt)



1100 K fusione barre controllo (SIC)
1500 K produzione significativa H₂
1700 K fusione acciaio
2500 K fusione della ceramica
3100 K fusione UO₂



Fukushima Daiichi – Feedback

11.03 – Si inizia a scoprire il reattore dell'Unità 1

12.03 – Esplosione di idrogeno Unità 1

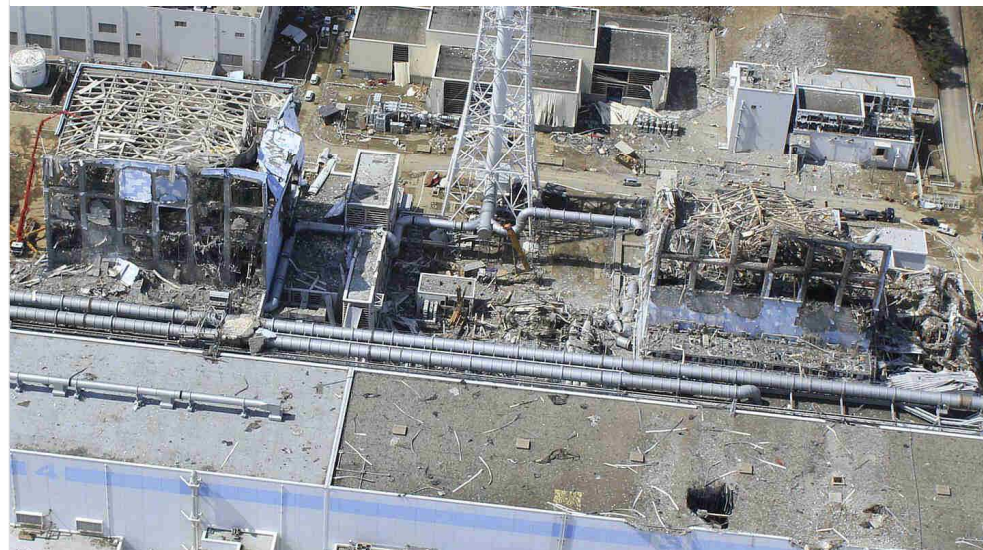
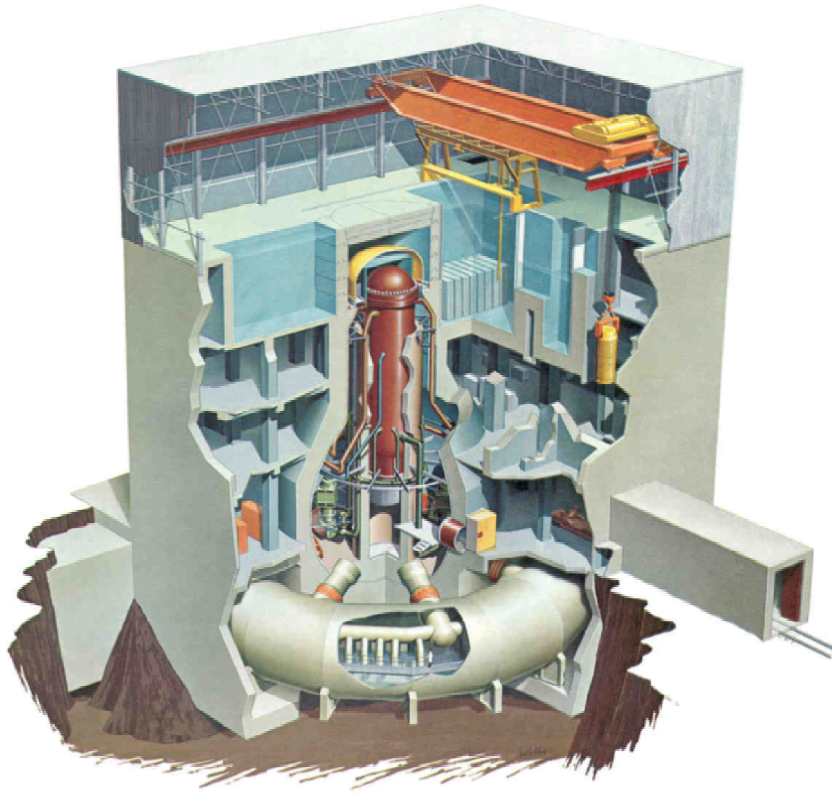
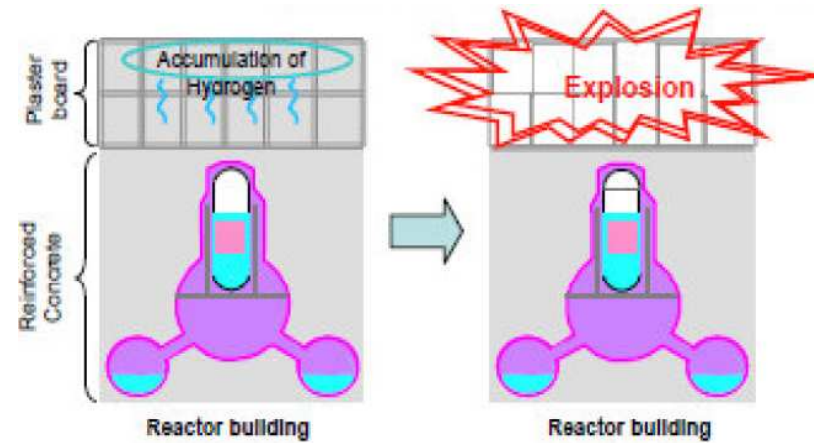
13.03 – Si inizia a scoprire il reattore dell' Unità 3

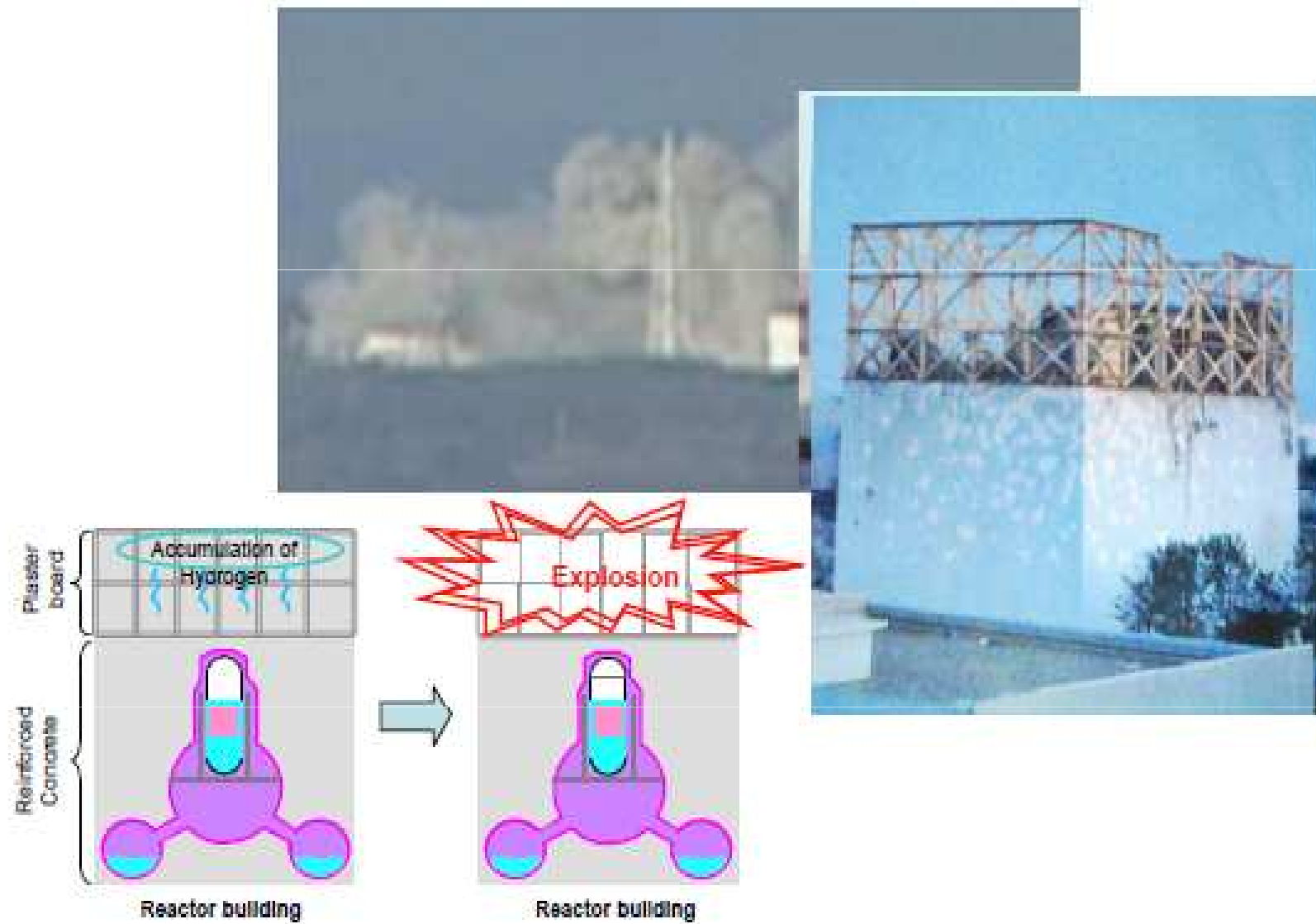
14.03 – Esplosione di idrogeno Unità 3

13.03 – Si inizia a scoprire il reattore dell' Unità 2

15.03 – Esplosione di idrogeno Unità 4

Danneggiamento piscina di soppressione Unità 2





Le esplosioni da idrogeno nelle Unità 1 e 3



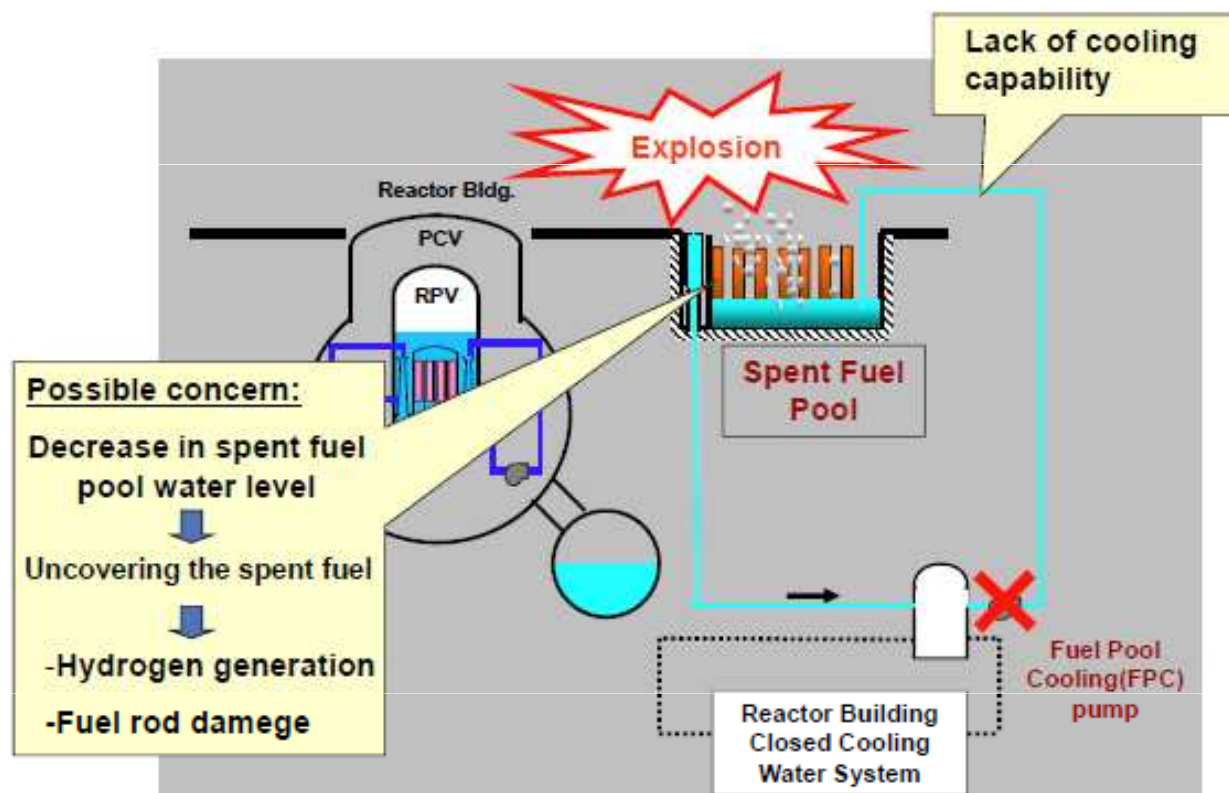
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

Il danneggiamento della piscina di combustibile nell'Unità 4

55



3

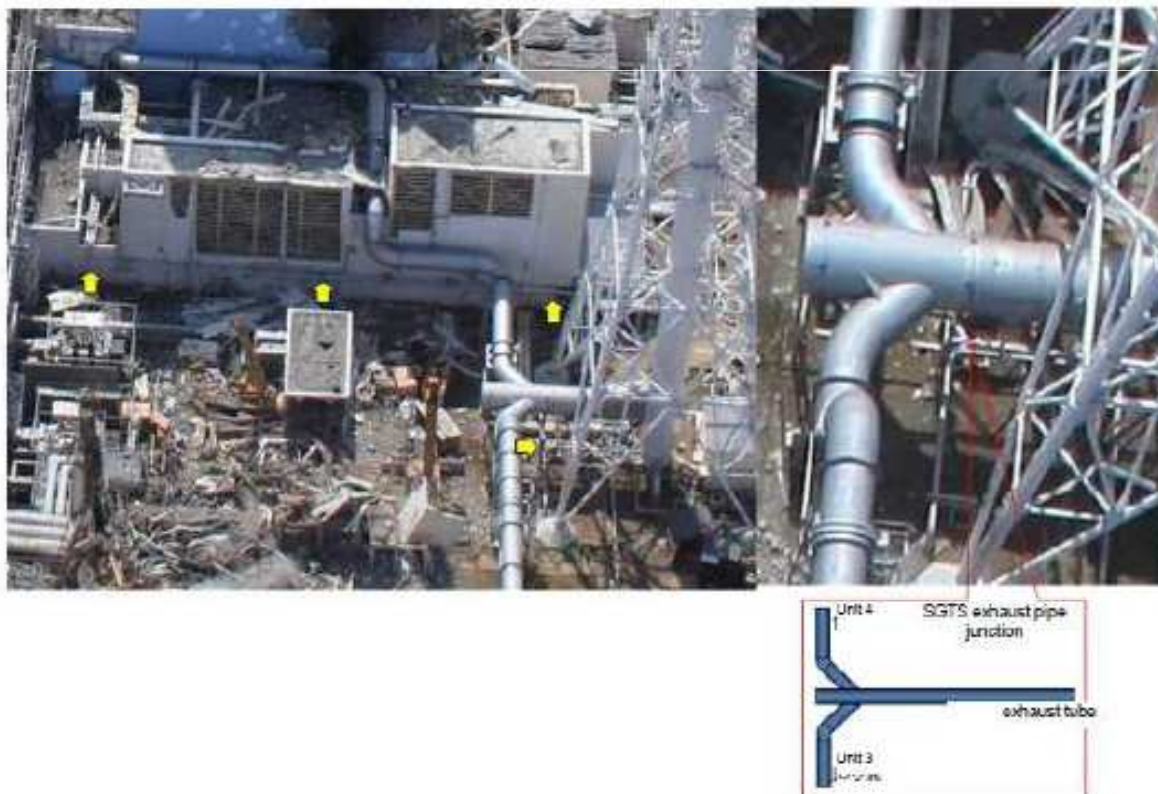


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale





Interconnessione linee di rilascio al camino tra le Unità 3 e 4



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale





Elementi piscine del combustibile



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Dopo



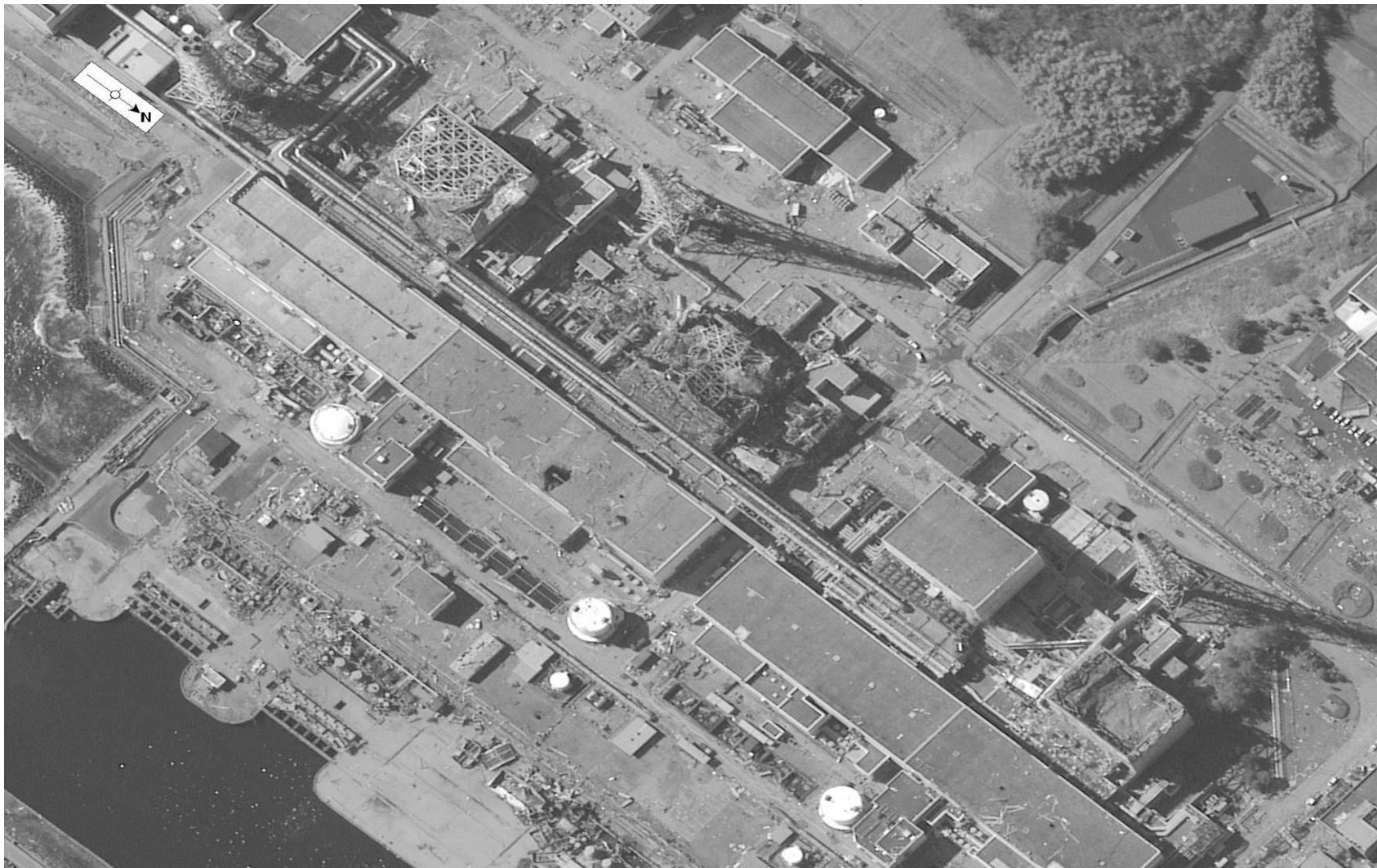
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

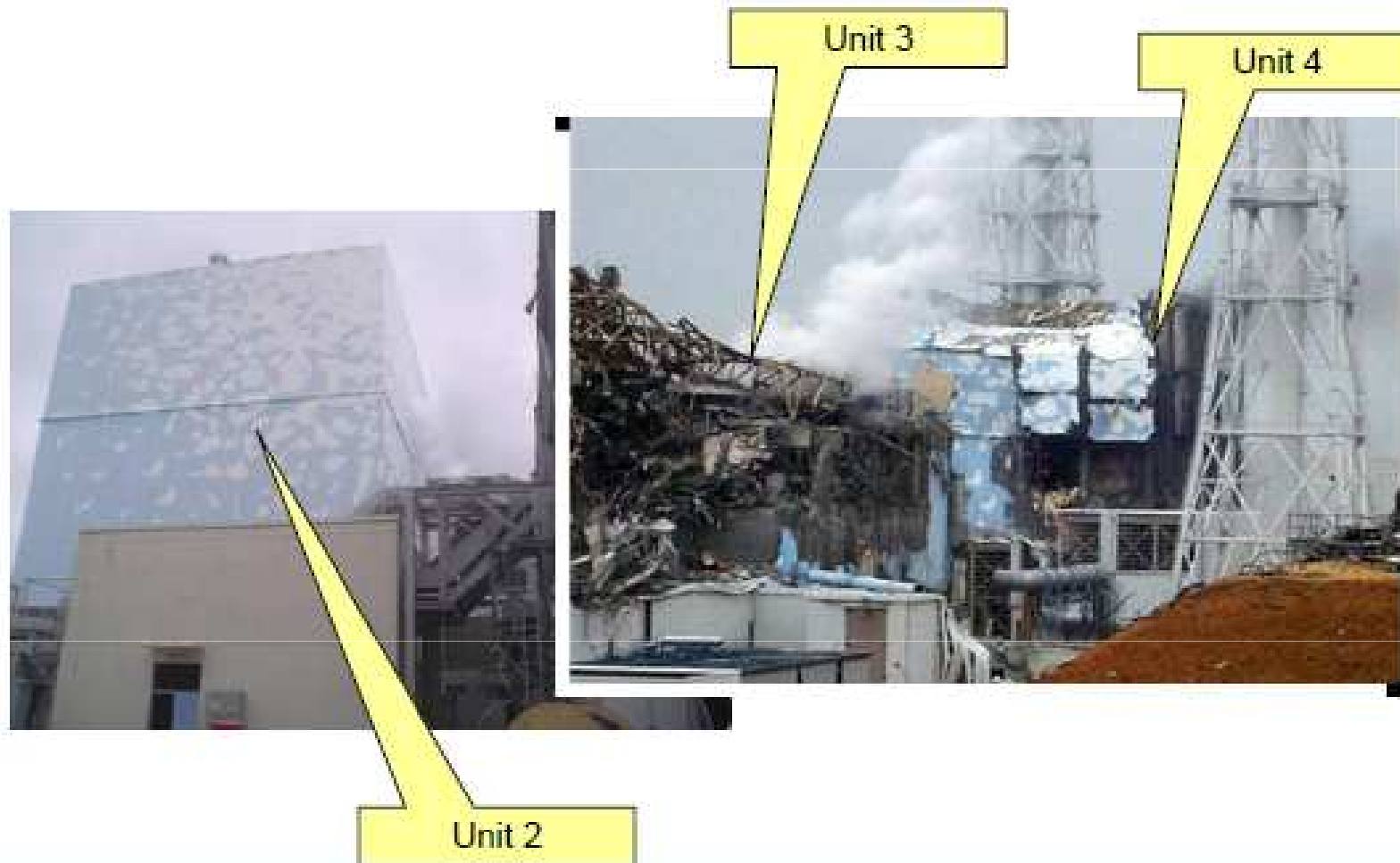


Dopo



19 MAR 2011, 10:44 am local time

Dopo



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale





大熊線引き込み変更(夜の森線1号)



I rilasci in atmosfera e l'impatto radiologico



Iodio e Cesio gli isotopi più significativi

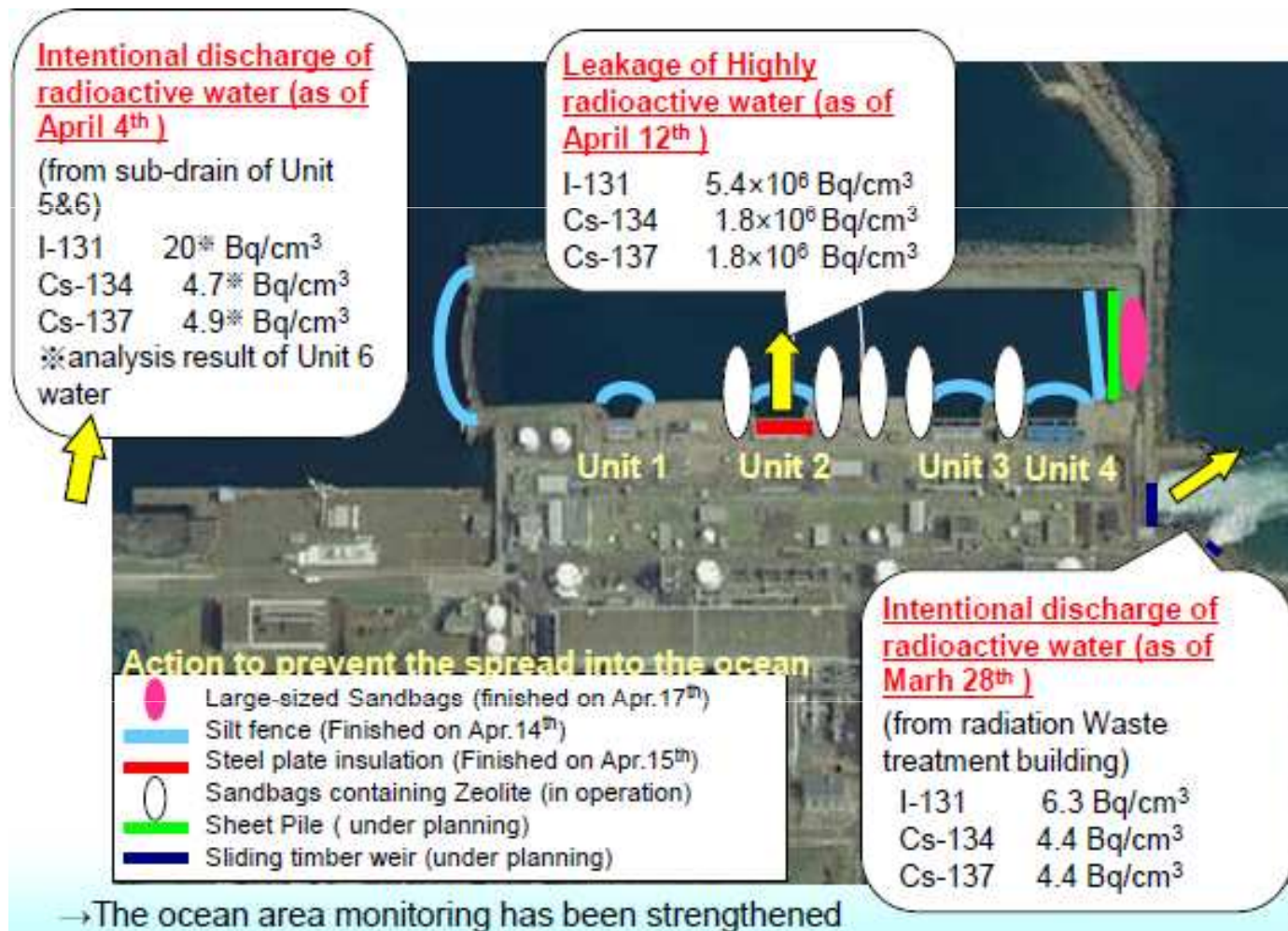


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

I rilasci in mare

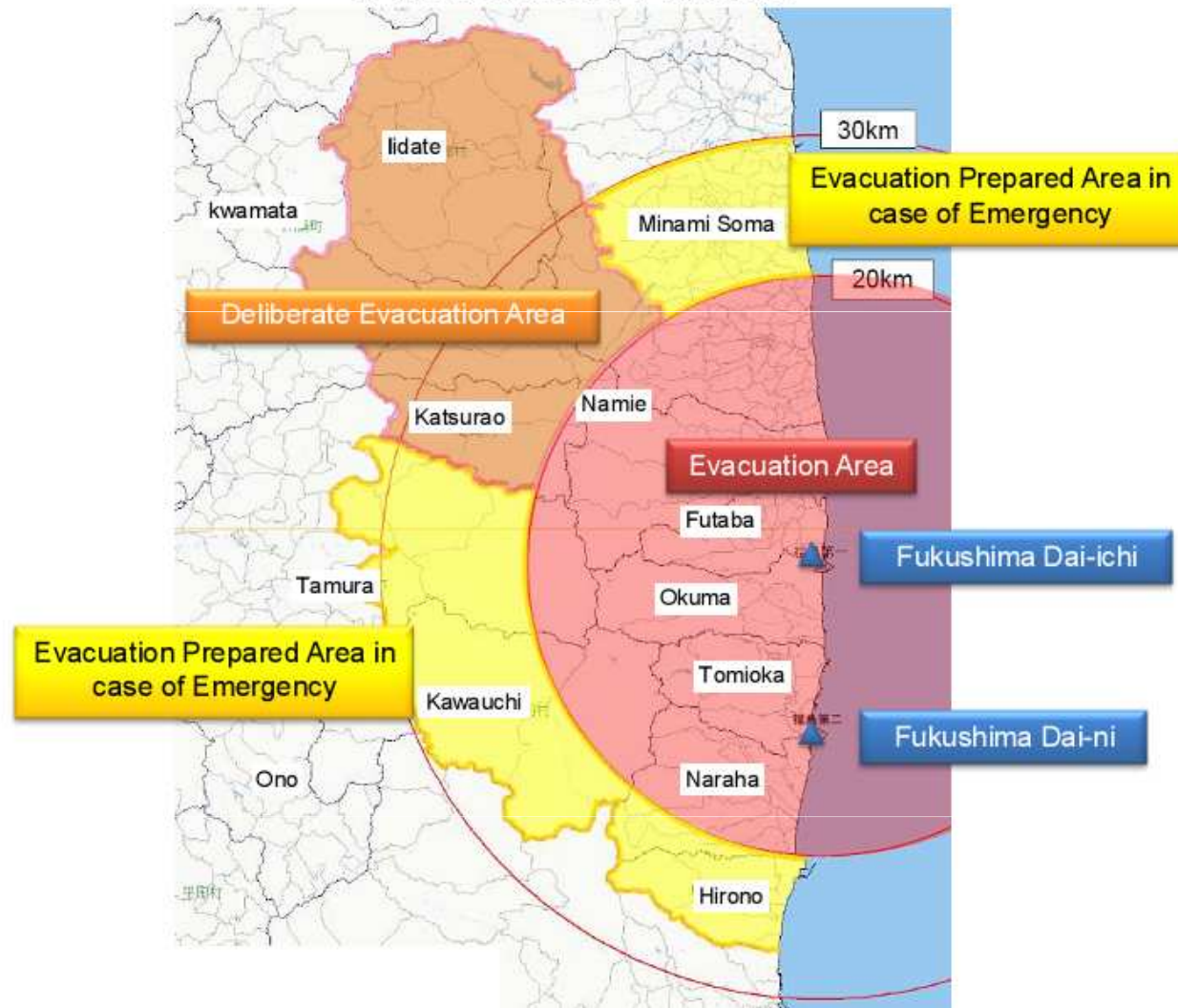


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

Protected Areas



3



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Alcune riflessioni



NUREG-1150
Vol. 1

An Assessment for Five
Severe Accident Risks:
An Assessment for Five
U.S. Nuclear Power Plants

Final Summary Report

U.S. Nuclear Regulatory
Commission
Office of Nuclear Regulatory Research

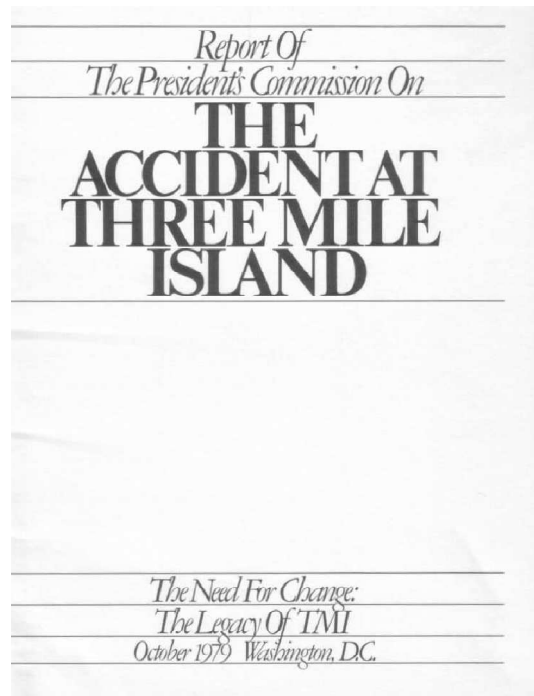


NUREG- 1150 Vol. 1
Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants
Final Summary Report
Manuscript Completed: October 1990
Date Published: December 1990

Table 6.2 Summary of core damage frequency results: Grand Gulf.*

Internal events	1,2 E-5	%
Station Blackout	1,1 E-5	92
ATWS	5,1 E-7	





“Those managing the accident were unprepared for the significant amount of hydrogen generated during the accident. Indeed, during the TMI-2 licensing process which concentrated on large-break LOCAs, the utility represented and the NRC agreed that in the event of a large-break LOCA, the hydrogen concentration in containment would not be significant for a period of weeks. In the first 10 hours of the TMI accident (a small-break LOCA), enough hydrogen was produced in the core by a reaction between steam and the zirconium cladding and then released to containment to produce a burn or an explosion that caused pressure to increase by 28 pounds per square inch in the containment building. Thus, TMI illustrated a situation where NRC emphasis on large breaks did not cover the effects observed in a smaller accident”

From these studies may emerge desirable modifications in the design of plants that will help prevent accidents and mitigate their consequences.

For example:

(i) Consideration should be given to equipment that would facilitate the controlled safe venting of hydrogen gas from the reactor cooling system.



Importance of developing a factual lessons learning culture

Understand what was wrong, identify corrective actions, design and implement

A few lessons after TMI - 1979

Need to counteract hydrogen production during a core melt accident

Develop PSA studies to understand critical sequences and to improve safety functions – Station Blackout main contributors to Core Damage Frequency

Key phenomena in Fukushima - 2011

Prolonged loss of AC power (Station black-out)
Hydrogen explosions



La sicurezza è un processo dinamico

WHAT SAFE IS SAFE ENOUGH ?



SAFETY IS NEVER ENOUGH



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale



Conclusioni

Inaccettabilità scenari incidentali dalle gravi conseguenze per l'uomo e per l'ambiente

Necessità di una rimodulazione degli obiettivi di sicurezza e di una continua e rigorosa verifica delle modalità adottate per raggiungerli



Conclusioni (2)

Assicurare un elevato livello di sicurezza nucleare è una sfida per i Governi, le Autorità di sicurezza, gli Esercenti e le Organizzazioni internazionali

La gravità dell'incidente e la sua peculiare evoluzione hanno stimolato l'avvio di molte iniziative in tema di sicurezza nucleare ("Stress test" in ambito Europeo, Action plan IAEA) – Necessità di riacquisire confidenza



*What must be admitted – very painfully – is that this was a disaster “**Made in Japan**”.*

*Its fundamental causes are to be found in the ingrained conventions of Japanese culture: **our reflexive obedience**; **our reluctance to question authority**; **our devotion to ‘sticking with the program’**; **our groupism**; and **our insularity**.*

Had other Japanese been in the shoes of those who bear responsibility for this accident, the result may will have been the same.

Kiyoshi Kurokawa

Chairman of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Dipartimento Nucleare, Rischio Tecnologico e Industriale

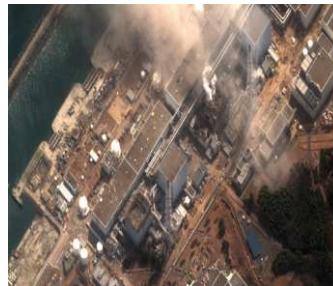




TMI - 1979



Chernobyl - 1986



Fukushima - 2011

....e che questa
casella resti per
sempre vuota



Grazie per l'attenzione

