



Astro Siesta – ISAF Milano - INAF

# **Incidente di Fukushima: considerazioni preliminari**

Francesca Barbaro  
fra.barbaro@libero.it

Milano, 19 gennaio 2012

# Argomenti

- 11 marzo 2011, cos'è successo?

- Radionuclidi emessi

Esposizione dei lavoratori

Dispersione Atmosferica

Dose nelle prefetture  
giapponesi

Contaminazione del cibo,  
dell'acqua potabile e delle  
acque marine

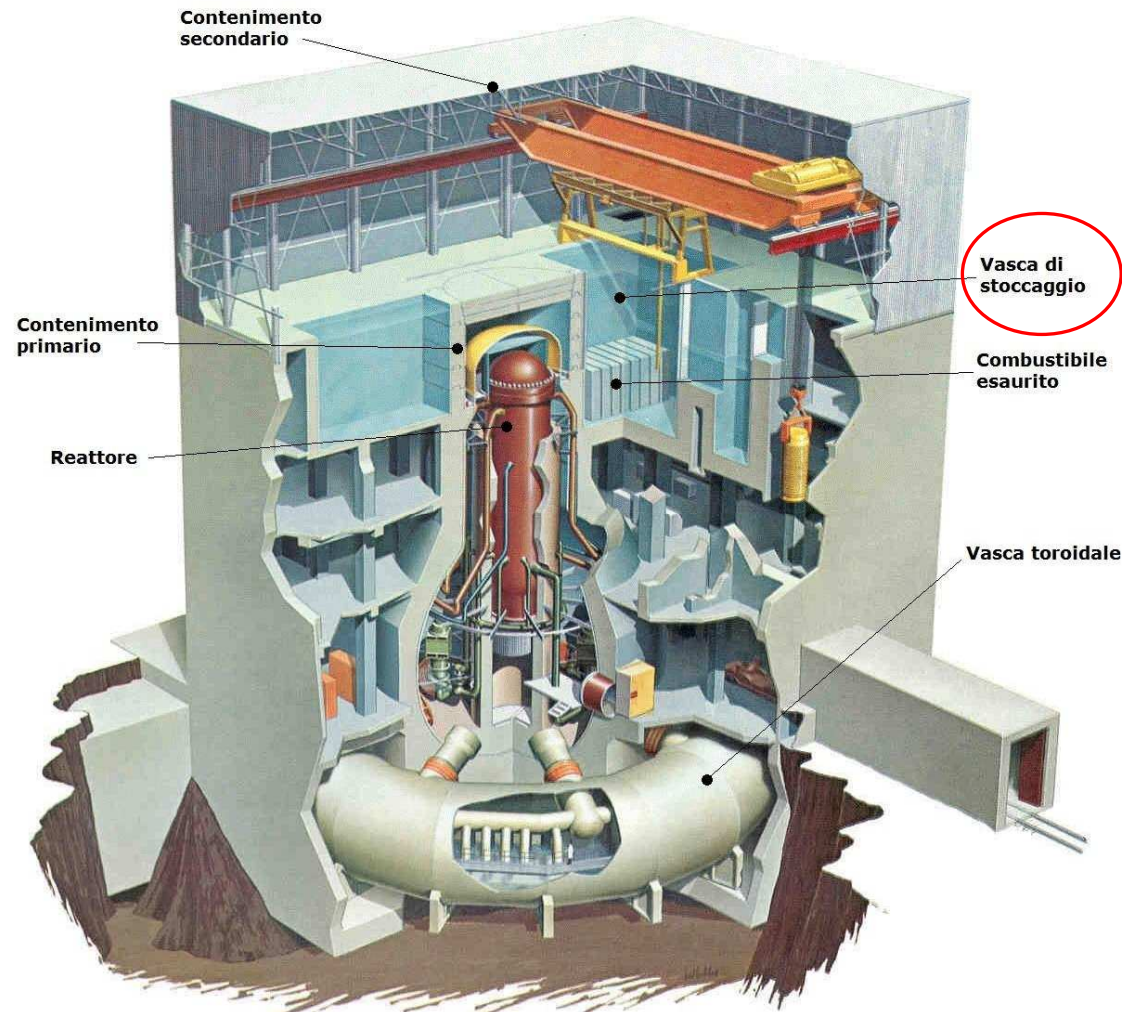
- Dosi in medicina
- Fukushima e Chernobyl
- Conclusioni

# Gli impianti

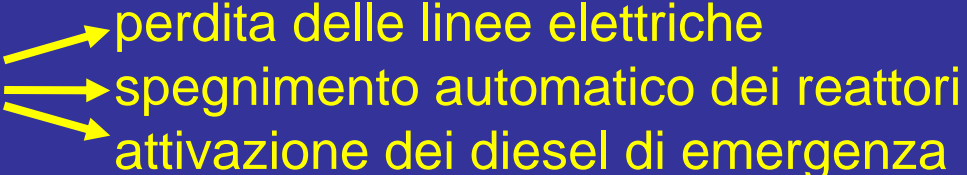
## Reattore BWR



Fukushima Dai-ichi



## ***Gli eventi***

- Terremoto di magnitudo 9.0 
  - perdita delle linee elettriche
  - spegnimento automatico dei reattori
  - attivazione dei diesel di emergenza
- Tsumani → perdita dell'intera alimentazione della centrale
- Surriscaldamento dei noccioli
- Accumulo di H → esplosioni
- Piscine di stoccaggio del combustibile esaurito → incendi
- Radionuclidi emessi

**Raffreddamento continuo**

# Rischio radioprotezione

## Effetti deterministici

- specifici
- radiodermite, cataratta, sterilità, morte dell'individuo irraggiato
- tempo di latenza breve
- esistenza di una soglia di dose (1-2Gy)

## Effetti Stocastici

- somatici (leucemie, tumori solidi);
- genetici (danni alla progenie)
- aspecifici
- tempo di latenza lungo
- ipotesi LNT
  - non esiste una soglia di dose
  - probabilità ~ 0,005%/mSv

Dose efficace:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R D_{T,R} w_R = \sum_{T,R} w_T w_R D_{T,R}$$

Unità di misura: Sivert, Sv

# Esposizione dei lavoratori

Limiti di dose stabiliti per i lavoratori (proposti da ICRP)

Lavoratori	Dose Efficace (mSv)
2	200 – 250
8	150 – 200
11	100 – 150

**100 mSv** su un periodo di 5 anni

**250 mSv** in caso di emergenza

**(1 mSv/anno** per la popolazione)

Valori di dose efficace riscontrati **inferiori** ai limiti stabiliti

**Eccezione:**

2 lavoratori esposti a dosi elevate di radiazioni riportano gravi ustioni agli arti inferiori

**Possibili danni deterministici**



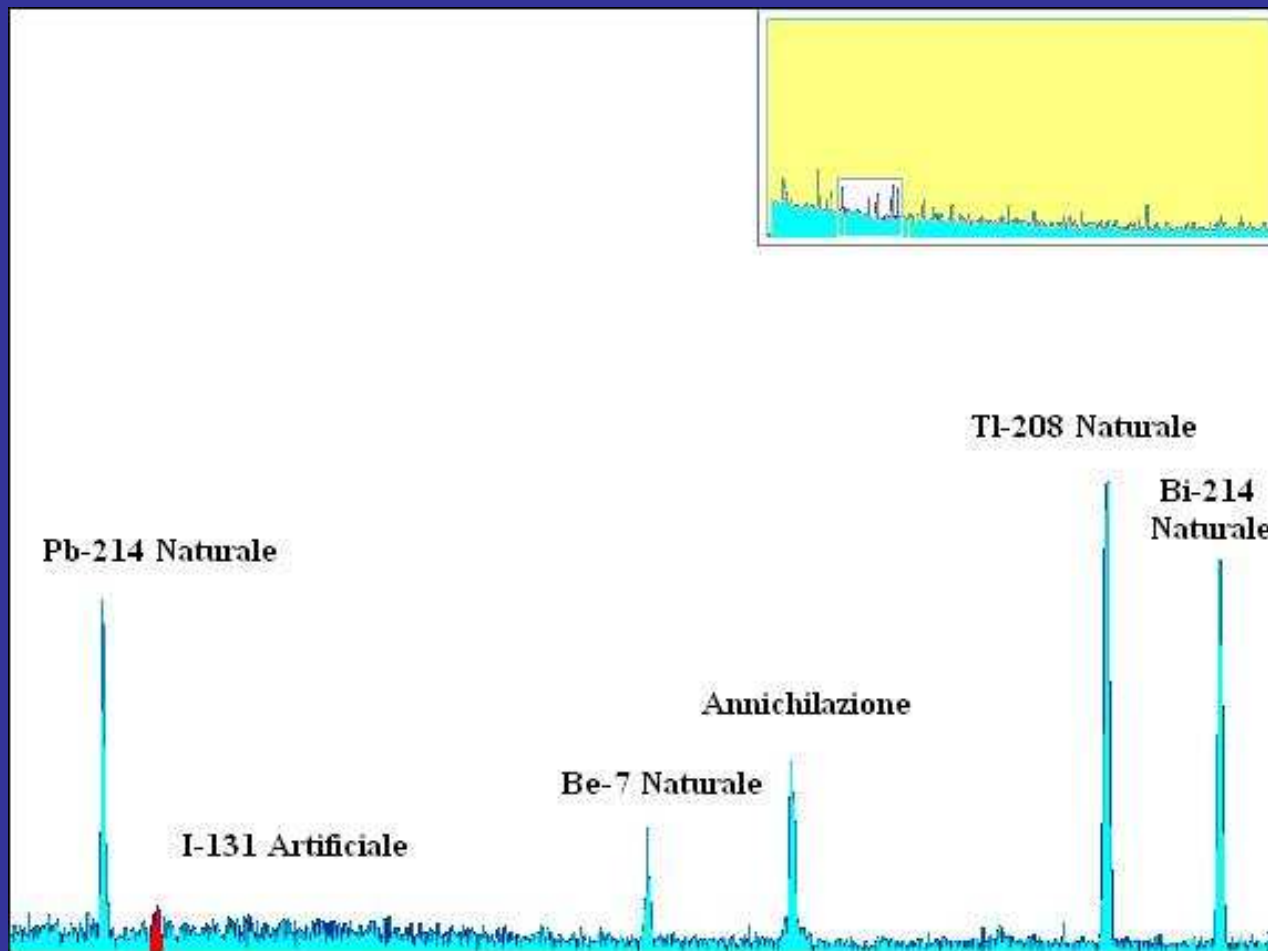
# Dispersione atmosferica

Radioaktivitätsmessnetz der Internationalen Organisation zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens

- aktuelle Detektion
- frühere Detektion
- Partikel
- Radioxenon



Hintergrundkarte von <http://www.ctbto.org/map/>



Concentrazione  
dei radionuclidi  
presenti in aria  
misurata al  
LENA

131

50  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  di picco il 28 marzo 2011

90  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  di media nella settimana dal 24 al 31 marzo

Confronto con i radionuclidi naturali



## ***Interventi di emergenza***

Per prevenire la esposizione della popolazione:

- piano di evacuazione: “zona limite” fino a un raggio di 20 km dalla centrale di Fukushima Dai-ichi  
  
“zona di preparazione all’evacuazione” estesa tra i 20 km e i 30 km
- somministrazione di pastiglie di ioduro di potassio per prevenire l’accumulo a livello tiroideo di  $^{131}\text{I}$ , riducendo il rischio stocastico di tumore

# ***Dose alla popolazione di Fukushima***

Data	Valori IAEA ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Valori MEXT ( $\mu\text{Sv/h}$ )
7 aprile	2,3	—
10 aprile	2,2	0,46
11 aprile	2,1	0,42
13 aprile	2,0	—
18 aprile	1,9	0,42
19 aprile	1,9	0,38
20 aprile	1,9	0,42
27 aprile	1,7 – 1,8	—
1 maggio	1,7	—
5 maggio	1,8	—
4 – 11 maggio	1,7	—
12 – 18 maggio	1,6	—
2 giugno	1,5	—

Dose da irraggiamento  
***esterno***

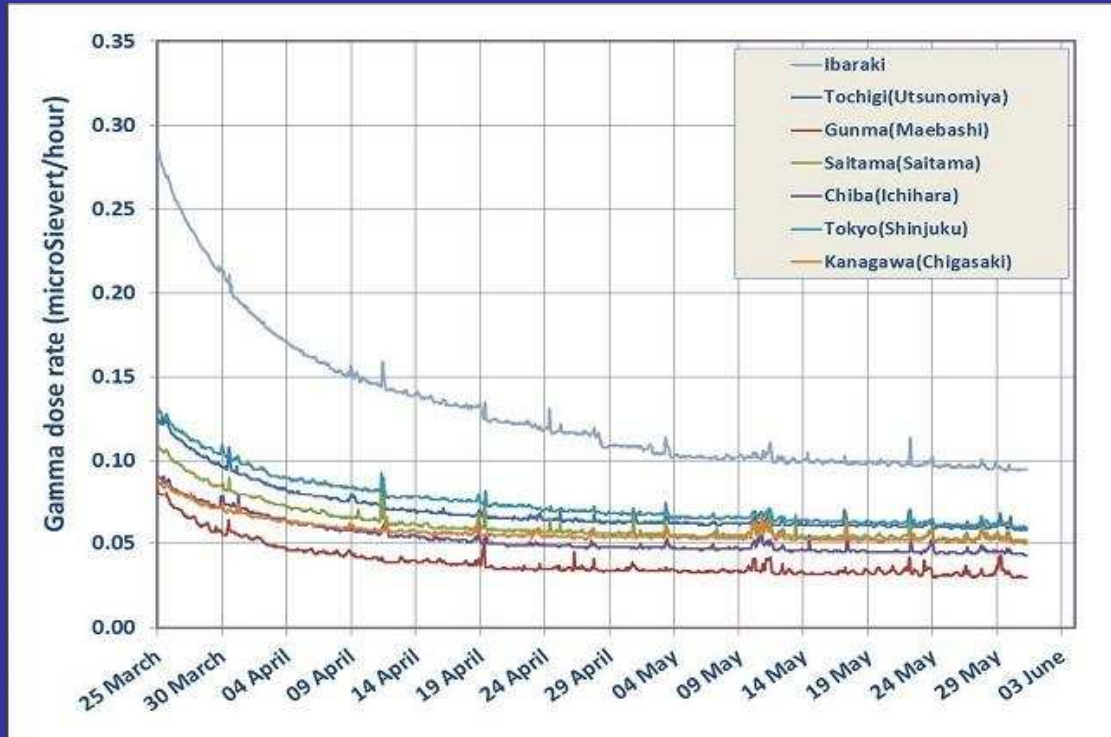


non esistono stime ufficiali

(10 – 20 mSv volendo  
vivere ***un anno*** nella  
“zona limite”)

# Dose nell'area esterne a Fukushima

Intensità di dose relativa alla radiazione gamma

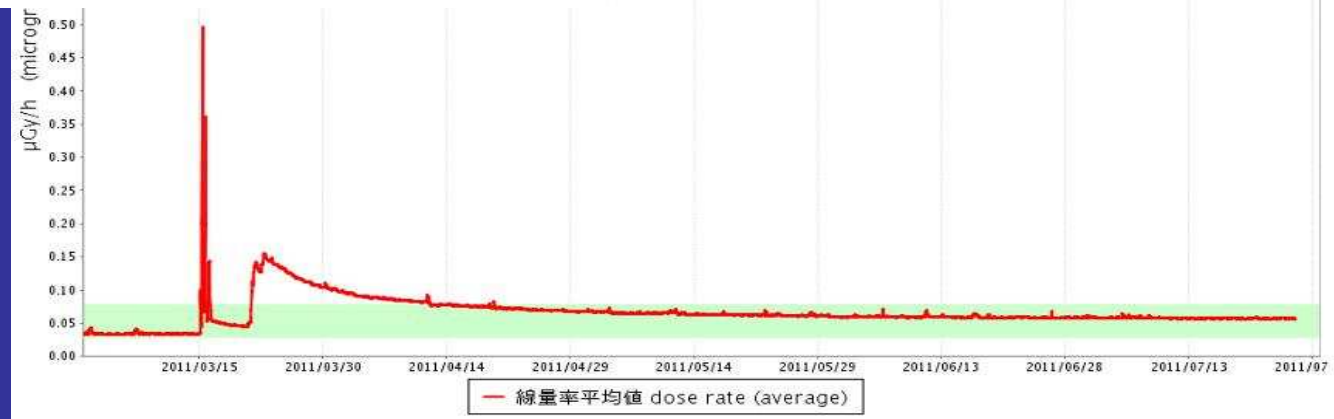


L'intensità di dose maggiore si rileva nella prefettura di Ibaraky

測定結果 (1時間ごと)  
Environmental radiation levels / hour

Tokyo

Fondo naturale di radiazione:  
 $0,1 \mu\text{Sv/h}$



# Contaminazione del cibo

Livelli di riferimento al di sotto dei quali la situazione può dirsi di **non rischio**

Matrice	Attività $^{131}\text{I}$ (Bq/kg)		Attività $^{137}\text{Cs}$ e $^{134}\text{Cs}$ (Bq/kg)
	Neonati	Adulti	
Latte	100	300	200
	Neonati	Adulti	
Acqua potabile	100	300	200
	Neonati	Adulti	
Verdure	2000 (eccetto radici e tuberi)		500
Grano	Non richiesto		500
Carne	Non richiesto		500
Uova	Non richiesto		500
Pesce	2000		500

Valori limite di attività di  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$  riferiti alle concentrazioni nelle matrici in relazione alla dieta tipica della popolazione giapponese e alla pericolosità del radionuclide

## Divieto di raccolta, distribuzione e consumo

latte e specifiche verdure  
in 25 aree della prefettura  
di Fukushima

spinaci nelle città di  
Kitaibaraki e Takahagi  
della prefettura di Ibaraki

# Contaminazione dell'acqua potabile

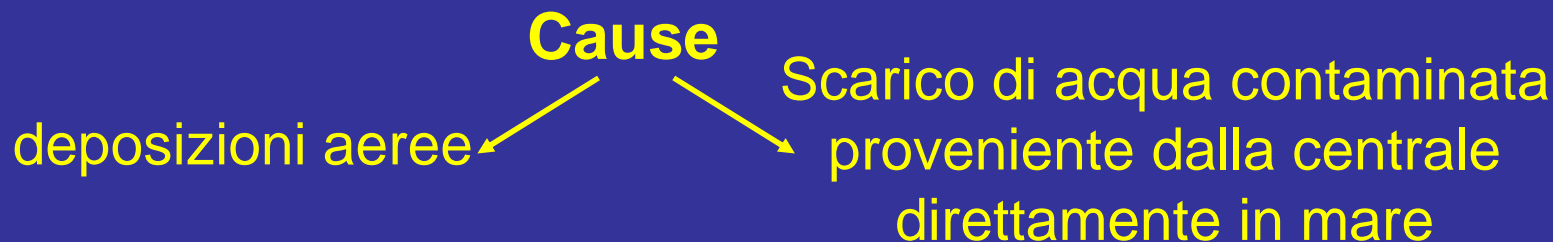
Le restrizioni stabilite dalle autorità circa il consumo di acqua di rubinetto risultano essere una misura preventiva più che una misura di sicurezza adottata per la gravità della situazione

Guideline	Livello massimo consigliato per l'attività di $^{131}\text{I}$ in acqua (Bq/l)	Dose corrispondente al consumo annuale di acqua
WHO guideline per acqua di qualità	10	Volo New York – Londra
Standard giapponese provvisorio (caso di emergenza) per gli adulti	300	Un anno di esposizione di fondo naturale di radiazione, o 10 – 15 radiografie al torace
Standard giapponese provvisorio (caso di emergenza) per i neonati	100	
IAEA livello di intervento operativo per l'emergenza nucleare	3000	Il livello massimo consigliato deve essere usato solo per innescare l'azione nelle prime fasi di emergenza.

**Abolizione, nel mese di maggio, di tutte le restrizioni imposte**

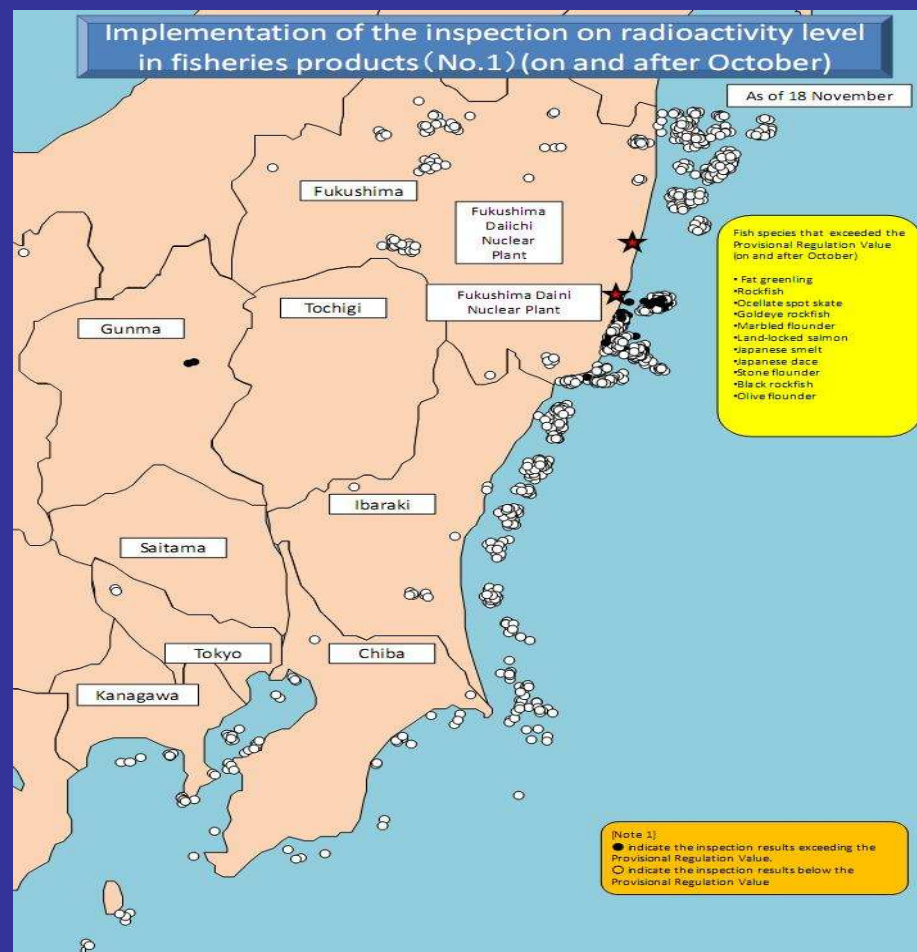


# Contaminazione delle acque marine



## I monitoraggi prevedono:

- misura della dose in aria al di sopra nel mare
- analisi pulviscolo atmosferico sopra il mare
- analisi di acqua di mare superficiale
- analisi di campioni di acqua di mare prelevati a 10 m dal fondo marino



# ***Chernobyl***

- 26 aprile 1986 → test di verifica funzionalità sistemi sicurezza **fuori specifica**
- RBMK reattore ad acqua bollente moderato a grafite
- Perdita del controllo del reattore
- Barre di controllo in grafite accelerano la reazione a catena
- Esplosione dell'impianto
- Distruzione del nocciolo (e la sua esposizione all'aria)
- Materiale radioattivo liberato direttamente in ambiente

# ***Fukushima e Chernobyl***

**Livello 7 – Incidente grave (scala INES)**

**Fukushima Dai-ichi**



Ma a **Fukushima** è attribuita una valenza **inferiore** in termini di gravità di incidente



**Chernobyl**

**Diversità tra le due situazioni incidentali**

tipo di esame (procedura), 2000	Dose efficace mSv (#)	Dose proced/ DoseRxTorac e PA, n.rel.	DoseProced/ Dose naturale	grado di rischio (*), casi/1000 paz.
Singola radiografia al torace, PA	0,02	1	3 giorni	0,001
Procedura radiografica torace	0,13	7	20 g	0,009
Cranio	0,05	2,5	7,6 g	0,004
Rachide lombo-sacrale	0,27	14	41,1 g	0,02
Mammografia	0,5	25	76 g	0,04
Addome	0,65	33	98,9 g	0,05
Pelvi	0,79	40	120 g	0,06
Rachide lombare	0,81	41	123 g	0,06
Tratto gastrointestinale superiore	3,6	180	1,5 anni	0,26
Urografia	4	200	1,7 a	0,29
Tratto gastrointestinale Inferiore	6,4	320	2,7 a	0,47
Aniografia neurologica	4,1	205	1,7 a	0,30
Angiografia coronarica	8,6	430	3,6 a	0,63
Angiografia periferica	12,4	620	5,2 a	0,91
TC testa	2,1	107	0,9 a	0,16
TC Torace	9,5	475	4,0 a	0,69
TC Pelvi	10	501	4,2 a	0,73
TC addome	15	752	6,3 a	1,1
Imp. pacemaker monocamerale (§)	4	200	1,7 a	0,3
Impianto pacemaker bicamerale (§)	9,4	470	3,9 a	0,7
Impianto pacemaker multisito (§)	21,7	1085	9,0 a	1,6
Impianto defibrillatore (§)	17,5	875	7,3 a	1,3
Radiol. Interventistica cardiologia	14,1	705	5,9 a	1,0
Radiol. interventistica periferica	21,6	1080	9,0 a	1,6

## Dosi in medicina

Le dosi ricevute a seguito dell'incidente di Fukushima si presumono inferiori a quelle ricevute per comuni esami medici diagnostici

## *Conclusioni*

- I rilasci di Fukushima sono tra 1/5 e 1/10 di Chernobyl
- Nessun danno deterministico → dubbio su 2 lavoratori esposti a dosi elevate
- Danni stocastici → continui accumuli di dose (minima) potrebbero comportare un aumento del rischio di danni biologici all'individuo a lungo termine
- Decessi per tumore → non distinguibili dai casi di morte per cancro spontaneo o causato da altri fattori



# *Conclusioni*

Fukushima è oggetto di studio per la comunità nucleare mondiale, figurando come lezione per la gestione della sicurezza nucleare

Criticità riscontrate:

- la valutazione del rischio tsunami (generatori)
- la posizione fisica dei reattori
- la collocazione delle piscine di stoccaggio

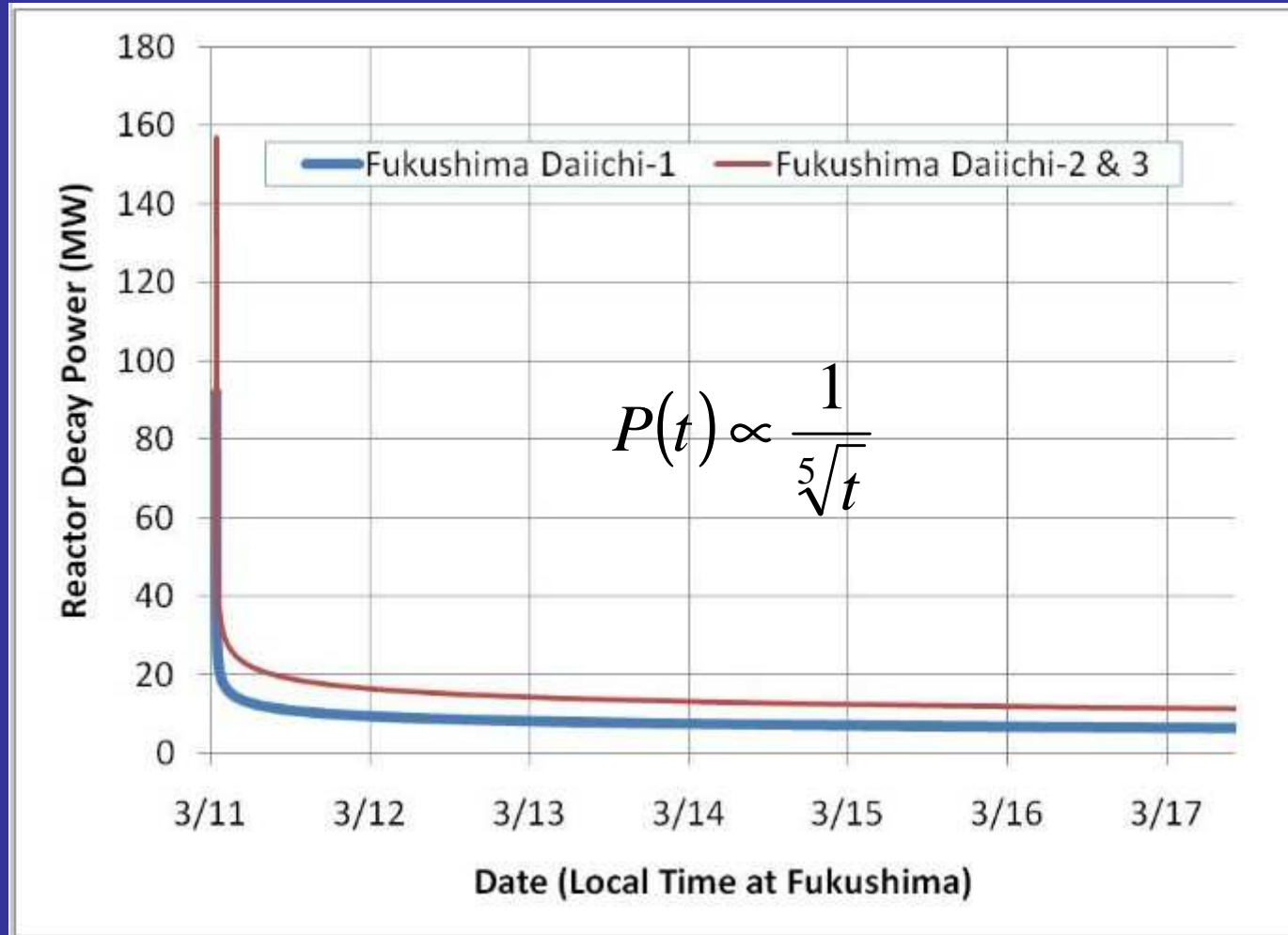
Lezioni apprese (punti chiave):

- l'esemplare intervento del personale nell'emergenza
- tempestivo e ben organizzato piano di evacuazione
- la protezione dai rischi connessi ai pericoli esterni
- per ogni reattore di sistemi di controllo indipendenti
- la valutazione della produzione dell'idrogeno

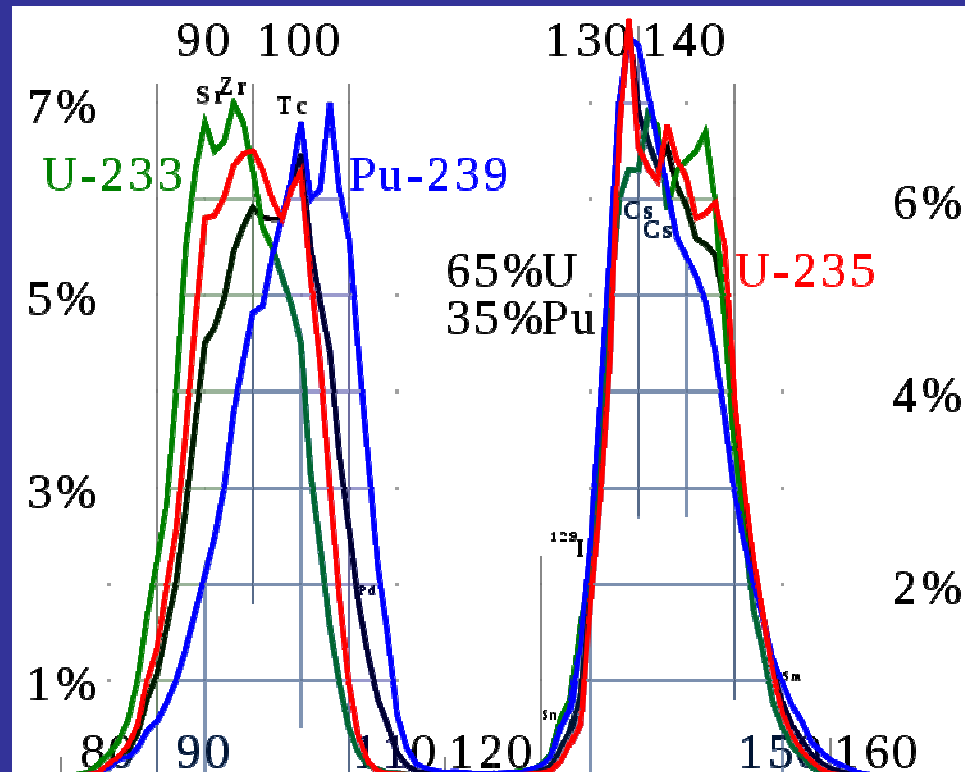
***Grazie per l'attenzione***



# Calore residuo di decadimento



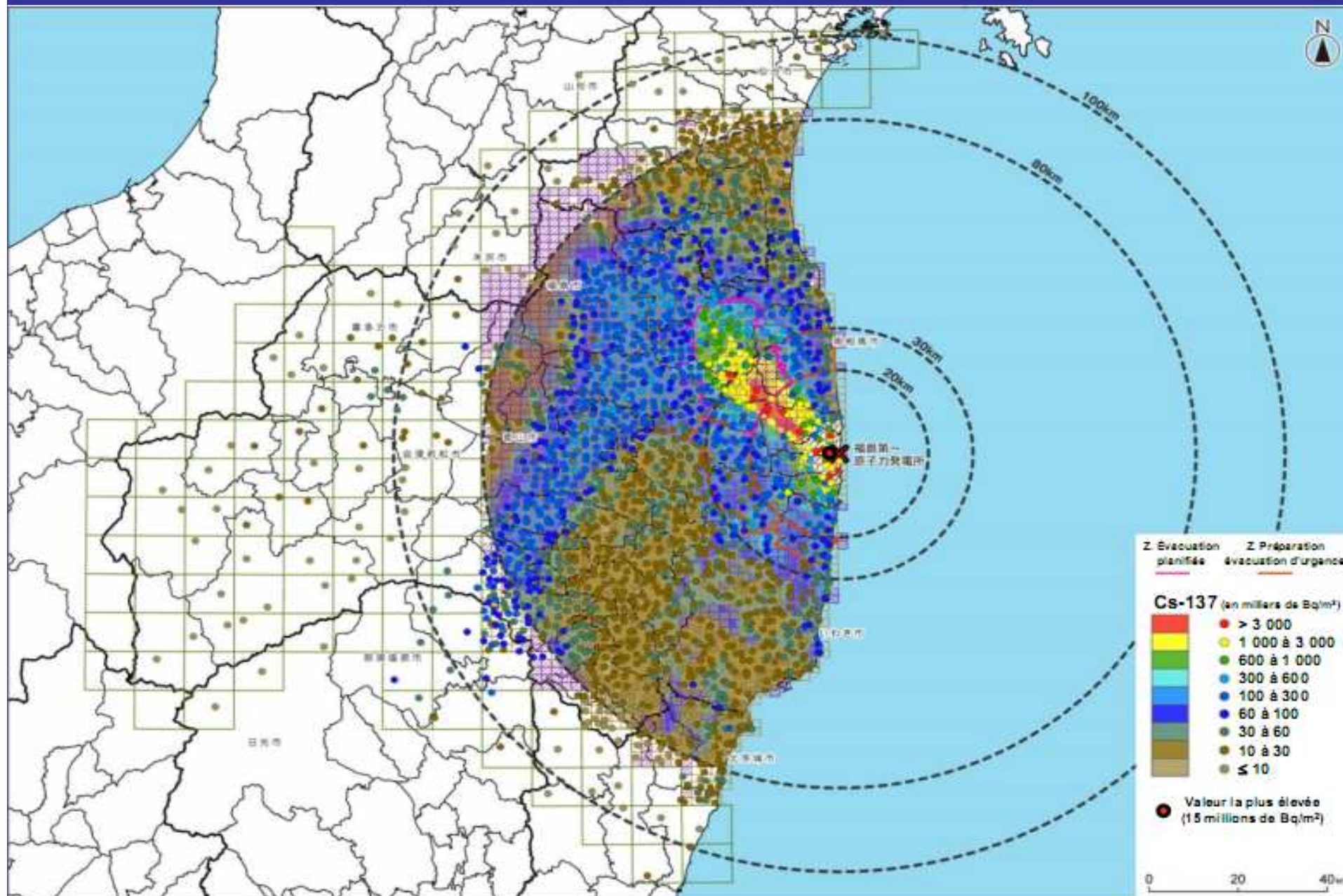
# Prodotti di fissione

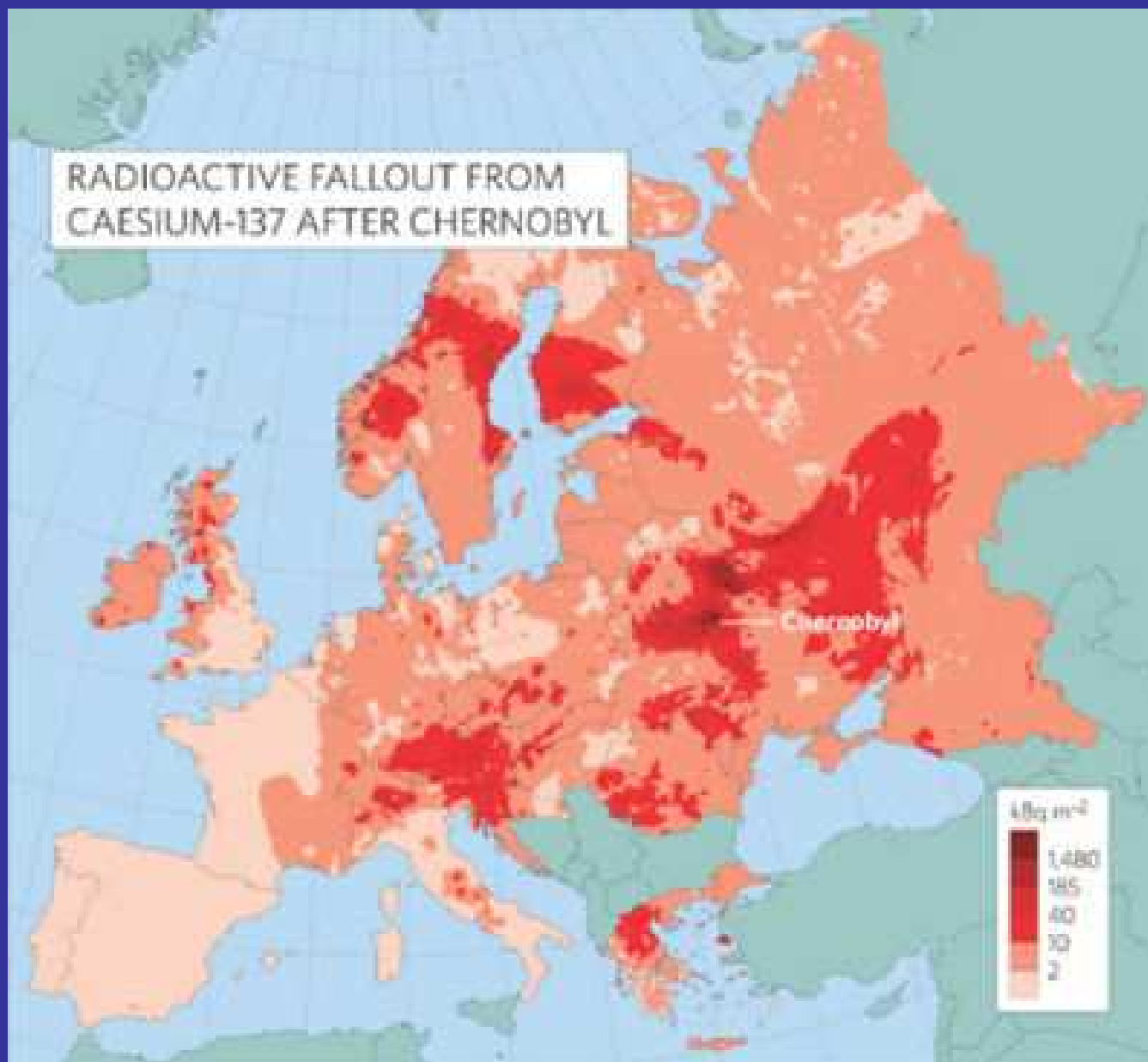


Radionuclidi emessi:  $^{131}\text{I}$   $^{137}\text{Cs}$



# Attività $^{137}\text{Cs}$





**Dispersion  
atmosferica  
di  $^{137}\text{Cs}$   
rilasciato da  
Chernobyl**