

L'incidente alla centrale nucleare di FUKUSHIMA-DAIICHI: aspetti di protezione dalle radiazioni ionizzanti

**Rilasci di radioattività nell'ambiente e
radioattività negli alimenti**

13-14 settembre 2012

Dott. Sergio Manera - Esperto Qualificato LENA (UniPv) - manera@unipv.it

Vi parlerò di ...

Rilasci di radioattività nell'ambiente e radioattività negli **alimenti**

...

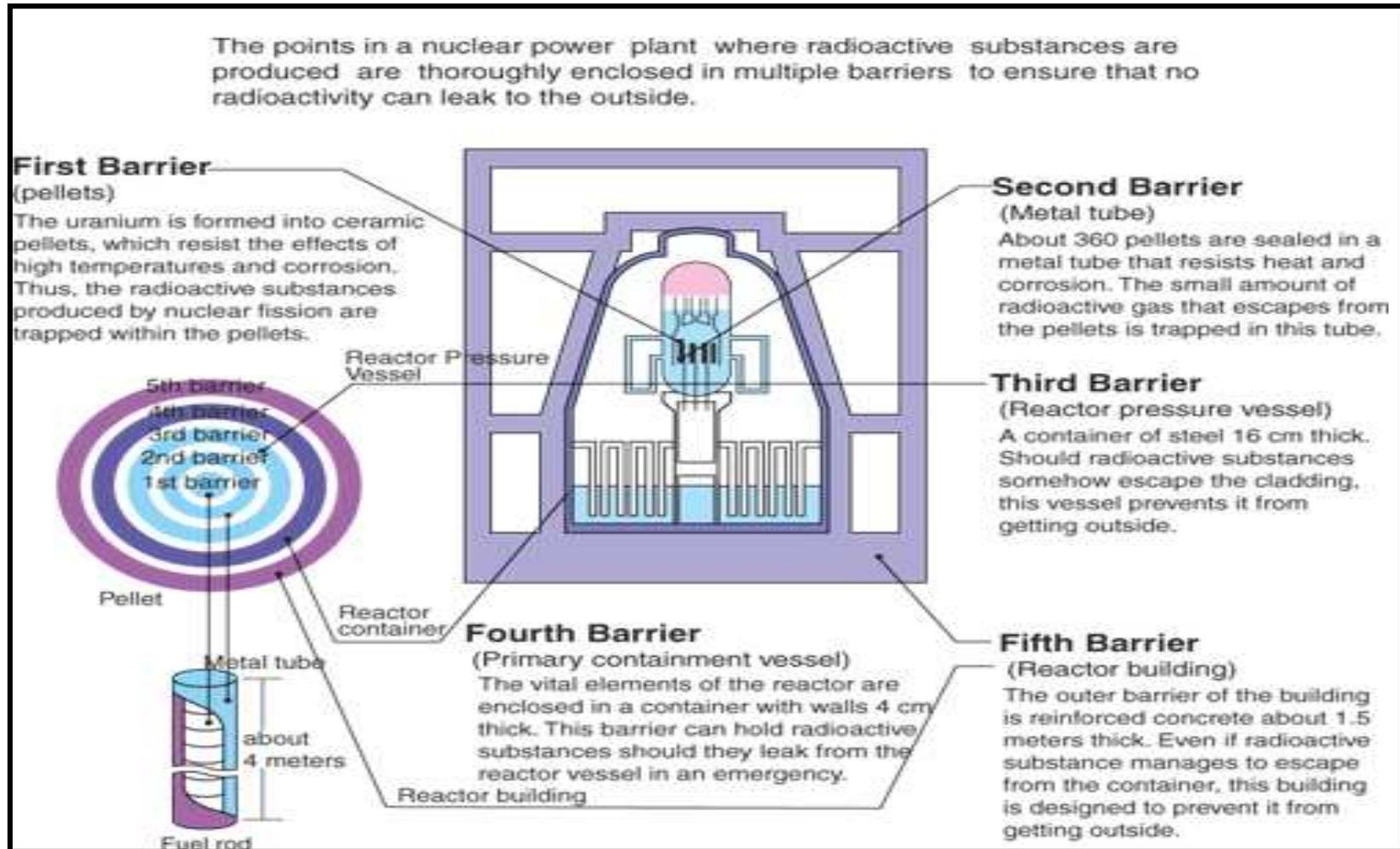
- ❑ Barriere di protezione e inventario di radioattività.
- ❑ Rilasci, termine sorgente e monitoraggio del territorio.
- ❑ Contaminazione degli alimenti in Giappone e restrizioni.

Sicurezza nucleare: **Barriere e Difesa-in-profondità** (cenni)

- Un aspetto essenziale della sicurezza nucleare è il confinamento della radioattività all'interno del reattore che si realizza con **Barriere** di protezione multiple.

- Le barriere sono così importanti da pianificarne la **Difesa in profondità**. Ciò avviene:
 - identificando e prevenendo le minacce per la loro integrità;
 - ripristinando le barriere danneggiate;
 - mitigando le conseguenze in caso di barriera compromessa.

Schema di Barriere di protezione - una dentro l'altra



- 1- **Combustibile solido.**
- 2- **Barre sigillate.**
- 3- **Vessel + primario.**

- 4- **PCV.**
- 5- **Edificio.**



Altre barriere di protezione

- “**Distanza**”: la locazione degli impianti nucleari rispetto ai centri abitati.

- “**Tempo**”: il numero di ore dallo scram può consentire il decadimento di alcuni radionuclidi. Es. FD vs Chernobyl per ^{135}I ($T_{1/2}=52.6$ minuti).

- In caso di emergenza nucleare alcune misure di tutela della popolazione sono basate sulla interposizione di una barriera “*extra*” tra la nube e le persone. Il caso di:
 - **Riparo al chiuso** (barriera edificio);
 - **Evacuazione** (barriera distanza).

Efficacia delle barriere a FD - come è andata? (1)

Danneggiamento Combustibile (stime Tepco)		
Reattori	Stima 28.04.2011	Stima 30.11.2011
Unità n. 1	55-70%	"All of it"
Unità n. 2/3	30-35%	"Most of it"

- ❑ La radioattività più mobile è passata facilmente dal **combustibile solido** al refrigerante (isolato nel Vessel) attraverso le **guaine metalliche** danneggiate delle **barre** con percentuali significative dell'inventario:
- ❑ Quando il refrigerante si è abbassato di livello la radioattività più volatile è scappata attraverso le barriere successive insieme col vapore di sfiato:
 - ❑ Gas nobili (**Xe, Kr**)
 - ❑ Alogeni (**I, Br**)
 - ❑ Metalli volatili (**Cs, Rb**)
 - ❑ Altri (**Sr, Ba, La, Mo, ...**)



Ordine decrescente di mobilità

Efficacia delle barriere a FD - come è andata? (2)

- ❑ **Vessel**, **PCV** ed **edificio** sono stati danneggiati significativamente da **sisma**, **tsunami**, **esplosioni di Idrogeno** ed **altro (?)**.
- ❑ Ciò nonostante ... queste barriere sono state in grado di **gestire in modo controllato i rilasci** di gas/vapori radioattivi di sovrappressione, almeno nella primissima fase dell'emergenza. Certo qualcosa è anche andato storto.
- ❑ Successivamente hanno maturato **danni più severi** dando origine a nuove complicazioni per il confinamento del corio e per il futuro smantellamento degli impianti (Es. Vessel FD1) ma non per i rilasci.
- ❑ In sintesi a FD **le barriere sono state compromesse seriamente** ma hanno comunque funzionato **perché c'erano** (il riferimento è a Chernobyl).

Efficacia delle barriere a FD - come è andata? (3)

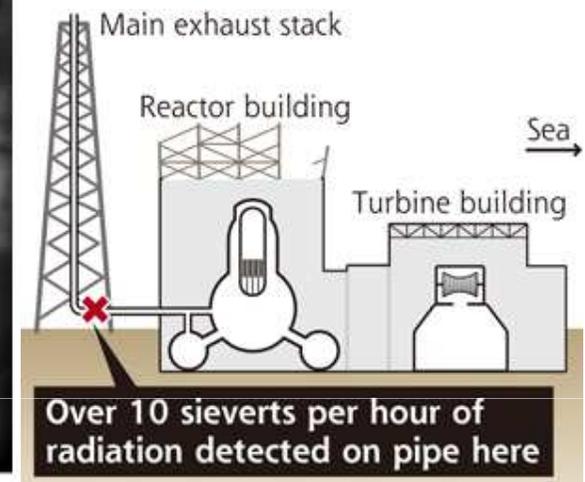


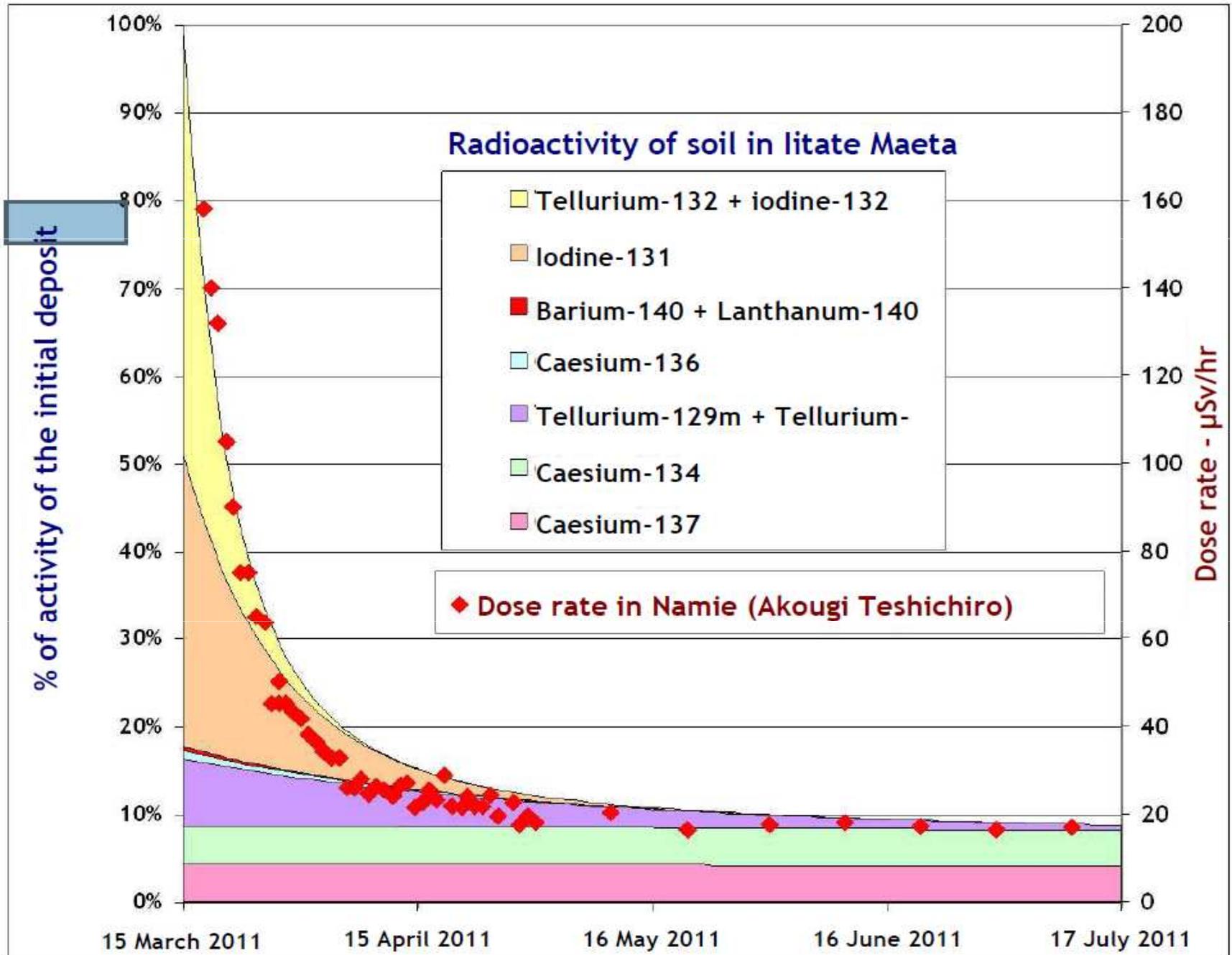
Foto: base del camino di scarico unità n.1 e n.2 (~ 10 Gy/h)

- La miglior evidenza di quanto detto sono gli **hot-spot gamma** su condotti e tubazioni. La radioattività espulsa è stata gestita dalle barriere.

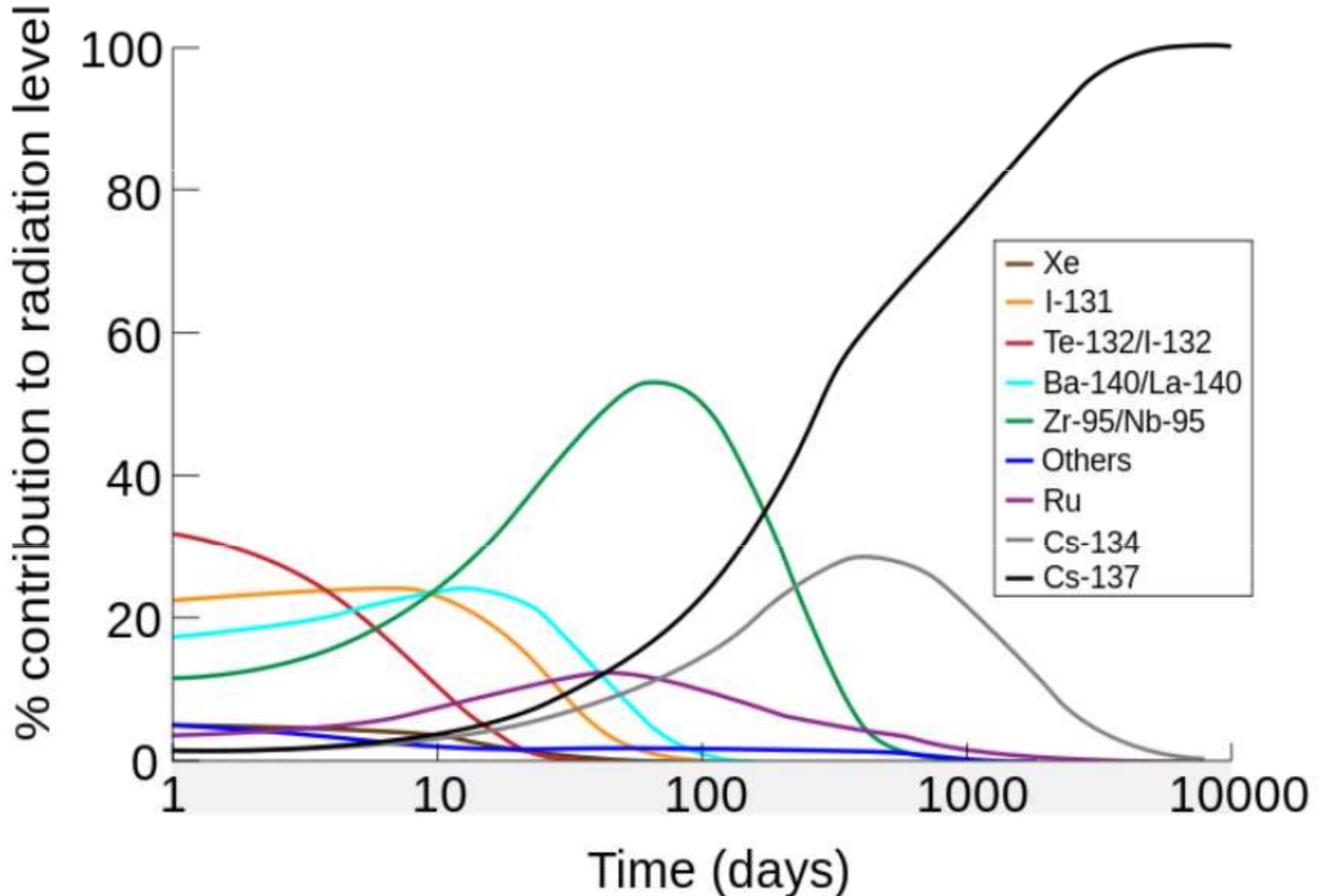
Inventario di radioattività in un reattore nucleare

- I processi in gioco: **fissioni**, **catture**, **decadimenti**, **processi misti**.
- Si ha: combustibile e attinidi, prodotti di fissione, prodotti di attivazione.
- Es: [DY(6.8%)] $^{133}\text{Xe} \rightarrow$ [CY(6.8%)] $^{133}\text{Cs} \rightarrow$ $^{134}\text{Cs} \rightarrow$ ^{135}Cs .
- Tantissimi radionuclidi (ExaBq), ma **quali sono importanti** per i rilasci?
- Alcuni criteri di importanza possono essere:
 - Il $T_{1/2}$;
 - La **mobilità** attraverso le barriere (fisica e chimica degli elementi);
 - La capacità di sviluppare **ossidi** nel pellet (freno ai rilasci);
 - Il contributo alla **dose** ambientale;
 - I nuclidi riconosciuti “**critici**” per le vie di ritorno all’uomo.

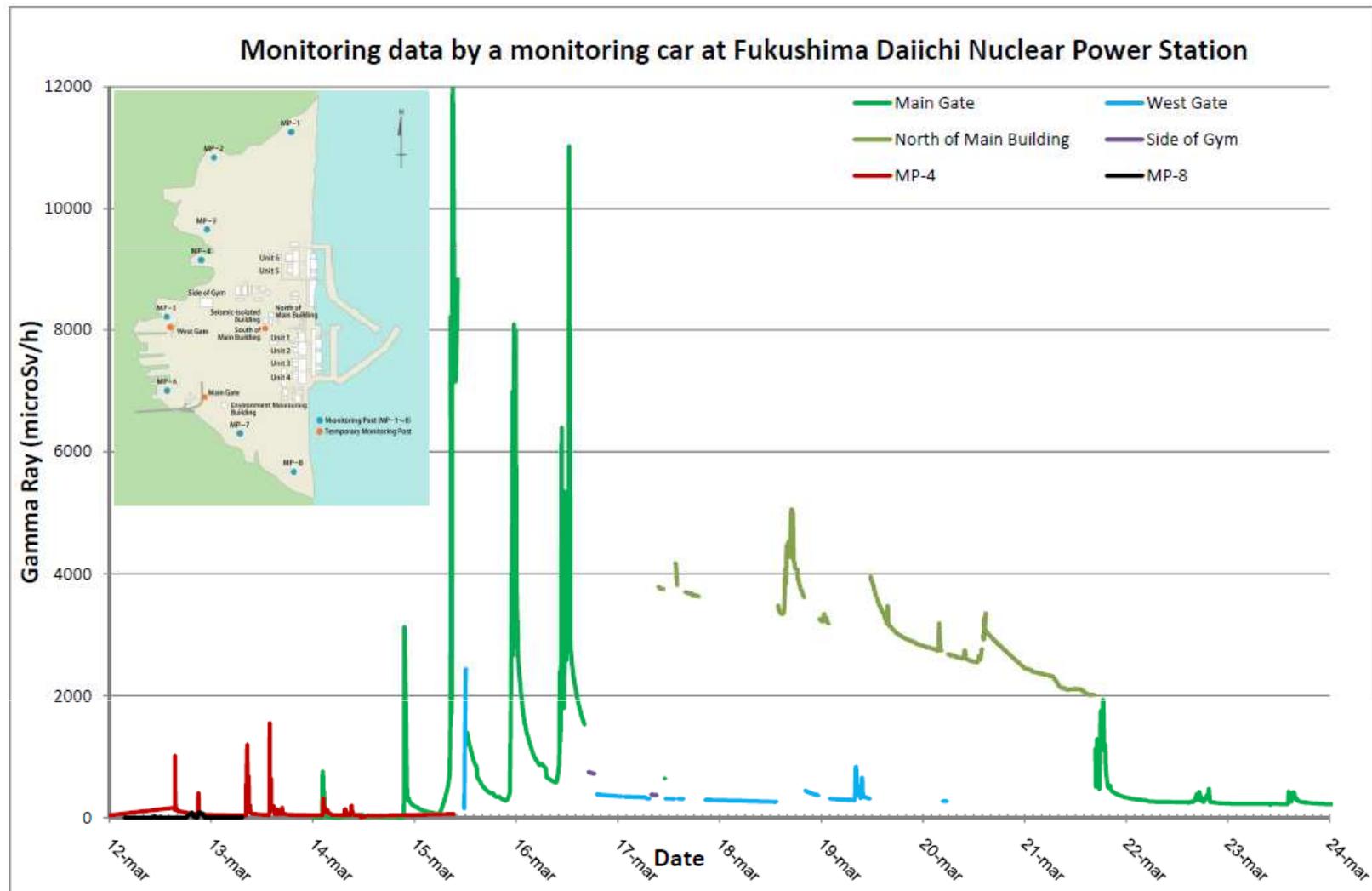
Radioattività in aria - criterio dei primi 120 gg.



Radioattività dispersa - criterio dei primi 10,000 gg.



I rilasci in aria da Fukushima-Daiichi (1)

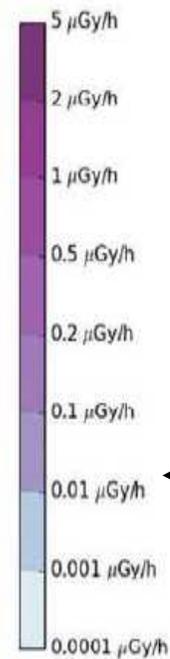
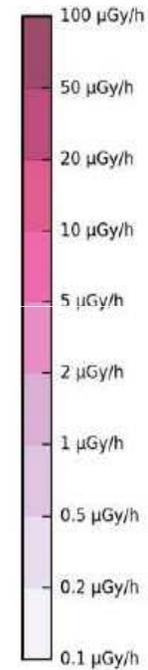
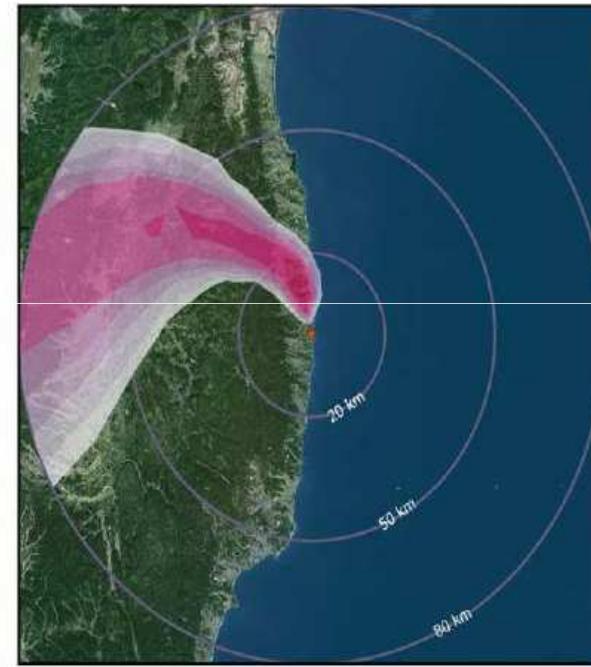
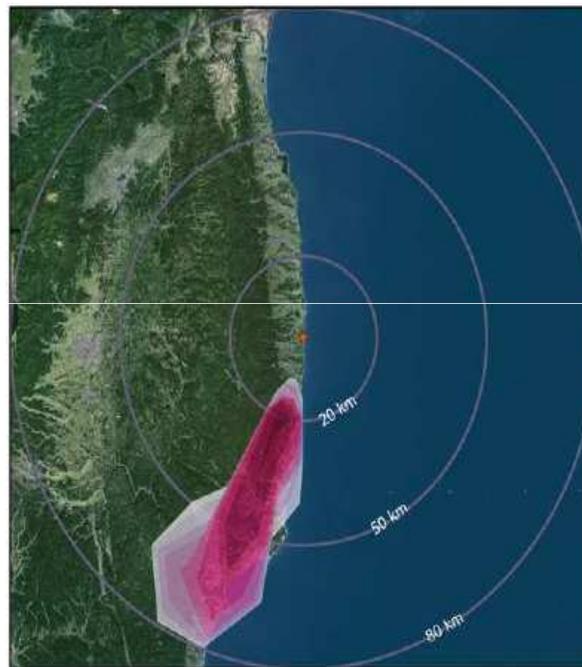


Rilasci molto intensi e molto brevi: sfiati di vapore radioattivo in pressione.

Si tratta di **rilasci di tipo impulsivo**.

I rilasci in aria 15-16.03.2011 (2) (fonte: IRSN)

Direzione Giappone
→



Direzione Mare
←

Il termine sorgente: 10-20% rispetto a Chernobyl (3)

5. Estimation results of other Organization

Organization	release volume unit : PBq			
	noble gas	I-131	Cs-134	Cs-137
TEPCO 5.24.2012	500	500	10	10
JAEA 4.12.2011 & 5.12.2011	-	150	-	13
JAEA 8.22.2011	-	130	-	11
JAEA 3.6.2012	-	120	-	9
NISA 4.12.2011	-	130	-	6.1
NISA 6.6.2011	-	160	18	15
NISA 2.16.2012	-	150	-	8.2
IRSN	2000	200	30	
Chernobyl NPP	6500	1800	-	85

JAEA : Japan Atomic Energy Agency

NISA : Nuclear and Industrial Safety Agency

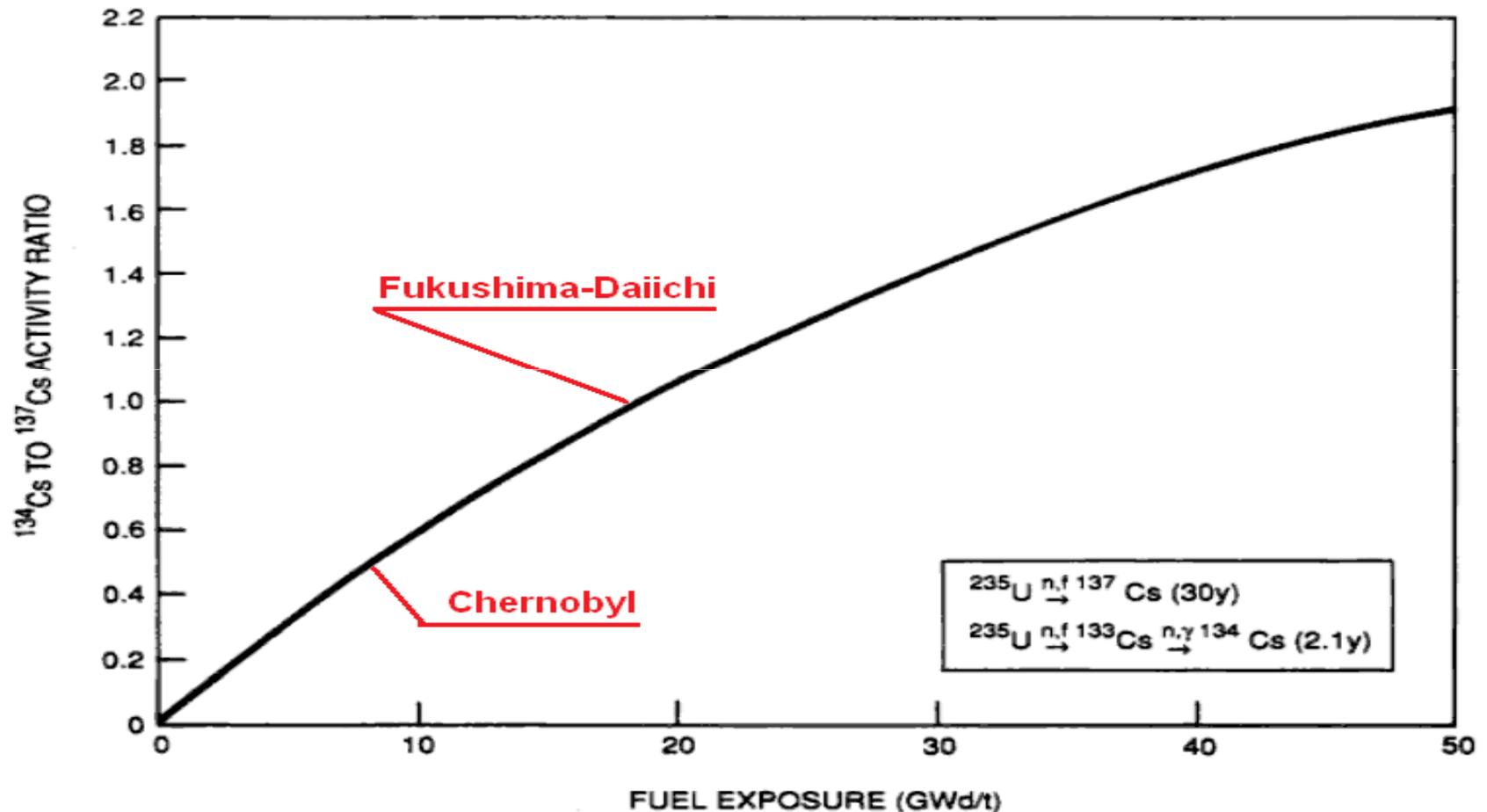
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

Rilasci in aria prevalentemente gassosi (4)

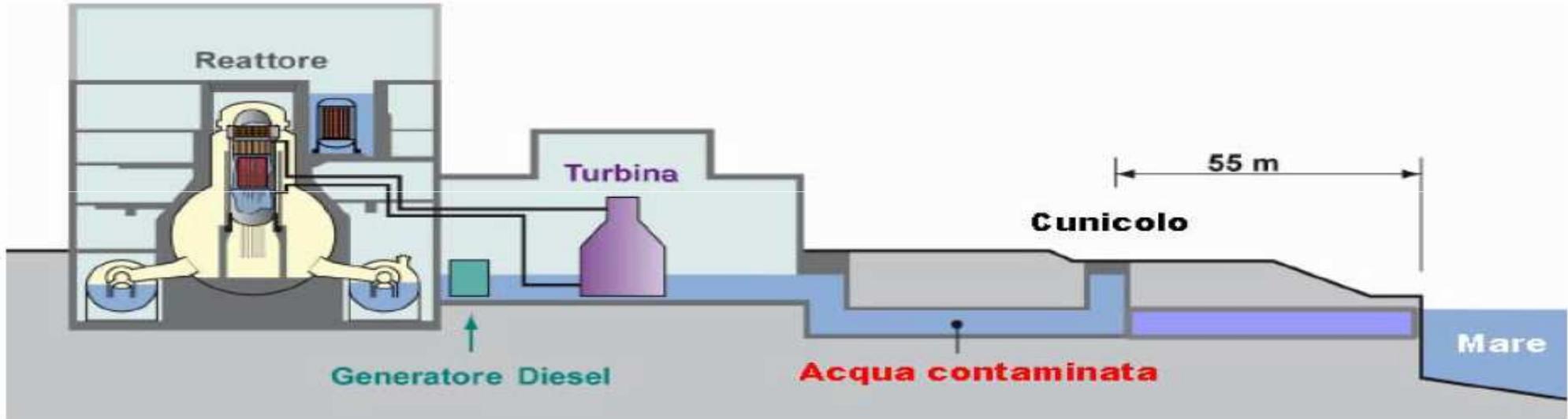
- Rilasciato **Iodio**, ma in quale forma? Misure a distanza stimano il rapporto medio gassoso/totale tra il 70-80%. Dunque **gassoso/particolato** medio quasi **4:1 (fonte CTBTO)**. **Importante per le dosi.**
- In generale il rapporto $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ decresce all'aumentare della concentrazione al suolo di ^{137}Cs e questa peculiarità osservata sia a Chernobyl sia a Fukushima può essere utilizzata per **stime di dose** a posteriori. I rapporti $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ tendono ad essere locali con ampia variabilità:
 - Per FD (diversi spot NW - SW - S, 30-60km): **5-80**.
 - Per Chernobyl (individuati 2 spot molto diversi): 3-50.
- La presenza **^{132}Te in aria** indica il raggiungimento di temperature del combustibile superiori a 1000°C in tempi molto rapidi.
- Misurate **tracce** di ^{140}Ba - ^{140}La , ^{95}Zr - ^{95}Nb , ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in forma di particolato ma i rilasci sono stati gassosi (**fonte CTBTO**).

I rilasci da Fukushima-Daiichi - sintesi (5)

- I rapporti $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ (marker del burnup) misurati ovunque sul Giappone sono consistenti con **0.9-1.0** e costanti nel tempo (0.5 per Chernobyl). Questo lascia pensare che il Cesio sia stato rilasciato in modo predominante da **una sola sorgente**.



I rilasci in mare da Fukushima-Daiichi



Stime Tepco / WNA : 520 ton acqua
Rilasci totali: **4.7 PBq??** (18.5 PBq)

Così ripartiti (aggiornato Aprile 2011):

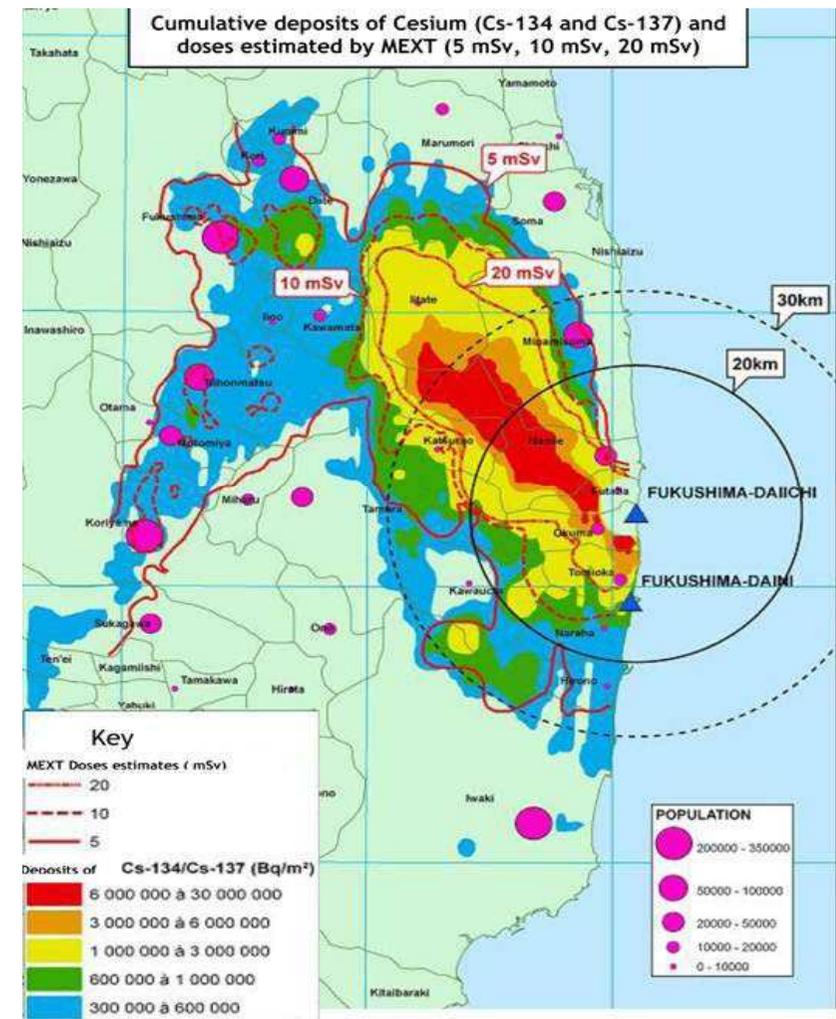
^{131}I	2.8 PBq	(11.4 PBq)
^{134}Cs	0.94 PBq	(3.5 PBq)
^{137}Cs	0.94 PBq	(3.6 PBq)

IRSN dice molto di più: **27PBq** prima del 8.4.2011 solo per il ^{137}Cs !!



Entità delle **deposizioni** sul Giappone

- Circa il **13%** delle deposizioni di **Iodio** e circa il **22%** di **Cesio** hanno riguardato il territorio del Giappone.
- Dopo il primo mese circa l'**80%** della radioattività inizialmente depositata era già decaduta.
- Successivamente al decadimento dei gruppi **Te-I** sono rimasti ^{137}Cs e ^{134}Cs (^{136}Cs) i cui effetti principali si hanno su:
 - dose da suolo (**groundshine**);
 - contaminazione alimenti (ma non solo).
- Importanza del rapporto $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ per la dose da suolo: primi 2 anni in diminuzione più rapida di Chernobyl.
- Valori massimi registrati: **6-30 MBq/m²** (tradotto in dose fino a 200 $\mu\text{Sv/h}$ 1m).

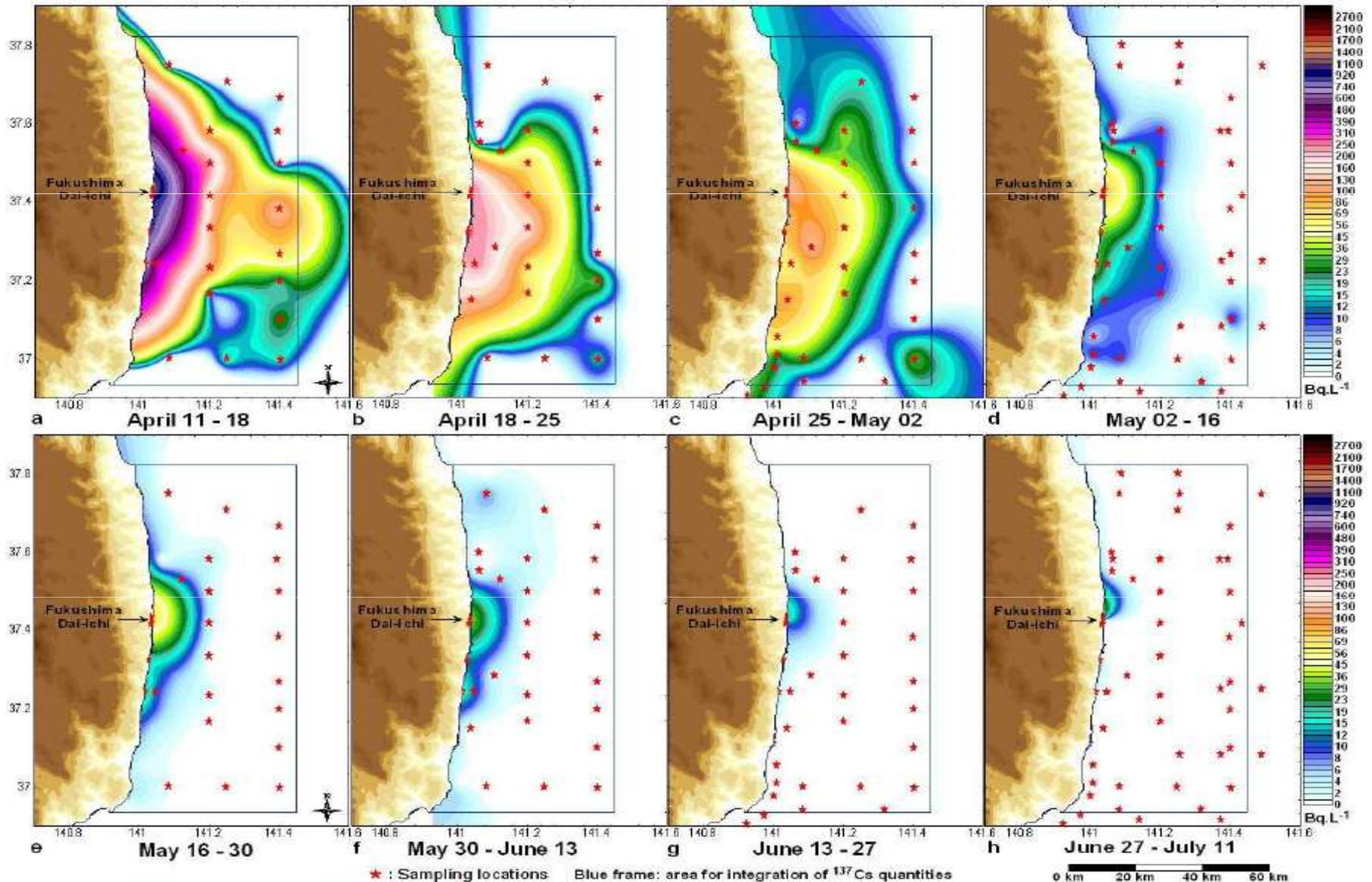


Entità delle **deposizioni** ripartite per Prefettura

Prefecture	I-131			Cs-137			Area (km ²)
	Dry	Wet	Contr. ^a	Dry	Wet	Contr. ^a	
1 Iwate	7.92×10^{13}	9.05×10^{13}	0.1%	5.56×10^{10}	3.50×10^{13}	0.4%	15,279
2 Akita	1.09×10^{13}	6.79×10^{12}	0.0%	3.19×10^9	1.92×10^{12}	0.0%	11,636
3 Yamagata	3.27×10^{14}	1.33×10^{14}	0.3%	5.46×10^{11}	5.69×10^{13}	0.6%	6,652
4 Miyagi	3.52×10^{14}	6.07×10^{14}	0.7%	3.49×10^{11}	2.57×10^{14}	2.6%	6,862
5 Fukushima	8.07×10^{15}	3.60×10^{15}	8.2%	4.77×10^{13}	1.48×10^{15}	15.4%	13,783
6 Ibaraki	2.12×10^{15}	2.23×10^{14}	1.6%	1.73×10^{13}	2.67×10^{13}	0.4%	6,096
7 Tochigi	7.12×10^{14}	4.27×10^{14}	0.8%	2.78×10^{12}	1.18×10^{14}	1.2%	6,408
8 Gunma	2.18×10^{14}	2.25×10^{14}	0.3%	7.69×10^{11}	8.98×10^{13}	0.9%	6,362
9 Chiba	2.39×10^{14}	3.91×10^{13}	0.2%	1.07×10^{12}	2.70×10^{12}	0.0%	5,082
10 Saitama	2.90×10^{14}	9.51×10^{13}	0.3%	1.53×10^{12}	1.07×10^{13}	0.1%	3,768
11 Tokyo	1.32×10^{14}	2.85×10^{13}	0.1%	5.90×10^{11}	3.75×10^{12}	0.0%	2,103
12 Kanagawa	1.02×10^{14}	2.11×10^{13}	0.1%	3.13×10^{11}	1.01×10^{12}	0.0%	2,416
13 Shizuoka	8.52×10^{13}	8.76×10^{12}	0.1%	2.52×10^{11}	1.92×10^{12}	0.0%	7,255
14 Yamanashi	4.11×10^{13}	1.63×10^{13}	0.0%	7.83×10^{10}	6.78×10^{12}	0.1%	4,201
15 Nagano	2.49×10^{13}	1.95×10^{13}	0.0%	7.70×10^{10}	1.07×10^{13}	0.1%	13,105
16 Niigata	5.68×10^{13}	3.07×10^{13}	0.1%	2.18×10^{11}	1.47×10^{13}	0.2%	10,364

^a Contributions of deposition rates normalized to emissions from the FDNPP.

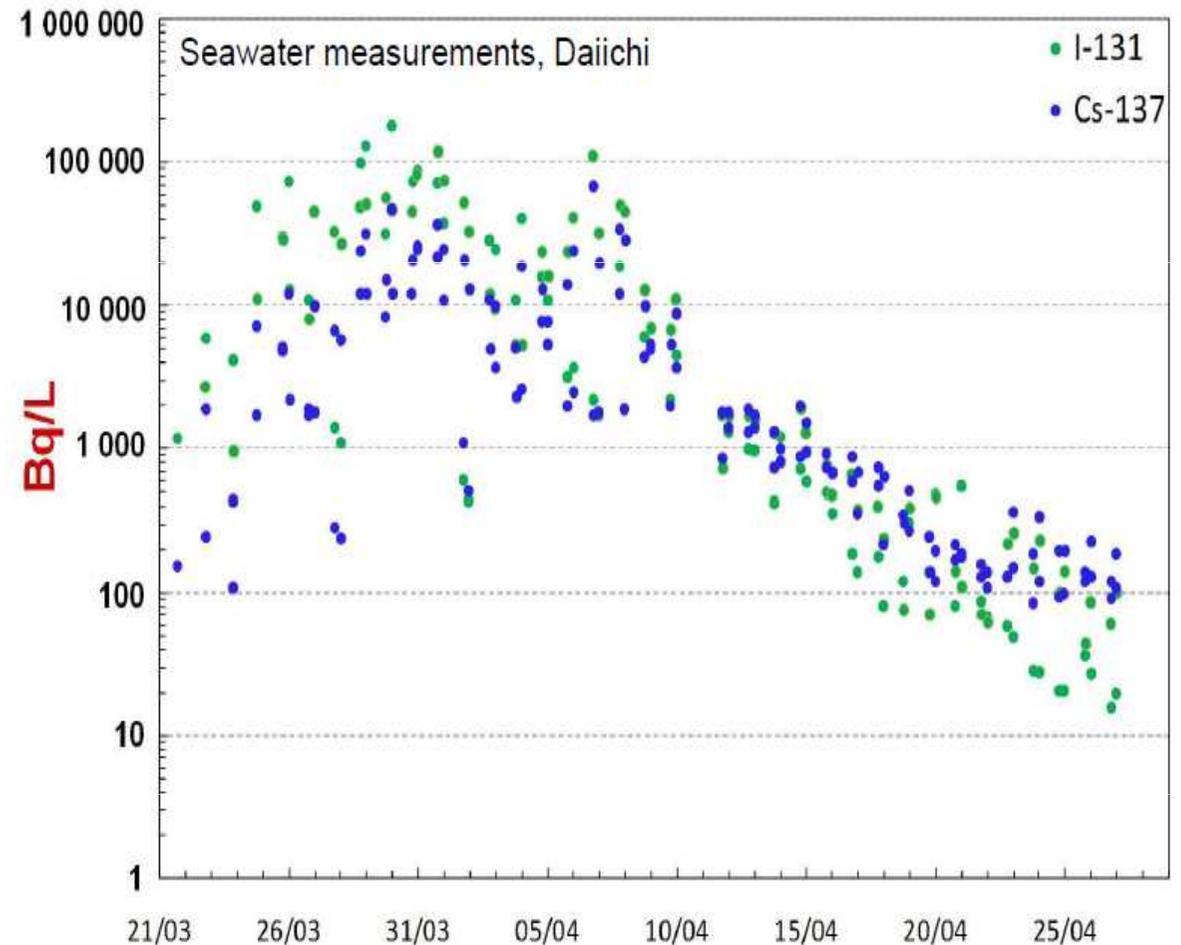
Esito del monitoraggio della **contaminazione in mare**



Changes in the spatial distribution of ^{137}Cs concentrations in seawater between 11 April and 11 July 2011.

Entità della contaminazione in mare

- Emivita marina misurata per il ^{137}Cs : 6.9gg.
- Si è assistito a:
 - spostamento verso Est (**correnti oceaniche**);
 - stratificazione verticale e deposito sui fondali profondi.



- Da attenzionare sono soprattutto le zone costiere per **risospensione marina** dal sedimento e per i nuovi contributi di Cesio proveniente dal territorio del Giappone a mezzo **pioggia**/corsi d'acqua. **Attenzione al pesce!**

Contaminazione alimenti e **restrizioni** in Giappone

www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/index.html

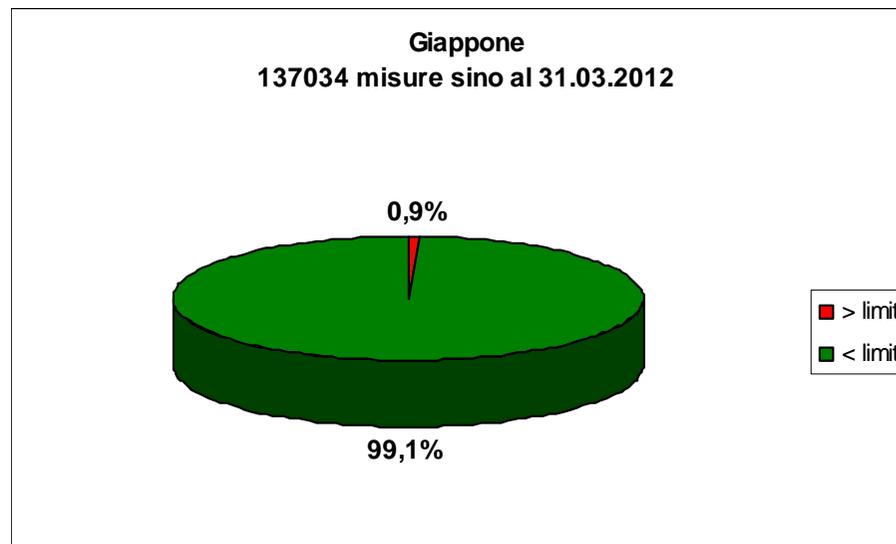
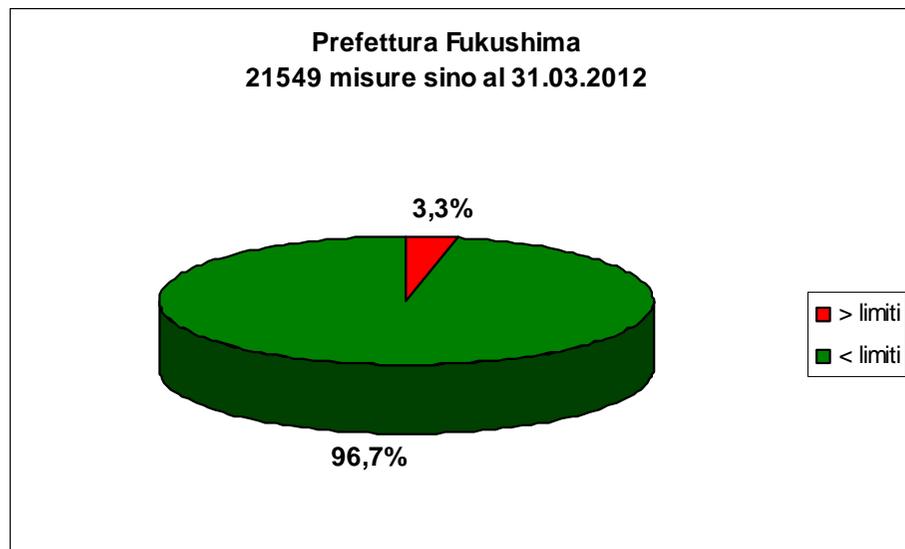
- Le misure (**PDF**) sono raccolte dal Ministero della Salute, Lavoro e Welfare (**MHLW**) con aggiornamenti settimanali (**228,000 misure**).
- Le restrizioni sugli alimenti avvengono per confronto diretto tra valori misurati e “**limiti**” (provvisori e definitivi):

Table 1 - Radioactive caesium concentration standards ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) in foodstuffs in Japan, defined following the Fukushima accident

Food category	Standards before 01/04/2012 (Bq of $^{134+137}\text{Cs}/\text{kg}$)	⇒	Food category	Standards after 01/04/2012 (Bq of $^{134+137}\text{Cs}/\text{kg}$)
Drinking water	200		Drinking water	10
Milk	200		Milk	50
Vegetables Cereals Meat, eggs and fish	500		Other general foodstuffs	100
			Infant feeds	50

Monitoraggio alimenti - Fukushima e Giappone

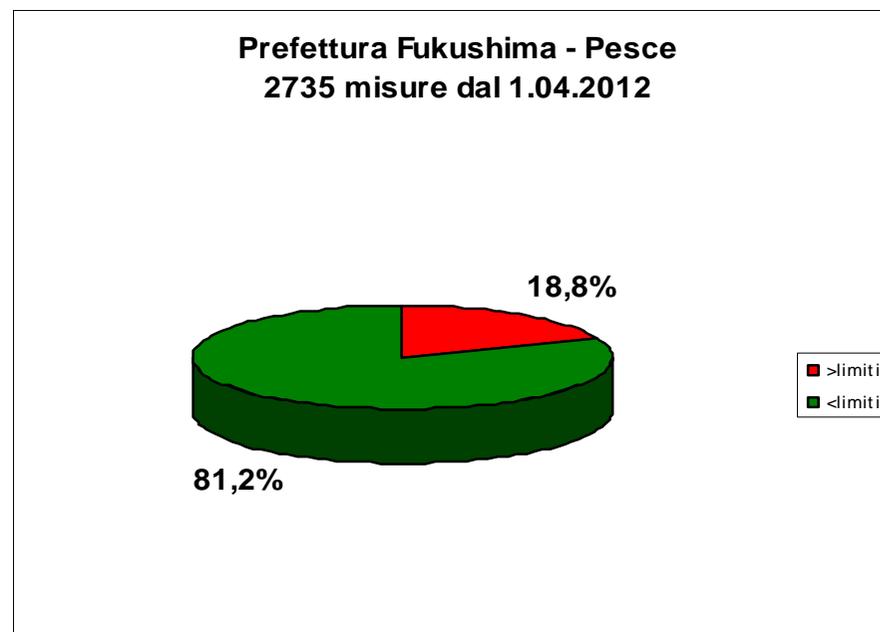
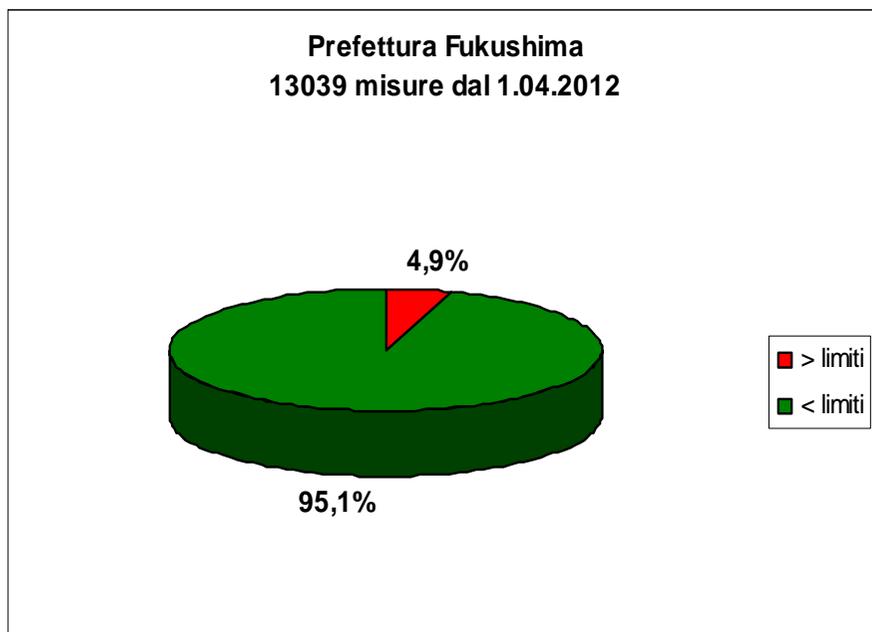
Sino al 31.03.2012



al 31.03.2012	N° misure	< limiti	> limiti
Fukushima	21549	20831	718
Giappone	137034	135830	1204

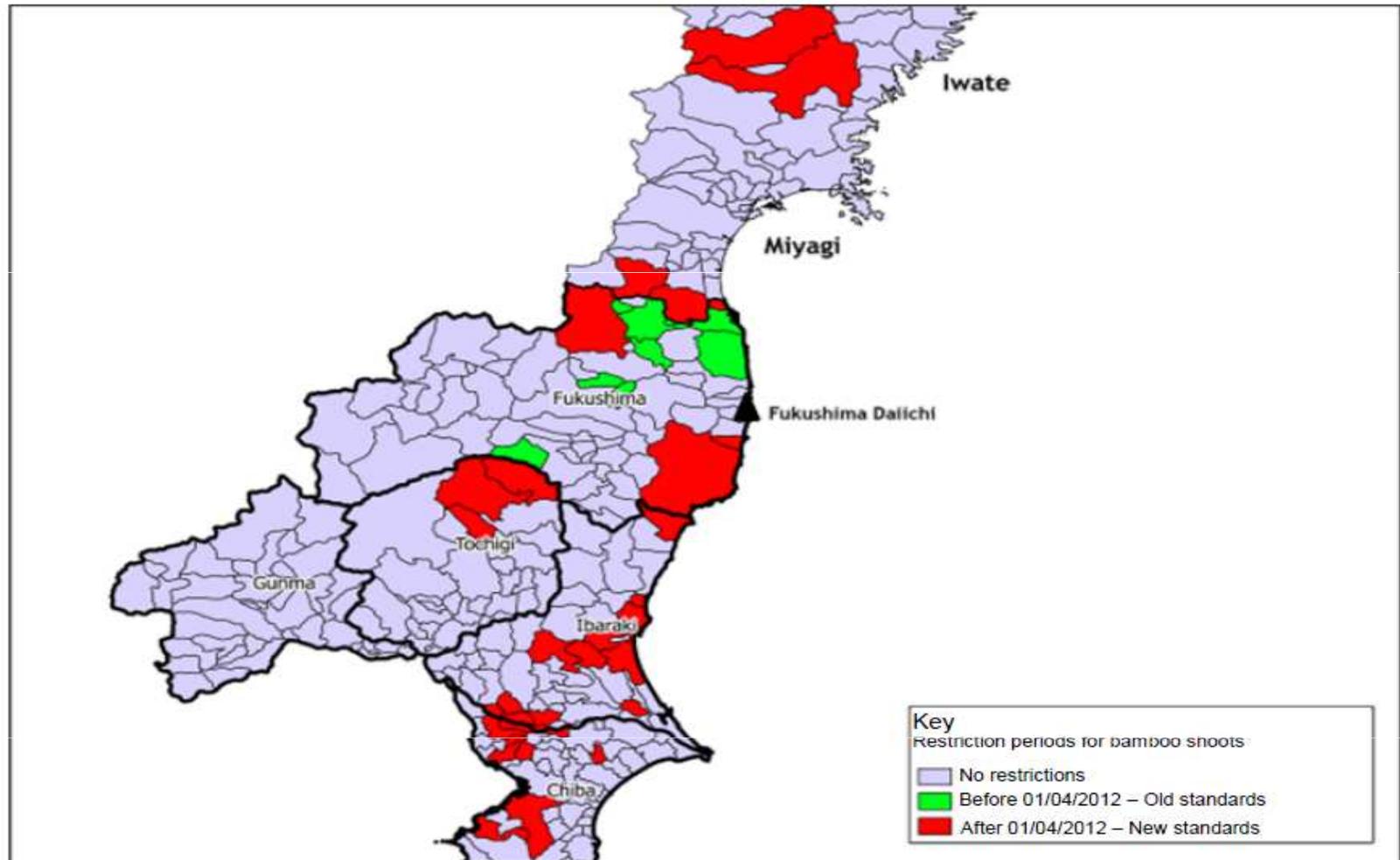
Monitoraggio alimenti - Fukushima e Pesce F.

1.4.2012 - 29.08.2012



dal 31.03.2012	N° misure	< limiti	> limiti
Fukushima	13039	12401	638
Pesce Fukushima	2735	2220	515

Esempio di mappa restrizione - germogli di bambù



- In Giappone il monitoraggio di alimenti è stato posto in atto da subito dalle autorità, con relativo effetto di **vietare la vendita** o sospendere il consumo di alcuni prodotti, dividendoli per Prefettura/Municipio di origine e tipologia di alimento a mezzo di ordinanze specifiche.

Quali gli **alimenti** più colpiti?

- ❑ **Latte crudo, verdure a foglia** con foglie già sviluppate a metà marzo 2011 (**spinaci**), altri vegetali come **germogli di bambù, broccoli**;
- ❑ **Carne** di manzo per problemi errato foraggiamento;
- ❑ **Carne** di selvaggina (cinghiale);
- ❑ **Pesce**, specie i pesci predatori in cima alla catena alimentare marina;
- ❑ **Shiitake** (funghi coltivati in serra e all'aperto), attenzione ai prodotti secchi, spesso l'informazione è mancata;
- ❑ **Matrici particolari** (bio-accumulatori): **funghi, mirtilli**, ma anche la **selvaggina** che se ne nutre. Problema a parte per il **thé** (essiccato e tardivo).

500gg di monitoraggio sugli alimenti - sintesi

- Il **numero di misure** nel 2012 è aumentato considerevolmente rispetto al 2011, le misure sono diventate più speditive. E' stato implementato il **FAI-DA-TE** in molte città (20min, 15\$).



- Gli unici nuclidi di interesse ormai da molti mesi sono ^{134}Cs e ^{137}Cs .
- I **nuovi limiti** più stringenti in vigore dal 1 aprile 2012 non hanno modificato di molto le statistiche e il trend degli alimenti contaminati è comunque in costante diminuzione sia per **valori** sia per **numero**;

L'incidente alla centrale nucleare di FUKUSHIMA-DAIICHI: aspetti di protezione dalle radiazioni ionizzanti

Rilasci di radioattività nell'ambiente e radioattività negli alimenti

GRAZIE PER L'ATTENZIONE !!

13-14 settembre 2012