

# ***La radioattività ambientale: misure e modelli***

*Mauro Magnoni*  
*Arpa Piemonte – Dipartimento Radiazioni*  
*Via Jervis, 30 – 10015 IVREA (TO)*  
[\*m.magnoni@arpa.piemonte.it\*](mailto:m.magnoni@arpa.piemonte.it)

***La Radioprotezione dell’Ambiente, nell’Industria, nella Ricerca e nella Sanità***  
***Università della Calabria – Rende, 16-17 ottobre 2017***

# Sommario

1. Cenni storici: perché si misura la radioattività ambientale
2. Reti di monitoraggio e misura della radioattività ambientale
3. Radioattività nell'ambiente e modelli radioecologici

# Cenni storici

- **1938:** Scoperta della fissione (Hahn and Strassmann)
- **1942:** Primo reattore nucleare (Fermi)
- **1945:** Esplosione della prima bomba atomica (vicino ad Alamogorgo, New Mexico, U.S.A.)
- **1945:** Bombardamento atomico delle città giapponesi di Hiroshima and Nagasaki
- **1945-1963:** Test nucleari in atmosfera (guerra fredda U.S.A. - U.R.S.S.)



# I test nucleare: Alamogordo, New Mexico









TRINITY SITE  
WHERE  
THE WORLD'S FIRST  
NUCLEAR DEVICE  
WAS EXPLODED ON  
JULY 16, 1945

ERECTED 1965  
WHITE SANDS MISSILE RANGE  
J. FREDERICK THORLIN  
MAJOR GENERAL U.S. ARMY  
COMMANDING

TRINITY SITE  
HAS BEEN DESIGNATED A  
NATIONAL  
HISTORIC LANDMARK

THIS SITE POSSESSES NATIONAL SIGNIFICANCE  
IN COMMEMORATING THE BIRTH OF THE  
UNITED STATES OF AMERICA

1975  
NATIONAL PARK SERVICE  
UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR

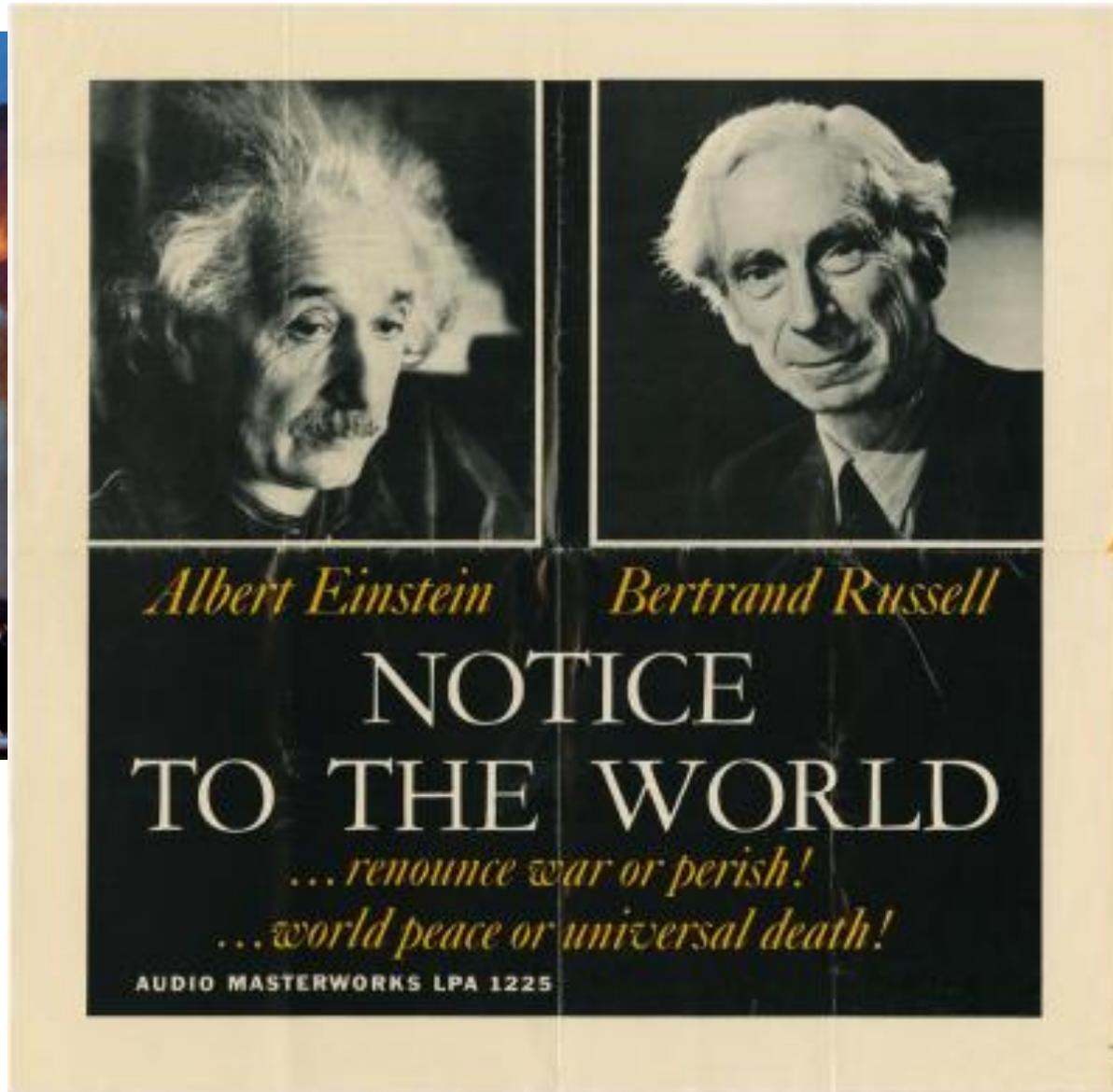


# La corsa agli armamenti nucleari durante la Guerra Fredda





# *Il manifesto Russel-Einstein (1955)*





- **1980: Last nuclear test in**



# Fonti di esposizione a radioattività artificiale: test nucleari

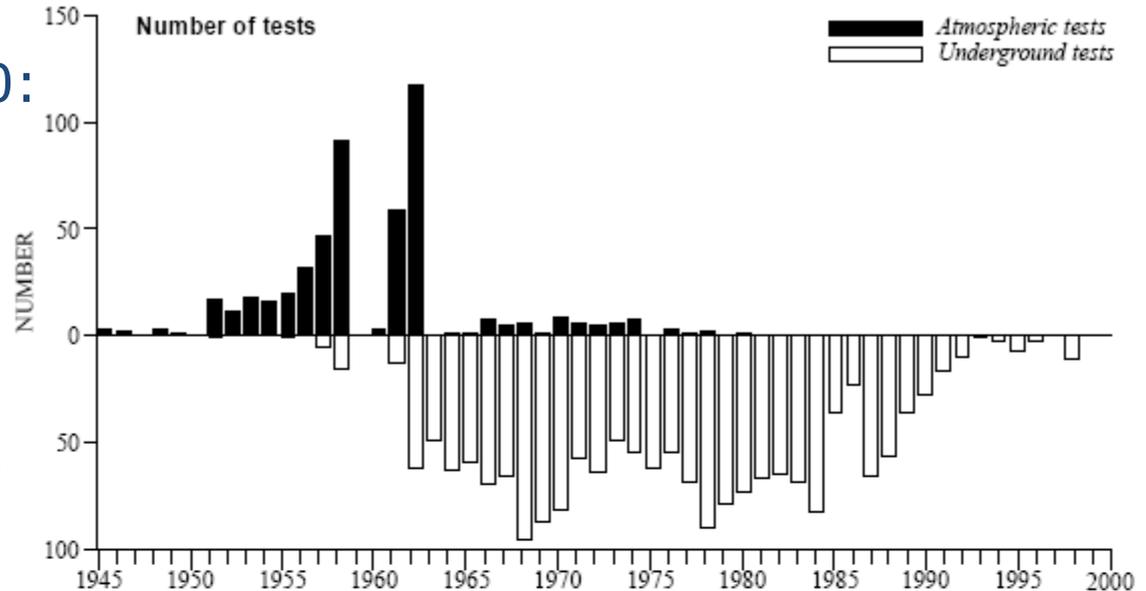
## Test sotterranei dal 1990:

- Cina 11 (1996)
- Francia 18 (1996)
- India 5 (1998)
- Pakistan 6 (1998)
- Regno Unito 2 (1991)
- Stati Uniti 27 (1992)
- USSR 8 (1990)
- Corea del Nord 6 (2000)

**Stati Uniti 1127**

**USSR 969**

(UNSCEAR, 2001)

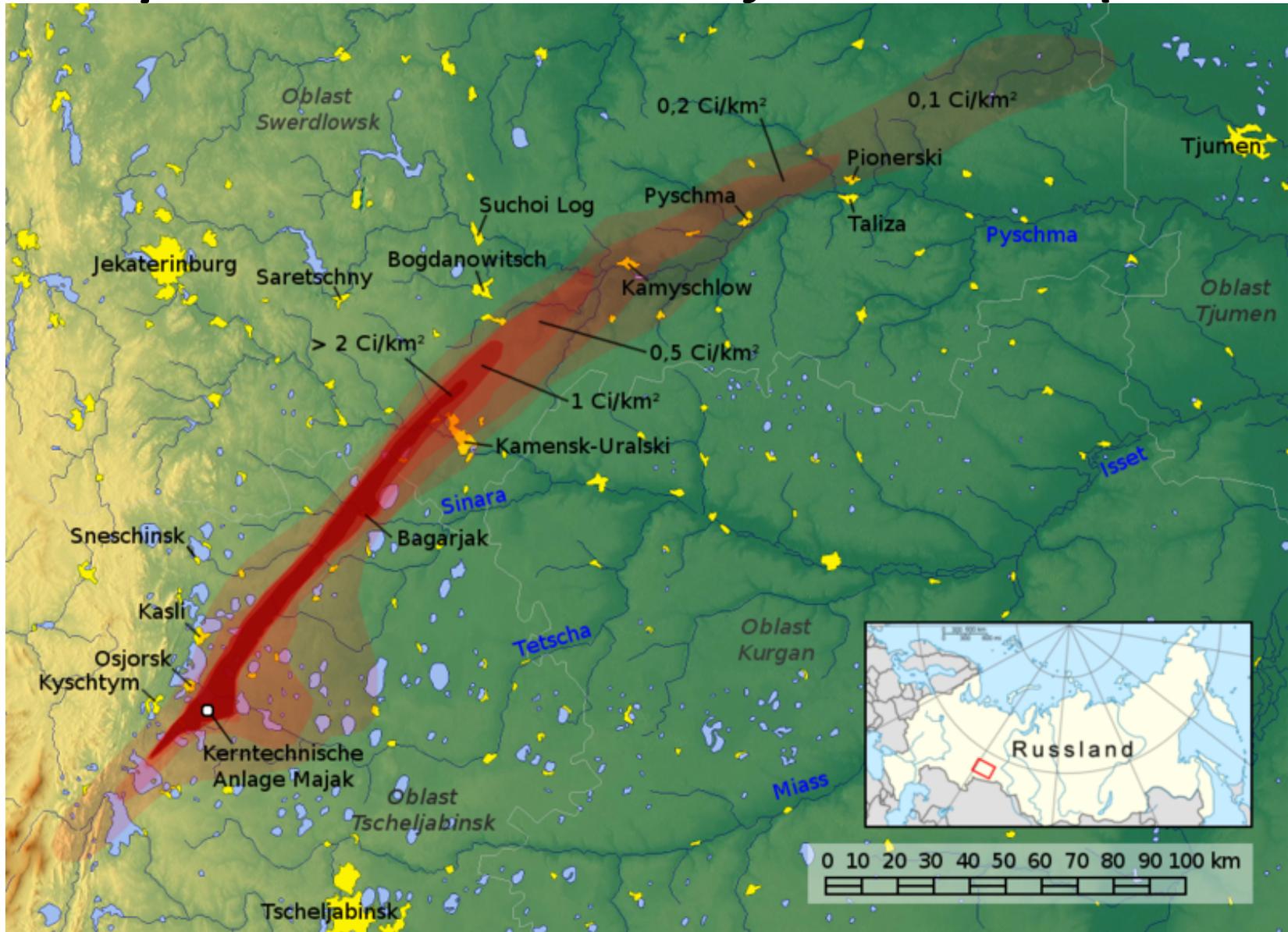


Country	Number of tests		
	Atmospheric	Underground	Total
China	22	22	44
France	50 <sup>a</sup>	160	210
India	-	6	6
Pakistan	-	6	6
United Kingdom	33 <sup>b</sup>	24	57
United States	219 <sup>c</sup>	908	1 127
USSR	219	750	969
All countries	543	1 876	2 419

# Gli incidenti alle centrali nucleari

- Gli incidenti gravi non sono stati moltissimi, se si considera il gran numero di centrali esistenti e funzionanti nel mondo
- Hanno tuttavia avuto un impatto notevole sullo sviluppo di questa fonte di energia, limitando fortemente la sua diffusione, soprattutto in Occidente

- **September 1957: the Majak accident (also**



**contamination > 7.4 MBq/m<sup>2</sup> of <sup>90</sup>Sr**

- ***Even before this accident, at the Majak site there was a severe environmental contamination due to an uncontrolled discharge in the Techa River Basin of radioactivity coming from the nuclear facilities***
- ***Until the fall of the Soviet Union the information about these situations was very limited***

- ***October 1957: Nuclear accident at Windscale (U.K.)***
- ***A fire occurred at the Windscale Nuclear Reactor facility and plutonium production plant in the county of Cumberland, now part of Cumbria, in northwestern***



***subsequently sealed until the late 1980s, when a cleanup of it was begun (cleanup expected to be completed in 2015).***



*Free Mile  
 ve”  
 evolution  
 ly  
 in spite  
 mited.  
 uences  
 clear*

*program was stopped*

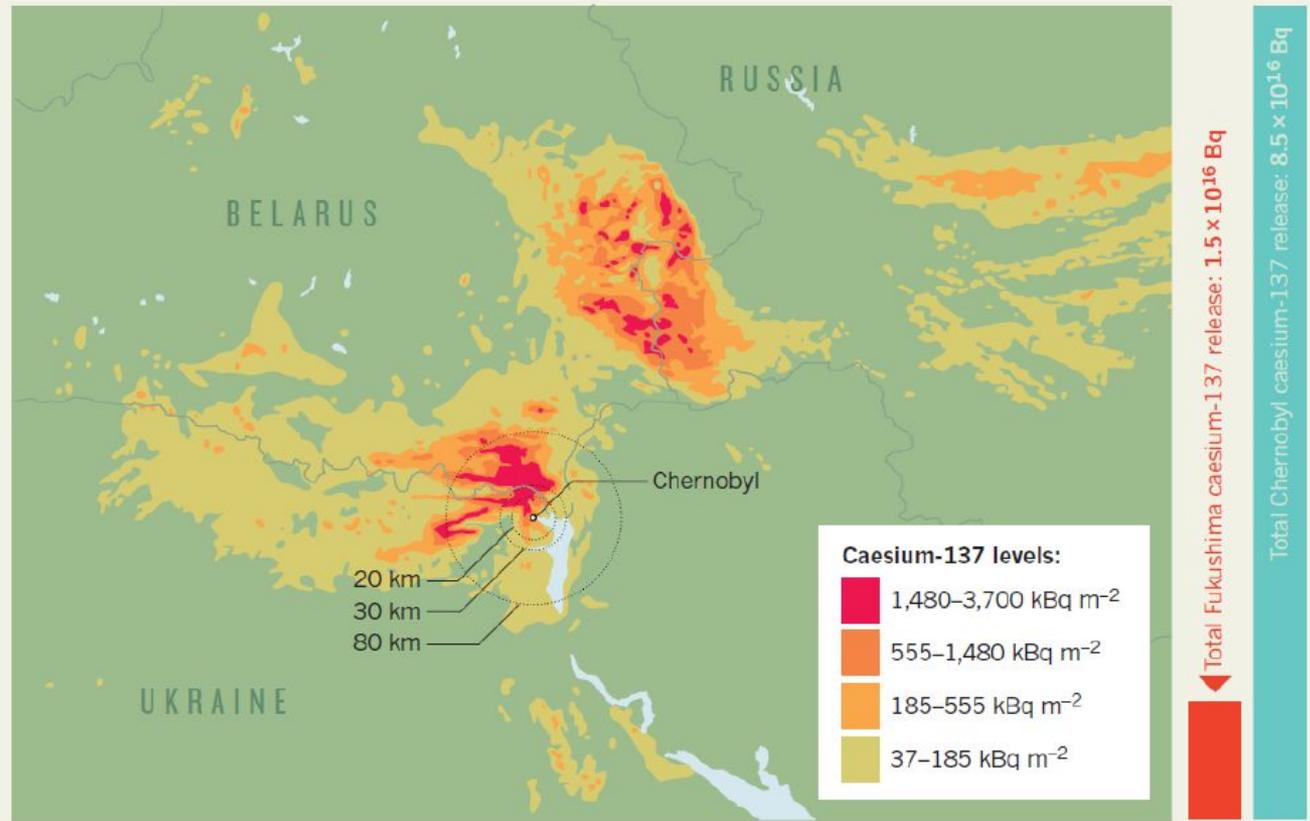
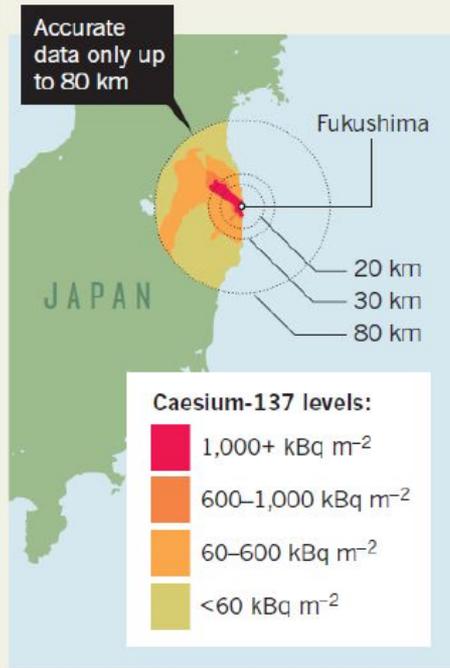
- **1986:** Incidente di Chernobyl. Un reattore della centrale nucleare ucraina esplose a seguito di una serie di errori di manovra da parte dei responsabili della centrale. Ingentissime quantità di radioattività vengono rilasciate nell'ambiente e vanno a contaminare in modo massiccio Ucraina, Bielorussia e Russia. Una nube radioattiva giunge anche in Europa occidentale e contamina vasti territori in misura variabile ma, in molti casi, in modo molto consistente. Grosso impulso agli studi radioecologici

# La centrale di Fukushima



## FALLOUT COMPARISONS

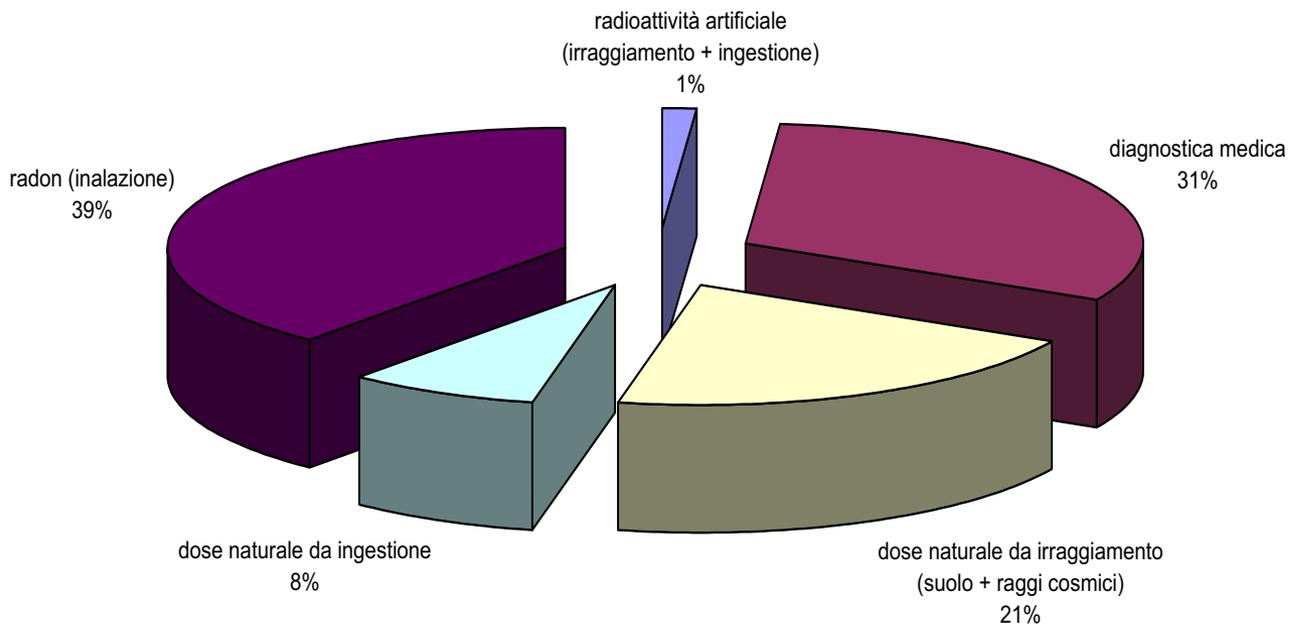
New data from Fukushima show caesium-137 levels approaching those of Chernobyl — but over a much smaller area.



**Comparazione dell'estensione geografica dei rilasci radioattivi conseguenti agli incidenti di Fukushima e di Chernobyl (stessa scala)**

# Ma c'è anche la radioattività naturale....

DOSE EFFICACE MEDIA IN PIEMONTE: 3,8 mSv



i) Le t

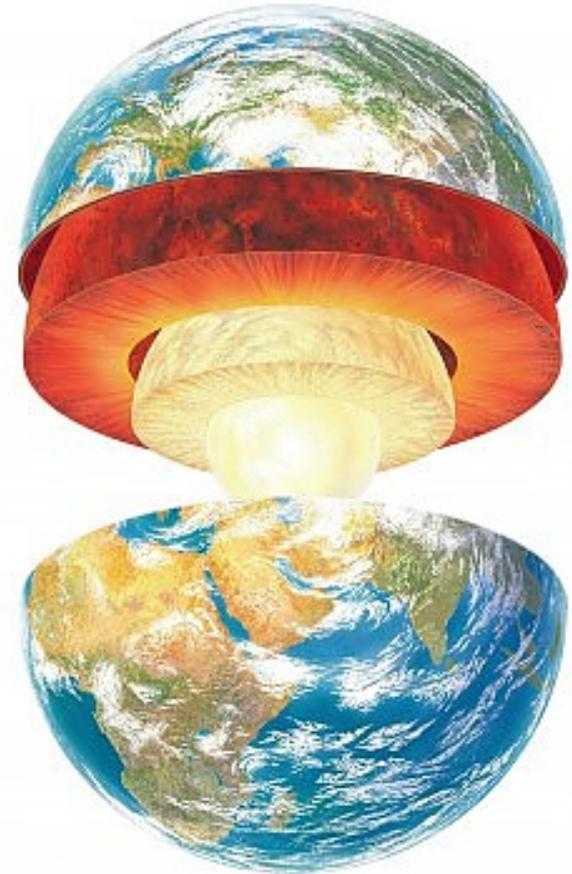
ii) I ra

iii) I ra

iv) I ra

# Le famiglie radioattive naturali

- I radionuclidi presenti nella crosta terrestre sono raggruppati in 3 famiglie radioattive. Ciascuna famiglia è costituita da un gruppo di radionuclidi generati da un radionuclide capostipite (padre) a vita lunga. I membri della famiglia sono detti figli o progenie.
- I capostipiti di queste 3 famiglie sono radioisotopi dell'Uranio e del Torio ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), con emivite sufficientemente lunghe da consentire loro di "sopravvivere" dai tempi della nucleosintesi (miliardi di anni fa)

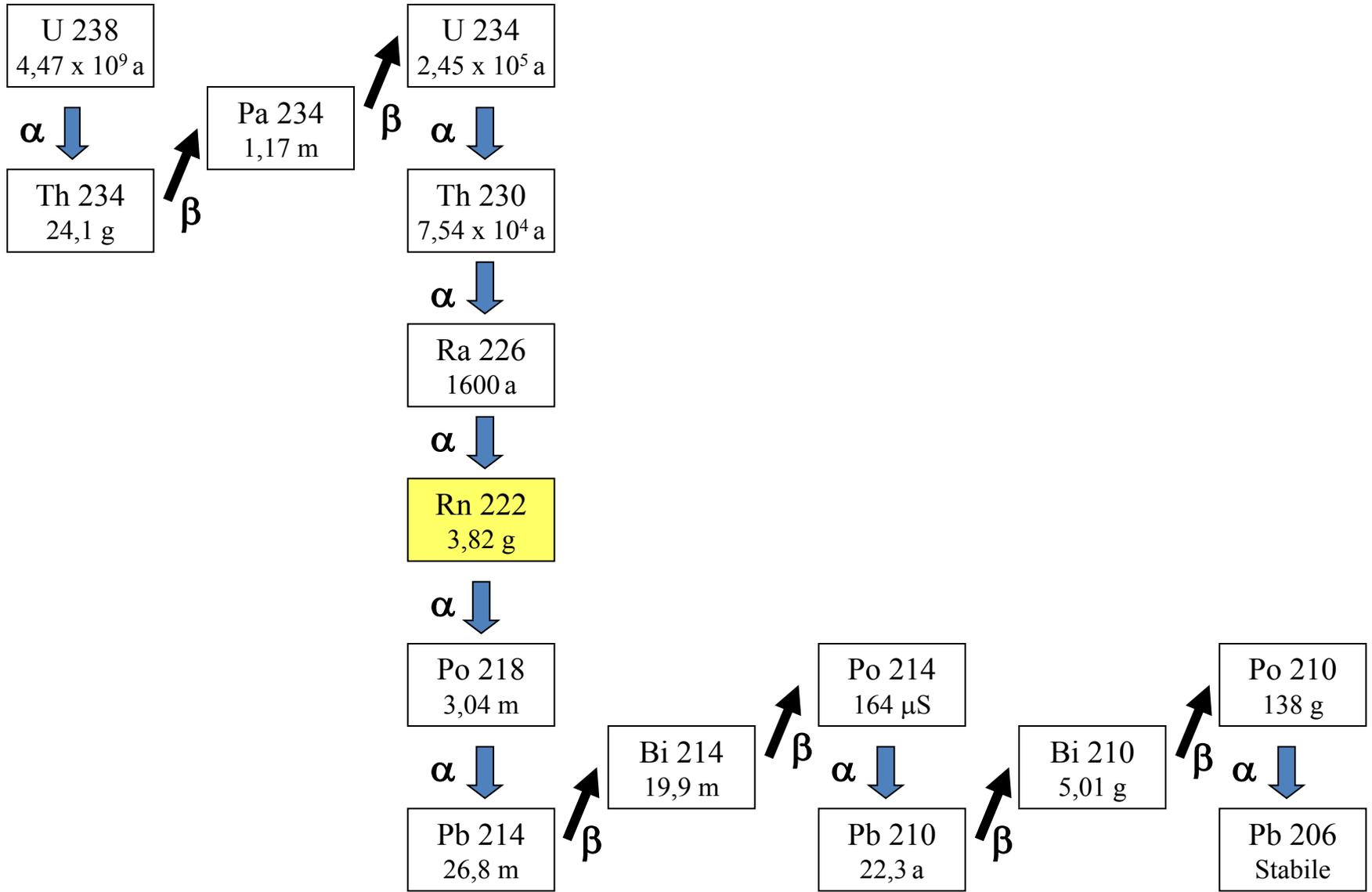


Abbiamo:

$^{238}\text{U}$ , il capostipite della cosiddetta famiglia dell'Uranio, con  $t_{1/2} = 4.47 \cdot 10^9$  anni

$^{232}\text{Th}$ , il capostipite della cosiddetta famiglia del Torio, con  $t_{1/2} = 1.40 \cdot 10^{10}$  anni

$^{235}\text{U}$ , il capostipite della cosiddetta famiglia dell'Attinio, con  $t_{1/2} = 7.38 \cdot 10^8$  anni



# ...e infine il radon e i NORM

- Radon: esposizione sia residenziale che lavorativa. Il suo impatto sulla salute può essere significativo. La misura e lo studio del radon è assai peculiare e pur rientrando ovviamente nella radioattività ambientale viene di solito trattato a parte (per varie ragioni, sia fisiche, è un gas, che normative e di modalità di esposizione)
- Natural Occurring Radioactive Material: sono materiali derivano dalla radioattività naturale, spesso dalle famiglie radioattive dell'uranio e del torio. In essi le concentrazioni di alcuni radionuclidi possono essere anche molto elevate a seguito di processi industriali

# Radionuclidi in ambito sanitario: possibili impatti ambientali

- L'impiego ospedaliero di radioisotopi, sia per scopi diagnostici che terapeutici, nonostante le precauzioni normalmente adottate, può dar luogo a, di solito limitate, contaminazioni ambientali
- La pratica dello stoccaggio per diverse settimane dei rifiuti radioattivi liquidi in vasche dedicate, prima dell'immissione in fognatura dovrebbe in teoria impedire la dispersione di radioattività nell'ambiente
- Tuttavia:

- 1) La dimissione precoce del paziente e/o il suo allontanamento in un reparto non dotato di vasche di contenimento
- 2) Errori/carenze nella gestione degli smaltimenti  
producono di fatto un piccolo ma costante flusso di radioisotopi ospedalieri nell'ambiente

# Usi industriali (non legati al nucleare) dei radionuclidi

- Ci sono moltissimi impieghi di radionuclidi in vari campi industriali (controlli gamma grafici di saldature, misuratori di spessore, vari strumenti elettronici, ecc.)
- Quasi sempre, però, questo tipo di impieghi viene fatto con **sorgenti sigillate**. Non ci sono quindi, normalmente, problemi di scarico nell'ambiente di reflui

- Alcuni problemi, a volte gravi, vi sono con l'industria del riciclaggio dei metalli (raccoglitori di rottami e fonderie)
- La fusione accidentale di sorgenti radioattive nascoste in carichi di rottame può comportare gravi problemi di contaminazione agli impianti e anche all'ambiente
- Per cercare di minimizzare questo rischio, vengono installati presso gli impianti di riciclaggio rottami dei rivelatori di radiazione "a portale" che monitorano i carichi in ingresso

# COME DEVE ESSERE STRUTTURATA UNA MODERNA RETE DI MONITORAGGIO DELLA RADIOATTIVITA' AMBIENTALE ?

# Obiettivi dell'attività di monitoraggio

- **Verifica dei livelli di radioattività ambientale, nell'ambito della Rete Nazionale ai sensi dell'art. 104 del D. Lgs. 230/95 (obbligo trattato Euratom)**
- **Controllo attorno ai siti nucleari (effettuato da ARPA Piemonte anche a seguito di specifico accordo con ISPRA, l'autorità di controllo nazionale): non ne parleremo in questa sede**
- **Controllo del rischio radiologico diffuso sul territorio da tutte le altre fonti**
- **Stime dosimetriche alla popolazione**

## RETE NAZIONALE / REGIONALE

- Il piano di monitoraggio, organizzato in Italia su base regionale, riguarda matrici ambientali (acqua, aria, suoli, ecc) ed alimentari (carne, cereali, latte, ecc), periodicamente campionate in ciascuna Regione
- Nello studio della radioattività ambientale si è soliti distinguere 2 comparti:
  - a) Le matrici ambientali
  - b) Le matrici alimentari

## *Matrici ambientali*

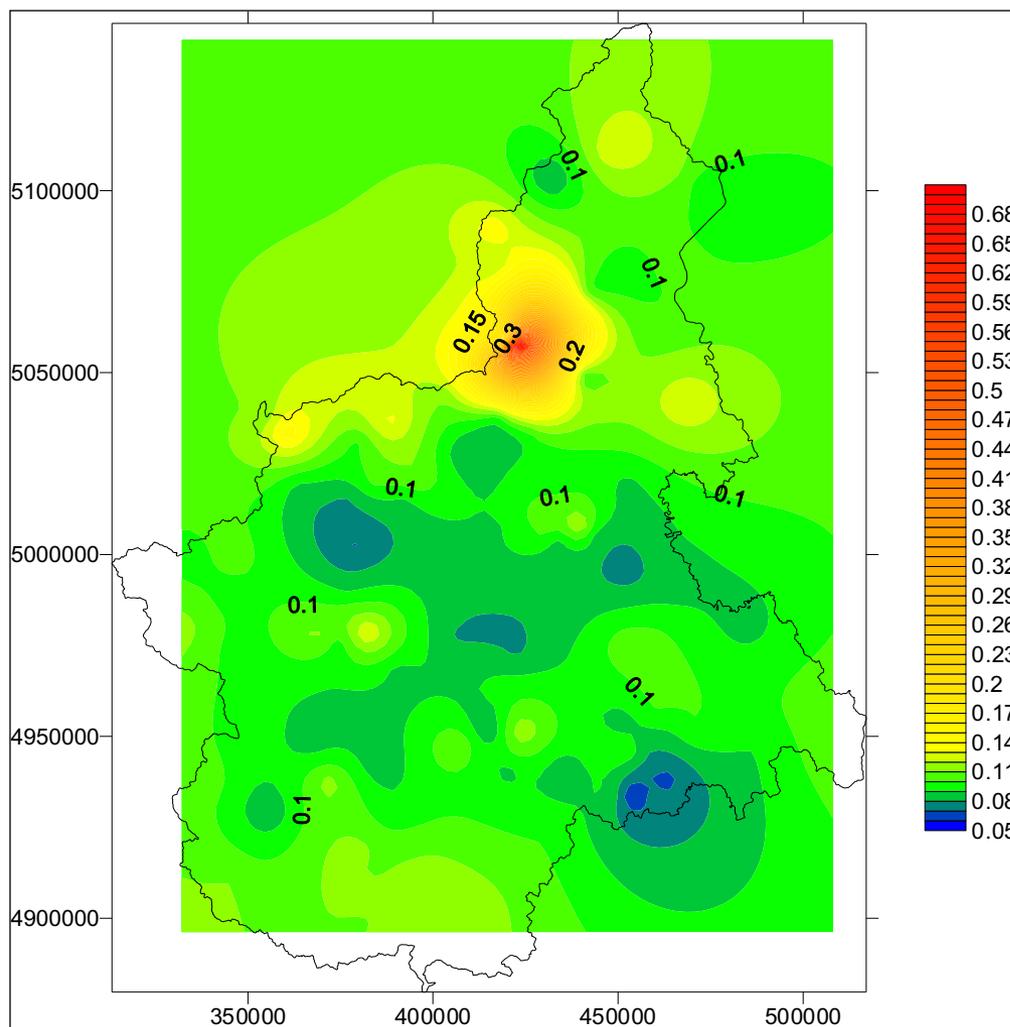
- a) Rateo di dose  $\gamma$  in aria ( $\mu\text{Gy/h}$ ,  $\mu\text{Sv/h}$ )
- b) Particolato atmosferico
- c) Deposizione umida e secca al suolo
- d) Acque superficiali e sedimenti fluviali (DMOS)
- e) Suolo

## *a) Il rateo di dose $\gamma$*

- E' la tipologia di misura di radioattività ambientale più semplice:

può essere effettuata anche con strumentazione poco sofisticata (contatori Geiger-Mueller) ed è il principale indicatore di eventuali anomalie ambientali

## a) Il rateo di dose $\gamma$



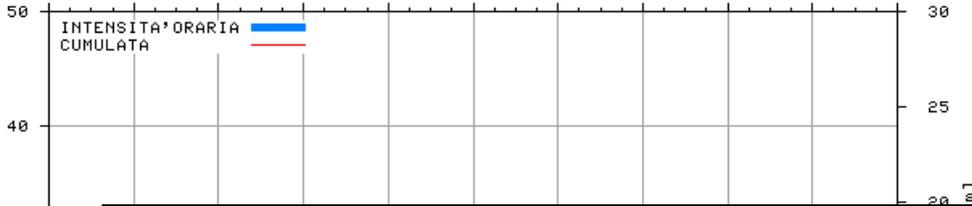
- I livelli medi di tale parametro sono noti e possono essere calcolati a partire dalla conoscenza della radioattività (naturale e artificiale), presente nei suoli + il contributo dei raggi cosmici

**UNITA' di MISURA**  
 **$\mu\text{Gy/h}$**

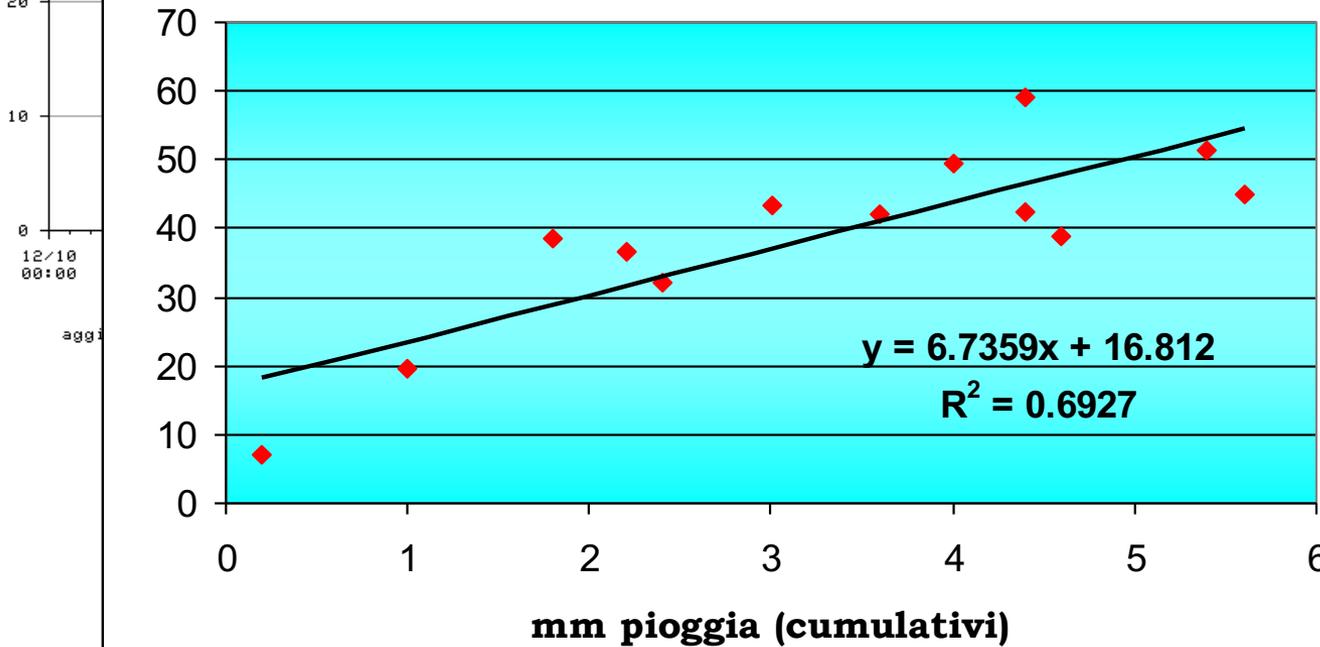


# La rete $\gamma$ di allerta

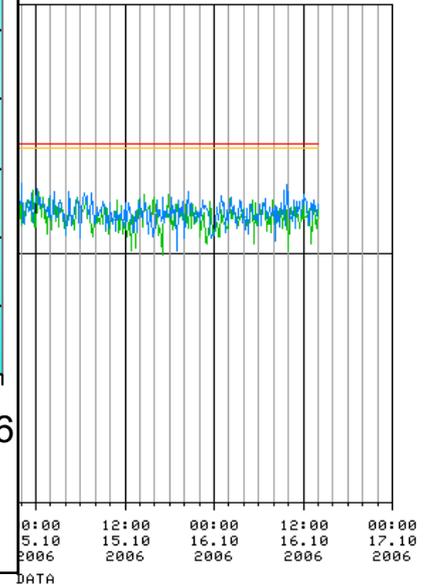
STAZIONE DOMODOSSOLA  
PRECIPITAZIONE



## Delta rateo di dose (nSv/h)



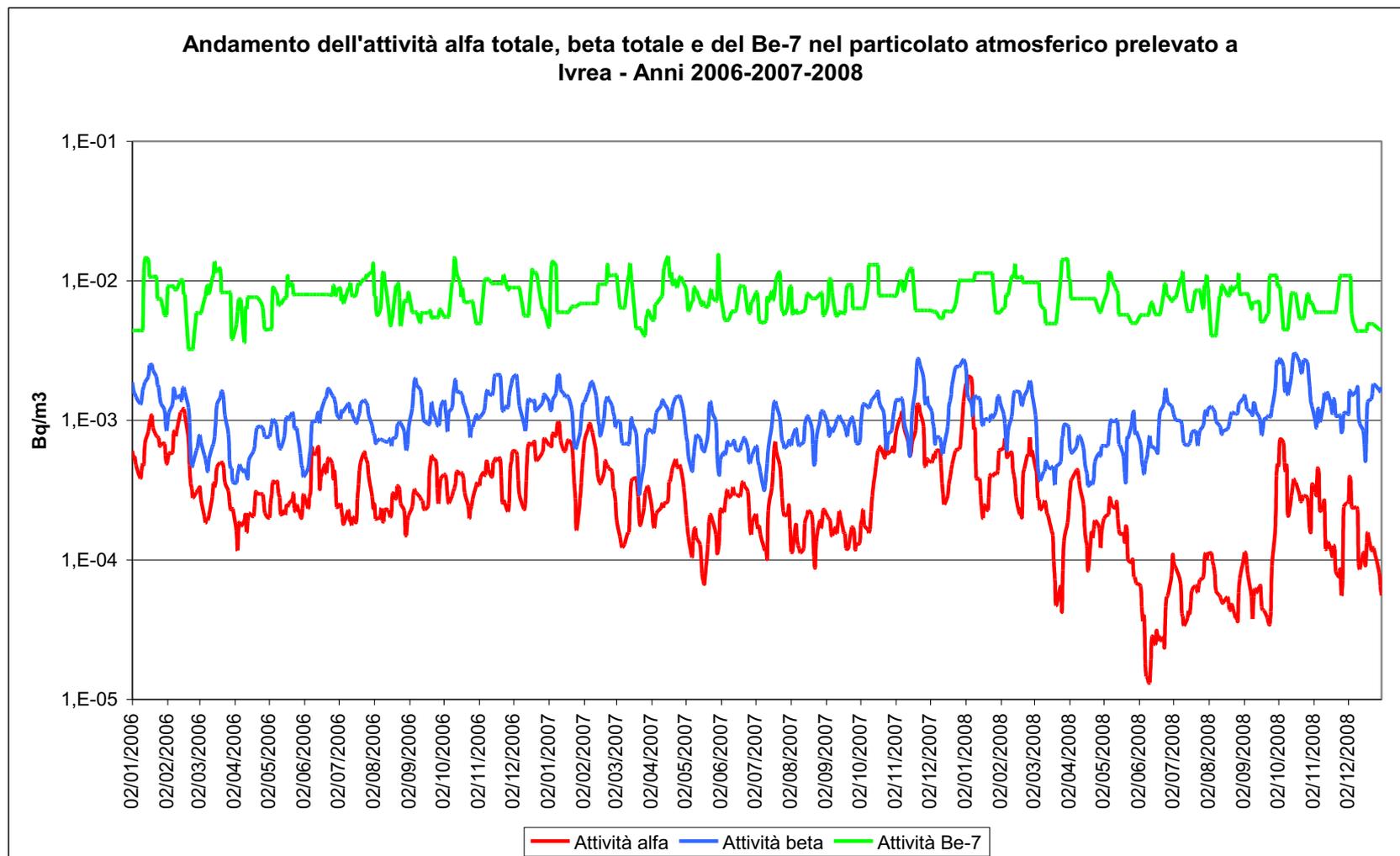
MODOSSOLA  
equivalente assorbita di radiazioni GAMMA



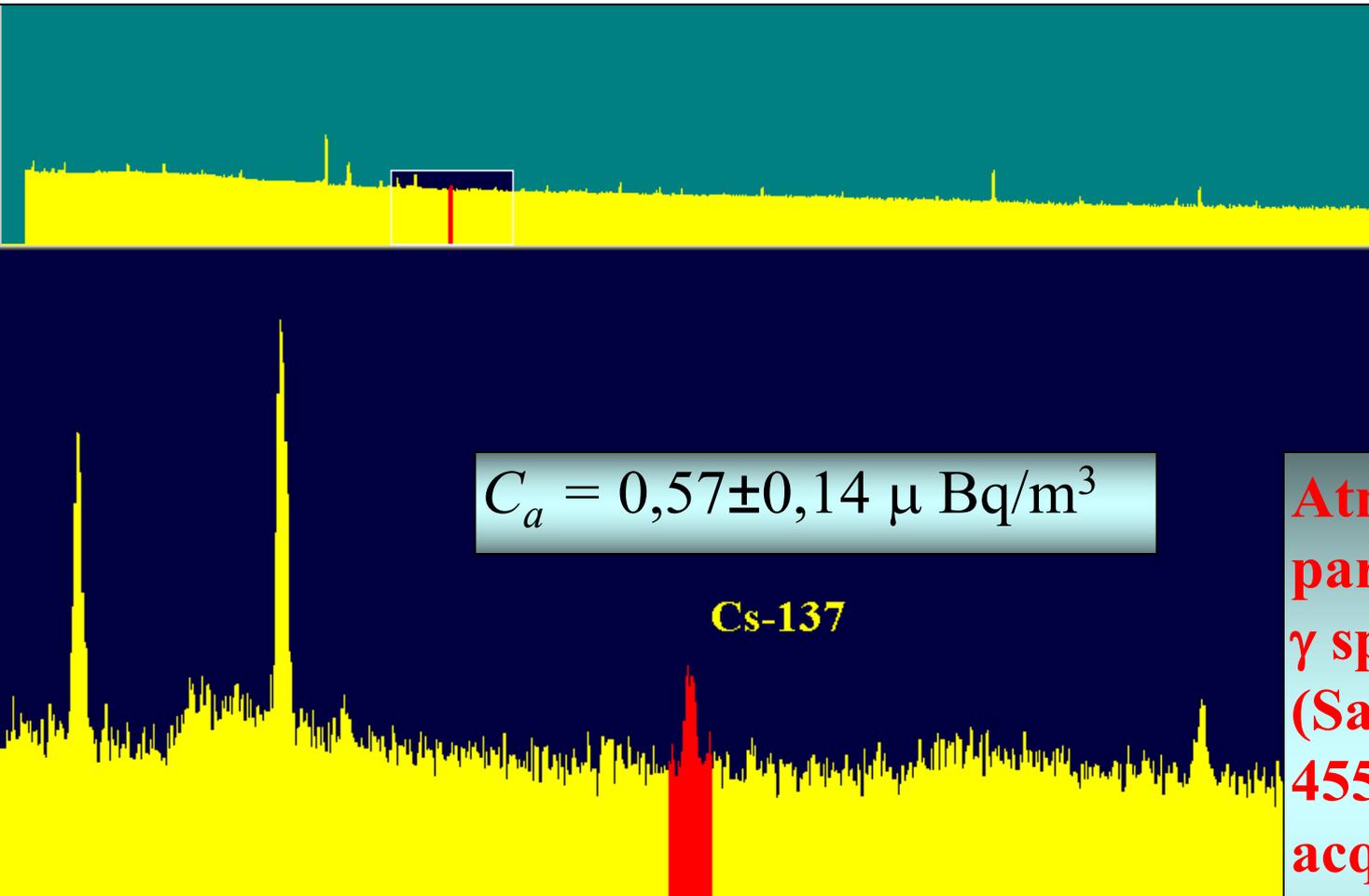
## *b) Il particolato atmosferico*

- Il monitoraggio in continuo della radiazione  $\gamma$  non è tuttavia sufficiente a garantire completamente dall'assenza di contaminazioni atmosferiche di tipo artificiale. La sensibilità tipica dei sensori gamma impiegati, (5 nSv/h), non è in grado di apprezzare, la presenza in aria di basse concentrazioni (0,1 Bq/m<sup>3</sup>)
- Per questo motivo, accanto alla misura della dose  $\gamma$  viene normalmente affiancata la misura diretta dei radionuclidi presenti in aria. Tale misura (spettrometria  $\gamma$  e  $\alpha/\beta$  totale) viene eseguita tramite il prelievo su filtri di cellulosa, eseguito grazie a una pompa ad alto volume, del particolato presente in sospensione nell'aria.

## *b) Il particolato atmosferico*



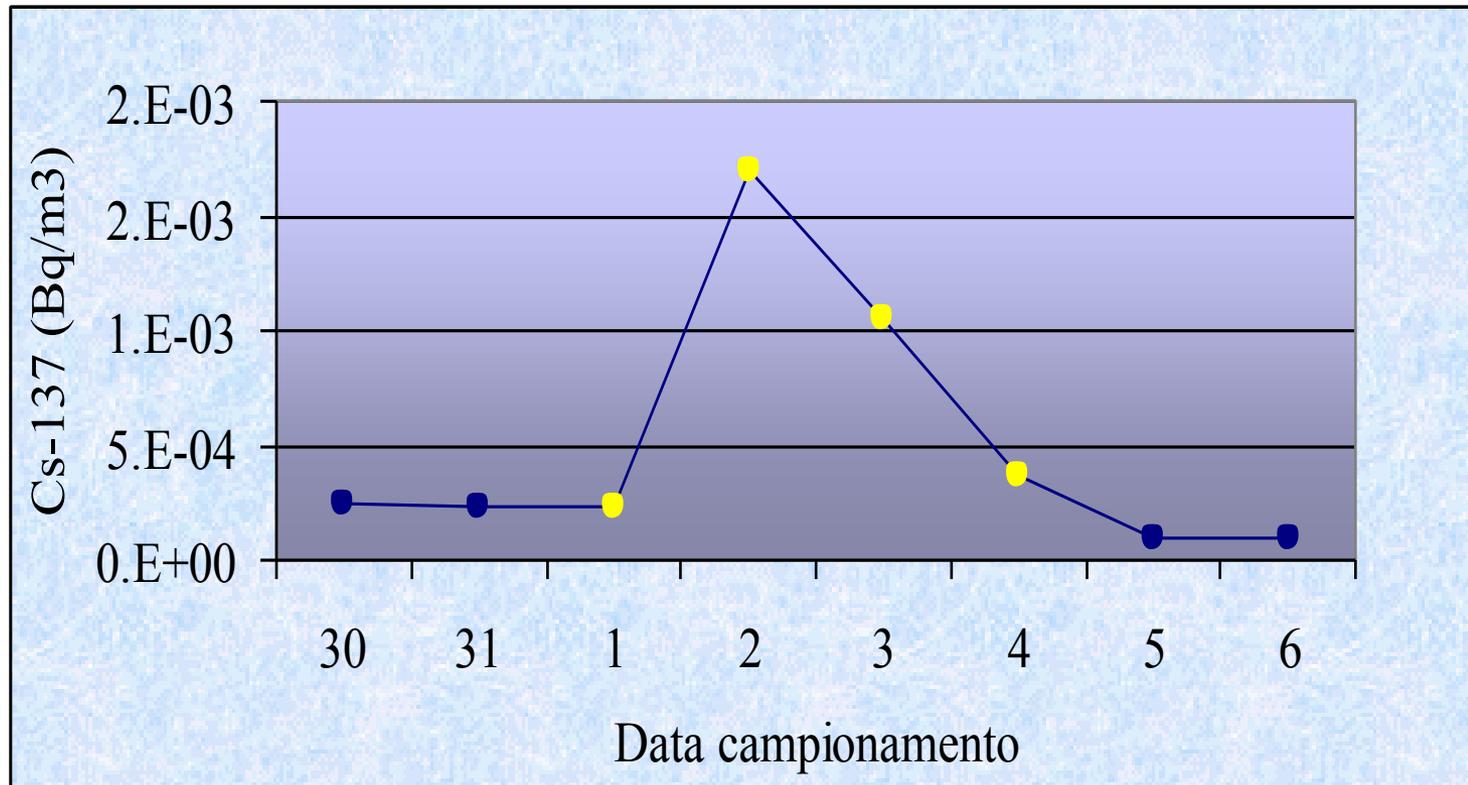
# Spettro gamma particolato atmosferico



**Atmospheric  
particulate  
 $\gamma$  spectrum  
(Sampled Volume:  
45555 m<sup>3</sup>),  
acquired in Ivrea  
(Turin): a little  
<sup>137</sup>Cs peak is  
clearly detectable**

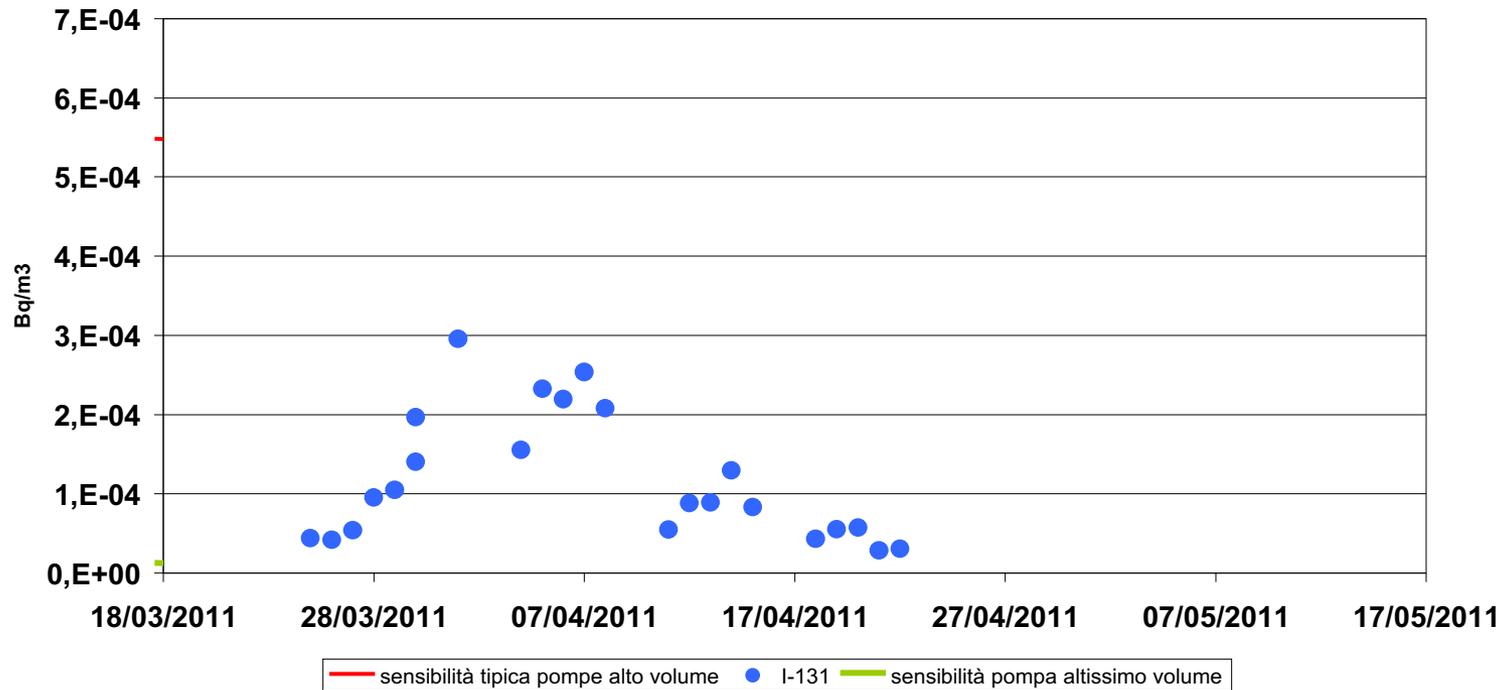
# L'incidente di Algeciras (fusione accidentale di una sorgente in una fonderia spagnola)

Cs-137 nell'atmosfera a Torino: 30 maggio - 4 giugno 1998

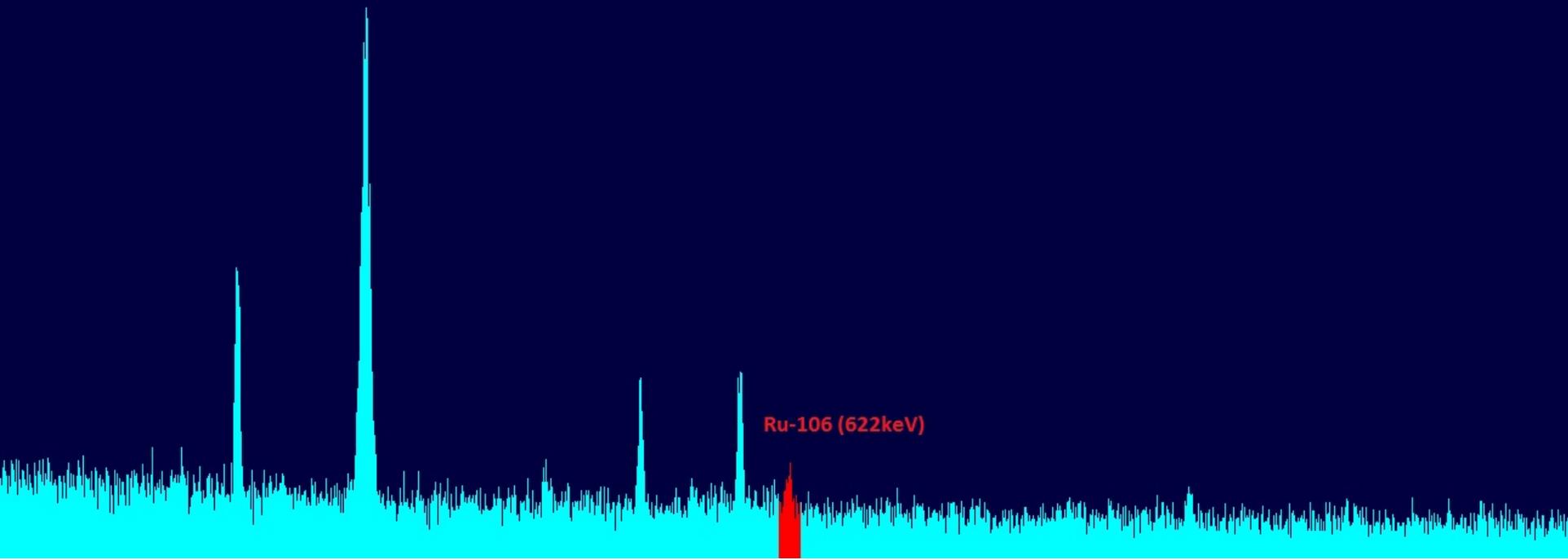
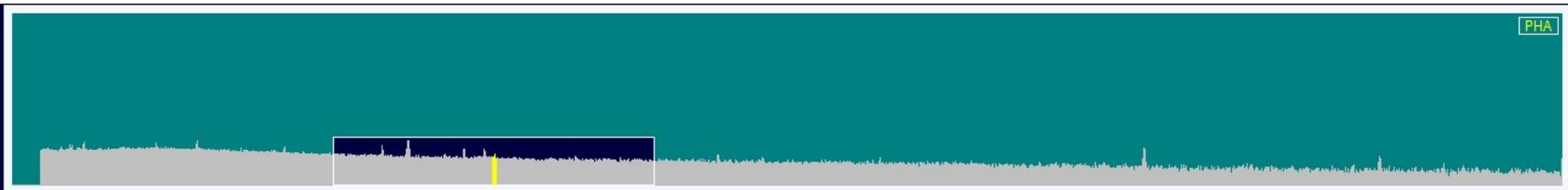


# $^{131}\text{I}$ da Fukushima

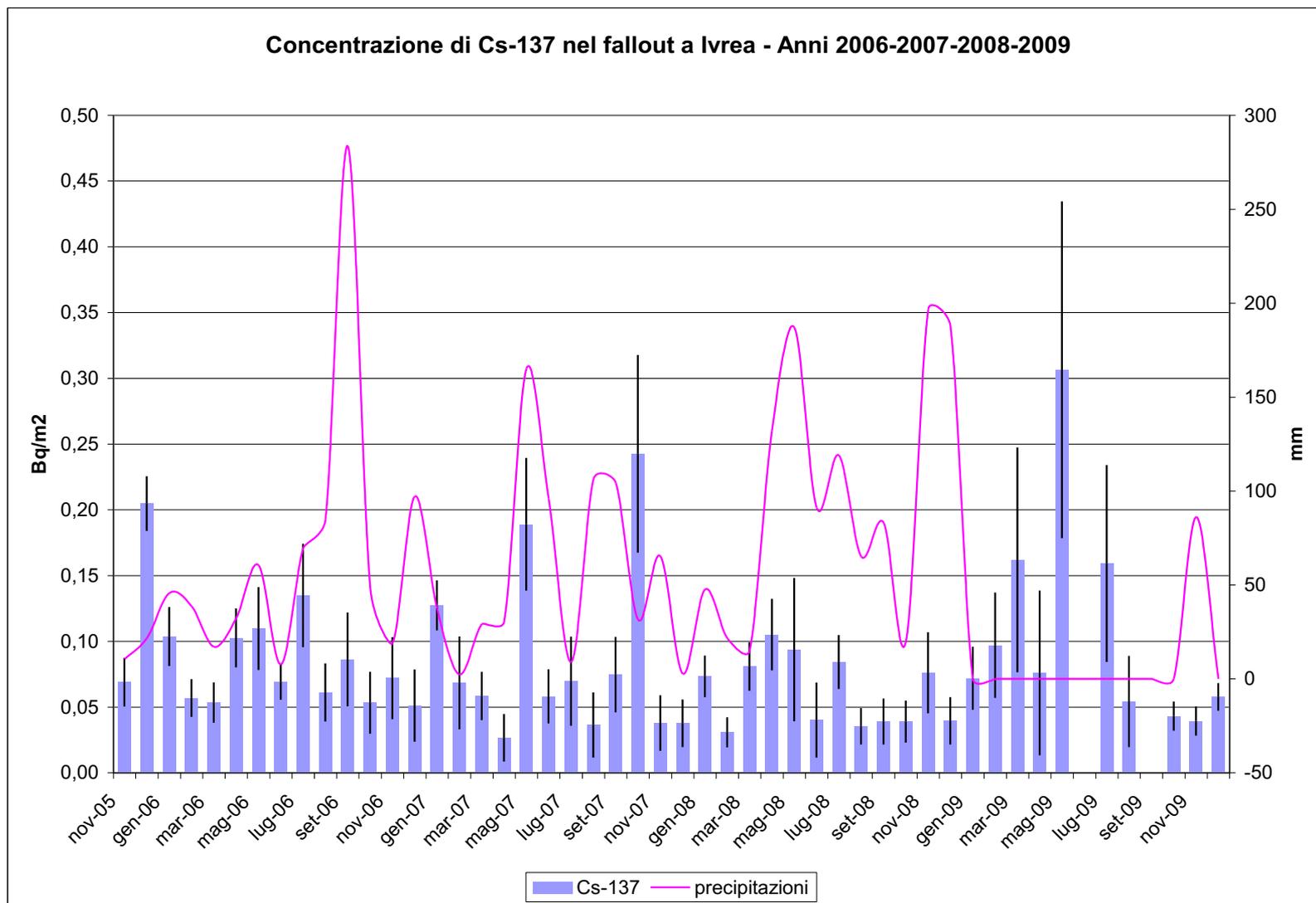
Concentrazione di I-131 nel particolato atmosferico



# Ottobre 2017: tracce di $^{106}\text{Ru}$



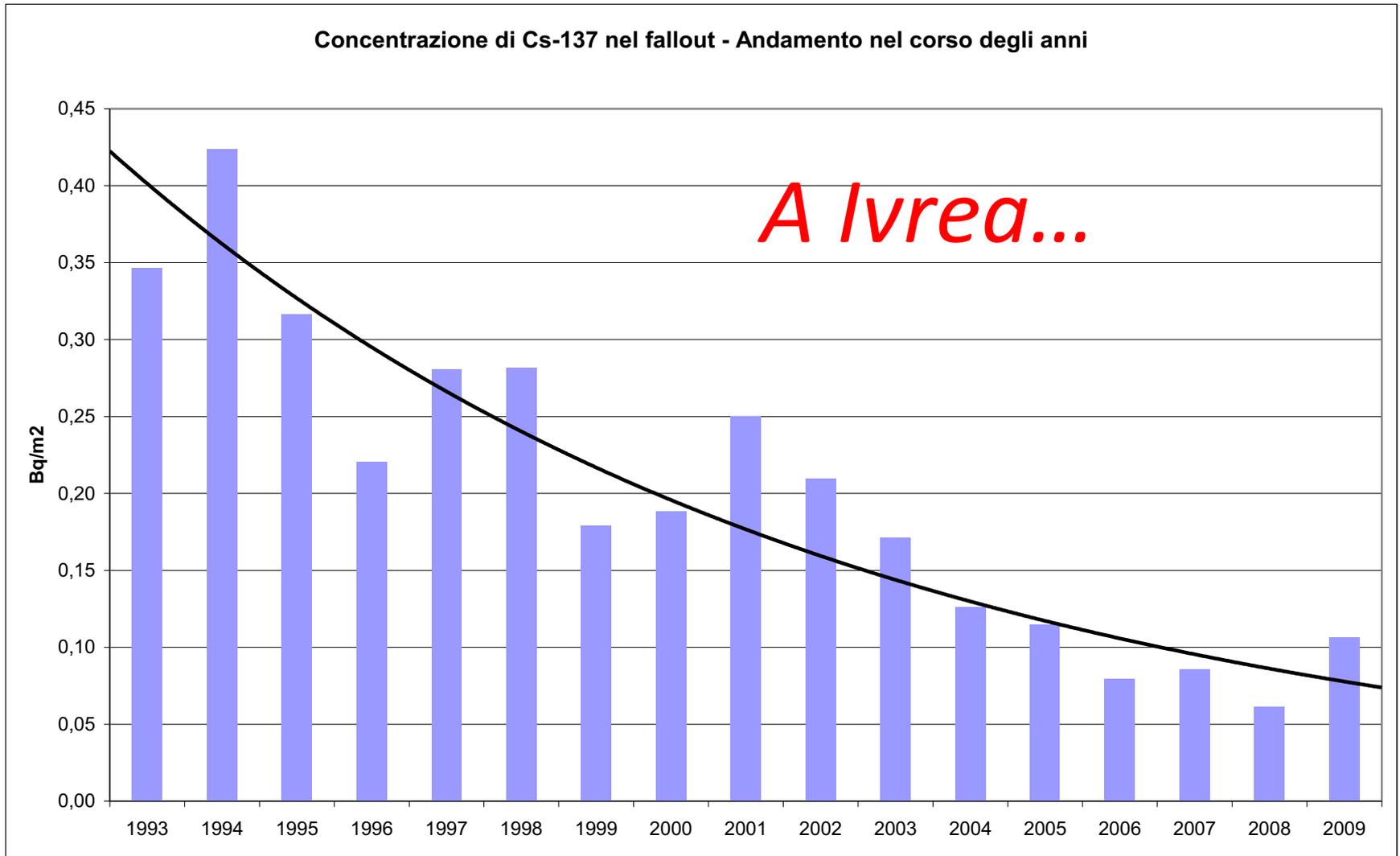
# *c) La deposizione umida e secca (Fallout)*



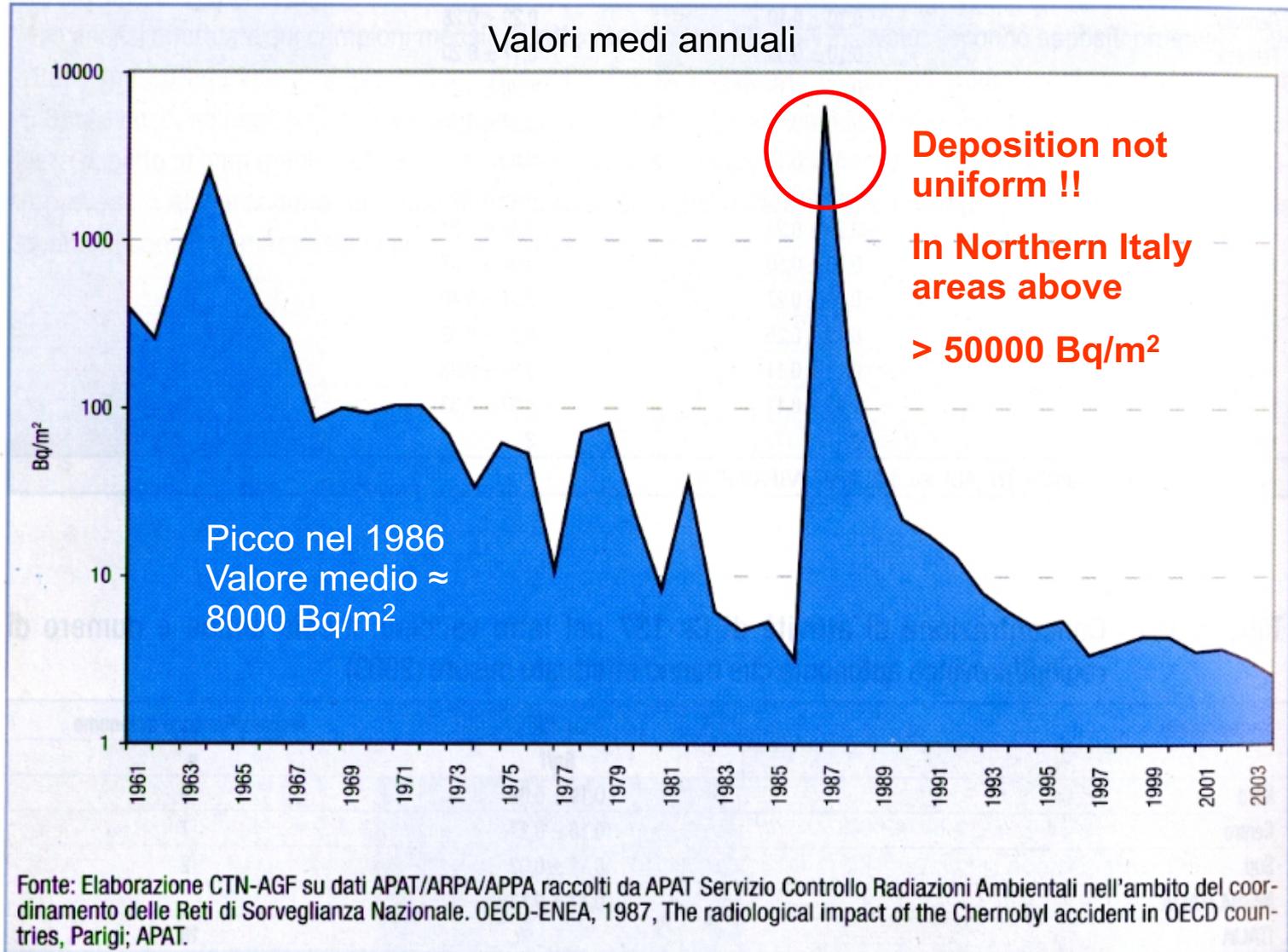
## *c) La deposizione umida e secca (Fallout)*

- E' un tipo di misura estremamente sensibile, anche se necessita di un lungo tempo di campionamento (1 mese)
- Si può stimare che gli attuali livelli di  $^{137}\text{Cs}$  misurati nel fallout corrispondano a concentrazioni in aria  $< 0,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$
- Oltre a misure mensili di spettrometria  $\gamma$ , vengono effettuate anche misure semestrali di  $^{90}\text{Sr}$  e Plutonio

# Andamento nel tempo del fallout



# $^{137}\text{Cs}$ Deposition in Italy

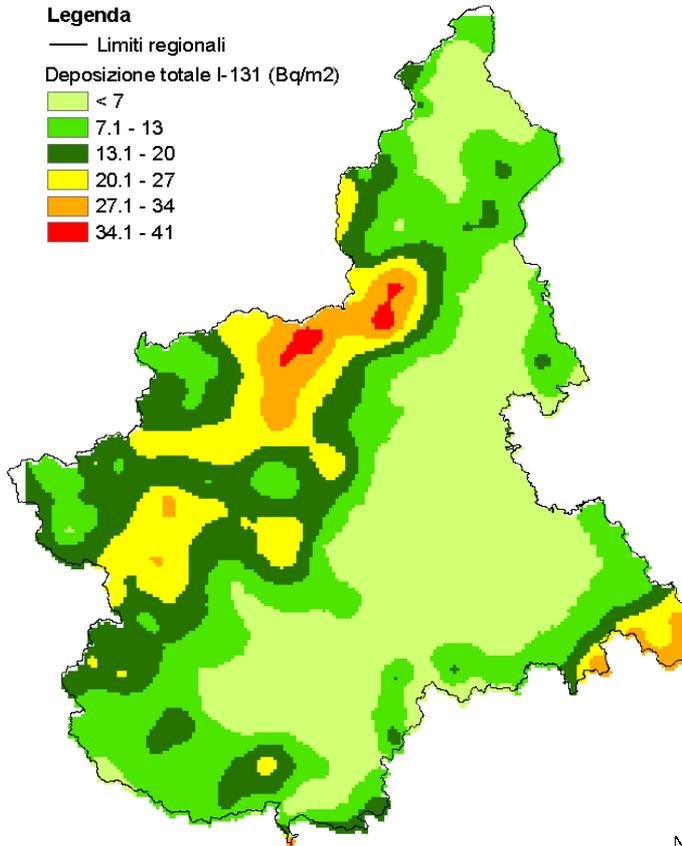
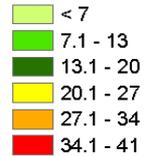


# Stima deposizione $^{131}\text{I}$ Fukushima

## Legenda

— Limiti regionali

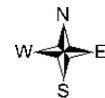
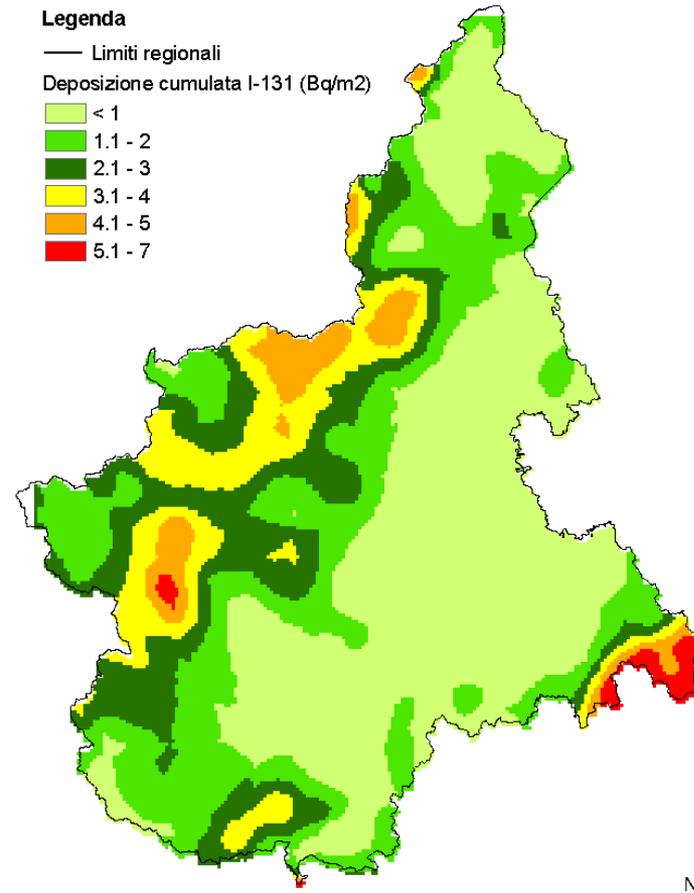
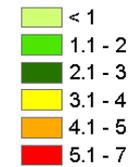
Deposizione totale I-131 (Bq/m<sup>2</sup>)



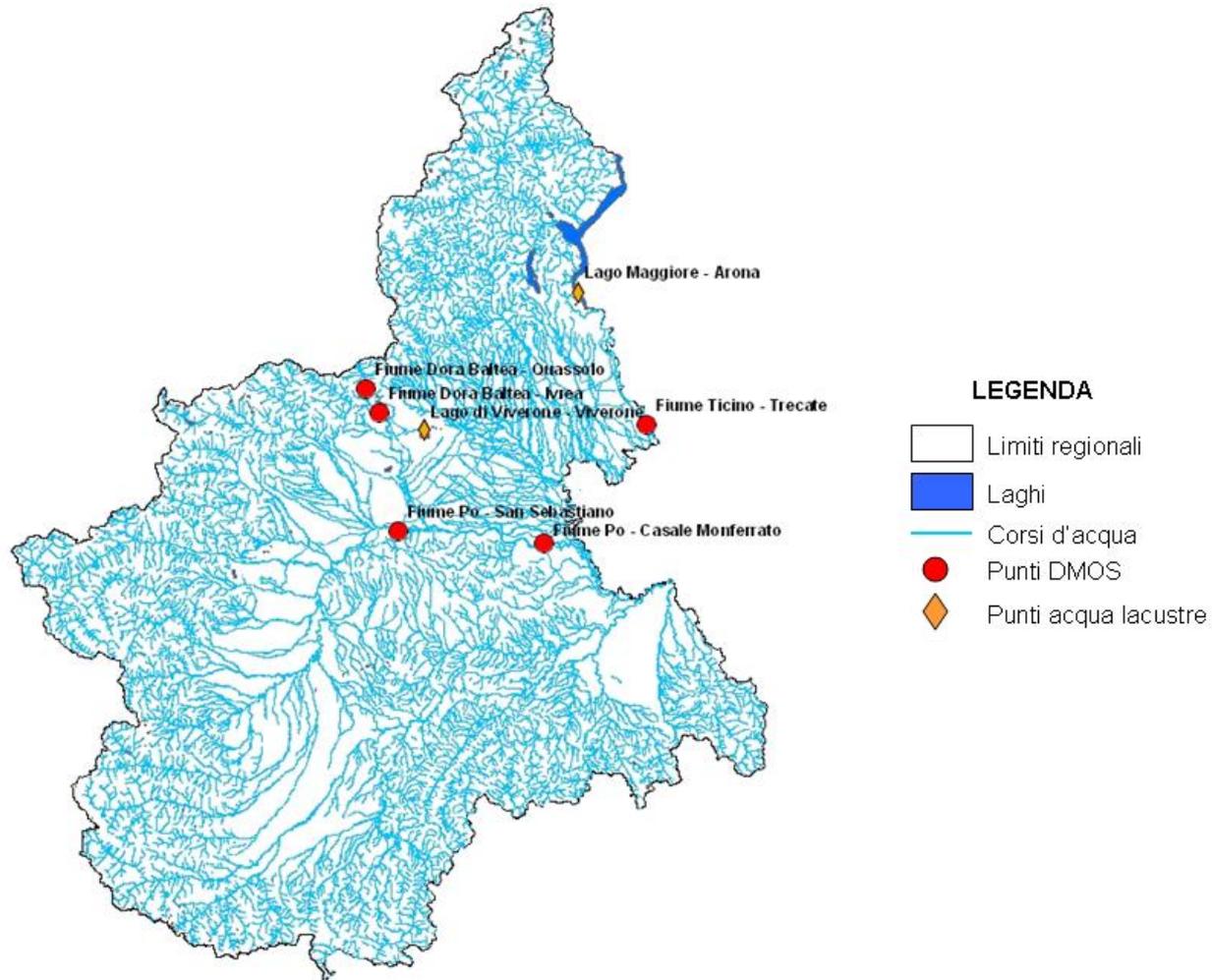
## Legenda

— Limiti regionali

Deposizione cumulata I-131 (Bq/m<sup>2</sup>)



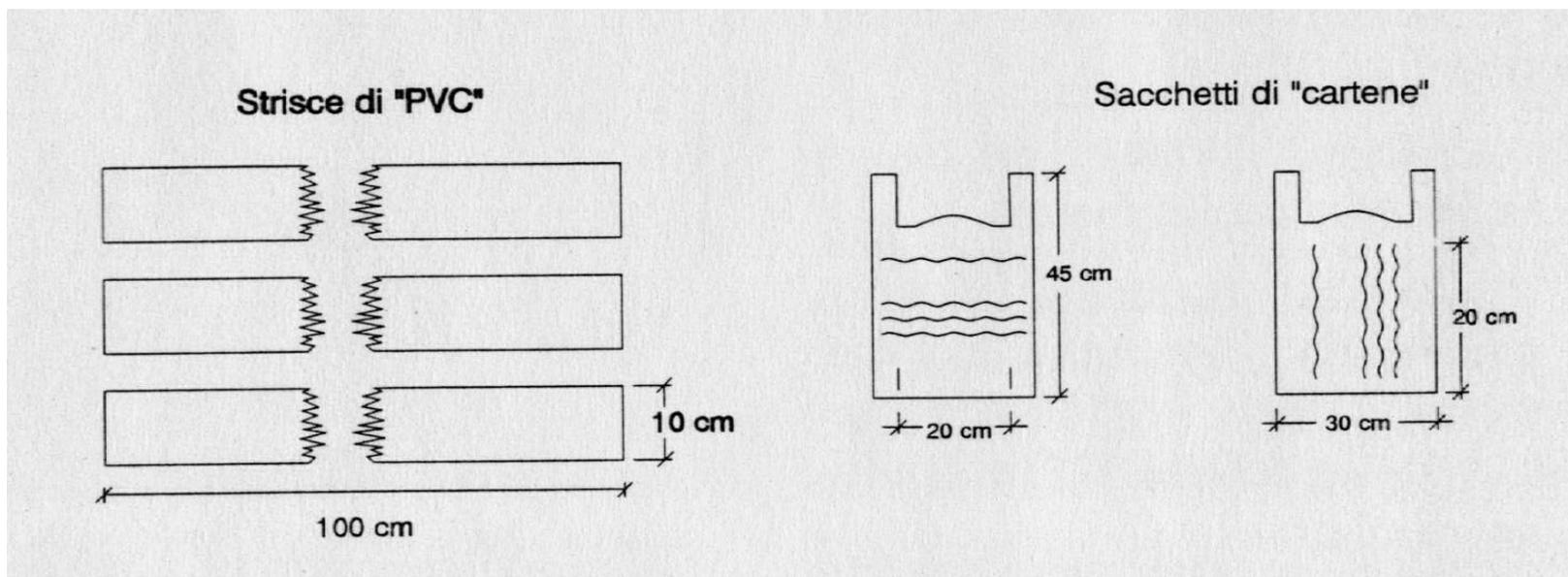
# d) Acque superficiali e sedimenti (DMOS)



# Che cos'è il DMOS

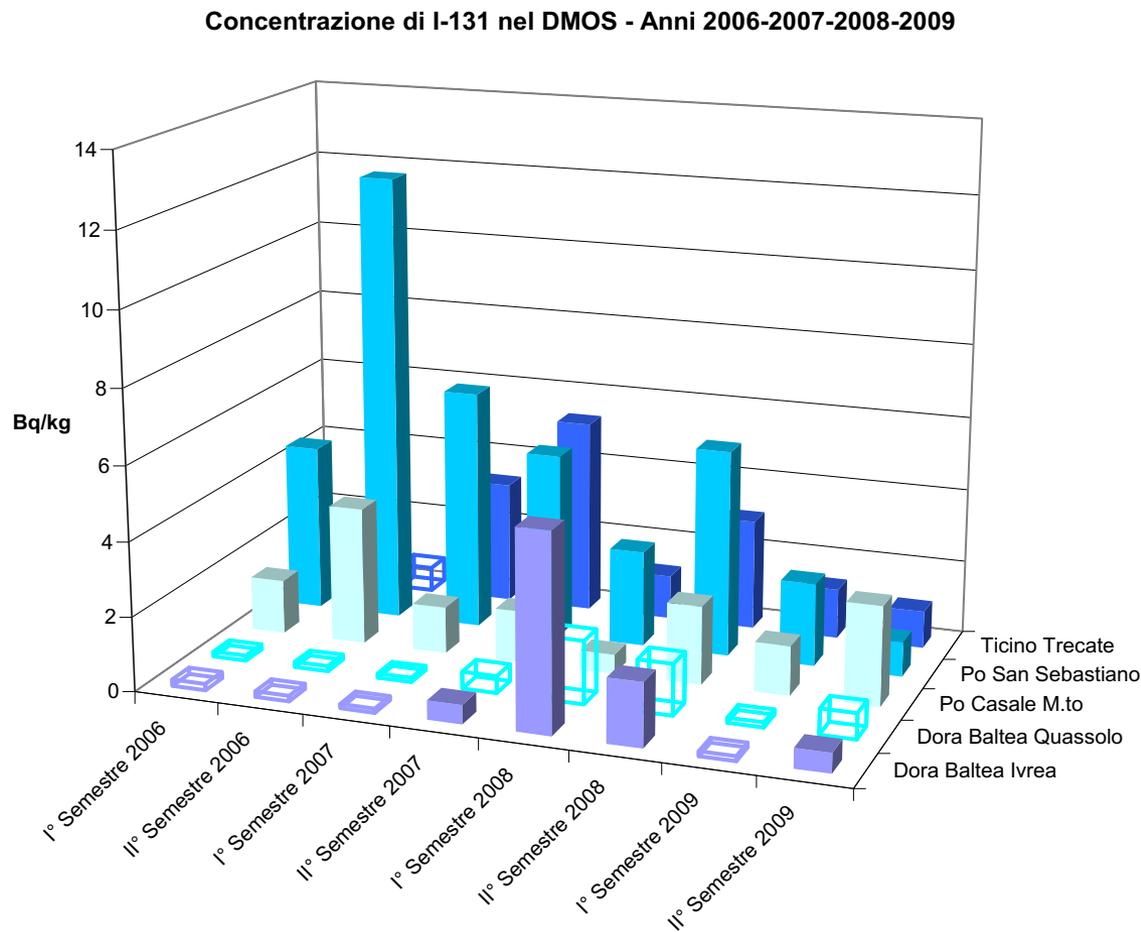
- Il DMOS (Detrito Minerale Organico Sedimentabile) è sostanzialmente il particolato in sospensione trasportato dall'acqua dei fiumi in procinto di depositarsi sul fondale del fiume stesso. Si preferisce campionare il DMOS invece del sedimento fluviale propriamente detto poiché, trattandosi della componente particellare non ancora sedimentata, è rappresentativa della "storia recente" del fiume.

- Questa matrice, “inventata” in modo geniale dai ricercatori ENEL negli anni Ottanta del secolo scorso, impiega un campionatore molto semplice e poco costoso:

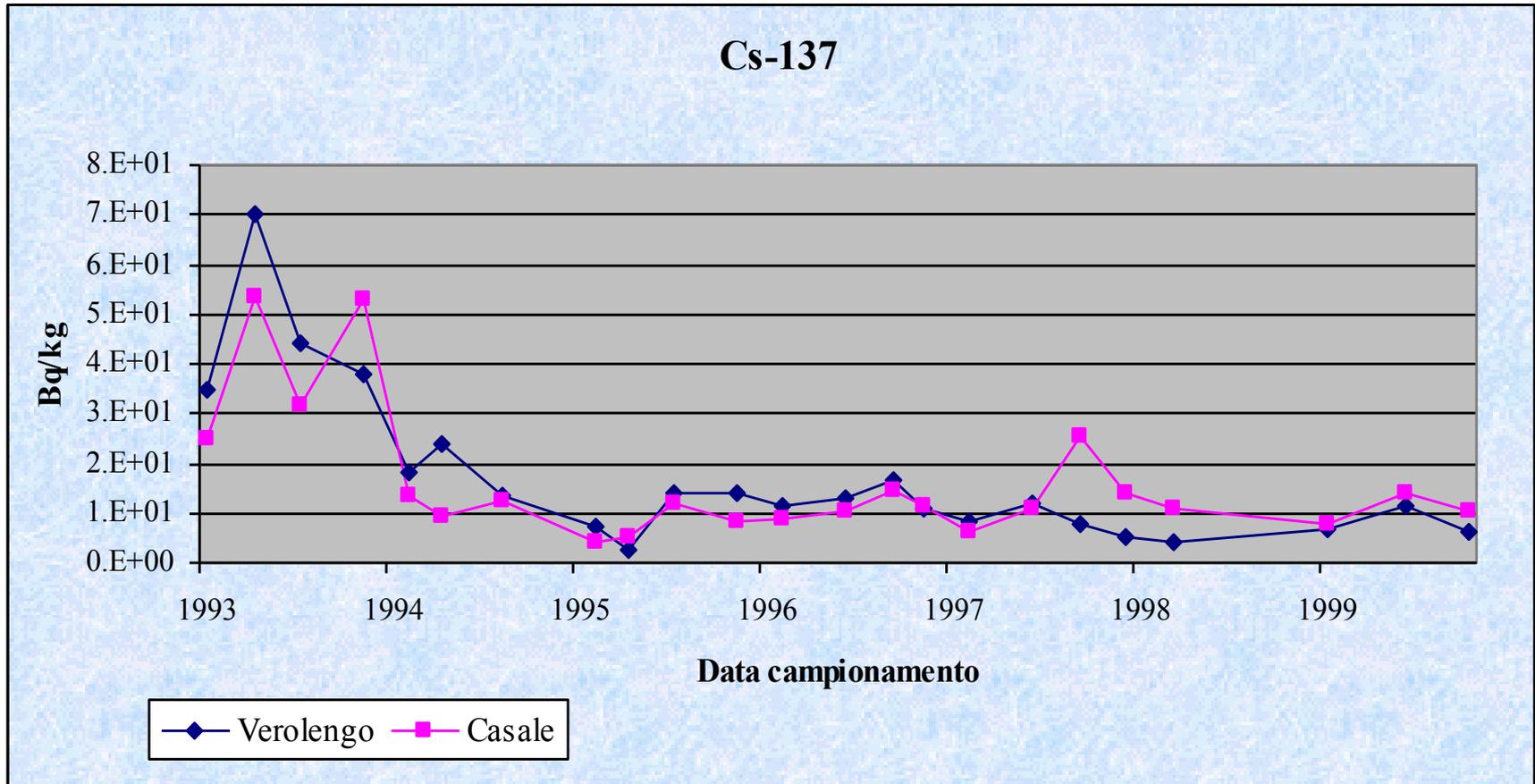


# d) Acque superficiali e sedimenti (DMOS)

*Radionuclidi  
artificiali di  
varia origine:  
“ambientale”  
(<sup>137</sup>Cs  
Chernobyl) o  
ospedaliera  
(<sup>131</sup>I)*

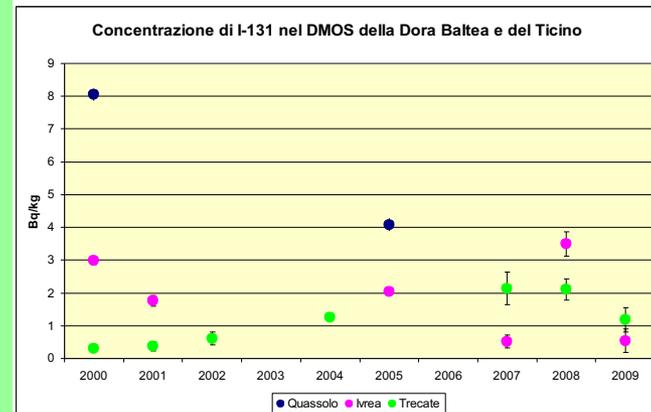
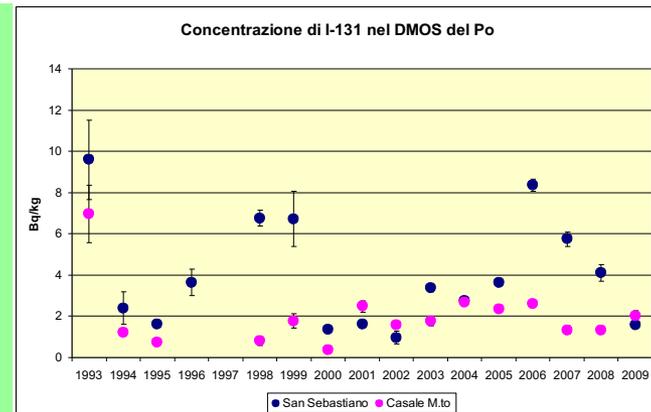


# $^{137}\text{Cs}$ nel DMOS (sedimento) del Po



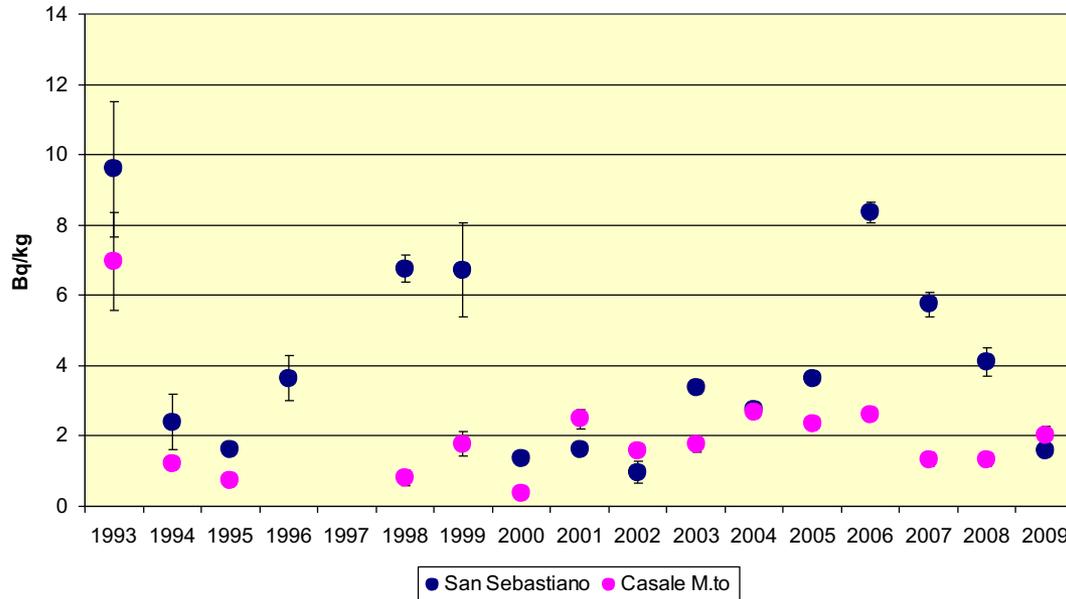
# DMOS (Detrito Minerale Organico Sedimentabile) e FANGHI DI DEPURAZIONE

- Maggiore concentrazione di I-131 nelle vicinanze di grossi centri urbani
- DMOS: concentrazione stazionaria da più di 15 anni
- Fanghi: concentrazione I-131  $\geq$  concentrazione Cs-137

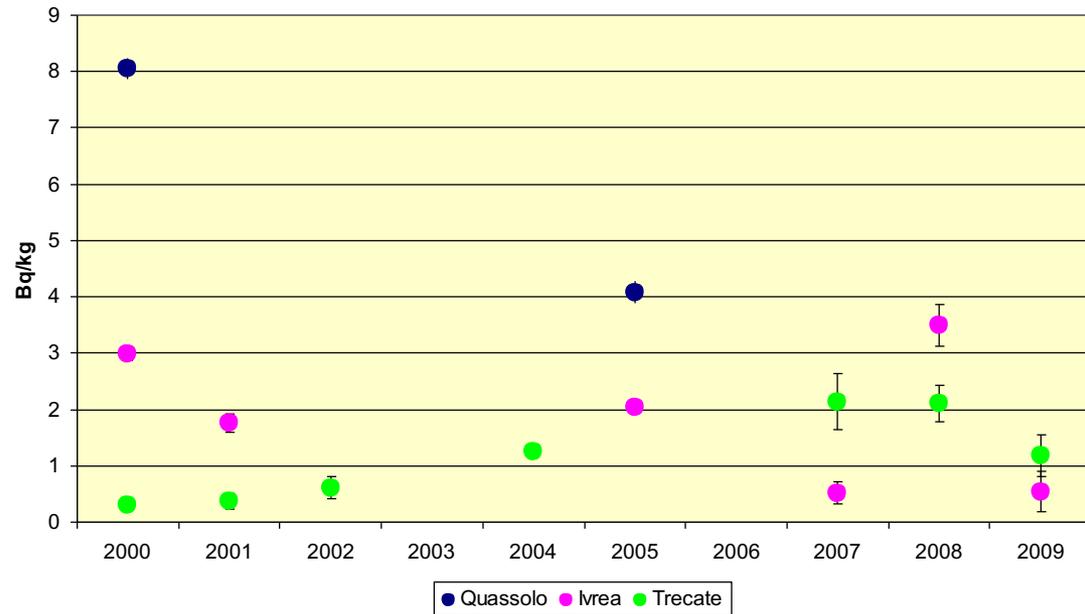


# I-131 nel DMOS (origine ospedaliera)

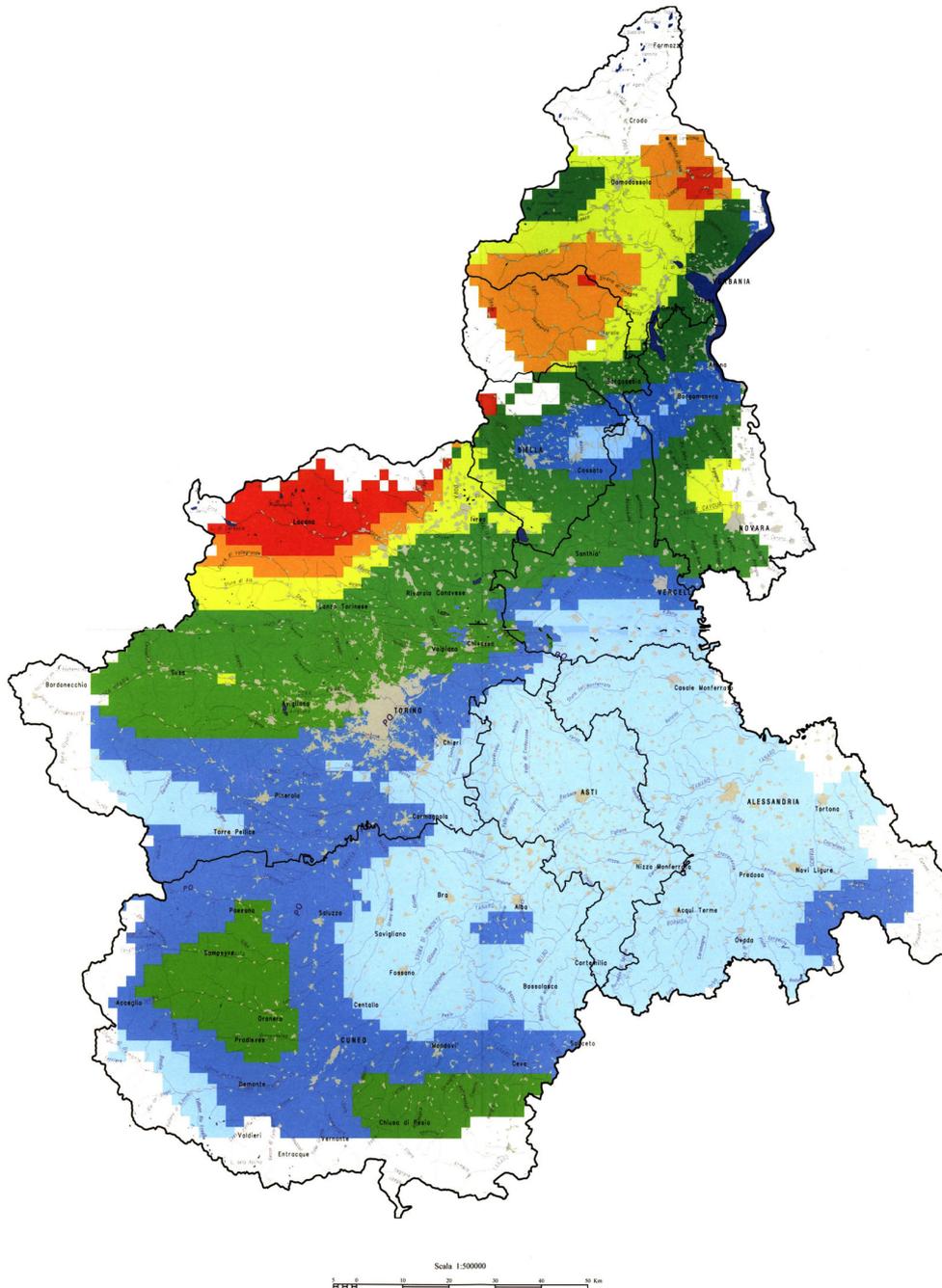
### Concentrazione di I-131 nel DMOS del Po



### Concentrazione di I-131 nel DMOS della Dora Baltea e del Ticino



## e) Suolo



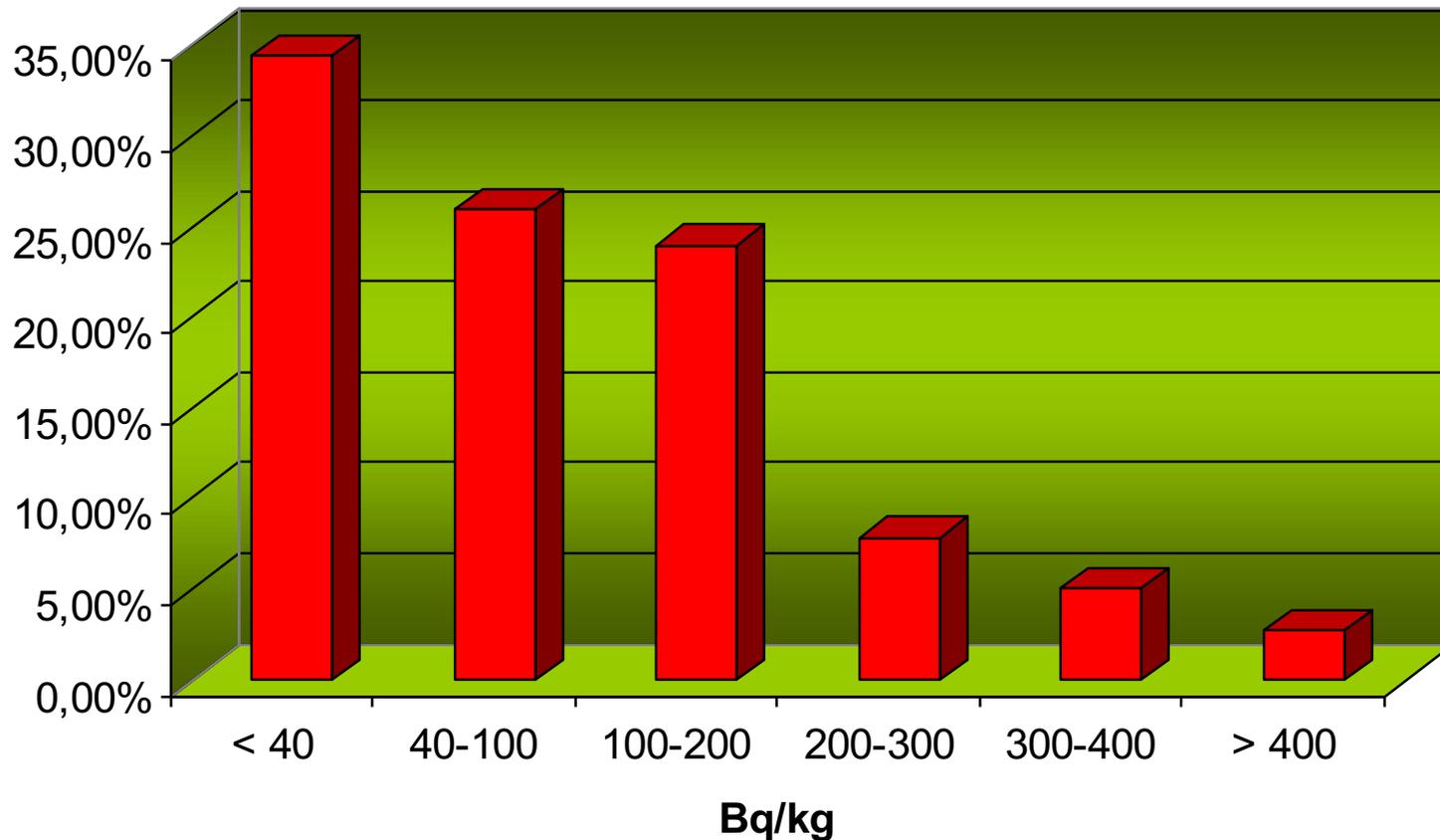
• *Si parte dalla conoscenza della situazione post-Chernobyl (studio del 1998)*

*$^{137}\text{Cs}$  nei suoli del Piemonte: le aree a più elevata contaminazione coincidono quasi esattamente con quelle in cui si sono avute intense precipitazioni durante il passaggio in Piemonte della nube radioattiva di Chernobyl (30 aprile – 6 maggio 1986)*

## e) Suolo

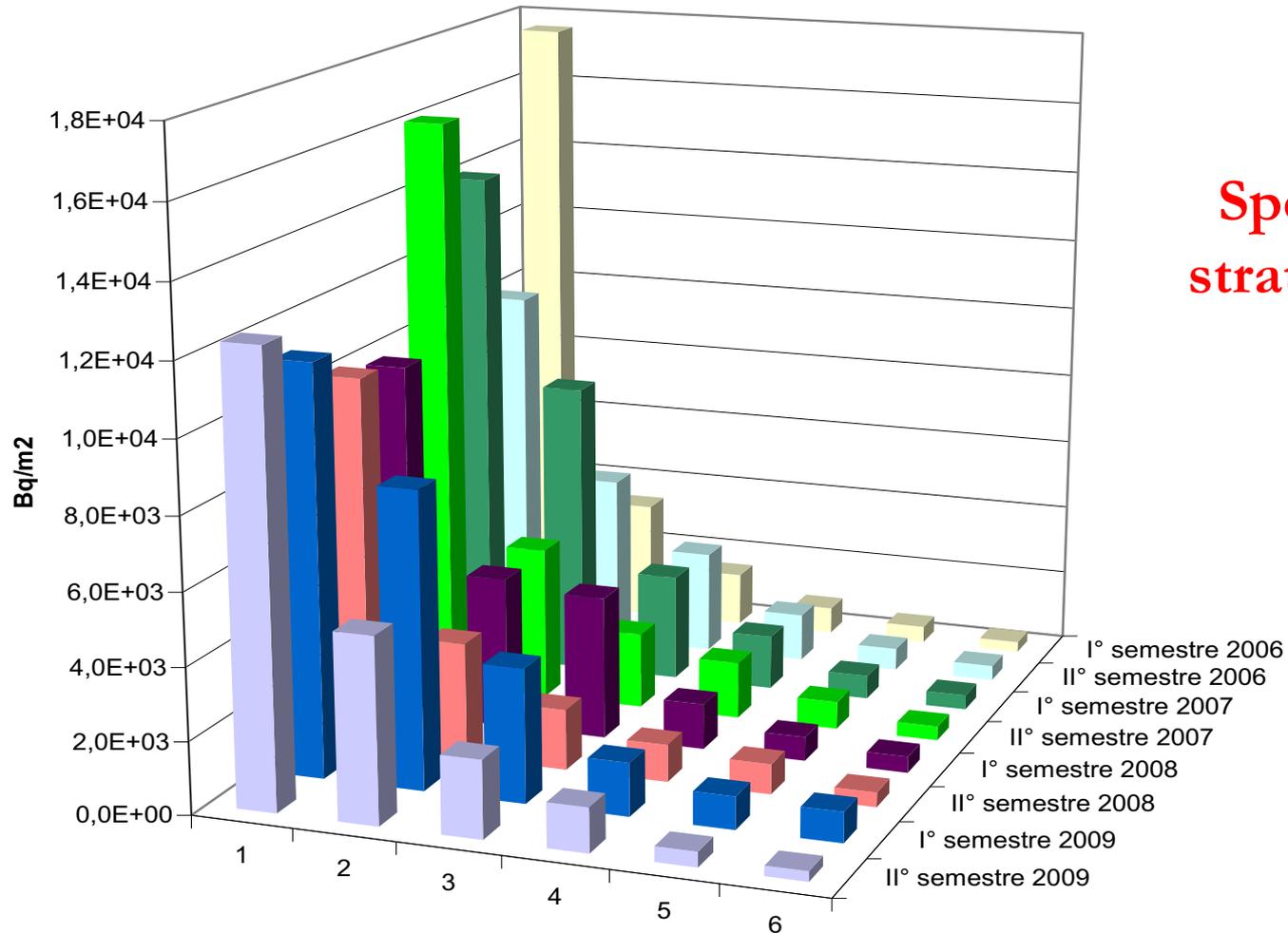
*Strato superficiale 0-5 cm*

**Distribuzione concentrazione superficiale Cs137 nei suoli**

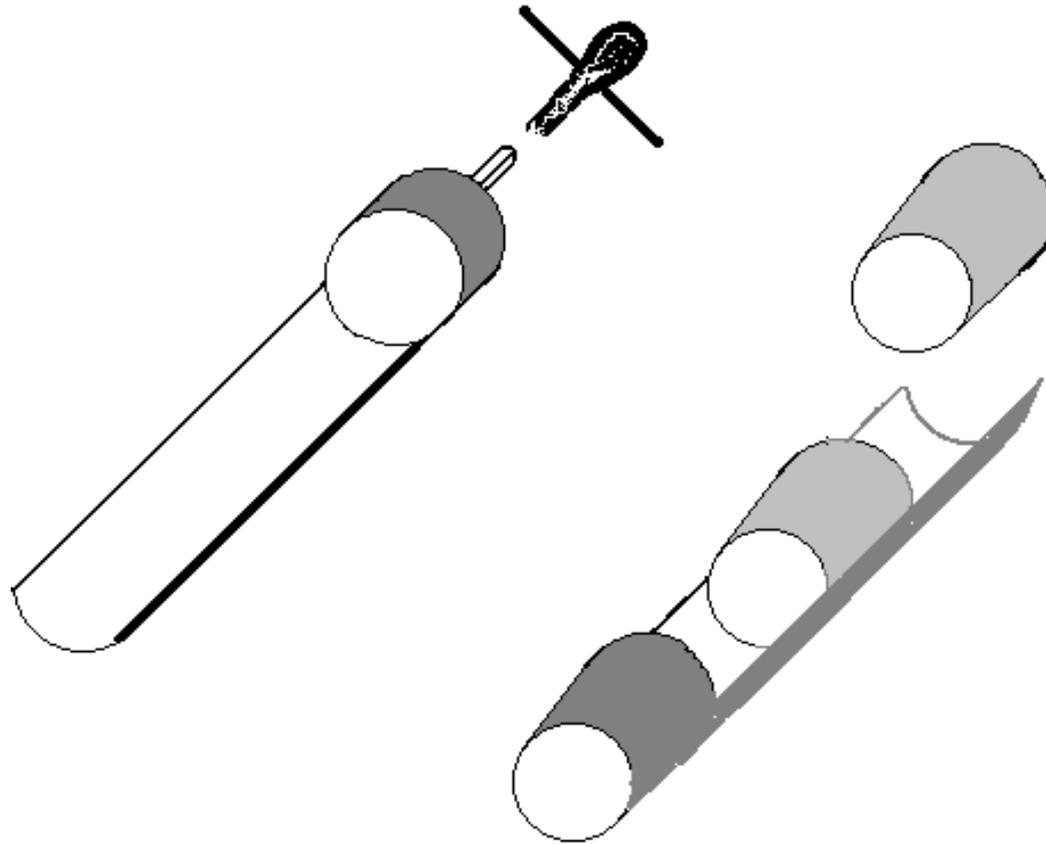


# e) Suolo in profondità

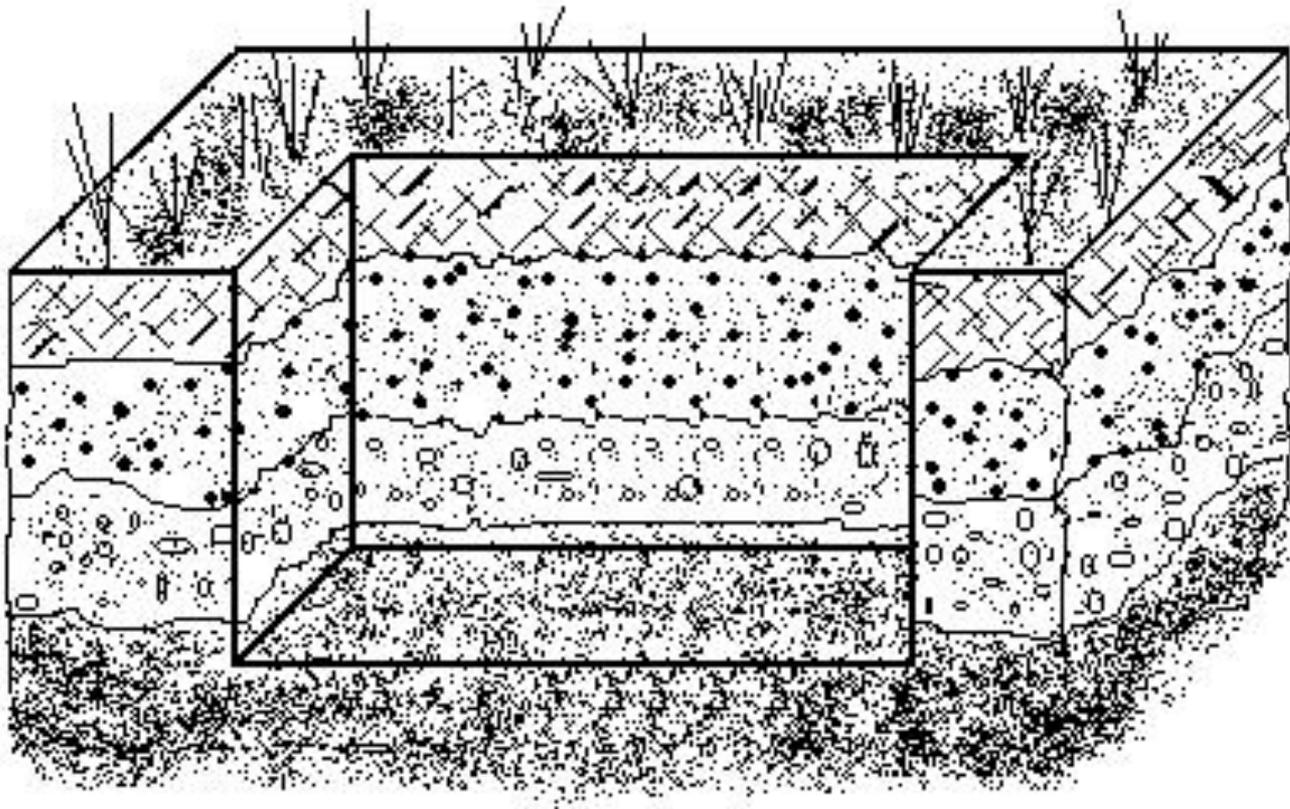
Concentrazione di Cs-137 in profondità nel suolo di Albareto Superiore (BI) -  
Anni 2006-2007-2008-2009



# Soil corer or “broken tube”

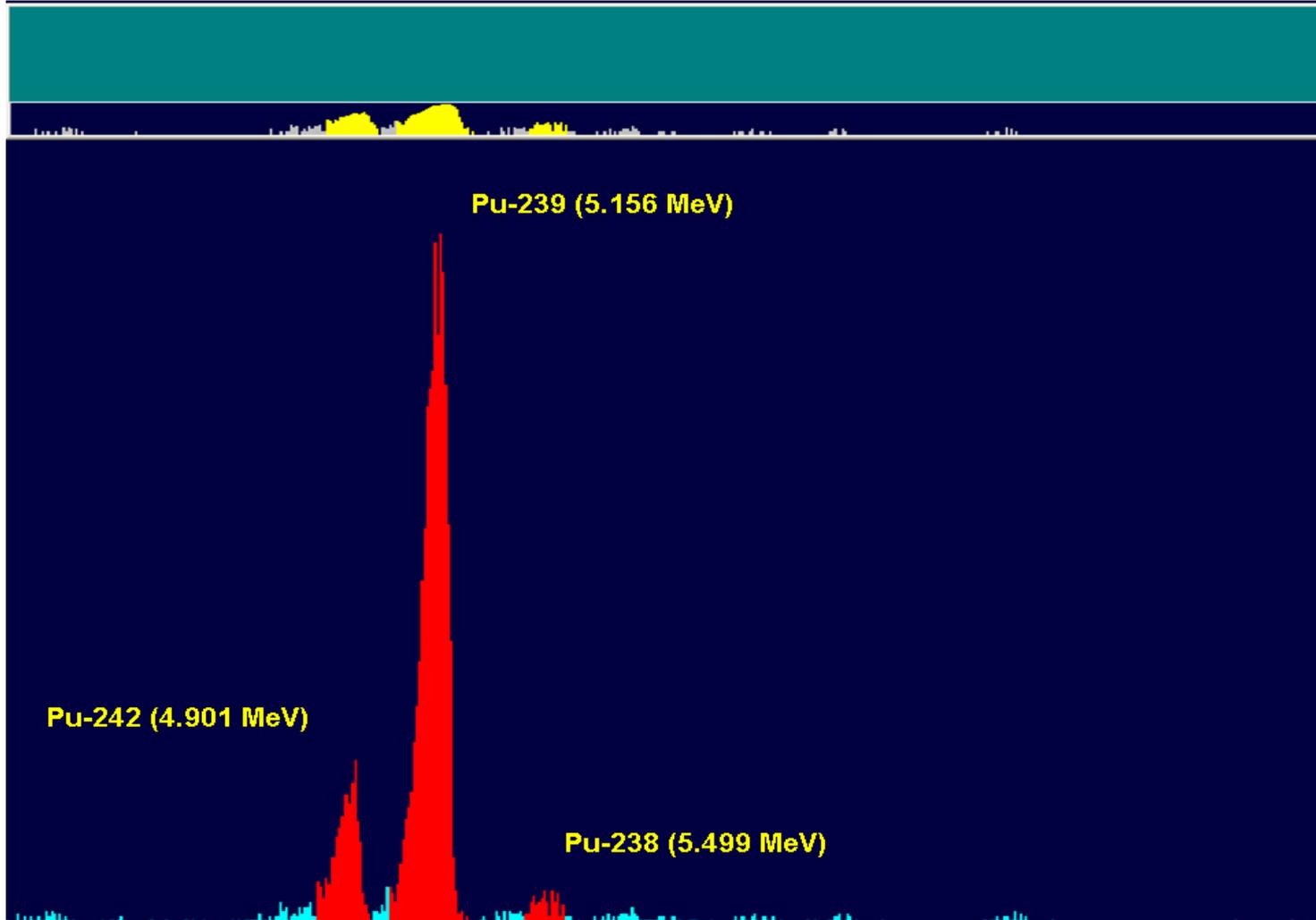


# The trench method





# Misure di Plutonio nei suoli

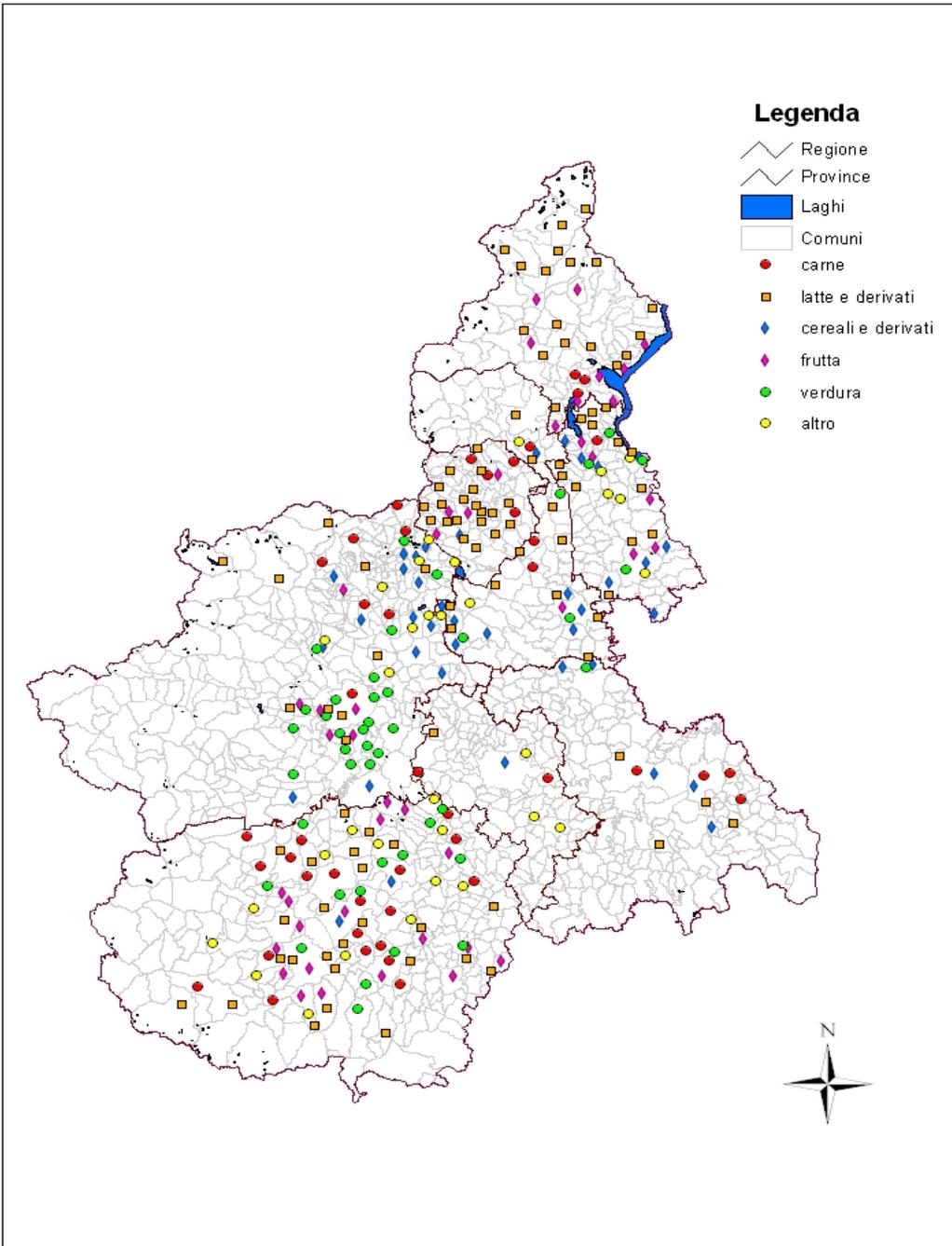


## *Matrici alimentari*

- a) Latte e derivati
- b) Carne
- c) Cereali e derivati
- d) Ortaggi e frutta
- e) Acqua potabile
- f) Altri alimenti (miele, funghi, alimenti per l'infanzia, vino, uova, ecc.)

# *Gli alimenti*

- Gli alimenti maggiormente rilevanti, dal punto di vista della radioprotezione sono, in ordine di importanza:
  - i. Latte (e derivati)
  - ii. Carne

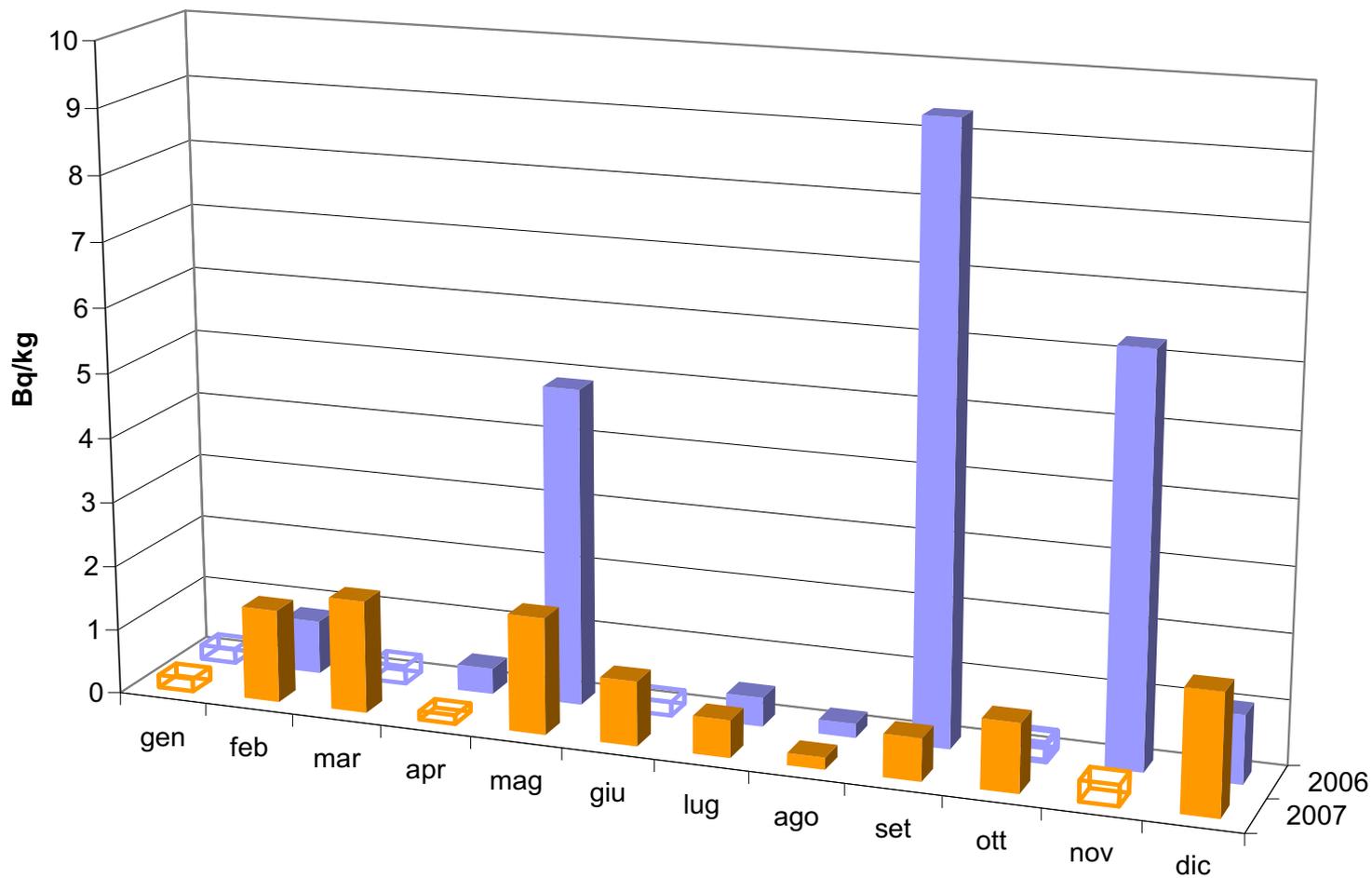


eta tipo, che  
 uesti  
 o perché tali  
 vulnerabili” in  
 te di

atte può  
 e, talvolta

# Gli alimenti

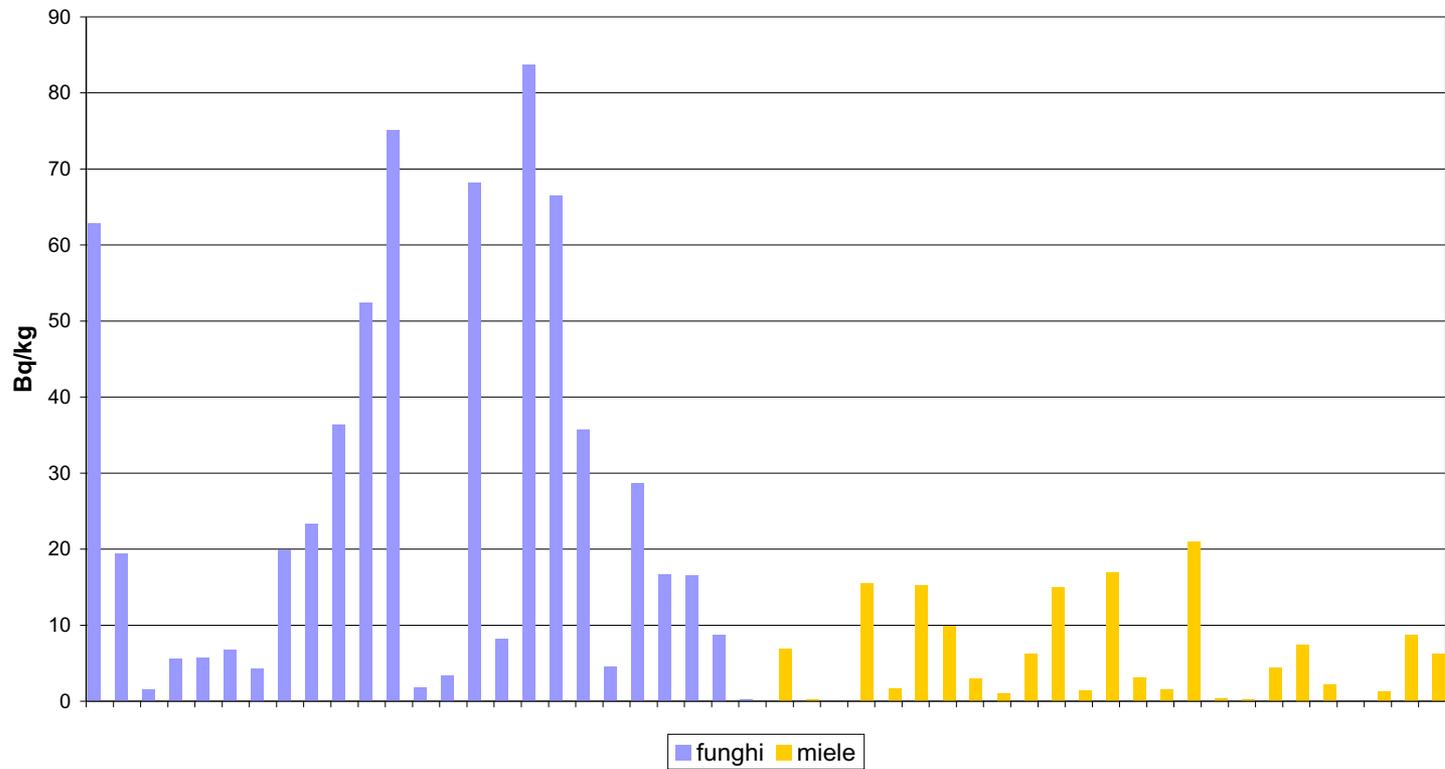
Concentrazione di Cs-137 nella carne bovina di un macello del Canavese - Anni 2006-2007



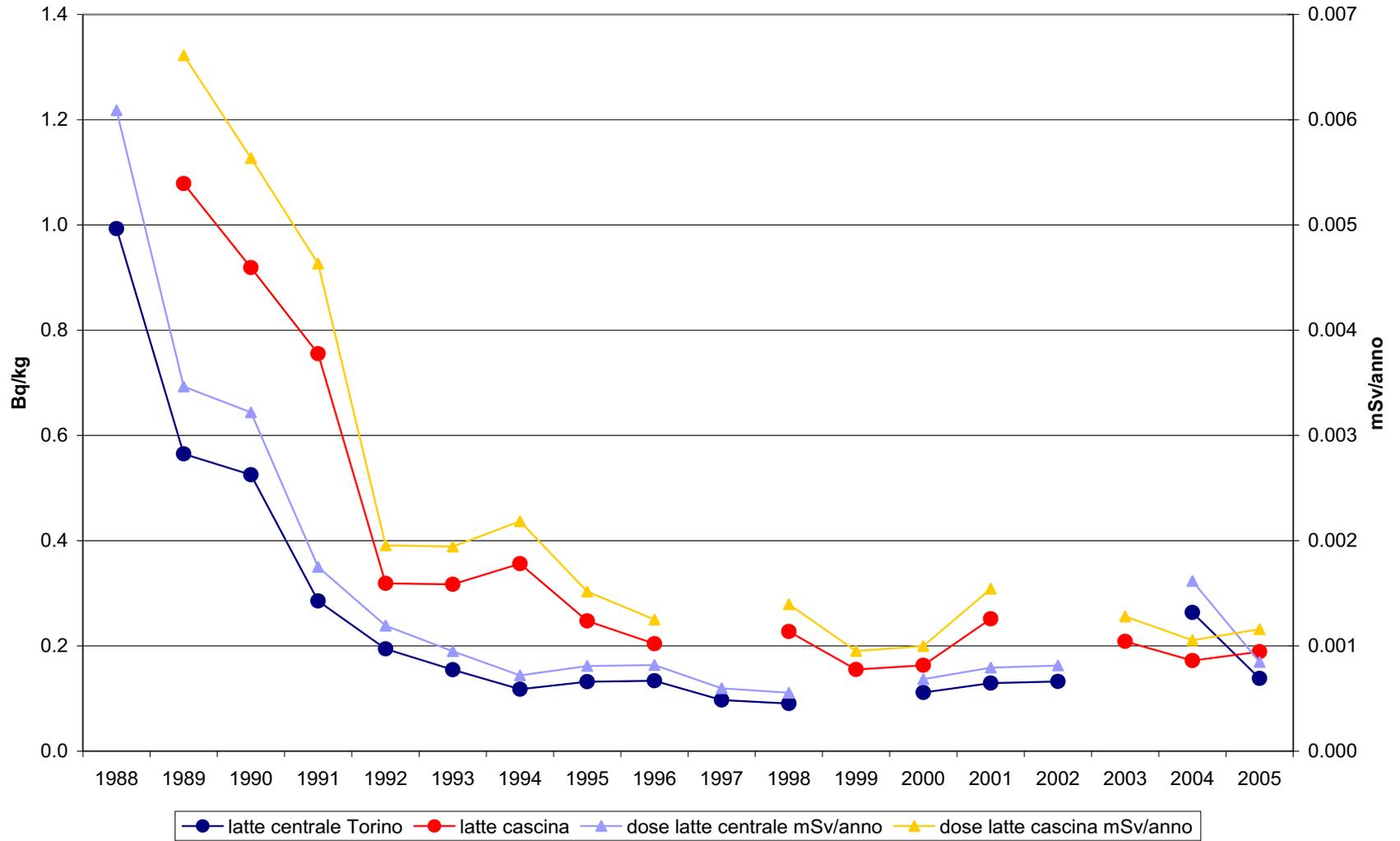
# Altri alimenti

- Tracce, più o meno consistenti di  $^{137}\text{Cs}$  si trovano anche in altre matrici alimentari, di più limitato consumo

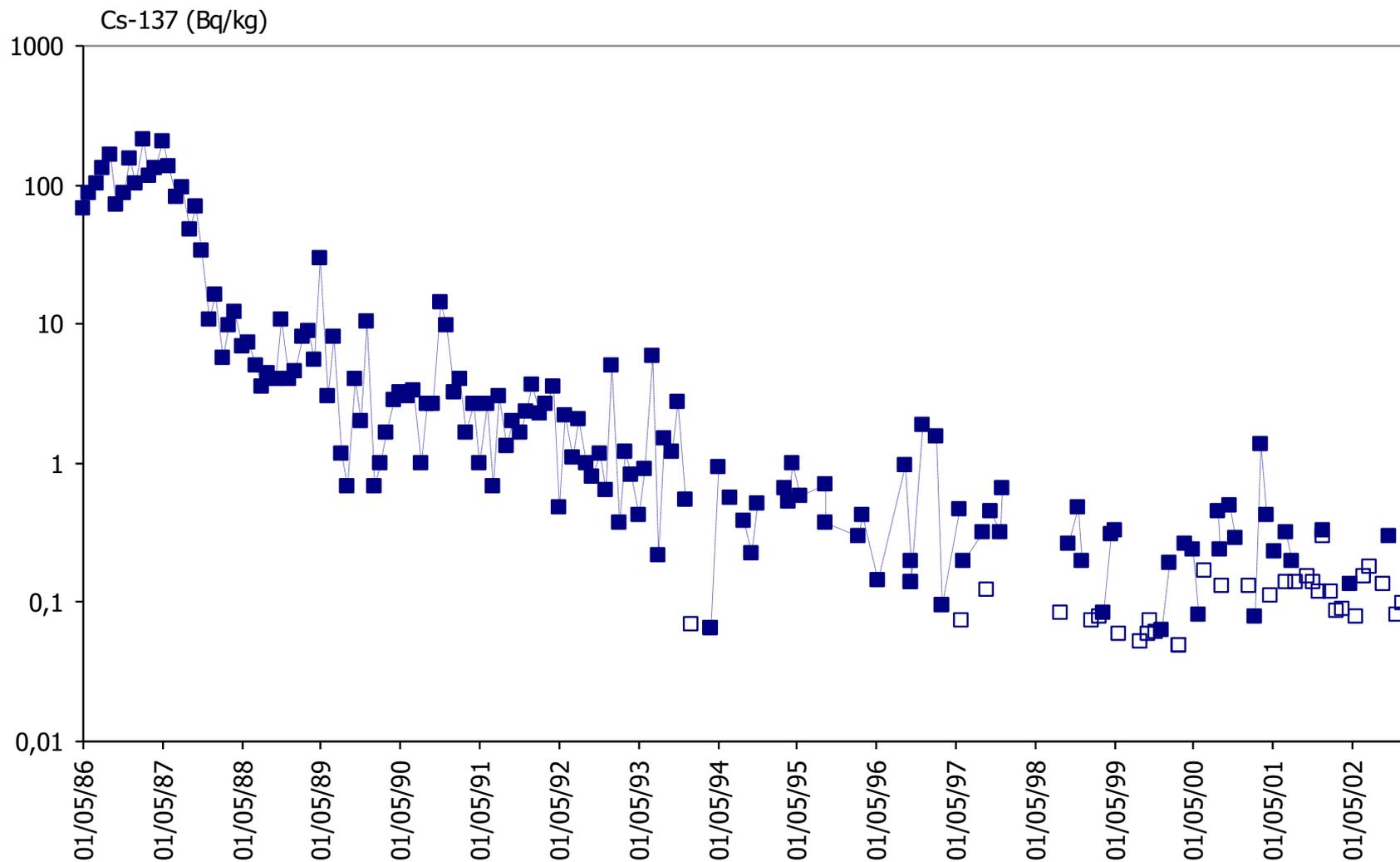
Concentrazione di Cs-137 nei funghi porcini (*Boletus Edulis*) e nel miele (castagno, millefiori e montagna) analizzati negli anni 2006-2007-2008-2009



# Il Cs-137 nel latte in Piemonte

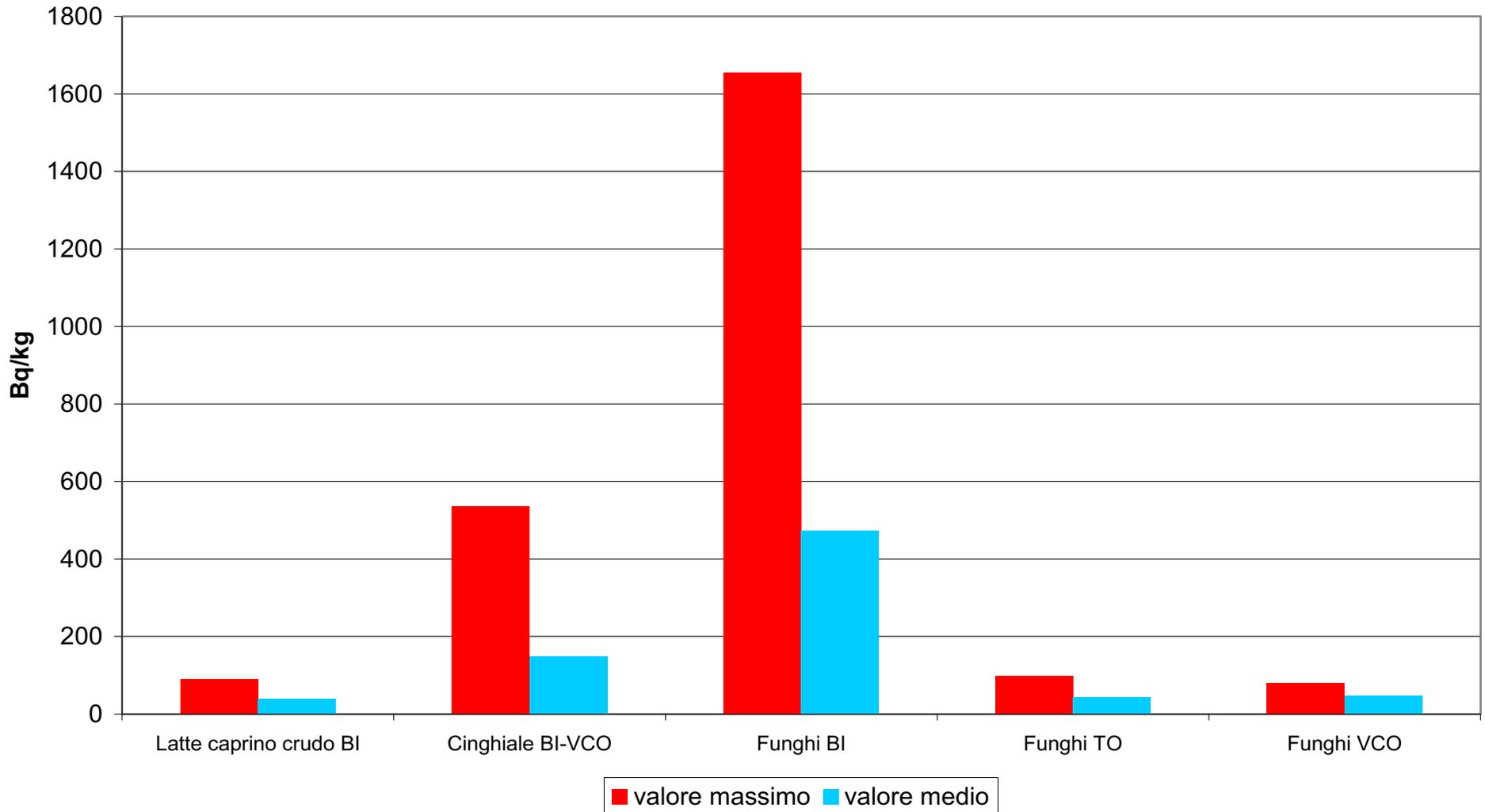


## Il Cs-137 nella carne bovina in Lombardia



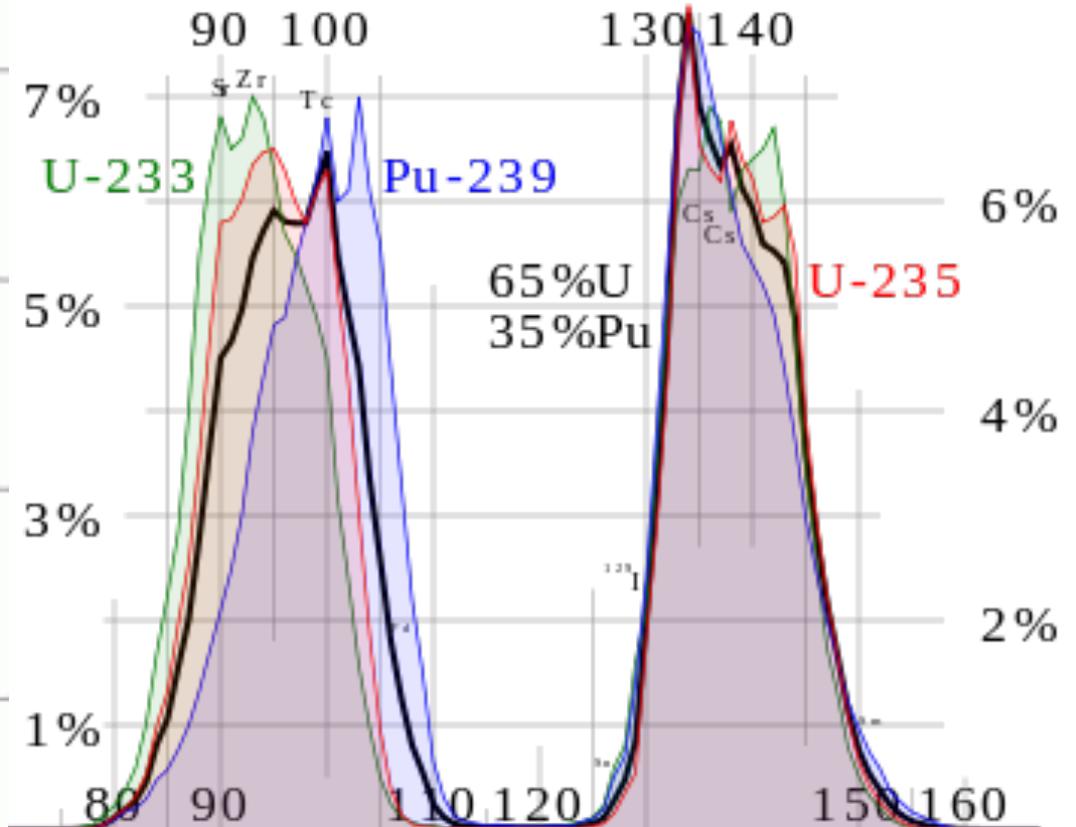
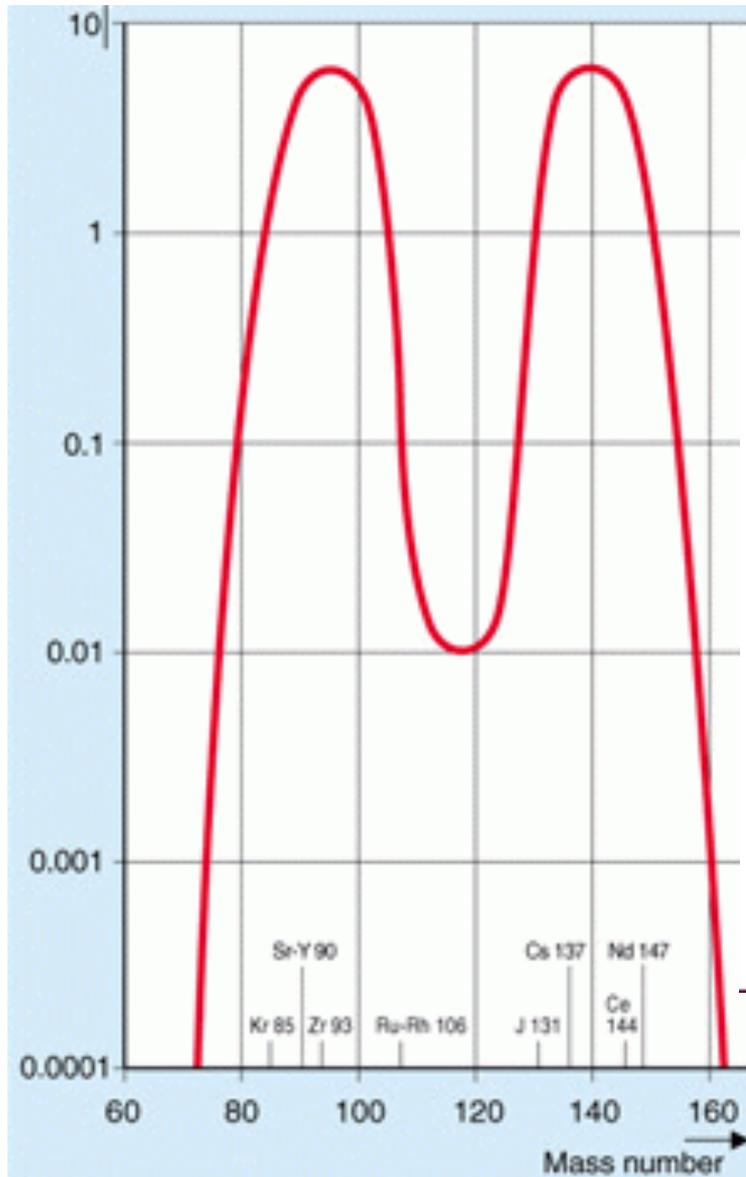
# Studi radioecologici

Concentrazione di Cs-137 in alcune matrici significative - Anni 2006-2007-2008-2009



**RADIOATTIVITA' E  
RADIOECOLOGIA: L'ESEMPIO  
DEL  $^{137}\text{Cs}$  IN AMBIENTE**

# Fonti del $^{137}\text{Cs}$ in ambiente



- Il rapporto tra  $^{137}\text{Cs}$  “pre-Chernobyl” e  $^{137}\text{Cs}$  “di Chernobyl” in Italia (e in Europa) varia da zona a zona
- Nel Nord Italia, dove la deposizione dovuta a Chernobyl è stata significativamente maggiore che al Centro e al Sud, il  $^{137}\text{Cs}$  “di Chernobyl” rappresenta il 90% o più del totale
- Per quanto riguarda il Piemonte, ad esempio, a fronte di un valore medio di deposizione di circa 20000-25000 Bq/m<sup>2</sup>, il  $^{137}\text{Cs}$  “pre-Chernobyl” è dell'ordine del migliaio di Bq/m<sup>2</sup>: tuttavia, grande disomogeneità sul territorio regionale...

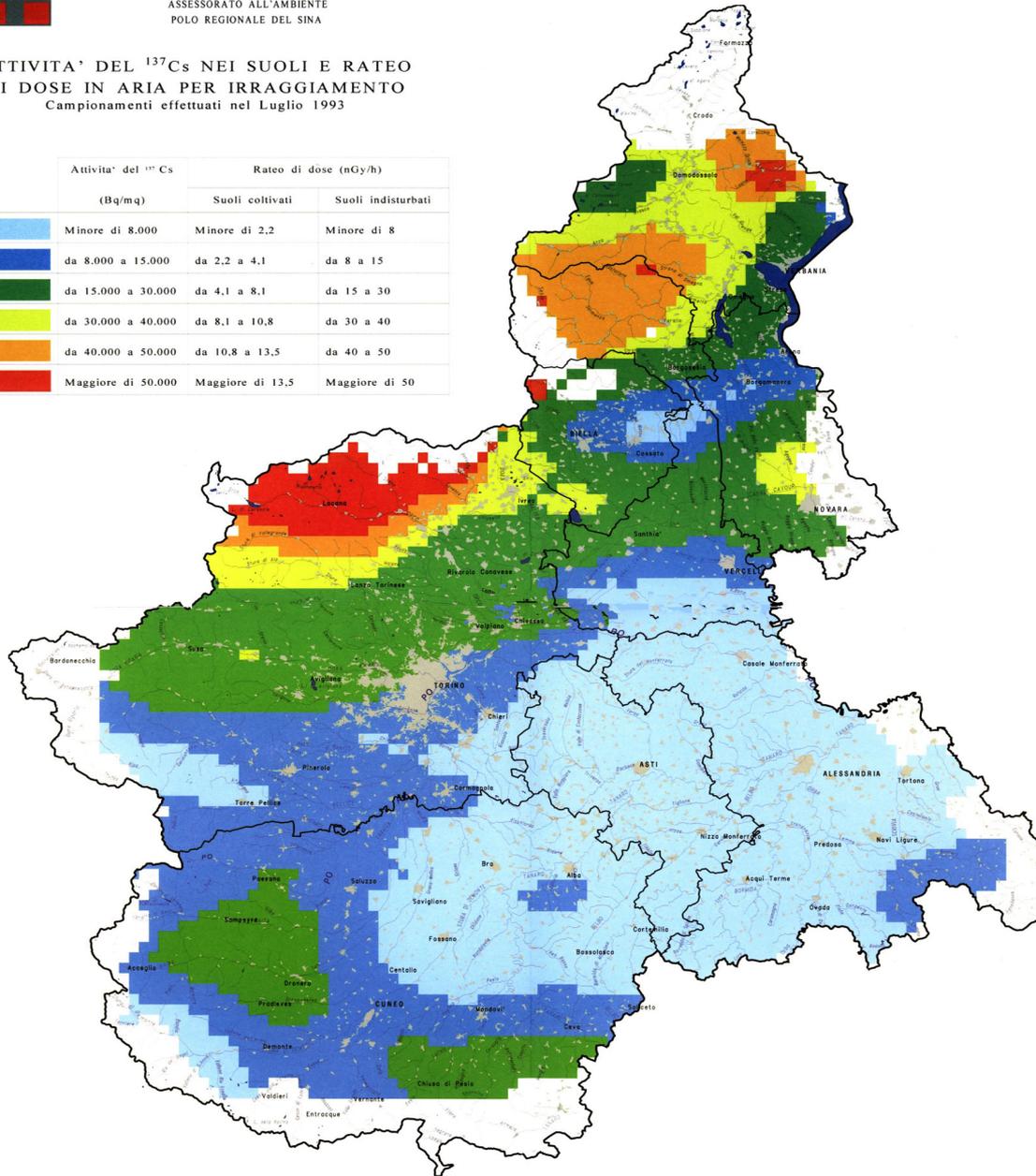


# REGIONE PIEMONTE

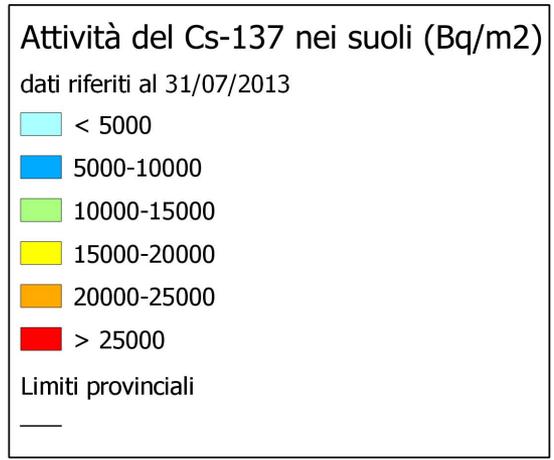
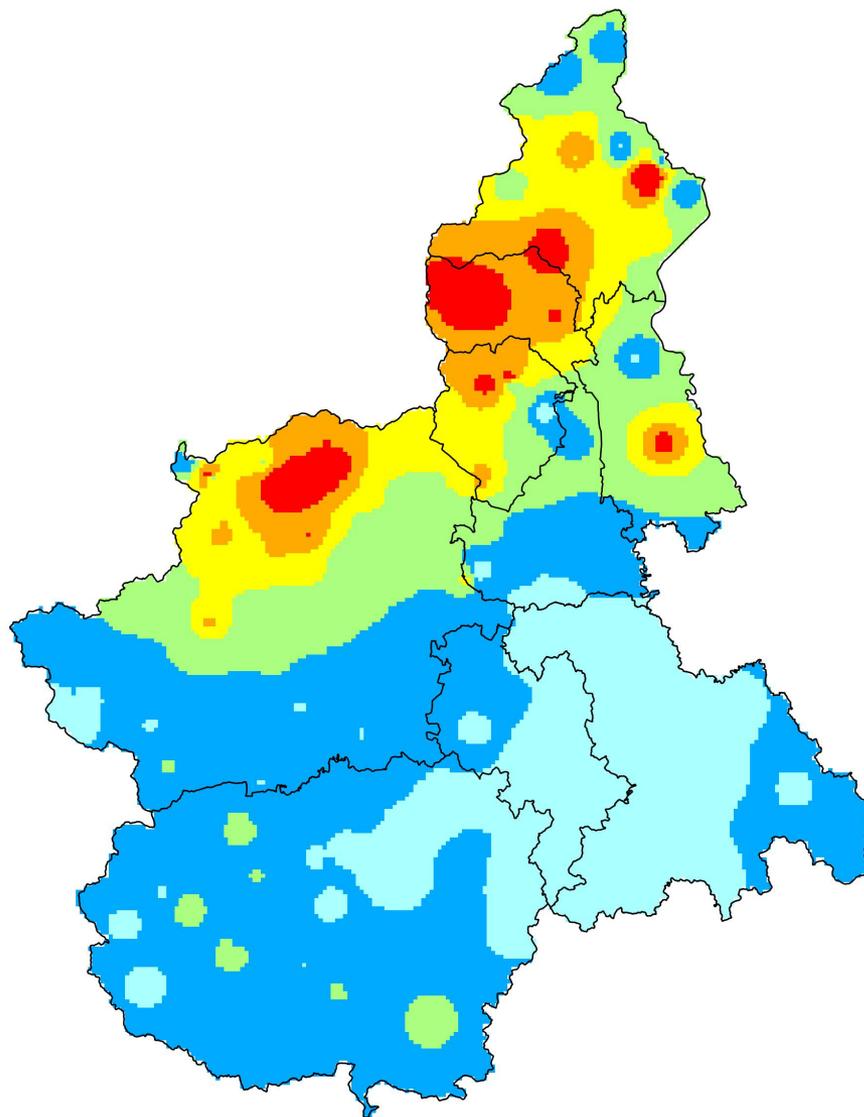
ASSESSORATO ALL'AMBIENTE  
POLO REGIONALE DEL SINA

## ATTIVITA' DEL <sup>137</sup>Cs NEI SUOLI E RATEO DI DOSE IN ARIA PER IRRAGGIAMENTO Campionamenti effettuati nel Luglio 1993

Attività del <sup>137</sup> Cs (Bq/mq)	Rateo di dose (nGy/h)	
	Suoli coltivati	Suoli indisturbati
Minore di 8.000	Minore di 2,2	Minore di 8
da 8.000 a 15.000	da 2,2 a 4,1	da 8 a 15
da 15.000 a 30.000	da 4,1 a 8,1	da 15 a 30
da 30.000 a 40.000	da 8,1 a 10,8	da 30 a 40
da 40.000 a 50.000	da 10,8 a 13,5	da 40 a 50
Maggiore di 50.000	Maggiore di 13,5	Maggiore di 50



# 1993



2013

# Modelli radioecologici

- In radioecologia è una pratica corrente suddividere il sistema in “comparti ambientali” o “compartimenti ambientali”, nei quali si accumula la radioattività e descrivere poi i processi di scambio tra i comparti stessi: la radioattività nei suddetti comparti è assunta uniforme: è una schematizzazione piuttosto drastica ma efficace
- Verrà qui preso come riferimento un ambiente “semi-naturale” di tipo forestale che, per la ricchezza dei suoi componenti ecologici, è senz’altro di maggiore complessità rispetto a un ambiente agricolo

- Dal momento che in ciascun compartimento si è assunto che la radioattività sia distribuita in modo uniforme, il valore previsto dal modello dovrà essere confrontato con il valore medio sperimentale riferito a quel compartimento
- Per un tale sistema, una completa descrizione può essere ottenuta, tramite una “matrice di interazione”, che rappresenta in modo sintetico i comparti ambientali e il loro insieme di relazioni (BIOMASS programme, IAEA 2002)

atmosfera	deposizione	deposizione			deposizione			deposizione	deposizione	deposizione inalazione
traspirazione	Foglie alberi	perdita da agenti atmosferica	traslocazione	traslocazione	caduta foglie, perdita agenti atmosferici			perdita da agenti atmosferici	perdita da agenti atmosferici	ingestione
		corceccia esterna	traslocazione		perdita da agenti atmosferici			perdita da agenti atmosferici	perdita da agenti atmosferici	ingestione
	traslocazione	traslocazione	legno vivo	traslocazione		fertilizzazione	fertilizzazione	trasferimento micorrizico		ingestione
			traslocazione	legno morto						
risospensione		pioggia intensa	captazione radicale		lettiera	decomposizione percolazione		captazione	pioggia intensa, captazione radicale	ingestione
			captazione radicale			suolo organico		captazione	captazione radicale	
			captazione radicale				suolo minerale	captazione	captazione radicale	
			captazione radicale micorrizica		fertilizzazione	fertilizzazione	fertilizzazione	funghi	captazione radicale micorrizica	ingestione
traspirazione					caduta foglie, perdita da agenti atmosferici	fertilizzazione	fertilizzazione	trasferimento micorrizico	vegetali sottobosco	ingestione

- Una traduzione dal punto di vista matematico di questo modello concettuale prevede la connessione tra loro dei vari compartimenti
- In linea di principio quindi ciascun compartimento potrà essere connesso con tutti gli altri : per un sistema ad  $N$  compartimenti avremmo dunque un totale di  $N \cdot (N-1)$  termini di interazione che potranno essere modellizzati da altrettanti coefficienti di trasferimento
- Ciascun compartimento avrà quindi, in linea di principio  $(N-1)$  coefficienti “in uscita” e altrettanti “in entrata”: la precedente tabella, con 11 compartimenti, potrà dunque essere riscritta così, con ben 110 diversi termini di interazione, espressi tramite altrettanti coefficienti!!

1 atmosfera	K <sub>1,2</sub>	K <sub>1,3</sub>	K <sub>1,4</sub>	K <sub>1,5</sub>	K <sub>1,5</sub>	K <sub>1,7</sub>	K <sub>1,8</sub>	K <sub>1,9</sub>	K <sub>1,10</sub>	K <sub>1,11</sub>
K <sub>2,1</sub>	2 Foglie alberi	K <sub>2,3</sub>	K <sub>2,4</sub>	K <sub>2,5</sub>	K <sub>2,6</sub>	K <sub>2,7</sub>	K <sub>2,8</sub>	K <sub>2,9</sub>	K <sub>2,10</sub>	K <sub>2,11</sub>
K <sub>3,1</sub>	K <sub>3,2</sub>	3 corteccia esterna	K <sub>3,4</sub>	K <sub>3,5</sub>	K <sub>3,6</sub>	K <sub>3,7</sub>	K <sub>3,8</sub>	K <sub>3,9</sub>	K <sub>3,10</sub>	K <sub>3,11</sub>
K <sub>4,1</sub>	K <sub>4,2</sub>	K <sub>4,3</sub>	4 legno vivo	K <sub>4,5</sub>	K <sub>4,6</sub>	K <sub>4,7</sub>	K <sub>4,8</sub>	K <sub>4,9</sub>	K <sub>4,10</sub>	K <sub>4,11</sub>
K <sub>5,1</sub>	K <sub>5,2</sub>	K <sub>5,3</sub>	K <sub>5,4</sub>	5 legno morto	K <sub>5,6</sub>	K <sub>5,7</sub>	K <sub>5,8</sub>	K <sub>5,9</sub>	K <sub>5,10</sub>	K <sub>5,11</sub>
K <sub>6,1</sub>	K <sub>6,2</sub>	K <sub>6,3</sub>	K <sub>6,4</sub>	K <sub>6,5</sub>	6 lettiera	K <sub>6,7</sub>	K <sub>6,8</sub>	K <sub>6,9</sub>	K <sub>6,10</sub>	K <sub>6,11</sub>
K <sub>7,1</sub>	K <sub>7,2</sub>	K <sub>7,3</sub>	K <sub>7,4</sub>	K <sub>7,5</sub>	K <sub>7,6</sub>	7 Suolo organico	K <sub>7,8</sub>	K <sub>7,9</sub>	K <sub>7,10</sub>	K <sub>7,11</sub>
K <sub>8,1</sub>	K <sub>8,2</sub>	K <sub>8,3</sub>	K <sub>8,4</sub>	K <sub>8,5</sub>	K <sub>8,6</sub>	K <sub>8,7</sub>	8 suolo minerale	K <sub>8,9</sub>	K <sub>8,10</sub>	K <sub>8,11</sub>
K <sub>9,1</sub>	K <sub>9,2</sub>	K <sub>9,3</sub>	K <sub>9,4</sub>	K <sub>9,5</sub>	K <sub>9,6</sub>	K <sub>9,7</sub>	K <sub>9,8</sub>	9 funghi	K <sub>9,10</sub>	K <sub>9,11</sub>
K <sub>10,1</sub>	K <sub>10,2</sub>	K <sub>10,3</sub>	K <sub>10,4</sub>	K <sub>10,5</sub>	K <sub>10,6</sub>	K <sub>10,7</sub>	K <sub>10,8</sub>	K <sub>10,9</sub>	10 vegetali ipogei	K <sub>10,11</sub>

1 atmosfera	K <sub>1,2</sub>	K <sub>1,3</sub>			K <sub>1,5</sub>			K <sub>1,9</sub>	K <sub>1,10</sub>	K <sub>1,11</sub>
K <sub>2,1</sub>	2 Foglie alberi	K <sub>2,3</sub>	K <sub>2,4</sub>	K <sub>2,5</sub>	K <sub>2,6</sub>			K <sub>2,9</sub>	K <sub>2,10</sub>	K <sub>2,11</sub>
		3 corteccia esterna	K <sub>3,4</sub>		K <sub>3,6</sub>			K <sub>3,9</sub>	K <sub>3,10</sub>	K <sub>3,11</sub>
	K <sub>4,2</sub>	K <sub>4,3</sub>	4 legno vivo	K <sub>4,5</sub>		K <sub>4,7</sub>	K <sub>4,8</sub>	K <sub>4,9</sub>		K <sub>4,11</sub>
			K <sub>5,4</sub>	5 legno morto						
K <sub>6,1</sub>		K <sub>6,3</sub>	K <sub>6,4</sub>		6 lettiera	K <sub>6,7</sub>		K <sub>6,9</sub>	K <sub>6,10</sub>	K <sub>6,11</sub>
			K <sub>7,4</sub>			7 Suolo organico		K <sub>7,9</sub>	K <sub>7,10</sub>	
			K <sub>8,4</sub>				8 suolo minerale	K <sub>8,9</sub>	K <sub>8,10</sub>	
			K <sub>9,4</sub>		K <sub>9,6</sub>	K <sub>9,7</sub>	K <sub>9,8</sub>	9 funghi	K <sub>9,10</sub>	K <sub>9,11</sub>
K <sub>10,1</sub>					K <sub>10,6</sub>	K <sub>10,7</sub>	K <sub>10,8</sub>	K <sub>10,9</sub>	10 vegetali ipogei	K <sub>10,11</sub>

- Considerando che, nella descrizione che abbiamo preso ad esempio, non tutte le caselle delle matrici sono riempite, con ciò significando che non tutti i compartimenti sono connessi con tutti gli altri, la situazione si semplifica un po' e i termini di interazione da considerare si riducono a “soli” 53
- Resta comunque una estrema complessità che è molto difficile tradurre in un modello realistico: la conoscenza precisa di ben 53 termini di interazione presuppone infatti la disponibilità di una grandissima quantità di dati sperimentali che, di fatto, non sono accessibili
- Occorreranno quindi, come vedremo, ulteriori semplificazioni

- Quello che finora abbiamo visto si limita a un livello puramente descrittivo, qualitativo
- Un modello “funzionante” necessita però di una struttura matematica: ve ne sono ovviamente una grandissima varietà
- Possiamo però distinguere due grandi categorie:
  - a) I modelli statici
  - b) I modelli dinamici

## a) I modelli statici

- In radioecologia si può parlare di modelli statici ogniqualvolta i rapporti che ci sono tra i vari compartimenti in cui è suddiviso il sistema che deve essere descritto si trovano in una **condizione di equilibrio: le concentrazioni di attività all'interno dei compartimenti non variano cioè nel tempo** a meno del decadimento radioattivo
- L'impiego dei Fattori di Trasferimento (o Fattori di Concentrazione), cioè di fattori che mettono in relazione la concentrazioni di un comparto con un altro è il più semplice esempio di modello statico: ad esempio, dalla concentrazione nel suolo  $C_{suolo}$  (Bq/kg) si calcola la concentrazione in un prodotto agricolo o un foraggio:

$$C_{foraggio} = C_{suolo} \cdot FT_{foraggio}$$

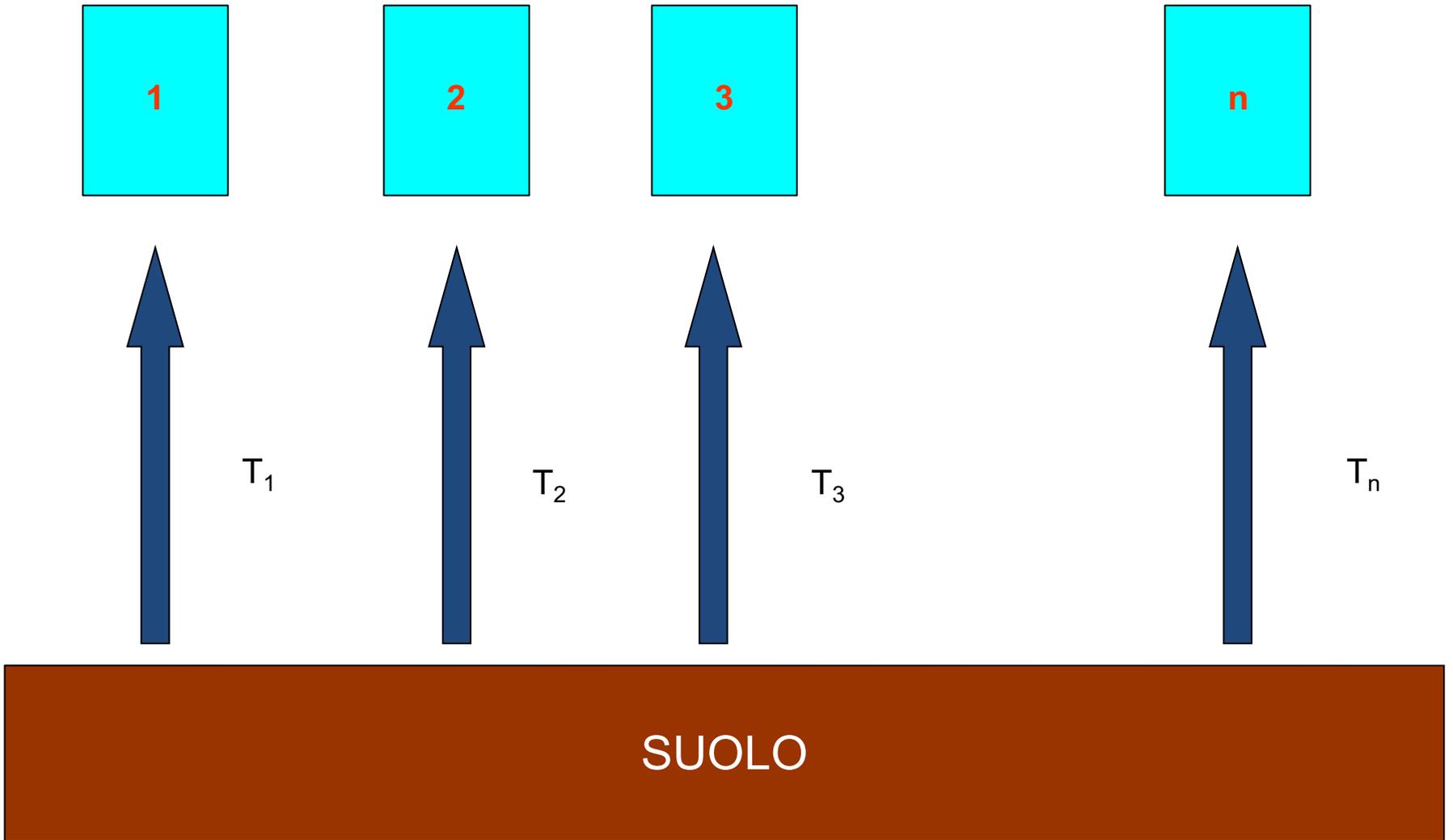
- Oltre al limite intrinseco di non descrivere processi che variano nel tempo, uno dei limiti dei Fattori di Trasferimento è che sono molto “sito specifici” e quindi il loro “valore predittivo” è limitato: il valore dei fattori di trasferimento variano spesso infatti di un ordine di grandezza o anche di più al variare del contesto ambientale (ad es., tipo di suolo, ecc.)
- Un altro limite è quello di non fornire un quadro complessivo coerente della distribuzione del radionuclide nell’ecosistema

- Pur in un contesto di modello statico si può tuttavia fare un tentativo per dare una descrizione complessiva di un dato ecosistema basandosi su 2 concetti:
  - a) il “Fattore di Trasferimento Aggregato” (“*Aggregated Transfer Factor*”,  $T_{agg}$ ), che può essere definito per tutti componenti: funghi, vegetali erbacei ed alberi, ma anche animali e i loro prodotti

$$T_{agg} = \frac{Bq / kg \text{ in prodotti del bosco}}{Bq / m^2 \text{ nel suolo}}$$

- b) il bilancio di massa e quindi dell’attività complessiva (inventario) contenuta nell’intero sistema

# Modello RIFEQ



- Il bilancio dell'attività presente nel sistema si può scrivere nel modo seguente:

$$Q_{TOT} = Q_{SUOLO} + C_1 \cdot M_1 + C_2 \cdot M_2 + C_3 \cdot M_3 + \dots + C_n \cdot M_n$$

dove  $Q_{TOT}$  indica l'inventario della radioattività (Bq/m<sup>2</sup>) presente complessivamente nel sistema e nel comparto suolo,  $C_j$  la concentrazione di attività (Bq/kg) nel  $j$ -esimo comparto mentre  $M_j$  è la densità di massa del medesimo comparto (kg/m<sup>2</sup>)

- Siccome  $C_j$ , sulla base del concetto di  $T_{agg}$ , si può esprimere come  $C_j = T_j \cdot Q_{suolo}$ , allora, sostituendo questa espressione nella precedente equazione e tenendo conto del decadimento radioattivo, si ottiene:

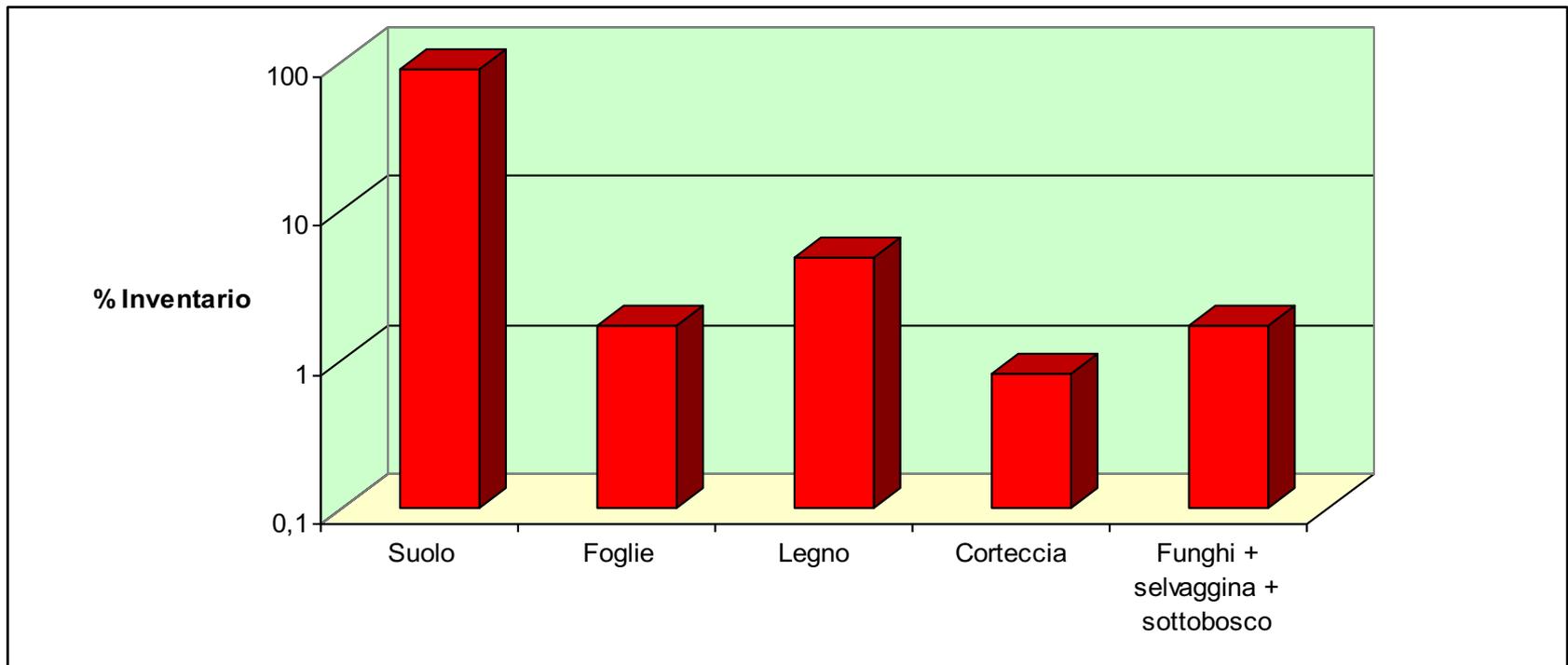
$$Q_{SUOLO} = \frac{Q_{TOT}}{1 + T_1 \cdot M_1 + T_2 \cdot M_2 + T_3 \cdot M_3 + \dots + T_n \cdot M_n} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

...che è l'equazione generale che esprime la distribuzione dell'attività nei vari compartimenti, ad ogni tempo

- Da questa espressione si vede come, conoscendo i parametri  $T_{agg}$  per tutti i compartimenti e le “dimensioni” degli stessi ( $M_j$ ), sia in linea di principio possibile conoscere la distribuzione della radioattività in tutti i compartimenti a partire da una sola misura sperimentale ( $Q_{SUOLO}$ ): troppo bello per essere vero....

- ...e infatti, non è proprio vero !!
- Anche se, con questo tipo di modelli, si riescono comunque ad ottenere interessanti informazioni sulla distribuzione media della radioattività nei vari compartimenti
- L'applicazione di questo modello (inserendo come input una distribuzione dei vari  $T_{agg}$  sperimentalmente ricavati) a 13 diversi ecosistemi forestali europei (progetto SEMINAT, 2000) ha mostrato infatti che la somma dei compartimenti funghi+selvaggina+vegetazione del sottobosco raggiunge al massimo il 5% dell'inventario

- In questo diagramma è rappresentata la distribuzione media dell'inventario nei principali compartimenti in una tipica foresta alpina:



- Lo scarso contributo dei compartimenti che più interessano la catena alimentare è dovuto alla loro bassa densità di biomassa ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
- Ciò però non significa che le concentrazioni  $C_j$  ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) per quei compartimenti non possano essere anche molto elevate, anzi
- Ricordando infatti che  $Q_j = C_j \cdot M_j$  è il generico inventario per il  $j$ -esimo compartimento, si comprende facilmente come una piccola diminuzione di qualche punto o anche frazione di punto % di  $Q_{suolo}$  a favore di  $Q_j$  possa nei fatti tradursi in un notevole incremento nelle  $C_j$  osservate (perché, appunto  $M_j$  è basso)

- Esempio: area a medio-alta contaminazione del Piemonte
- $Q_{SUOLO}$ : 25000 Bq/m<sup>2</sup>
- $Q_{Alberi\ ad\ alto\ fusto}$ : 2050 Bq/m<sup>2</sup>
- $Q_{funghi\ e\ sottobosco}$ : 440 Bq/m<sup>2</sup>
- $Q_{cinghiali}$ : 30 Bq/m<sup>2</sup>
- $M_{cinghiali} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2$  (10 cinghiali/km<sup>2</sup> \* 150 kg)  $\rightarrow C_{cinghiali} = 200 \text{ Bq/kg}$
- Si vede subito che basta un trasferimento del 6,8% da  $Q_{funghi\ e\ sottobosco}$  per determinare un raddoppio di  $C_{cinghiali}$  e un trasferimento da  $Q_{SUOLO}$  dell'1,1 % per raggiungere i 2000 Bq/kg

- Queste semplicissime considerazioni, basate sull'applicazione di un modello elementare, basterebbero per non farsi stupire troppo da alcuni dati sperimentali “strani”
- Nonostante i risultati interessanti, dal punto di vista scientifico questo approccio ha degli evidenti limiti: la sua staticità non consente di fornire delle previsioni per l'evoluzione futura, ma solo di fare delle considerazioni euristiche
- Per ovviare a questo inconveniente bisogna passare a modelli concettualmente più complessi che tengano conto esplicitamente delle variazioni nel tempo delle concentrazioni

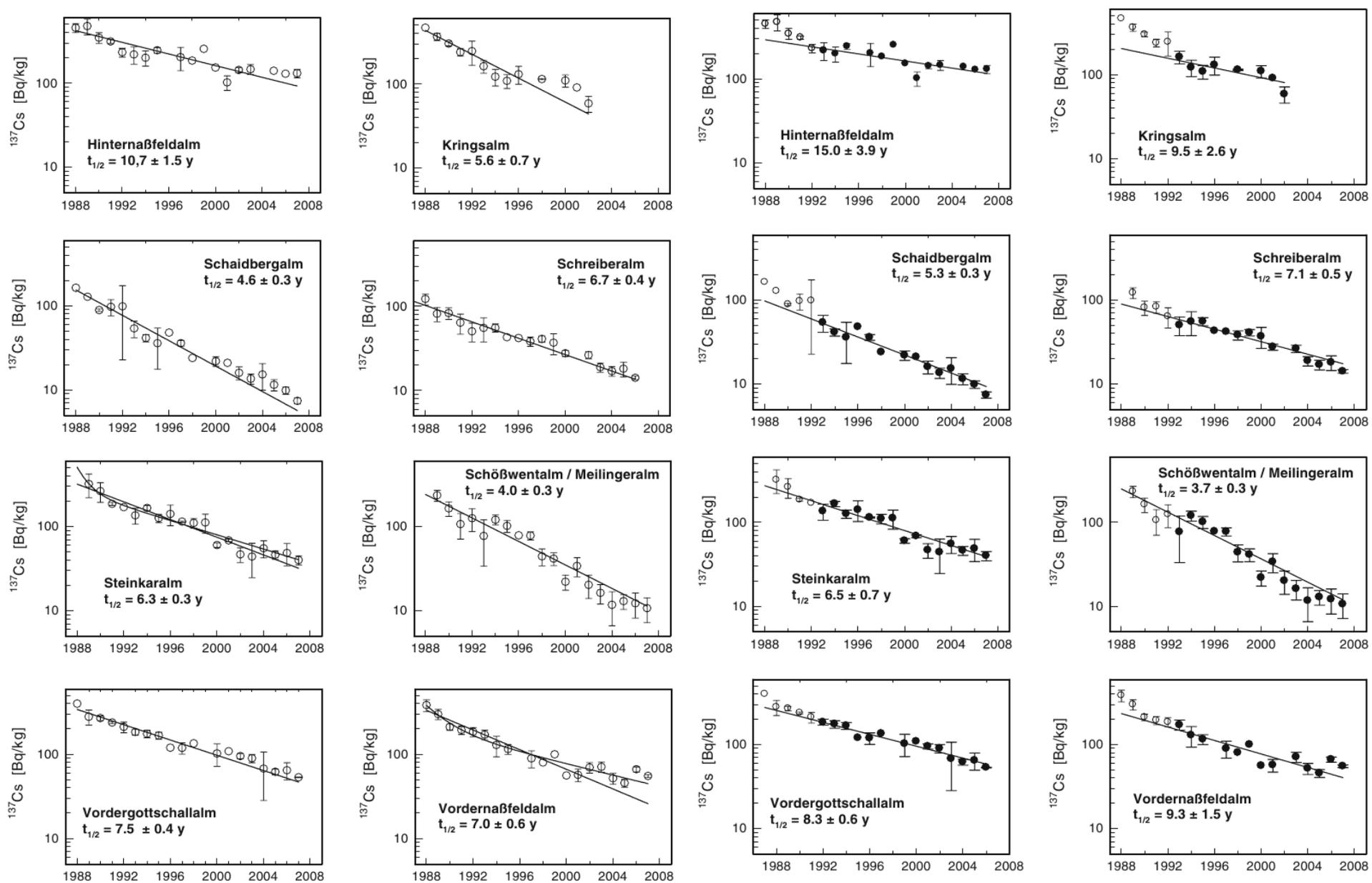
## b) I modelli dinamici

- Consideriamo sotto questa voce tutti quei i modelli, descrittivi o teorici, che prevedono al loro interno, oltre al decadimento radioattivo, un altro meccanismo che tende a far diminuire o incrementare i livelli di concentrazione di una data matrice
- Un modello, puramente descrittivo, ma molto efficace per interpretare i dati sperimentali di una determinata matrice in un ambiente contaminato da un evento singolo (Chernobyl), è quello basato sul concetto di emivita ecologica o ambientale, analogo alla più nota emivita biologica (Lettner, 2008, *Radiat and Environ Biophys*).
- L'emivita efficace per una matrice ambientale è data da:

$$t_{1/2\text{eff}} = \frac{t_{1/2\text{fis}} \cdot t_{1/2\text{eco}}}{t_{1/2\text{fis}} + t_{1/2\text{eco}}}$$

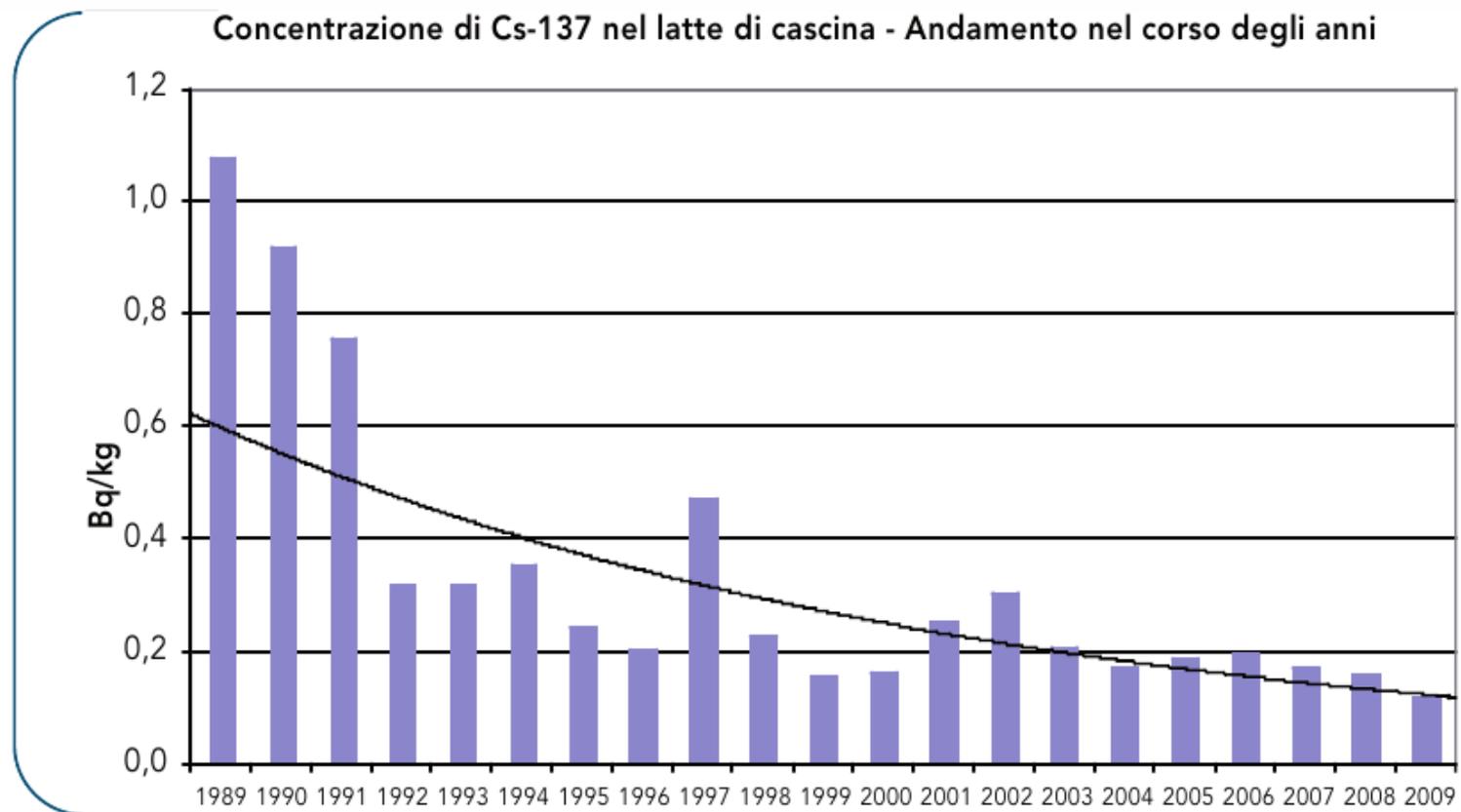
- Secondo questo approccio si ammette semplicemente che la radioattività diminuirà nel tempo con un decadimento esponenziale, la cui costante di decadimento è la somma di quella fisica e di quella ecologica:  $\lambda_{\text{eff}} = \lambda_{\text{fis}} + \lambda_{\text{eco}}$

- Questo semplice approccio è spesso sufficiente per descrivere abbastanza accuratamente l'andamento delle concentrazioni nel tempo di un singolo compartimento considerato a sé stante
- Abbiamo però delle evidenti limitazioni:
  - - variabilità ampia da sito a sito, anche in contesti ambientali simili
  - - dipendenza dall'intervallo di tempo considerato
  - - incapacità di spiegare fenomeni di accumulo e variazione nel tempo che sono stati invece osservati
  -

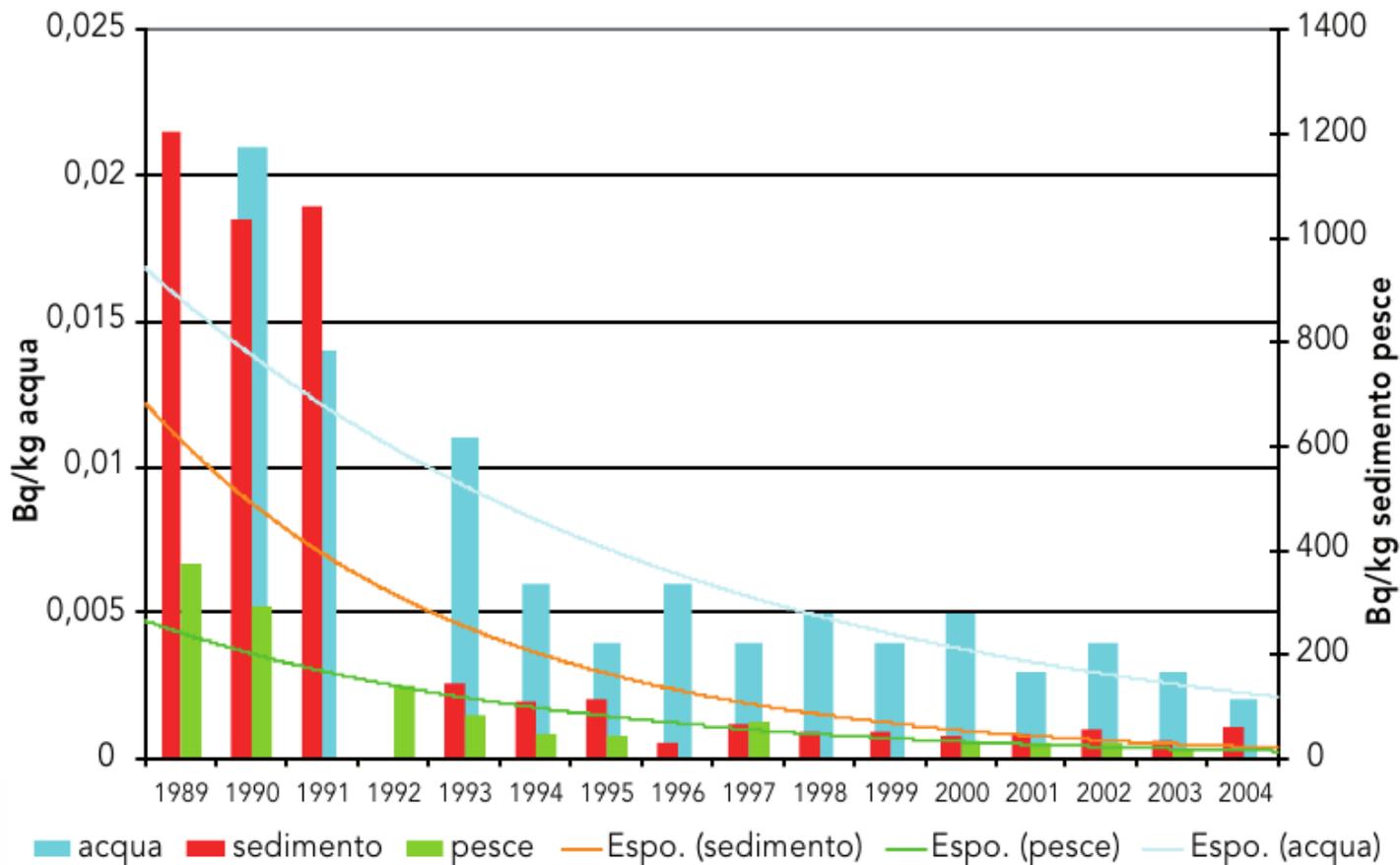


- Andamento del latte da alpeggio nelle Alpi austriache: si nota che il valore del  $t_{1/2\text{eff}}$  varia al variare dell'intervallo considerato
- L'interpolazione con 2 esponenziali, d'altra parte, non migliora significativamente la bontà del fit

- Risultati analoghi sono stati ottenuti anche da noi:
- *La radioattività ambientale in Piemonte – Rapporto anni 2006 – 2009*
  - *Arpa Piemonte – Regione Piemonte (2010)*



Concentrazione di Cs-137 nel Lago di Viverone (BI) - Andamento nel corso degli anni



Matrice	tempo dimezz. fisico (anni)	tempo dimezz. effettivo (anni)	tempo dimezz. ambientale (anni)	correlazione (R <sup>2</sup> )
Fallout	30	6,72	8,66	0,92
DMOS Casale	30	7,54	10,07	0,73
DMOS S.Sebastiano	30	6,70	8,62	0,76
Acqua Viverone	30	4,44	5,21	0,91
Sedimento Viverone	30	3,14	3,50	0,83
Pesce Viverone	30	3,78	4,33	0,92
Latte di cascina	30	8,48	11,82	0,78

Valori simili nello stesso ecosistema, anche per matrici molto diverse

Valori simili a quelli trovati in Austria

# I modelli dinamici a compartimenti

- Se vogliamo però cercare di raggiungere una migliore comprensione delle relazioni esistenti tra le varie matrici, dobbiamo cercare di connettere tra loro i vari compartimenti: bisogna cioè introdurre i modelli dinamici a compartimenti, impiegati in moltissime applicazioni sia in ambito ambientale che sanitario.
- La traduzione matematica classica dei modelli a compartimenti prevede la soluzione di un sistema di equazioni differenziali del I ordine a coefficienti costanti
- Si assume cioè che il flusso, e quindi la variazione nel tempo (positiva o negativa) della concentrazione di un radionuclide in un dato compartimento, sia proporzionale alla concentrazione presente in uno o più altri compartimenti
- Possiamo allora dare un significato fisico preciso ai termini presenti nella “matrice di interazione”: quello di probabilità nell’unità di tempo che un certo atomo presente in un compartimento traslochi in un altro

1 atmosfera	K <sub>1,2</sub>	K <sub>1,3</sub>			K <sub>1,6</sub>			K <sub>1,9</sub>	K <sub>1,10</sub>	K <sub>1,11</sub>
K <sub>2,1</sub>	2 Foglie alberi	K <sub>2,3</sub>	K <sub>2,4</sub>	K <sub>2,5</sub>	K <sub>2,6</sub>			K <sub>2,9</sub>	K <sub>2,10</sub>	K <sub>2,11</sub>
		3 corteccia esterna	K <sub>3,4</sub>		K <sub>3,6</sub>			K <sub>3,9</sub>	K <sub>3,10</sub>	K <sub>3,11</sub>
	K <sub>4,2</sub>	K <sub>4,3</sub>	4 legno vivo	K <sub>4,5</sub>		K <sub>4,7</sub>	K <sub>4,8</sub>	K <sub>4,9</sub>		K <sub>4,11</sub>
			K <sub>5,4</sub>	5 legno morto						
K <sub>6,1</sub>		K <sub>6,3</sub>	K <sub>6,4</sub>		6 lettiera	K <sub>6,7</sub>		K <sub>6,9</sub>	K <sub>6,10</sub>	K <sub>6,11</sub>
			K <sub>7,4</sub>			7 Suolo organico		K <sub>7,9</sub>	K <sub>7,10</sub>	
			K <sub>8,4</sub>				8 suolo minerale	K <sub>8,9</sub>	K <sub>8,10</sub>	
			K <sub>9,4</sub>		K <sub>9,6</sub>	K <sub>9,7</sub>	K <sub>9,8</sub>	9 funghi	K <sub>9,10</sub>	K <sub>9,11</sub>
K <sub>10,1</sub>					K <sub>10,6</sub>	K <sub>10,7</sub>	K <sub>10,8</sub>	K <sub>10,9</sub>	10 vegetali sottobosco	K <sub>10,11</sub>

- Si può allora finalmente tradurre la matrice in un sistema di 11 equazioni differenziali del seguente tipo:

$$\frac{dC_1}{dt} = -(k_{1,2} + k_{1,3} + k_{1,6} + k_{1,9} + k_{1,10} + k_{1,11}) \cdot C_1 + k_{2,1} \cdot C_2 + k_{6,1} \cdot C_6 + k_{10,1} \cdot C_{10}$$

• • •

• • •

$$\frac{dC_{11}}{dt} = k_{1,11} \cdot C_1 + k_{2,11} \cdot C_2 + k_{3,11} \cdot C_3 + k_{4,11} \cdot C_4 + k_{4,11} \cdot C_6 + k_{6,11} \cdot C_9 + k_{9,11} \cdot C_{10} - k_{11,6} \cdot C_6$$

- Sistemi di questo tipo si risolvono analiticamente (o per via numerica) ma.....
  - a) E' necessario conoscere le condizioni iniziali per tutti i compartimenti:  $C_j(t=0) = C_j^0$  con  $j = 1,..11$
  - b) E' necessario conoscere tutte le costanti  $k_{i,j}$  che, nel nostro esempio sono ben 53
- Tutte queste informazioni devono essere dedotte da misure sperimentali: è quindi evidente che, in pratica, è molto difficile avere a disposizione tutto ciò
- Infatti i modelli effettivamente esistenti operano delle ulteriori semplificazioni, accorpendo e/o trascurando alcuni compartimenti e/o le costanti di trasferimento
- Nei casi più favorevoli si arriva a rappresentare il 90% dei compartimenti (FORESTLAND, FOA) e circa il 40-50% delle costanti di trasferimento (FOA, FORWASTE)

- Nonostante queste limitazioni e semplificazioni, i modelli dinamici sono molto utili e consentono di prevedere, sia pure a grandi linee, fenomeni non lineari come l'accumulo di radioattività in alcuni compartimenti
- Anche per questi modelli si pone però il problema della loro difficile applicazione in contesti diversi da quelli in cui sono stati "calibrati": le costanti che descrivono le cinetiche (del I ordine) tra i vari compartimenti dipendono fortemente dalle situazioni "locali"
- Non sono quindi in grado di prevedere nel dettaglio l'andamento nel tempo delle concentrazioni in ogni singolo comparto ambientale

- Ciò è vero soprattutto per quei compartimenti caratterizzati da bassi valori e da variazioni consistenti della biomassa  $M_j$  (kg/m<sup>2</sup>): è il caso della selvaggina e dei funghi
- In questi casi l'ipotesi che la connessione tra i compartimenti ambientali sia descritta da coefficienti costanti nel tempo è evidentemente errata
- Per questo motivo, per investigare più in dettaglio le variazioni temporali di queste matrici bisogna abbandonare l'idea di avere una descrizione complessiva

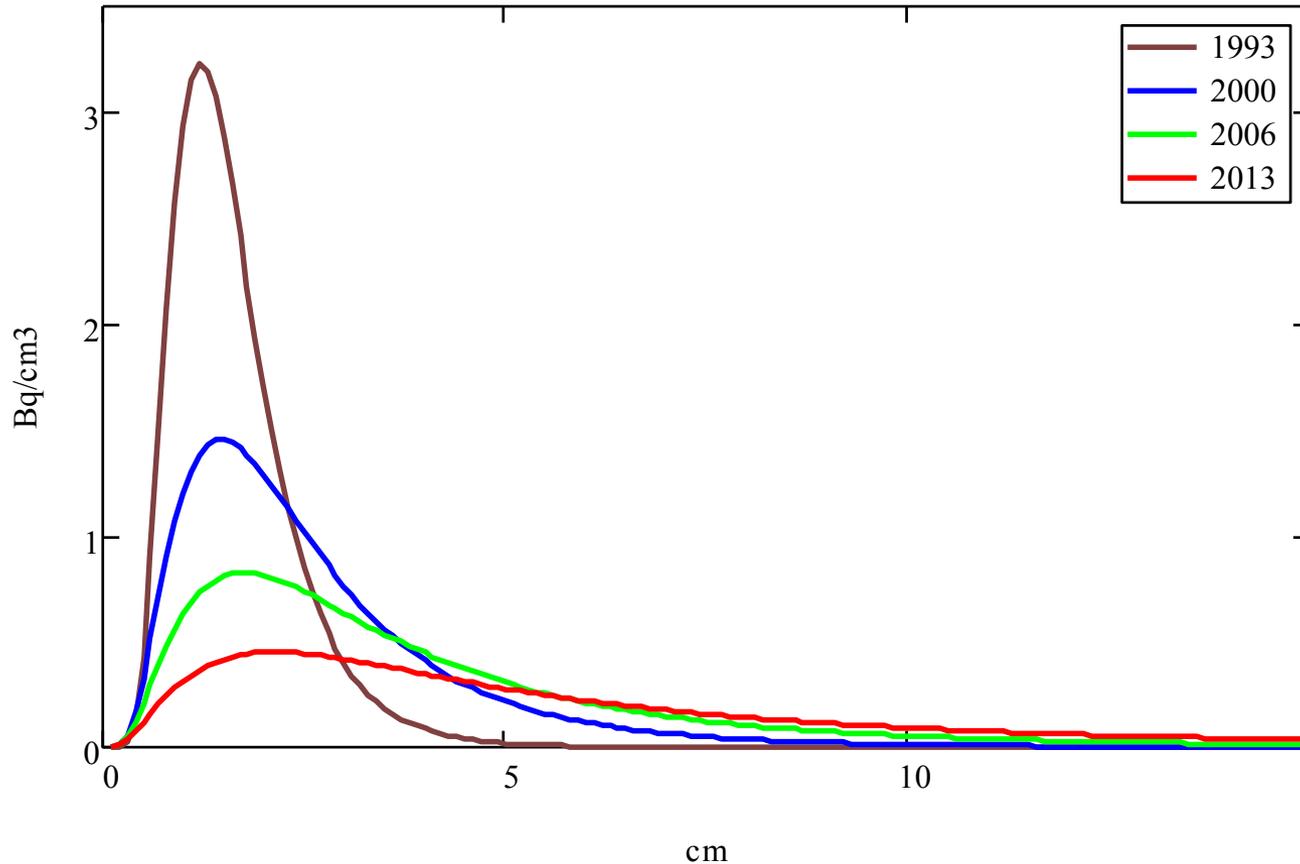
- Un altro motivo, più profondo, per cui i citati modelli complessivi, per quanto sofisticati, spesso falliscano nel prevedere singole situazioni *hot spot* che riguardano determinate matrici, risiede nell'assunzione di cinetiche del I ordine nei vari compartimenti: non sempre questa è infatti una buona approssimazione della realtà
- A esempio, nel suolo che, come abbiamo visto, è un compartimento chiave nel contesto radioecologico, la migrazione in profondità dei radionuclidi è un fenomeno non lineare, descritto dalla classica equazione di Convezione-Diffusione:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \cdot \frac{\partial C}{\partial z}$$

- O meglio ancora da una sua generalizzazione (Equazione di Fokker-Planck) che consente di tenere conto di processi stocastici:

$$\frac{\partial C(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 [(D(z,t) \cdot C(z,t))]}{\partial z^2} - \frac{\partial [v(z,t) \cdot C(z,t)]}{\partial z}$$

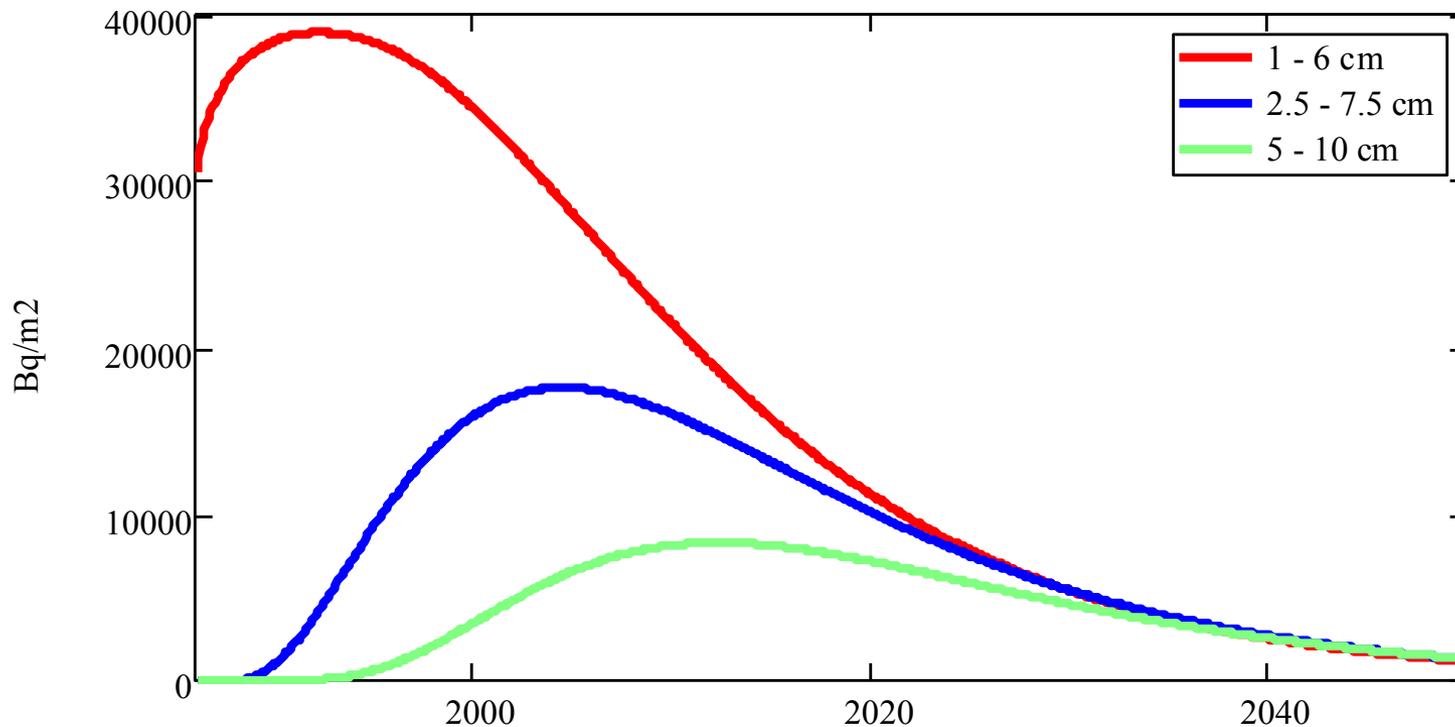
- La soluzione di queste equazioni ci restituisce un profilo di concentrazione rispettivamente gaussiano o log-normale che, lentamente, sprofonda nel suolo allargandosi



- Esempio di evoluzione del profilo del  $^{137}\text{Cs}$  in un suolo piemontese indisturbato: deposizione Chernobyl (1986)  $\approx 56000 \text{ Bq/m}^2$  ; inventario attuale (2013)  $\approx 30000 \text{ Bq/m}^2$  .

- Ciò ha un notevole impatto sulla biodisponibilità teorica del  $^{137}\text{Cs}$ : se consideriamo infatti che il micelio dei funghi e gli apparati radicali si trovano a una certa profondità, possiamo introdurre il concetto di **inventario disponibile** come la quantità di  $^{137}\text{Cs}$  che può essere effettivamente assorbito: per profondità  $> 5$  cm il massimo di biodisponibilità non sarebbe stato ancora raggiunto!!

Inventario disponibile



- Di fatto la biodisponibilità è un concetto molto più complesso: ad esempio è noto che, in presenza in argille, il  $^{137}\text{Cs}$  si lega ad esse in maniera pressoché irreversibile, diventando progressivamente sempre più indisponibile
- Tuttavia queste considerazioni possono spiegare alcuni dati sperimentali, apparentemente sorprendenti, che sono stati recentemente evidenziati: anche a distanza di anni, la concentrazione continua ad essere molto elevata in alcune matrici che hanno uno stretto legame con il suolo, più o meno profondo: i funghi, alcuni frutti di bosco, i cinghiali, ecc.
- D'altra parte, l'inserimento esplicito di queste dinamiche non lineari all'interno del sistema a matrice che abbiamo visto complicherebbe eccessivamente la trattazione matematica senza avere la garanzia di ottenere migliori risultati

# I cinghiali radioattivi della Valsesia

- Campioni di muscolo (lingua e diaframma, analizzati dagli IZZSS) con concentrazioni fino a oltre 5000 Bq/kg, con valori medi elevati ( $> 600$  Bq/kg) in quasi tutti i campioni analizzati



- Livelli molto elevati nella carne dei cinghiali, anche maggiori di quelli misurati in Valsesia, erano d'altra parte stati trovati, anche recentemente (2010) in altri paesi europei (Germania, Austria, Repubblica Ceca), dove la deposizione del  $^{137}\text{Cs}$  “di Chernobyl” era paragonabile a quelle di alcune nostre aree alpine : fino a 6000 – 8000 Bq/kg. Qualche tempo prima (1996), in Austria venne misurato un esemplare con concentrazioni  $> 17000$  Bq/kg!!
- Diversi studi erano stati pubblicati sul tema specifico, con approfondimenti anche di dettaglio sulla relazione ambiente contaminato – contaminazione delle carni: addirittura sull'apparente variazione dell'andamento stagionale della contaminazione in funzione della dieta degli animali

- **Nonostante il fatto che ci sia stata la possibilità di interpretare subito in modo scientificamente corretto il fenomeno, interpellando tempestivamente chi da anni studia il problema, nei giorni successivi si è scatenato uno psicodramma, con effetti talvolta imbarazzanti....**

# Una veloce rassegna stampa....

- CESIO IN CINGHIALI: CLINI, POTREBBE ESSERE ESITO CHERNOBYL TEMPO DIMEZZAMENTO RADIOATTIVITA' LUNGO MA STIAMO VERIFICANDO ROMA (ANSA) - ROMA, 8 MAR - "Stiamo verificando. Può darsi sia ancora un esito di Chernobyl perché il tempo di dimezzamento della radioattività è molto lungo, per cui è possibile". Così il ministro dell'Ambiente Corrado Clini, a margine della presentazione del rapporto Ocse sulle politiche ambientali in Italia, a proposito del ritrovamento di tracce di cesio 137 in 27 cinghiali in Valsesia in Piemonte. "Però stiamo facendo una verifica - precisa il ministro - e non sono in grado di dare altre indicazioni". (ANSA).

# AMBIENTE E SALUTE

## SCATTA L'ALLARME

# Cinghiali radioattivi in alta Valsesia Giallo sul "cesio 137"

In 27 capi abbattuti trovate tracce superiori di dieci volte i limiti  
Interviene il ministero della Salute: oggi summit con i carabinieri

**ALESSANDRO BALLESEO**  
VERCELLI

Si chiama «cesio 137» ed è il nome di un incubo che riporta al 1986, l'anno di Cernobil. Un isotopo radioattivo. Nucleare. Dista migliaia di chilometri la Valsesia, provincia di Vercelli, terra all'ombra del monte Rosa, eppure hanno trovato tracce di questa sostanza nella lingua e nel diaframma di 27 cinghiali del comprensorio alpino abbattuti dai cacciatori tra il 2012 e il 2013. Tracce così consistenti da costringere il ministro della Salute, Renato Balduzzi, a convocare in fretta e furia i carabinieri del Nas e del Noe. E' stata superata fino a dieci volte la soglia prevista dai regolamenti in caso di incidente nucleare. Dopo la prima riunione urgente del coordinamento, a Roma, prevista per questa mattina, partirà alla volta delle montagne ver-

cellesi un laboratorio mobile della sezione inquinamento da sostanze radioattive, il nucleo specializzato che fa parte del reparto operativo Noe. Saranno sentiti i cacciatori del comprensorio, sarà tracciata una mappa per ricostruire l'itinerario seguito dagli ungulati e individuare l'area esatta in cui sarebbero venuti in contatto con il terreno. Già, perché come fanno notare gli esperti, è lì che bisogna cercare. La terra. L'erba. Il fantasma di Cernobil, se è da lì che parte tutto, deve aver lasciato tracce del proprio passaggio dove hanno ascoltato questi animali.

La scoperta, che per molti è già sconvolgente, è nata quasi per caso. Da un esame di routine dei tecnici del servizio veterinario regionale. I campioni, come sempre accade dopo le battute di caccia,

erano stati prelevati per essere sottoposti a un'indagine sulla trichinellosi, una malattia parassitaria che colpisce per lo più suini e cinghiali. Una prassi, appunto. Poi, come sottolineano dal ministero della Salute, «gli stessi campioni sono stati sottoposti a un test di screening per la ricerca del radionuclide cesio 137, così come previsti da una raccomandazione della Commissione europea». I risultati hanno dell'incredibile: in un numero consistente di campioni (non si conosce ancora il numero esatto) il livello di cesio 137 è da record. Arriva fino a 5.621 Becquerel per Kilo quando il livello di guardia è 600 Bq/Kg. Ne sono stati inviati dieci campioni su ventisette al Centro nazionale di Foggia, che si occupa della ricerca della radioattività nel

settore zootecnico veterinario.

Tanto basta perché il ministero convochi i carabinieri con la direzione generale per l'igiene e la sicurezza degli alimenti e la nutrizione. Sono loro che dovranno svelare il mistero dei cinghiali radioattivi della Valsesia. La responsabile dell'Istituto di Radioprotezione dell'Enea, Elena Fantuzzi, ha un'ipotesi: «Il cesio 137 è prodotto dalla fissione nucleare. Viene rilasciato quindi da siti nucleari. Consideriamo Cernobil ma anche i siti nucleari della zona, pure smantellati. Anche se a livello nazionale ci sono controlli costanti e i valori non sono mai stati preoccupanti». Pure secondo Legambiente «non può essere altro che la ricaduta delle emissioni della centrale di Cernobil. Anche se i livelli riscontrati - sottolinea il presidente della sezione Piemonte e Valle d'Aosta, Gian Piero Godio - mi sembrano inverosimili».

SCENARI INQUIETANTI DOPO 27 ANNI SI RIPARLA DI CHERNOBYL

# CINGHIALI AL CESIO IN VALSESIA TORNA L'INCUBO RADIOATTIVO

Tra le varie ipotesi spunta quella del traffico clandestino di scorie

di Francesco **SERMONE**

**C**inghiali al Cesio 137. Ventisette capi abbattuti in Valsesia tra il 2012 e i primi mesi quest'anno, nei quali sono state rinvenute significative tracce di radioattività nella lingua e nel diaframma. La scoperta è avvenuta quasi per caso: nel corso di alcuni esami compiuti dal servizio veterinario regionale e relativi alla trichinellosi (un parassita che colpisce suini e ungulati) ecco che salta fuori, inaspettata, la sconvolgente scoperta. I cinghiali esaminati presentano tracce di Cesio 137 dieci volte superiori alla soglia tollerata. Cesio 137. Un isotopo radioattivo che decanta dopo un secolo e che, assorbito in abnormi quantità, provoca l'insorgenza di tumori. Parlare dell'isotopo radioattivo in questione, riporta alla mente il tragico incidente al reattore nucleare di Chernobyl che, nel 1986, diede origine alla nube tossica, gravida di isotopi, che oscurò letteralmente l'Europa. La Bielorussia dista migliaia di chilometri dalla Valsesia, ma le scorie radioattive non conoscono distanze e frontiere. Il ministro della Salute Renato Balduzzi, non appena appresa la notizia, ha immediatamente mobilitato gli esperti del Nas e del Noe che stanno conducendo approfondite indagini insieme all'Arpa regionale. I timori, peraltro attenuati dalle dichiarazioni rilasciate dalle autorità competenti, sono legittimi perché questa porzione di terra piemontese che sorge ai piedi del suggestivo massiccio del Monte Rosa, non solo costituisce l'habitat naturale dei cinghiali che qui proliferano in gran numero, ma è anche terra di

istituito un coordinamento a Roma, che segue passo passo, tutti gli sviluppi dell'indagine, anche i più insignificanti. Dalla capitale è giunto anche il laboratorio mobile della sezione inquinamento da sostanze radioattive del Noe. In queste ore tecnici e forze dell'ordine stanno eseguendo verifiche approfondite e stanno interrogando i cacciatori della zona con l'obiettivo di ricostruire una mappa dettagliata sulla presenza degli ungulati sul territorio e sugli spostamenti dei branchi. Il laboratorio scientifico sta analizzando il terreno e soprattutto l'erba. Ma com'è possibile che a distanza di quasi 30 anni proprio in Valsesia si stiano riscontrando picchi così alti di radioattività? I comunicati si susseguono e sull'argomento tecnici e inquirenti preferiscono non commentare. Si attende l'esito delle analisi, ma in questo scenario di particolare preoccupazione, la tendenza è quella di addebitare la responsabilità alla fuga radioattiva di Chernobyl. Un fantasma che sembrava scomparso e che invece riappare in tutta la sua drammaticità.

## GLI INTERROGATIVI

Le domande si rincorrono: il livello di radioattività nel suolo riguarda solo la Valsesia e il Vercellese, oppure è un fenomeno diffuso in tutta la Penisola? E per quale ragione è stato riscontrato soltanto adesso? E se la concentrazione di isotopi di Cesio nel terreno è ancora così elevata, per quale ragione non si è provveduto prima ad effettuare controlli periodici e approfonditi su tutto il territorio nazionale? Quanto è reale il pericolo anche per gli esseri umani che consumano i prodotti della terra? Una cosa è certa:

all'indomani del disastro ecologico causato dall'incidente al reattore numero quattro della centrale russa di Chernobyl, gli esperti preconizzarono che nei decenni seguenti si sarebbe verificata un'alta incidenza di casi di forme tumorali maligne alla gola e ai polmoni. Ed è ovvio che il rinvenimento del Cesio 137 nelle carcasse dei 27 cinghiali abbattuti, desta non poche preoccupazioni tra la popolazione.

## LE IPOTESI

Un fatto, tra tutti, al momento sembra assodato: il Cesio 137 è un isotopo prodotto dalla fissione nucleare. Tra le tante ipotesi non è da trascurare la presenza sul territorio vercellese dell'impianto di stoccaggio delle scorie radioattive Eurex di Saluggia e la presenza a Trino Vercellese dell'ex centrale nucleare. Qualche esperto sostiene che il cesio 137 viene rilasciato dalle centrali nucleari. La presenza del-

l'isotopo comunque non sembra essere strettamente correlabile all'impianto di Saluggia o di Trino. Una delle ipotesi che si sta facendo strada in queste ultime ore riguarda il traffico clandestino di scorie nucleari. Un'ipotesi che vale un'altra, soprattutto se si tiene conto del fatto che lo smaltimento delle scorie radioattive (provenienti dai Paesi dell'Est, ad esempio) comporta costi enormi e che rappresenta in ogni caso un mercato che offre margini di guadagno impensabili. Le risposte spettano agli inquirenti e agli esperti. Va da sé che la preoccupazione tra la popolazione è comprensibile, soprattutto alla luce degli ultimi avvenimenti. La gente si attende chiarezza e trasparenza sulla reale situazione, al di là dei comunicati stampa congiunti dai toni più o meno

**SCOPERTI IN VALSESIA**

## Cinghiali radioattivi, il ministro allerta i Nas e i Noe

■ Tracce di cesio 137, oltre la soglia prevista dal regolamento in caso di incidente nucleare, sono stati trovati nella lingua e nel diaframma di 27 cinghiali del comprensorio alpino della Valsesia. Sono stati analizzati campioni di capi abbattuti nel 2012/2013. Il cesio 137 è un isotopo radioattivo rilasciato, tra l'altro, nel 1986 dalla centrale di Chernobyl. Il Ministro Renato Balduzzi, in contatto con la Regione Piemonte, ha immediatamente attivato il Comando dei Carabinieri del Nas e del Noe, nel cui Reparto operativo è inserita una Sezione inquinamento da Sostanze radioattive, (per il contrasto di traffici illeciti di rifiuti e materiali radioattivi e dotata di laboratori mobili di rilevamento). La prima riunione urgente di coordinamento è prevista questa mattina. Per la verità la Germania, assai più vicina a Chernobyl dell'Italia, aveva già pensato ad un'analisi a campione nel 2010 dopo che la presenza di cesio 137 era stata segnalata in sempre più numerosi esemplari.

I cinghiali, infatti, sono particolarmente conta-

minati con Cesio 137 a causa della loro predilezione per funghi, tartufi e bacche, vegetali particolarmente capaci di assorbire la radioattività. Infatti, mentre in alcune vegetazioni si prevede che la



superiori a 600 Bq/Kg (Becquerel per Kilo, unità di misura per il cesio 137). I valori dei campioni oscillano in un range tra 0 e 5621 Bq/Kg e 27 campioni presentano valori al di sopra dei 600 Bq/kg. Ad oggi dei 27 con valore superiore alla soglia ne sono stati inviati 10 al Centro di Referenza Nazionale per la Ricerca della Radioattività nel Settore Zootecnico Veterinario dell'IZS di Puglia e Basilicata; 9 sono stati confermati, con la metodica accreditata, con valori superiori ai 600 Bq/Kg. Il decimo campione ha

un valore attorno ai 500 Bq/Kg. E' programmato l'invio dei 17 rimanenti campioni positivi allo screening al Centro di Referenza nazionale di Foggia.

Sempre ieri sera, il ministro dell'Ambiente, Corrado Clini, ha dato disposizione al comandante dei carabinieri del Nucleo operativo ecologico, il generale Vincenzo Patocchio, di fare tutti accertamenti necessari ad individuare la causa della contaminazione.

«Non può essere altro che la ricaduta delle emissioni della centrale di Chernobyl». A dirlo è Gian Piero Godio, di Legambiente Piemonte e Val d'Aosta, esperto in questioni nucleari. «Altre spiegazioni» sostiene «non potrebbero esserci: il comprensorio della Valsesia non presenta alcuna sorgente radioattiva. La causa più probabile del contagio sono le sostanze emesse in seguito all'incidente nucleare dell'86. Anche se i livelli di Cesio 137 riscontrati negli animali abbattuti mi sembrano quasi inverosimili».

R. A.

**Talvolta anche ridicoli....**

MOBILITATA LA SANITÀ SI ATTENDE L'ESITO DEGLI APPROFONDIMENTI

# L'ESISTENZA DELL'ISOTOPO RADIOATTIVO SCOPERTA DA UN BIOLOGO DI VERCELLI

“Approfondimenti” sembra essere la parola d'ordine a conclusione della riunione di ieri all'Istituto zooprofilattico di Torino sul caso dei “cinghiali radioattivi”. Convocato d'urgenza dal Ministero della salute, l'incontro in videoconferenza con Roma ha coinvolto anche la prefettura, l'Arpa e i carabinieri del Nucleo anti sofisticazione.

La macchina della sanità pubblica si è messa in moto dopo che tracce di cesio 137, oltre la soglia prevista dai regolamenti, erano state riscontrate in seguito a controlli nella lingua e nel diaframma di cinghiali del comprensorio alpino della Valsesia. I campioni di lingua e diaframma appartenevano a capi abbattuti durante la stagione venatoria 2012/2013. Su 27 campioni il livello di cesio 137 è risultato superiore alla soglia indicata come limite tollerabile in caso di incidente nucleare. Pierluigi Cazzola, biologo e responsabile della sezione di Vercelli dell'Istituto zooprofilattico sperimentale di Piemonte, Liguria e Valle d'Aosta, ha scoperto la concentrazione di cesio 137. Il biologo ha lavorato a lungo per identificare la presenza di questo elemento negli alimenti, convinto della necessità trovare prassi sempre più efficienti. «Volevo mettere a punto un metodo più veloce per questo tipo di controlli – afferma Cazzola – e l'ho applicato a dei campioni che erano lì dopo essere stati sottoposti ad un controllo sulla trichinellosi. La concentrazione di cesio 137 era sorprendente, allora ho allertato la Sanità e si è messo in moto il meccanismo per avviare il programma di sorveglianza». Secondo Cazzola ci troviamo di fronte ad un fenomeno nuovo. «Anche perché il comportamento dei cinghiali è tutto da esplorare – afferma – si spostano in famiglie, in alcuni capi abbiamo trovato valori assolutamente normali, in altri una concentrazione francamente inaspettata». I campioni sono



**Studi approfonditi.** Tecnici e specialisti sono al lavoro per comprendere le ragioni dell'alta contaminazione dei cinghiali abbattuti

stati inviati al centro di riferimento nazionale di Foggia. Secondo l'Arpa i livelli elevati di radioattività riscontrati in campioni di carne di cinghiale in Valsesia è dovuto alla presenza del cesio 137 ricaduto in notevole quantità al suolo all'epoca dell'incidente di Chernobyl: l'isotopo radioattivo, infatti, permane negli strati superficiali del suolo per vari decenni. L'Agenzia regionale per la protezione all'ambiente esclude che le fonti di contaminazione siano diverse, visto che il monitoraggio dell'aria non ha mostrato anomalie negli ultimi anni. Gli animali selvatici che si cibano al suolo, possono essere particolarmente soggetti all'ingestione di cesio, una situazione analoga avverrebbe anche per i funghi e altri frutti spontanei del sottobosco. Tutti gli altri alimenti che compongono la dieta tipo della popolazione, monitorati dall'Agenzia mediante un programma di campionamento annuale coordinato dall'Ispra,

hanno fornito sempre valori ampiamente al di sotto dei limiti. Il caso ha sollevato di nuovo la discussione sulle ricadute dell'esplosione del reattore nucleare nell'allora Unione Sovietica, avvenuto nel 1986. «Il cesio 137, l'isotopo fuoriuscito dal reattore esploso dall'incidente di Chernobyl e caduto sui territori italiani, è infatti ancora presente in molti terreni e può concentrarsi in alcune specie vegetali e animali, come funghi e selvaggina. Per questo – afferma Stefano Ciafani, vice-presidente nazionale di Legambiente – è importante stringere la maglia dei controlli anche sui prodotti alimentari, perché la vicenda dei cinghiali ci ricorda che la coda avvelenata del disastro di Chernobyl non si è ovviamente esaurita». «La distribuzione territoriale nei suoli della radioattività artificiale è stata influenzata dalle precipitazioni: – aggiunge Fabio Dovana, presidente di Legambiente Piemonte – ciò vale in particolare per la radio-

attività dispersa a seguito dell'incidente di Chernobyl che, in Piemonte, costituisce più del 90% della radioattività artificiale presente nell'ambiente. È fondamentale avviare una grande campagna di informazione rivolta ai cittadini». «Sebbene non vi siano pericoli per i consumatori – ha commentato Gian Paolo Coscia, presidente di Confagricoltura Piemonte – è necessario chiarire al più presto le cause della contaminazione, per evitare di alimentare inutili allarmismi. Dopo lo scandalo della carne di cavallo, che ha avuto un immediato riflesso sui consumi, non è proprio il caso di creare adesso quello della carne di cinghiale». Ad avviso di Confagricoltura Piemonte, il caso dei cinghiali radioattivi ripropone anche la questione della gestione della fauna selvatica e della necessaria limitazione alla sua proliferazione.

**Ci sono, ovviamente, anche gli  
“estremisti” dall'altra parte....**

*Marco Sabarini di Libera Caccia getta acqua sul fuoco*

# Cinghiali radioattivi? "E' tutta una bufala"

**BIELLA** (fes) "Cinghiali radioattivi? Ma che bella scoperta". **Marco Sbaraini** presidente provinciale di Libera Caccia, getta acqua sul fuoco. La notizia della scoperta in Valsesia di 27 ungulati con tracce di contaminazione da Cesio 137, ritrovate nella lingua e nel diaframma, a suo parere non ha nulla di clamoroso e soprattutto di nuovo. "Sono anni che le analisi riscontrano forti concentrazioni di radioattività nei cinghiali e nei caprioli - afferma - sia negli esemplari cacciati a 2 mila metri di altitudine che in quelli catturati in pianura. Un fenomeno questo al quale fino a oggi non è stata data una spiegazione univoca. Ad Oropa, stando alle analisi effettuate, la radioattività è ancora più elevata rispetto a Trino. Si tratta di un fenomeno naturale che non deve allarmare. Notizie come quella uscita oggi sui giornali, date con un'enfasi eccessiva, personalmente mi fanno riflettere. Siamo a marzo e la caccia al cinghiale è chiusa dal 16 dicembre in pianura e dal 31 gennaio nelle zone montane. Perché l'esito delle analisi arriva con un ritardo di mesi? Francamente non so dare una risposta ma penso ci sia qualcosa sotto di poco chiaro".

Sulla stessa linea d'onda

anche **Marco Pinarello** di Legambiente che smorza i toni della questione. "Ad essere sincero - afferma - sono più preoccupato per i dati relativi all'inquinamento dell'aria che per i cinghiali radioattivi".

**Arpa** Piemonte, invece, vuole approfondire la questione. A tale scopo effettuerà uno specifico monitoraggio radiologico dell'area della Valsesia.

Dalle indagini svolte nell'ambito delle reti di monitoraggio radiologico regionale risulta che il Cesio 137 è un isotopo radioattivo ancora presente in ambiente a seguito del rilascio durante l'evento di Chernobyl e che pur essendo presente in tracce, può concentrarsi in alcune specie vegetali e animali, quali funghi e selvaggina. I risultati dei monitoraggi, ad oggi, effettuati da **Arpa** Piemonte indicano anche che tale contaminazione ambientale non è attribuibile alla presenza dei siti nucleari dismessi di Trino e Saluggia.

"Fare chiarezza al più presto". E' quanto chiede, poi, **Coldiretti** Piemonte. "Un comprensorio - commenta **Roberto Moncalvo** e **Bruno Rivarossa**, rispettivamente presidente e direttore di **Coldiretti** Piemonte - che, nel suo presente e nel suo futuro ha un'agricoltura



**In Valsesia elevate concentrazioni di radioattività nei cinghiali**

da tutelare e difendere, fatta di mille eccellenze che continuano ancor oggi un'attività di millenaria origine. Un patrimonio socioculturale, oltretutto economico ed occupazionale, che va difeso garantendo trasparenza, informazione, sicurezza e salute".

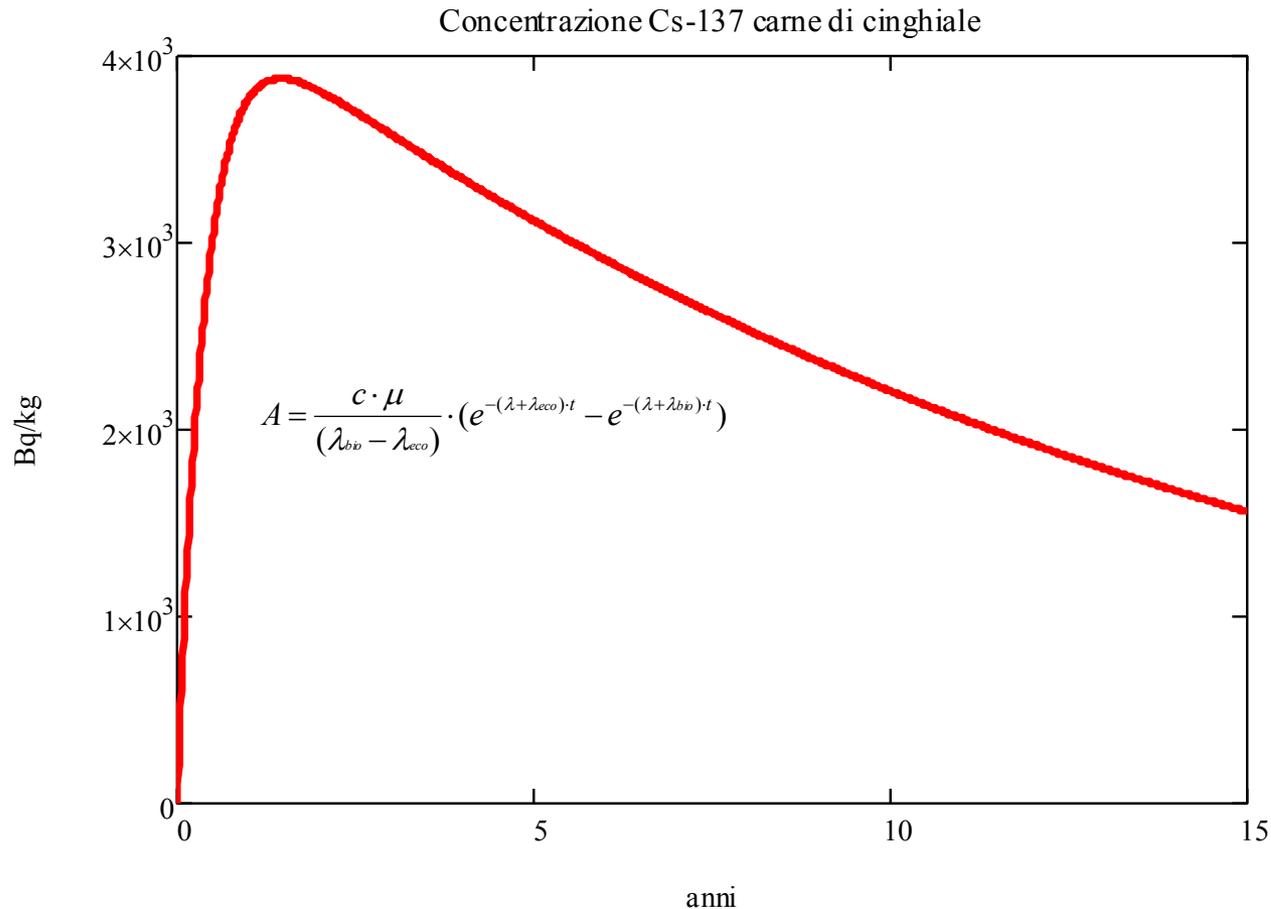
E, sempre **Coldiretti**, ritiene che sia necessario estendere anche ad altri animali selvatici le analisi. "Questa problematica - aggiungono - a cui va dato atto alle autorità sanitarie ed alla regione Piemonte di avere immediatamente attivato le forze speciali dei carabinieri, si inserisce in una situazione di presenza di sel-

vatici in misura abnorme ed anche per questo motivo che stiamo seguendo con molta attenzione l'iter della nuova legge regionale sulla caccia". La Federazione interprovinciale di Vercelli e Biella nella persona del presidente, **Paolo Dellarole** e del direttore **Domenico Pautasso** ha chiesto da subito un incontro urgente al prefetto per chiarire gli interrogativi aperti che restano molti. In particolare come sia possibile un fatto di questo genere in un paese come l'Italia che ha fatto la scelta di non avvalersi del nucleare, a differenza di quanto accade nei paesi confinanti.

- Un semplice modello dinamico è in grado di spiegare perché un cinghiale che vive in un ambiente “contaminato” come quello della Valsesia può presentare valori di radioattività elevati

- **DATI DI INPUT DEL MODELLO**

- $\mu$  (kg/giorno), quantità di cibo ingerito da un cinghiale
- $c$  (Bq/kg), concentrazione media di  $^{137}\text{Cs}$  nel cibo ingerito dai cinghiali
- $\lambda_{eco}$  ( $\text{anni}^{-1}$ ) costante di decadimento ecologica del  $^{137}\text{Cs}$  disponibile per l'alimentazione dei cinghiali
- $\lambda_{bio}$  ( $\text{anni}^{-1}$ ) costante di decadimento biologica del  $^{137}\text{Cs}$  nell'organismo del cinghiale



### Equazione Modello

$$\frac{dA}{dt} + (\lambda + \lambda_{bio}) \cdot A = c \cdot \mu \cdot e^{-(\lambda + \lambda_{eco}) \cdot t}$$

Un cinghiale “pulito” introdotto in un ecosistema con deposizione alta (30000 – 40000 Bq/m<sup>2</sup>) di <sup>137</sup>Cs entro 2 anni raggiunge una contaminazione di quasi 4000 Bq/kg. Dopo 15 anni, se è sopravvissuto (!!), avrà ancora una contaminazione superiore a 1500 Bq/kg

**Grazie per l'attenzione !**

