



Consulta Interassociativa
Italiana per la Prevenzione



La radioprotezione nell'ambiente

Mauro Magnoni

Arpa Piemonte – Dipartimento Radiazioni

Via Jervis, 30 – 10015 IVREA (TO)

m.magnoni@arpa.piemonte.it



Seminario CIIP

Università degli Studi di Milano – Milano, 4 maggio 2018

Introduzione

Le radiazioni ionizzanti sono presenti da sempre nell'ambiente, avendo accompagnato la storia del nostro pianeta dai primordi. Esse hanno molto probabilmente giocato un ruolo fondamentale dell'innescare i processi che hanno condotto poi alla nascita della vita sulla Terra

E' però solo da poco più di un secolo che l'umanità, subito dopo aver compreso la natura dei fenomeni atomici e subatomici con gli studi pionieristici di fine Ottocento di Roengten (raggi X), Becquerel e Curie (radioattività), che ha incominciato a preoccuparsi dei possibili effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti sulla salute

- Nel 1928 nasce l'ICRP, l'International Commission on Radiological Protection, un'associazione scientifica che ha lo scopo di analizzare i risultati delle ricerche nel campo delle radiazioni e formulare pareri e raccomandazioni per la protezione di popolazione e lavoratori
- Quando si parla di radioprotezione nell'ambiente, che per definizione si riferisce a tutto lo spazio fisico, il soggetto di riferimento che viene in mente è anzitutto la popolazione: la radioprotezione nell'ambiente è quindi anzitutto radioprotezione della popolazione

- Vedremo tuttavia che i vari contesti lavorativi hanno una loro importanza, poiché è da lì che provengono tutte le potenziali fonti di rischio, per cui, come è ovvio, laddove c'è un rischio per la popolazione c'è quasi sempre anche un rischio (spesso più grave) per il lavoratore
- Suddividerò questa mia trattazione in due grandi ambiti, secondo una dicotomia oggi abbastanza popolare: Global - Local
 - a) La radioprotezione nell'ambiente da un punto di vista globale
 - b) La radioprotezione nell'ambiente da un punto di vista locale

La radioprotezione nell'ambiente da un punto di vista globale

- Rientrano sotto questa voce tutte quelle situazioni che vedono come sorgente del rischio radiologico un evento o una situazione che coinvolge in maniera indiscriminata un larghissimo numero di persone
- Storicamente, il primo evento di questo genere sono state le esplosioni nucleari in atmosfera con la conseguente contaminazione dell'ambiente

I test nucleare: Alamogordo, New Mexico





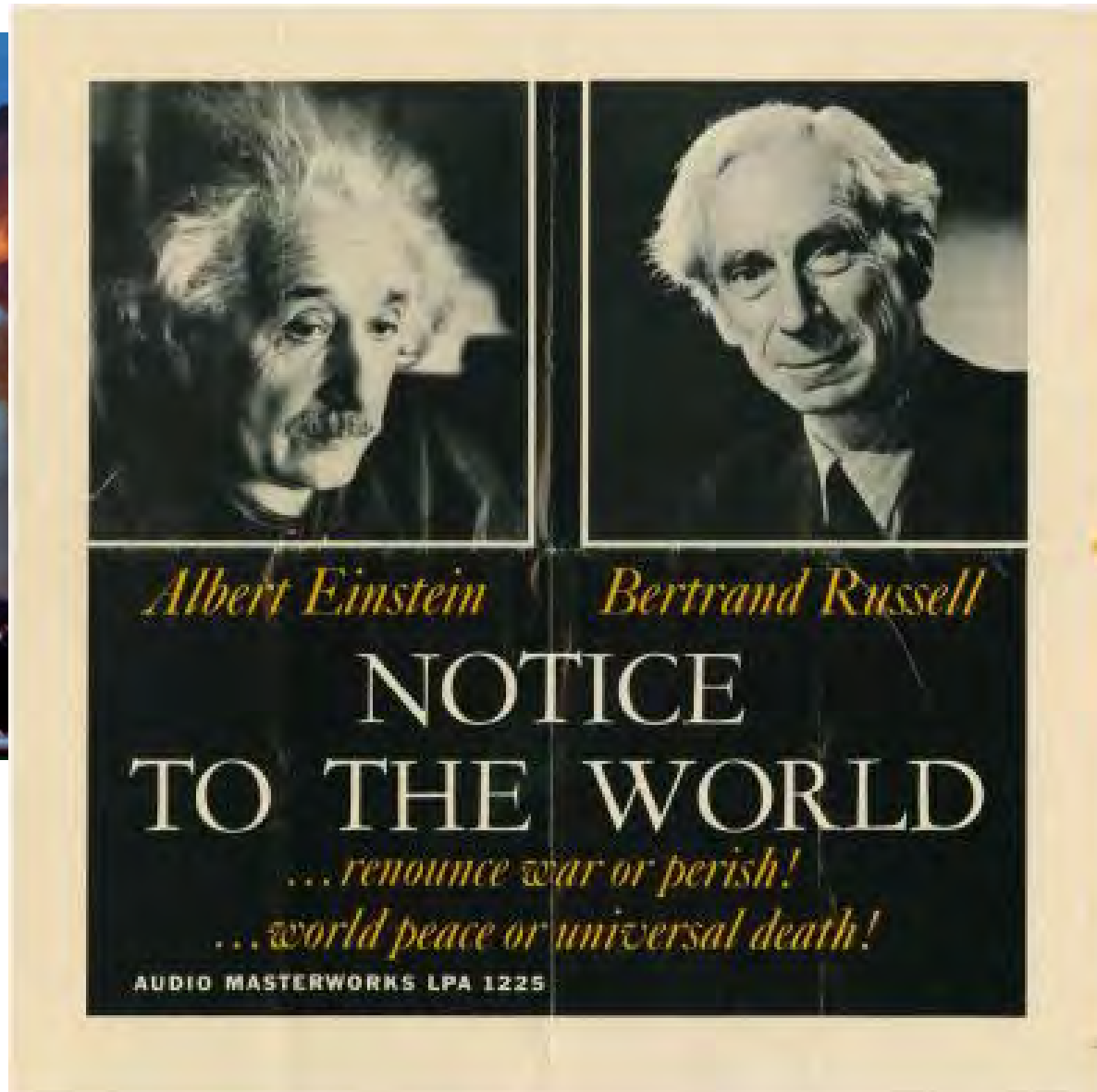




La corsa agli armamenti nucleari durante la Guerra Fredda



Il manifesto Russel-Einstein (1955)





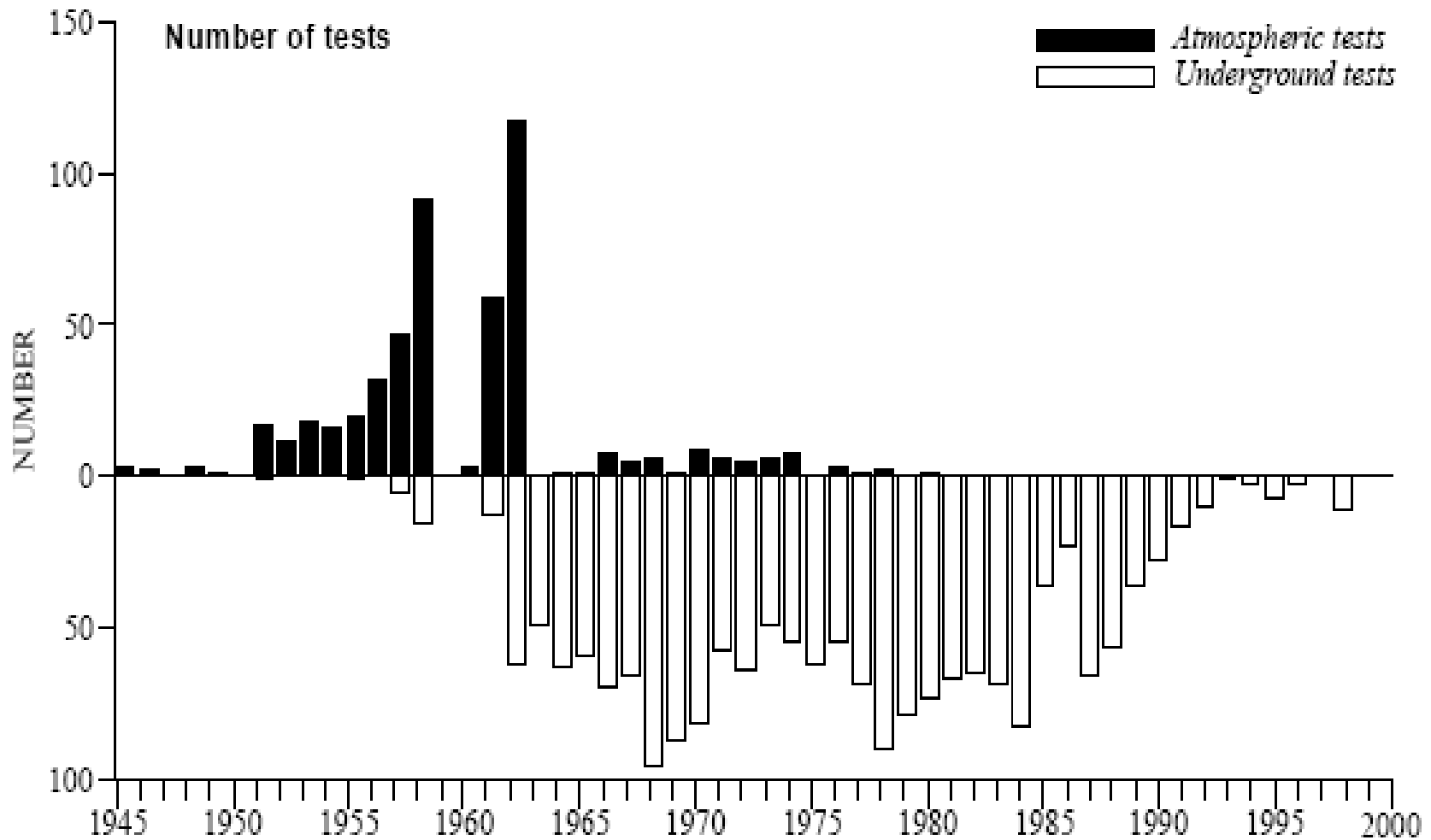
- **1980: Last nuclear test in**



Test nucleari

Paese	Atmosferici	Sotterranei	Totale
USA	219	913	1132
URSS	219	762	981
Francia	50	167	217
UK	33	55	88
Cina	22	26	48
India	-	6	6
Pakistan	-	6	6
Nord Corea	-	6	6
TOTALE	543	1941	2484

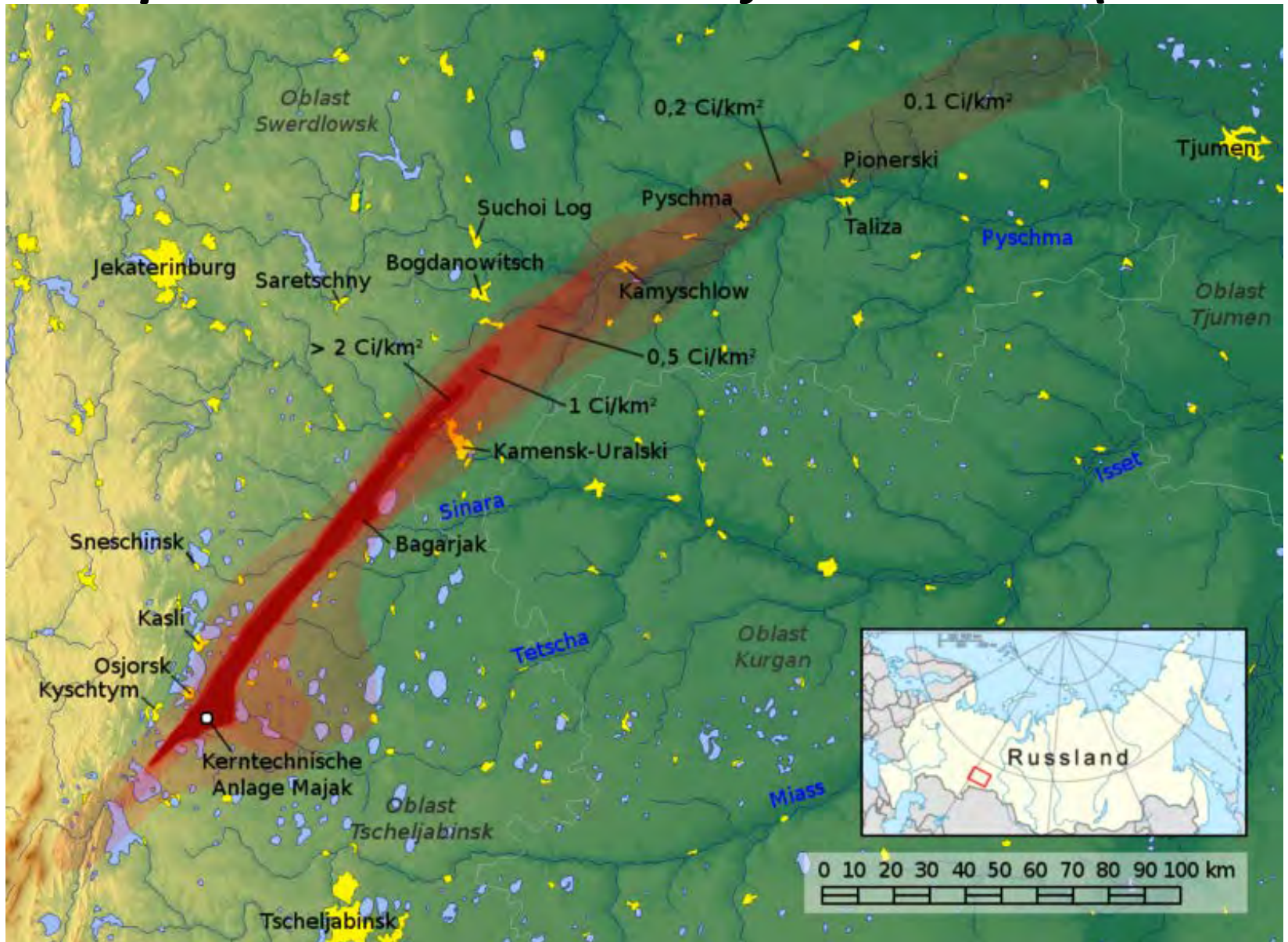
Fonti di esposizione a radioattività artificiale: test nucleari



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 sull'ambiente circostante e, ancora di più, sullo sviluppo di questa fonte di energia, limitandone fortemente la sua diffusione, soprattutto in Occidente

- September 1957: the Majak accident (also



contamination > 7.4 MBq/m² of ⁹⁰Sr

- ***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 accidents 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).



Map Business Copyright © 2000 DeLorme Yamashita, ME 04096 Scale: 1:5,000,000 Detail: 4-4 Datum: NAD83

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

program was stopped

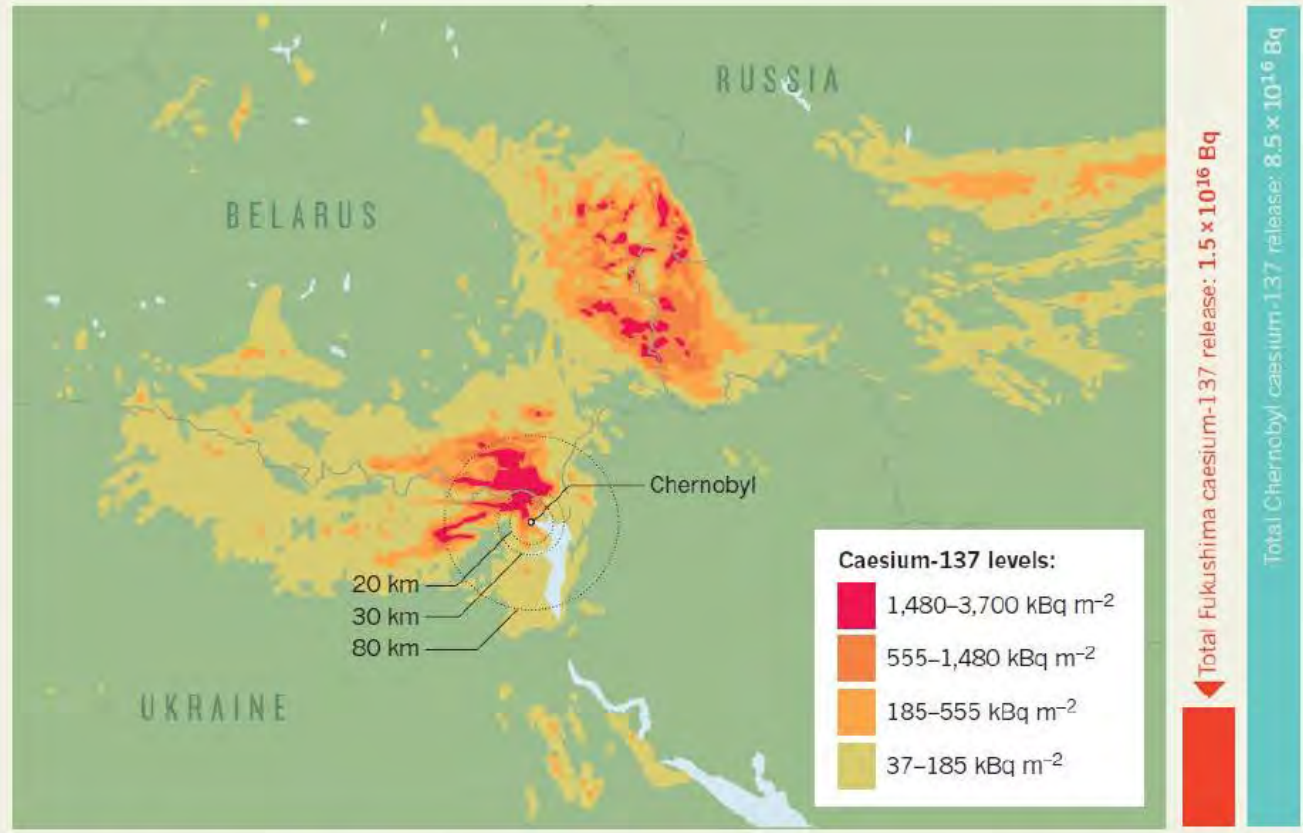
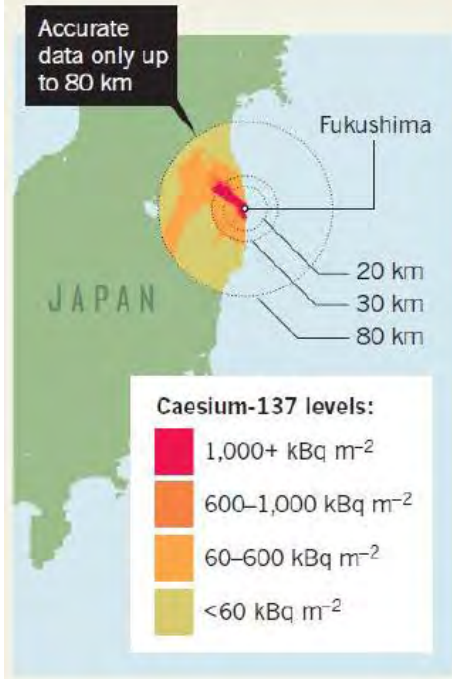
- **1986:** Incidente di Chernobyl. Un reattore della centrale nucleare ucraina esplose a seguito di una serie di errori di manovra da parte dei responsabili della centrale. Ingentissime quantità di radioattività vengono rilasciate nell'ambiente e vanno a contaminare in modo massiccio Ucraina, Bielorussia 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)

PREVENZIONE VERSO QUESTO TIPO DI
RISCHIO: UNA MODERNA RETE DI
MONITORAGGIO DELLA RADIOATTIVITA'
AMBIENTALE

Obiettivi dell'attività di monitoraggio della radioattività ambientale, stabiliti per legge

1. Rete Nazionale/Regionale ai sensi dell'art. 104 del D. Lgs. 230/95 (obbligo del trattato Euratom)
2. Controllo del rischio radiologico diffuso sul territorio da tutte le altre fonti (attorno ai siti nucleari)
3. Stime dosimetriche alla popolazione dovute alla eventuale "contaminazione" ambientale
4. Rete di allerta

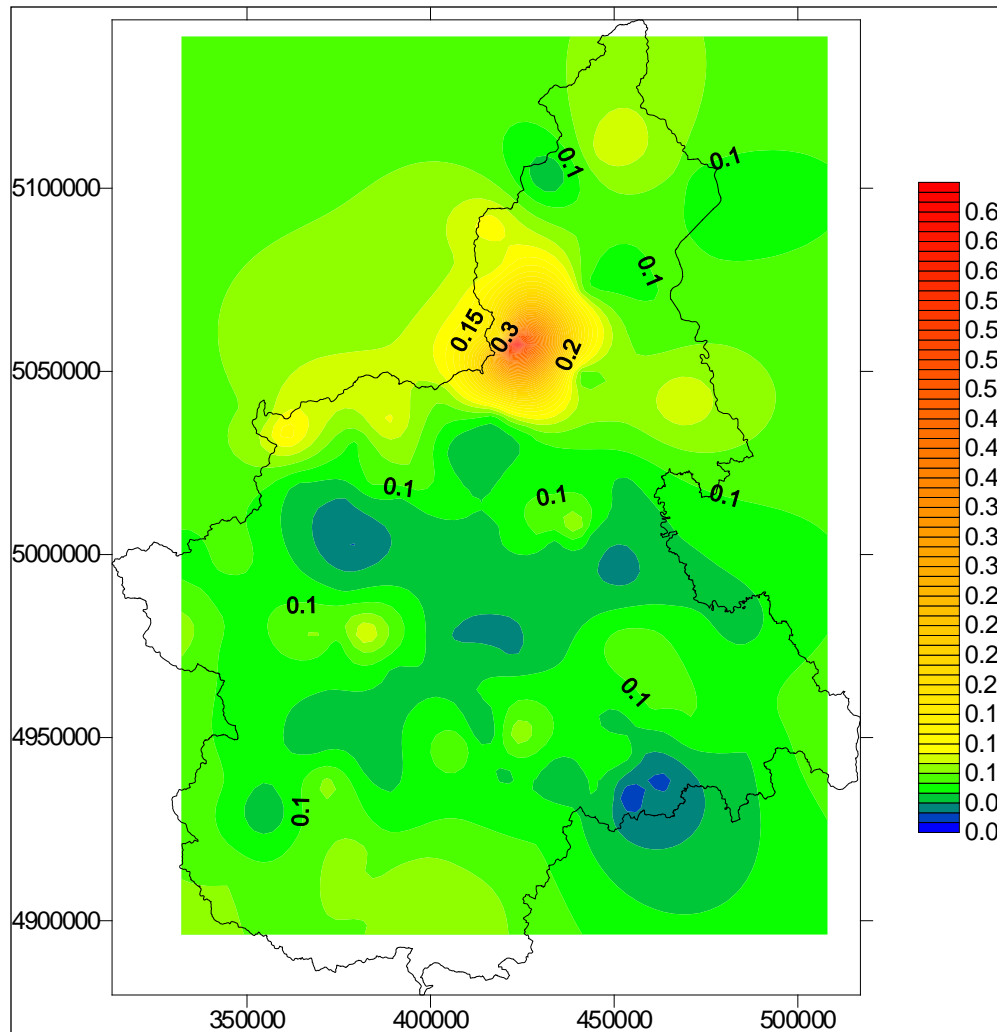
RETE NAZIONALE / REGIONALE

- Il piano di monitoraggio, organizzato in Italia su base regionale, riguarda matrici ambientali (acqua, aria, suoli, ecc) e quelle alimentari (carne, cereali, latte, ecc), periodicamente campionate in ciascuna Regione sulla base dei consumi medi della popolazione

Matrici ambientali

- a) Rateo di dose γ 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 γ



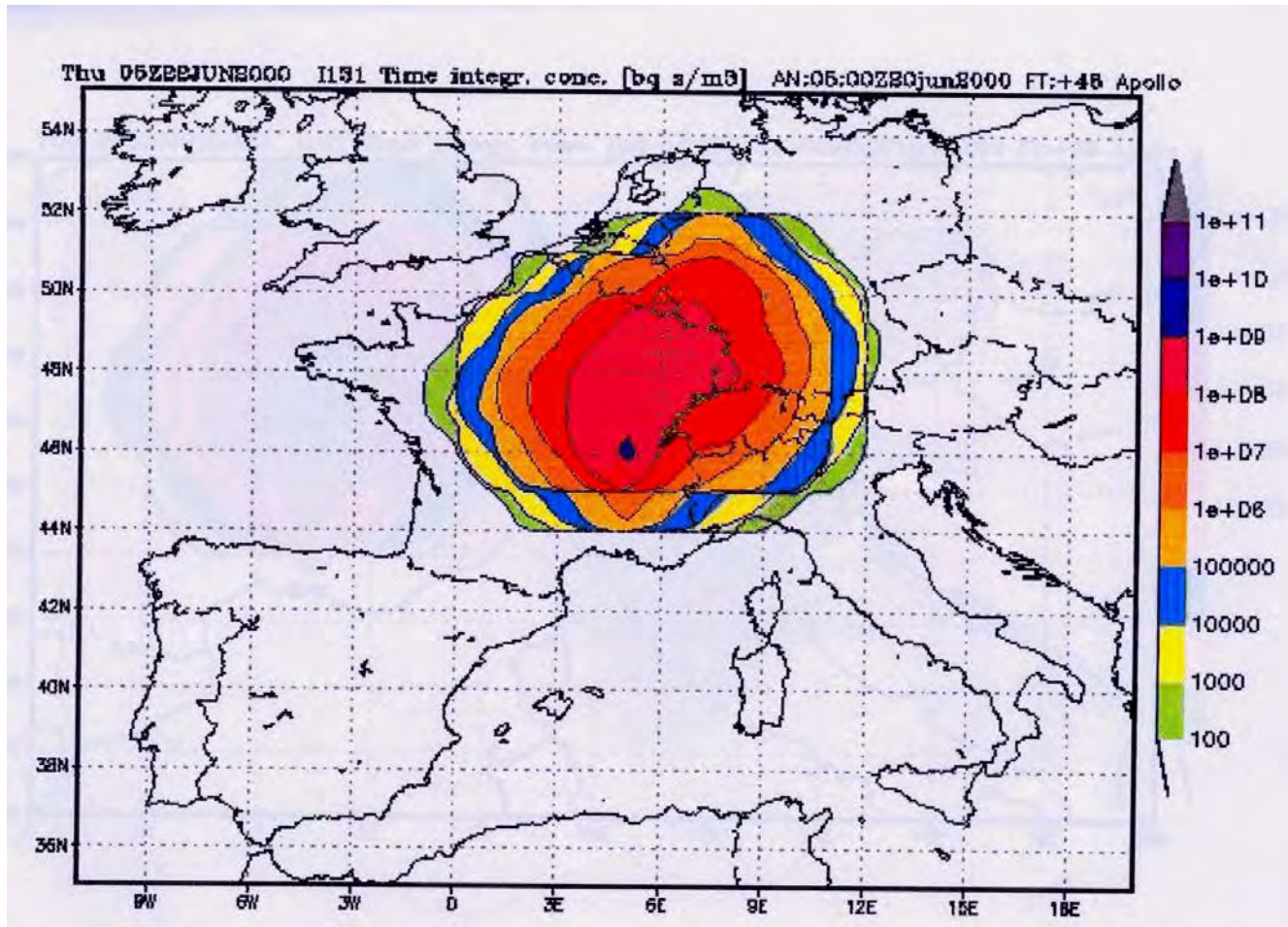
- I livelli medi di tale parametro possono essere direttamente misurati o anche calcolati a partire dalla conoscenza della radioattività (naturale e artificiale), presente nei suoli + il contributo dei raggi cosmici.
- Tali valori sono abbastanza stabili nel tempo a meno di gravi incidenti
- **UNITA' di MISURA**
 $\mu\text{Gy/h}$

Il rischio nucleare transfrontaliero

(in blu le centrali a distanza < 200 km dal confine italiano)



Grave incidente a una centrale francese: simulazione, durante esercitazione CEVaD, (previsioni da modello lagrangiano)

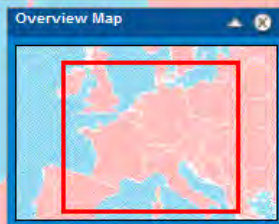
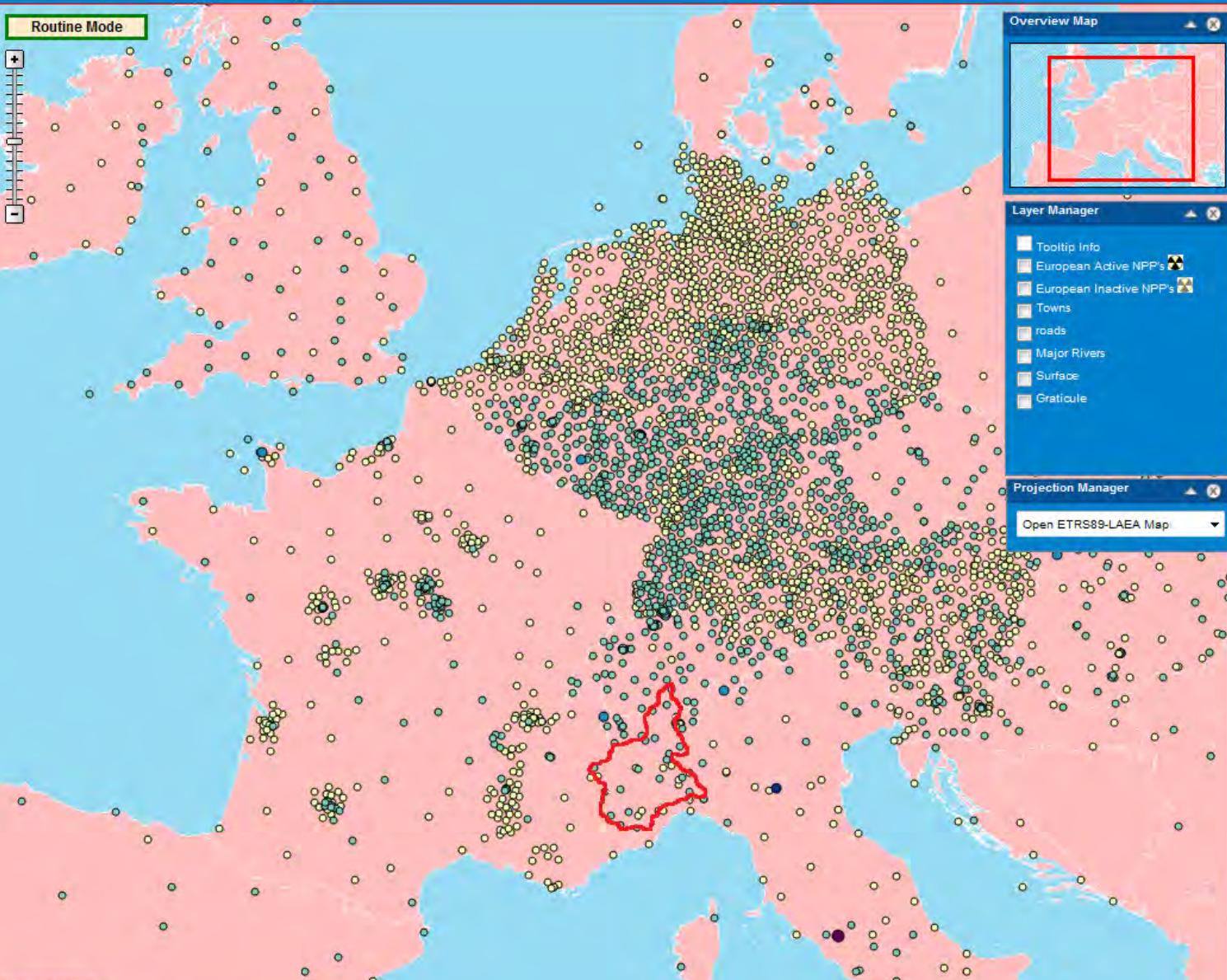




click per link a [Eurdepweb](http://eurdepweb.jrc.ec.europa.eu/EurdepMap/Default.aspx)

Display Tools Links ?

Routine Mode



Layer Manager

- Tooltip Info
- European Active NPP's
- European Inactive NPP's
- Towns
- roads
- Major Rivers
- Surface
- Graticule

Projection Manager

Open ETRS89-LAEA Map

Time Frame:

2016-10-17 13:10 Ending

1 day Interval

Auto-Refresh to latest data

View Settings:

Radiological values

T-GAMMA Nuclide

EXTERNAL RADIA1 Sample Type

Measured data

Last Value

Radiation Levels

- <= DETECTION LIMIT
- <= 100 nSv/h
- <= 200 nSv/h
- <= 300 nSv/h
- <= 400 nSv/h
- > 400 nSv/h

Countries

ALL

AT - Austria

AZ - Azerbaijan

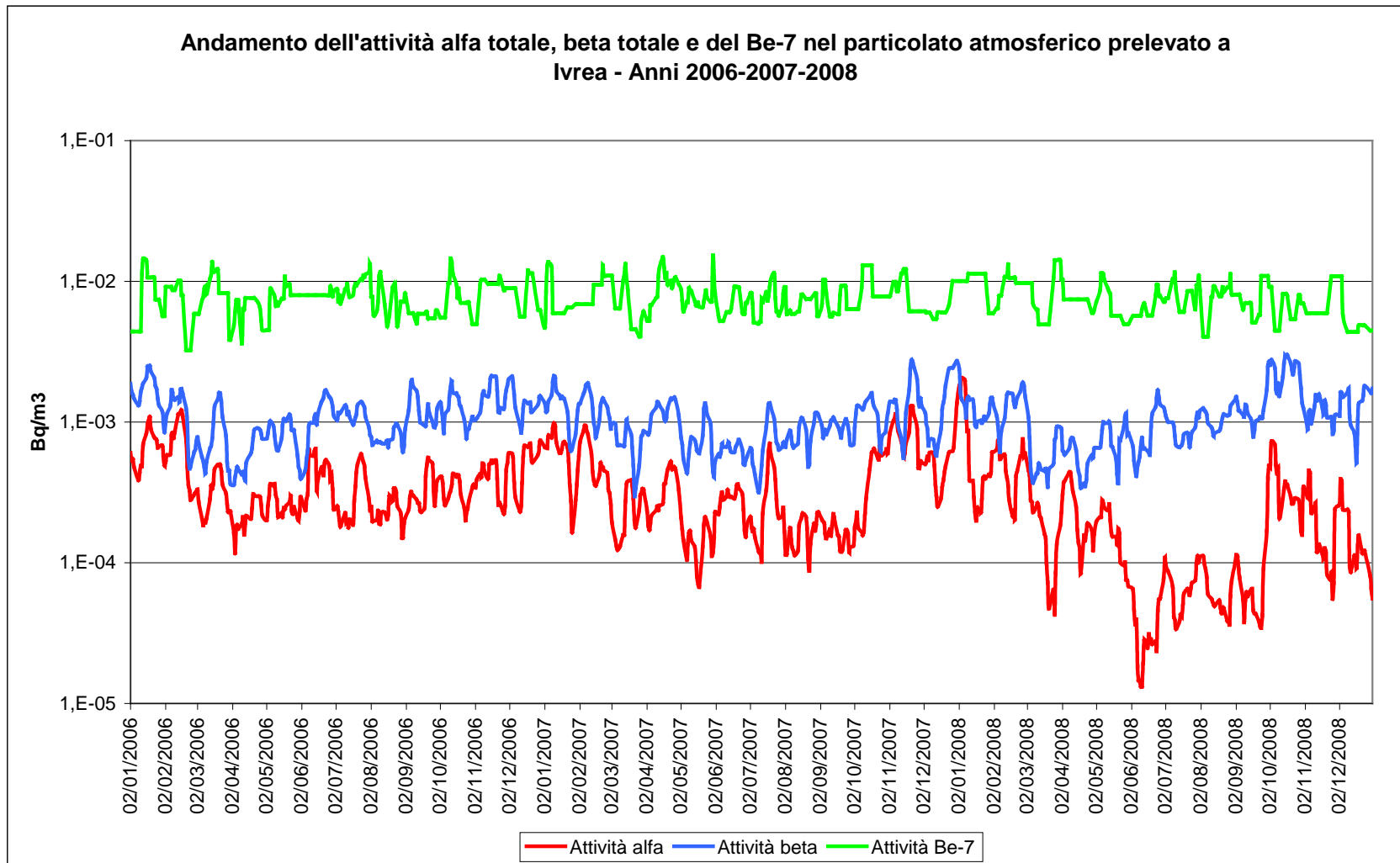
BE - Belgium

BG - Bulgaria

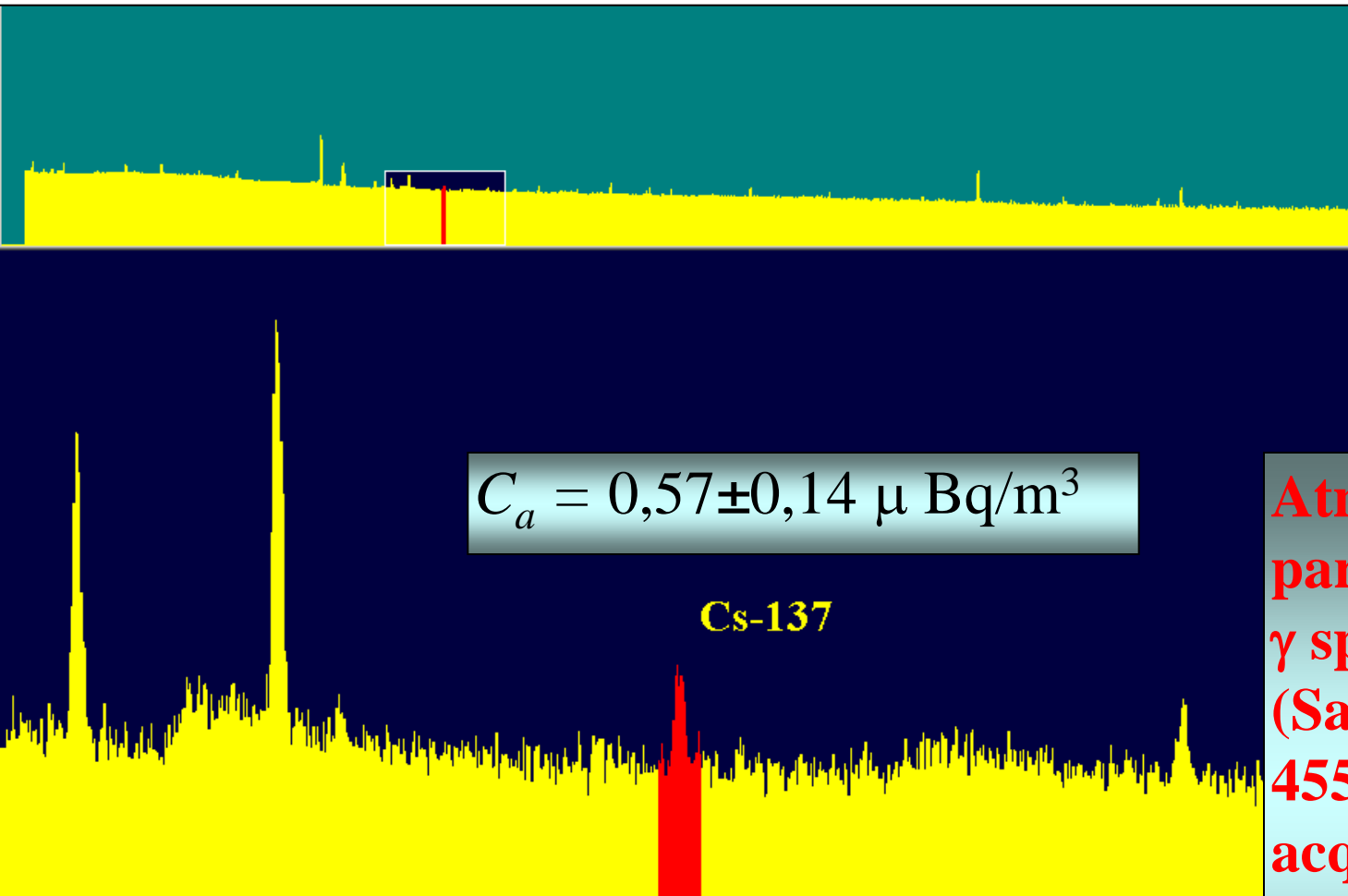
b) Il particolato atmosferico

- Il monitoraggio in continuo della radiazione γ 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/m³)
- Per questo motivo, accanto alla misura della dose γ viene normalmente affiancata la misura diretta dei radionuclidi presenti in aria. Tale misura (spettrometria γ e α/β 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



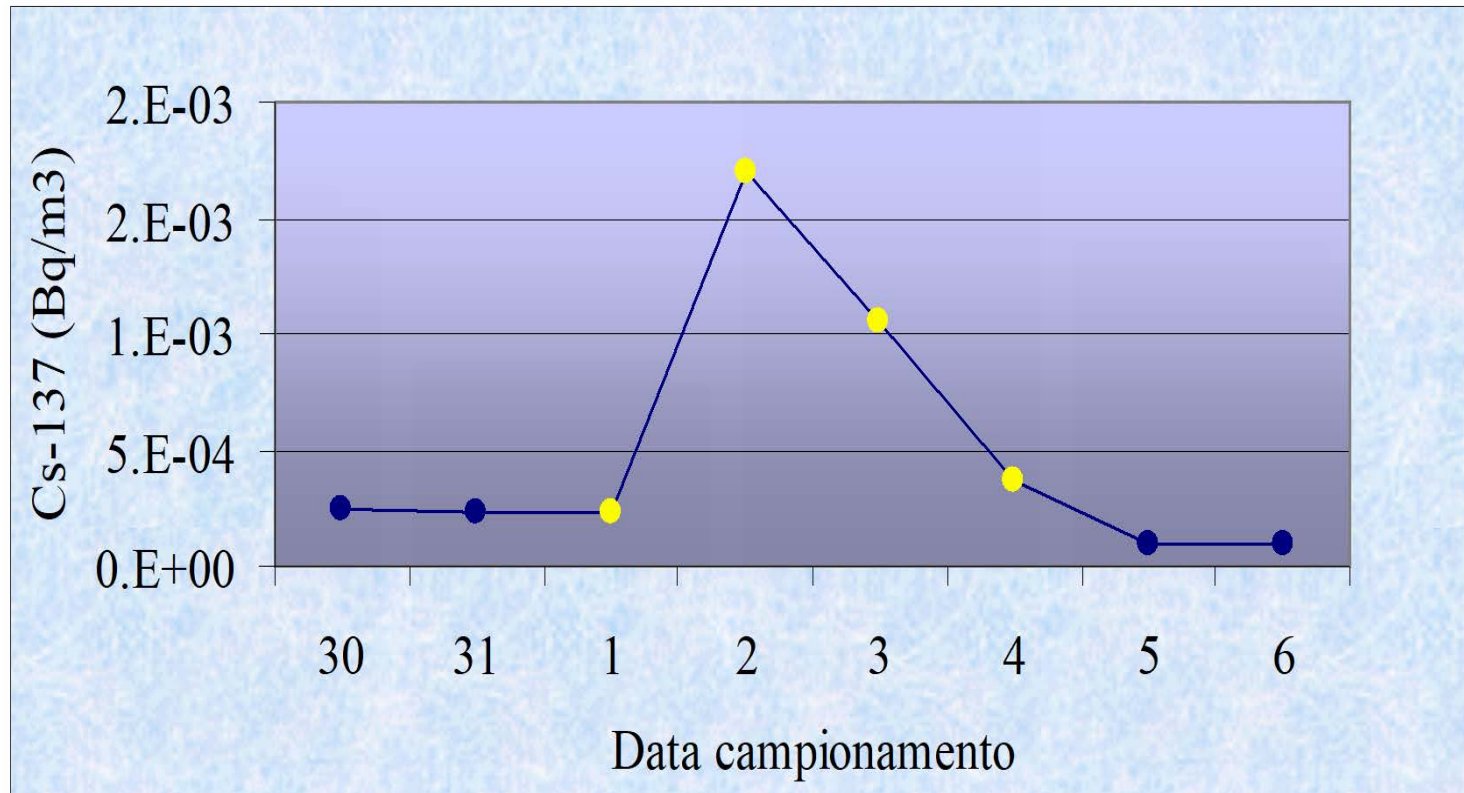
$$C_a = 0,57 \pm 0,14 \mu \text{ Bq/m}^3$$

Cs-137

**Atmospheric
particulate
 γ spectrum
(Sampled Volume:
45555 m³),
acquired in Ivrea
(Turin): a little
¹³⁷Cs peak is
clearly detectable**

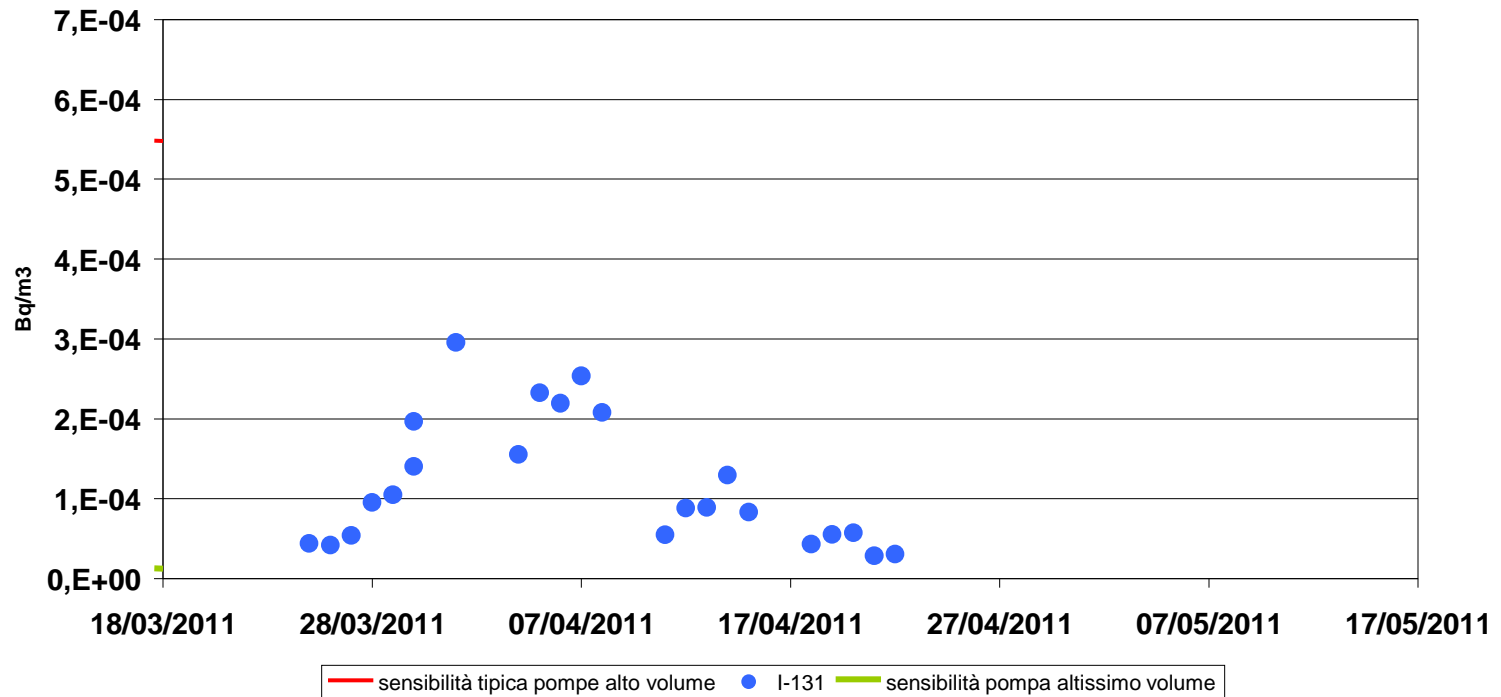
L'incidente di Algeciras (fusione accidentale di una sorgente in una fonderia spagnola)

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

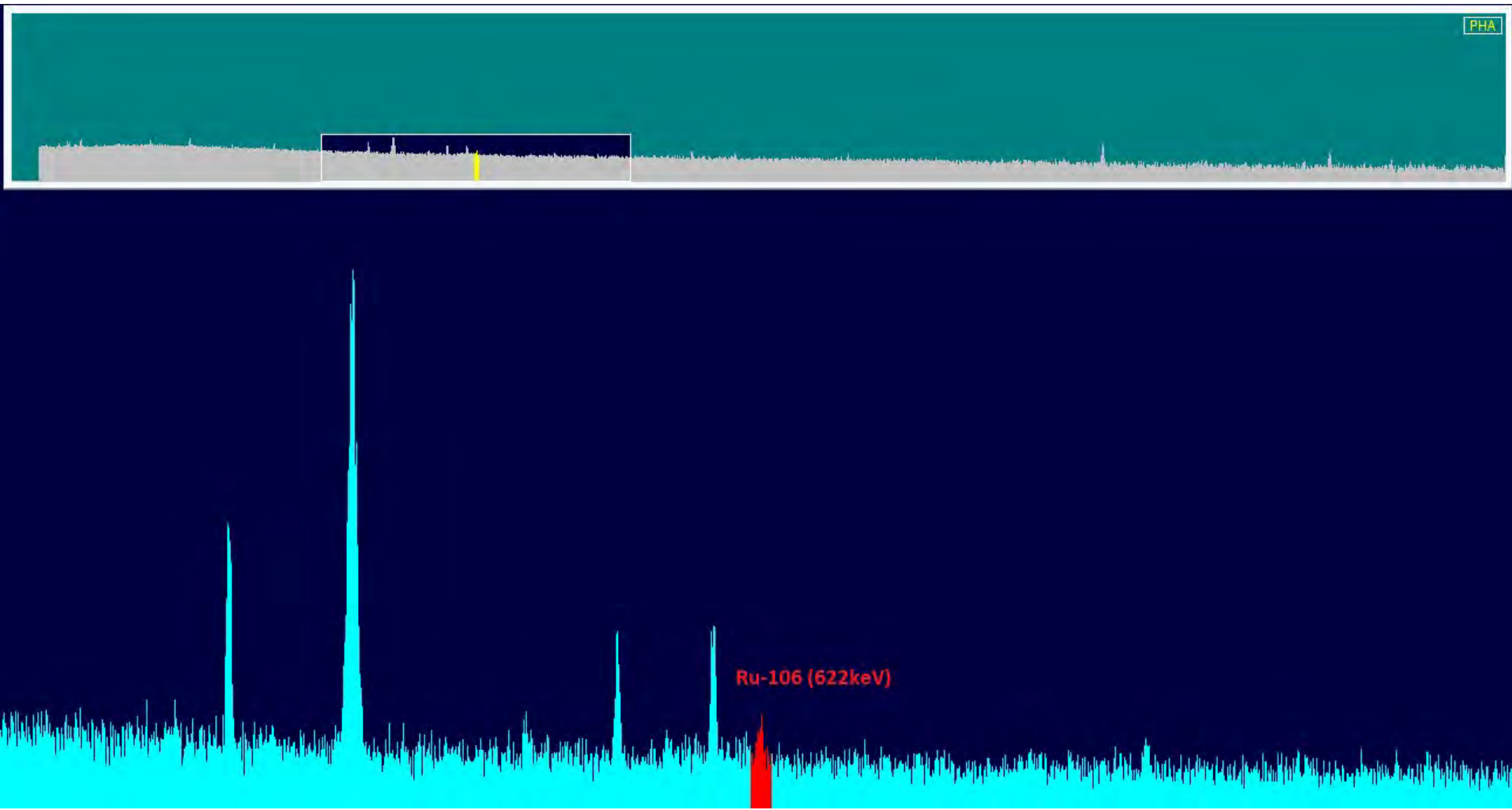


^{131}I da Fukushima

Concentrazione di I-131 nel particolato atmosferico



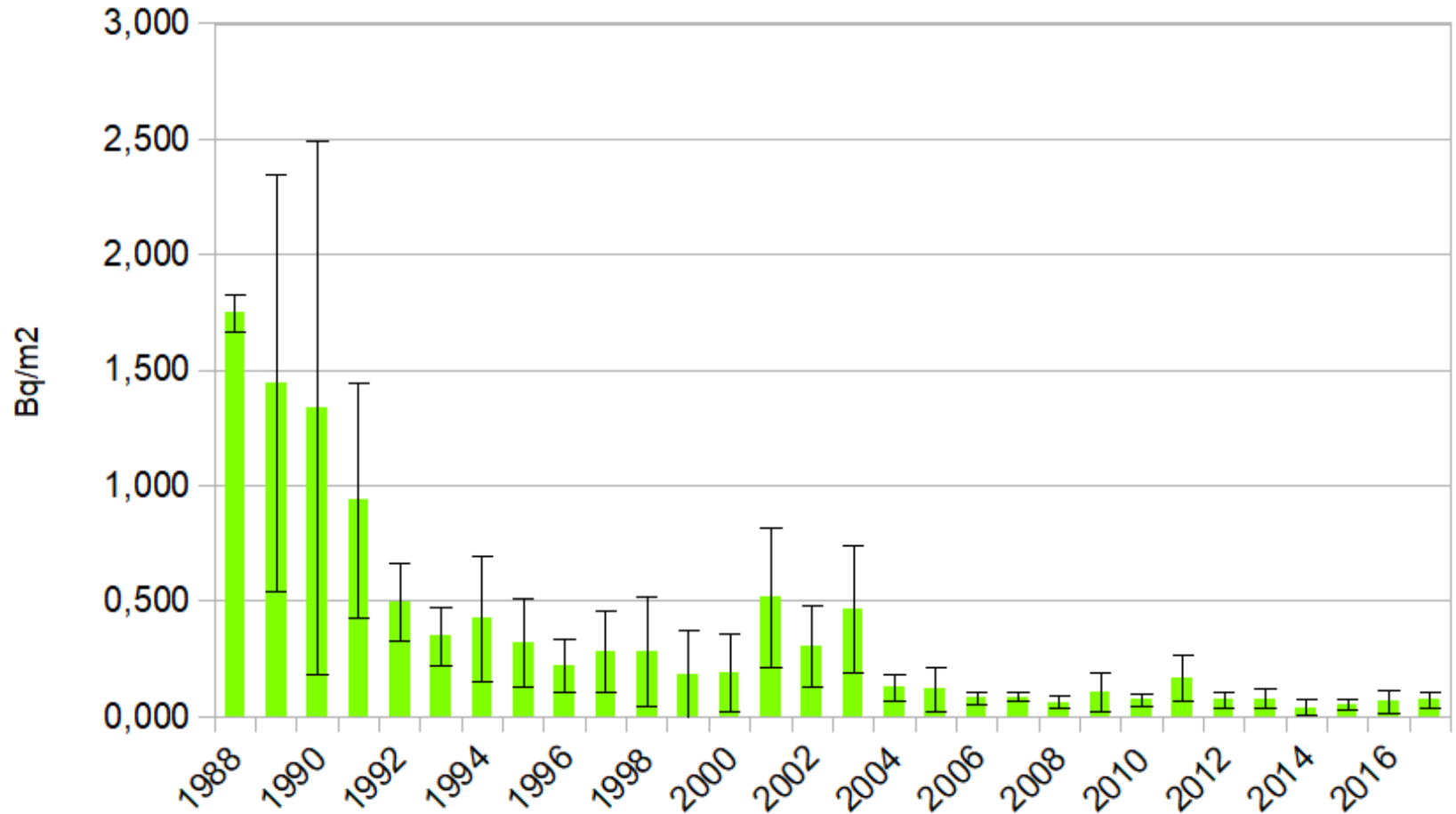
Ottobre 2017: tracce di ^{106}Ru



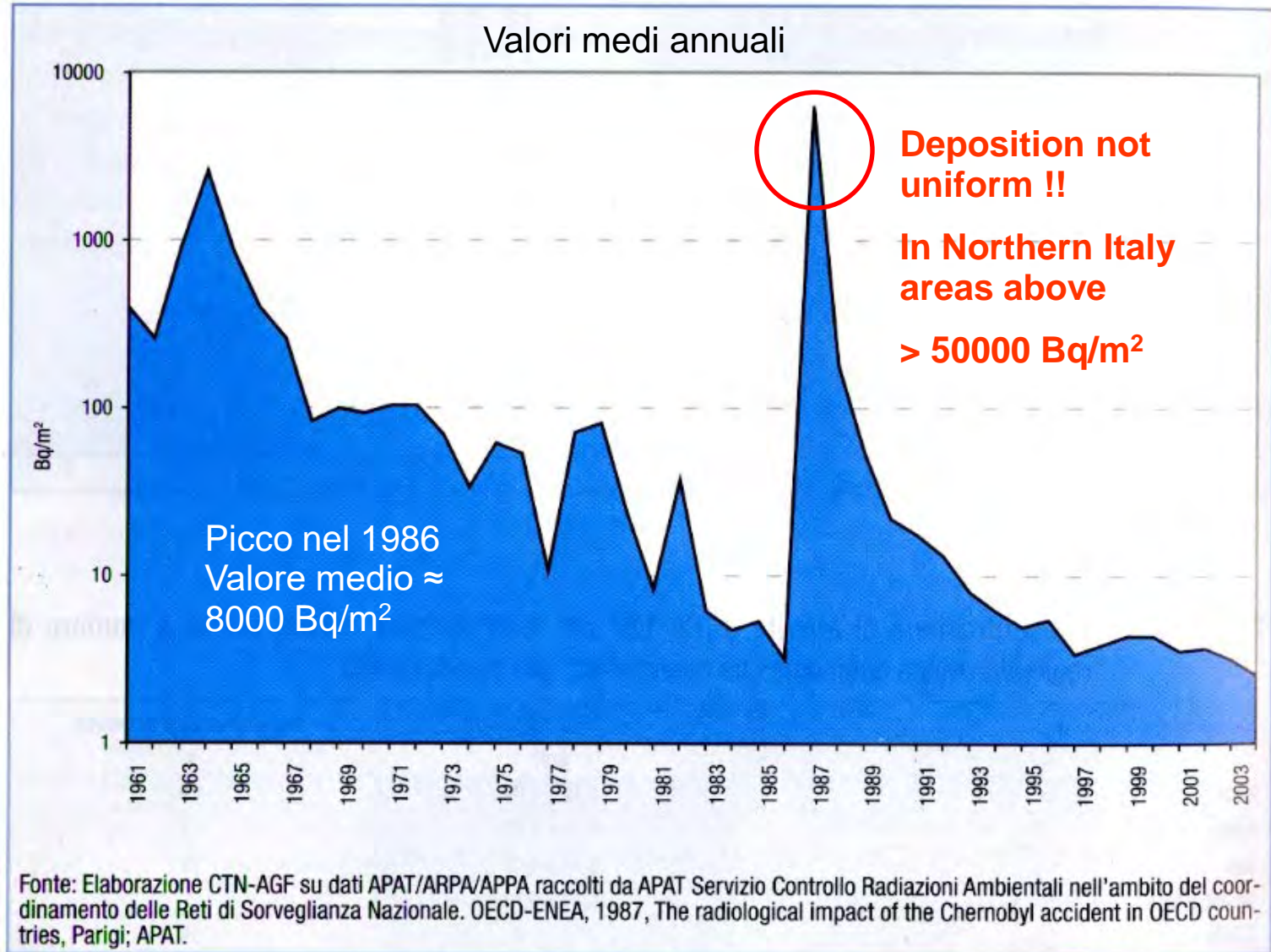
c) La deposizione umida e secca (Fallout)

- 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}Cs misurati nel fallout corrispondano a concentrazioni in aria $< 0,5 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$
- Oltre a misure mensili di spettrometria γ , vengono effettuate anche misure semestrali di ^{90}Sr e Plutonio

c) La deposizione umida e secca (Fallout)



^{137}Cs Deposition in Italy

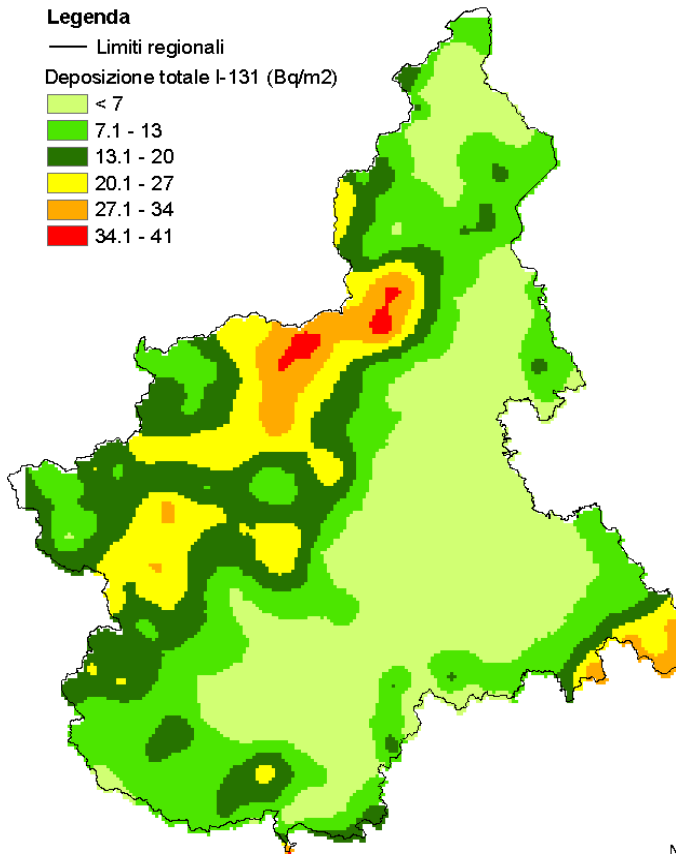
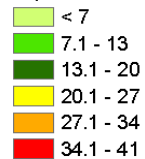


Stima deposizione ^{131}I Fukushima

Legenda

— Limiti regionali

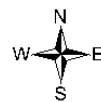
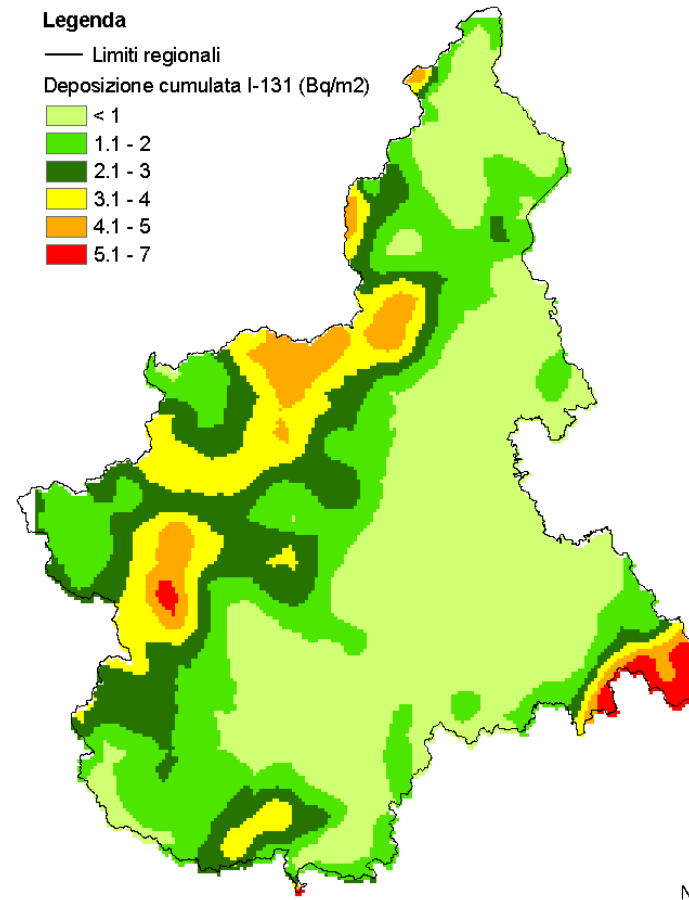
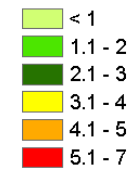
Deposizione totale I-131 (Bq/m²)



Legenda

— Limiti regionali

Deposizione cumulata I-131 (Bq/m²)



Fenomeni di concentrazione della radioattività in talune matrici

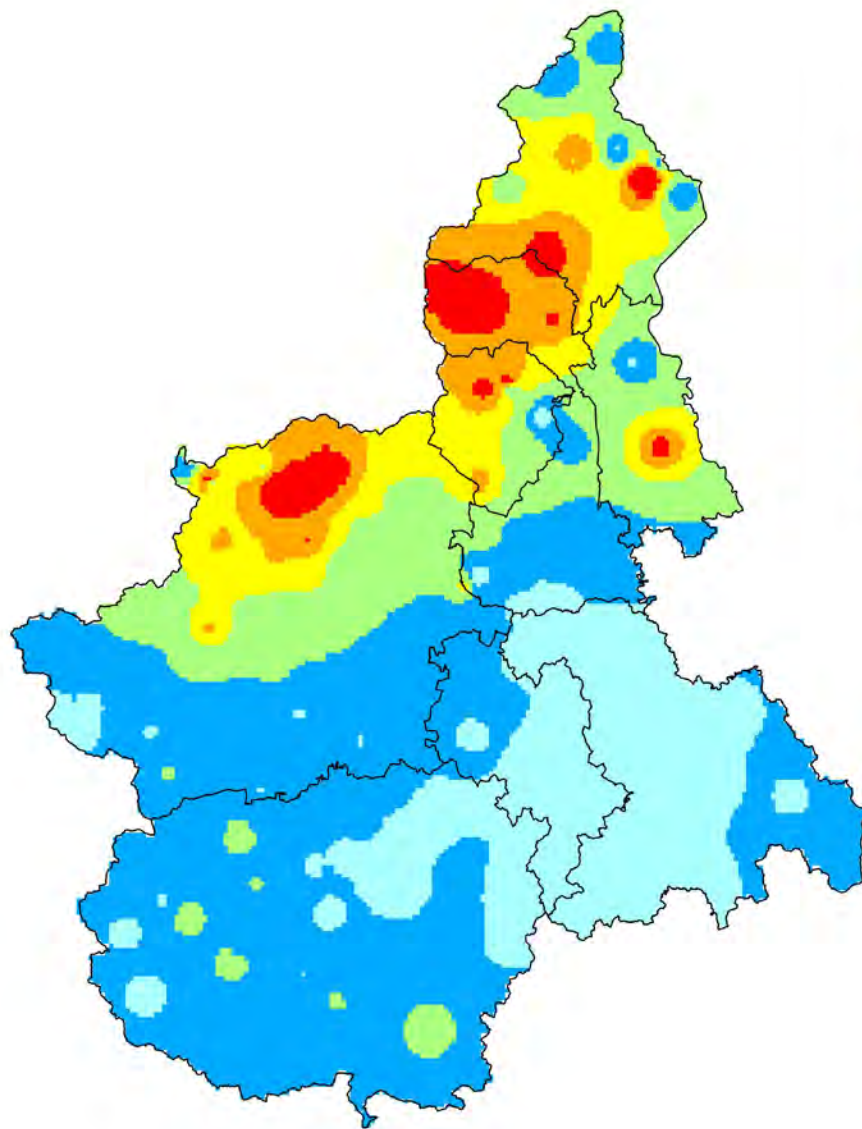
- Selvaggina, funghi
- Residui di combustione (ceneri) provenienti da pellet e legname (centrali termoelettriche a cippato)
- Non sono situazioni che destano eccessiva preoccupazione dal punto di vista degli effetti sanitari: le dosi restano infatti di solito molto basse, anche ipotizzando scenari “estremi”

I cinghiali radioattivi della Valsesia

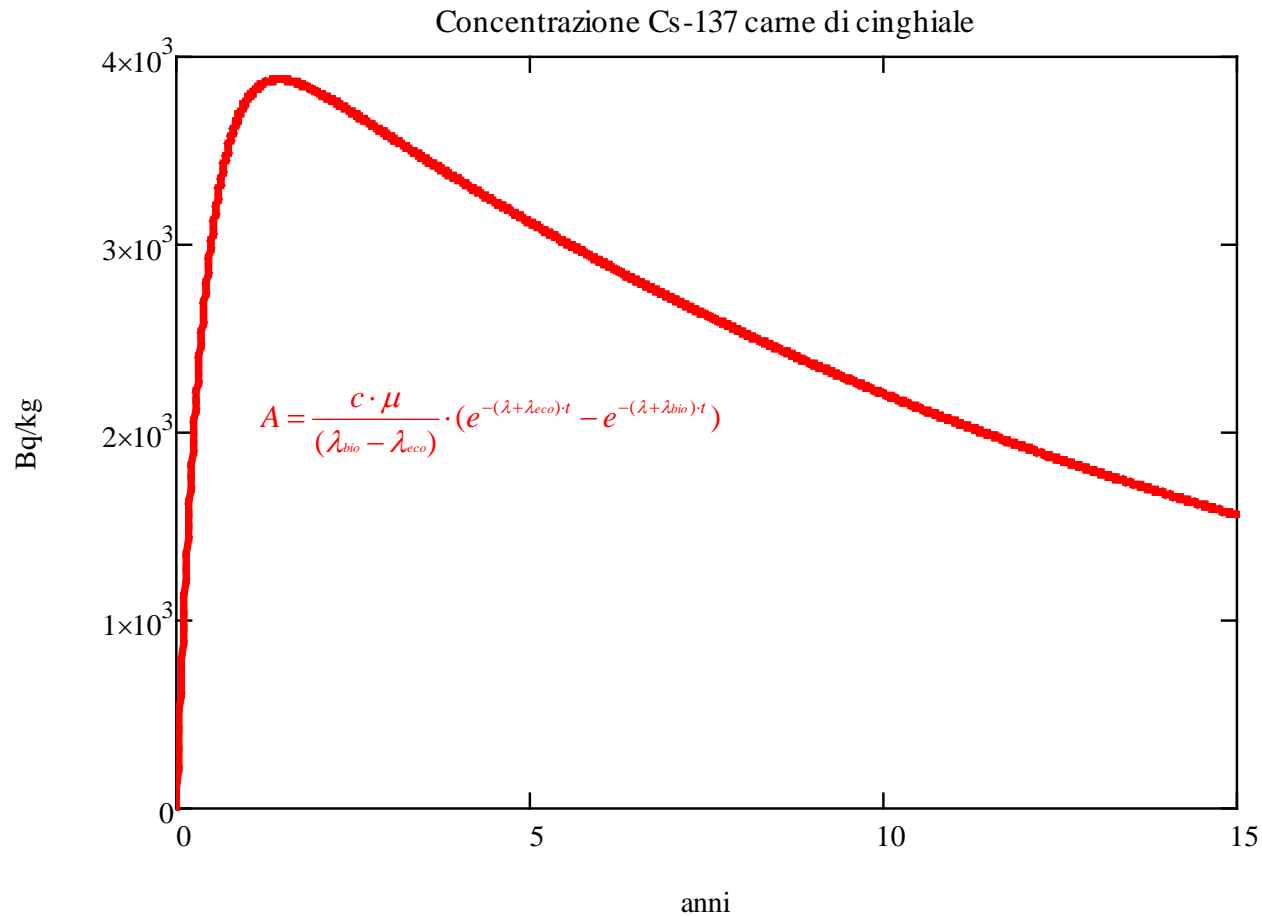
- Campioni di muscolo (lingua e diaframma, analizzati dagli IZZSS) con concentrazioni fino a oltre **5000 Bq/kg**, con valori medi elevati in quasi tutti i campioni analizzati



- Si tratta di valori elevati per un alimento, se si tiene conto che 1000 Bq/kg è il limite di legge per considerare una certa sostanza radioattiva
- Livelli erano d'altra parte stati trovati, anche recentemente (2010) in altri paesi europei (Germania, Austria, Repubblica Ceca), dove la deposizione del ^{137}Cs “di Chernoby” era paragonabile a quelle di alcune nostre aree alpine : fino a 6000 – 8000 Bq/kg. In Austria (nel 1996) venne misurato un esemplare con concentrazioni > 17000 Bq/kg!!



2013



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/m²) di ¹³⁷Cs **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**

Caduta di satelliti con sistemi nucleari a bordo

Il territorio italiano è sorvolato da quasi tutti i satelliti ex-sovietici

Vi possono essere rischi in seguito a problemi di lancio (Baikonour) o per un rientro accidentale

Vi sono satelliti sia russi che americani equipaggiati con apparati nucleari

Caduta di satelliti con sistemi nucleari a bordo

Vi sono due tipi di apparecchi:

- a) generatori termoelettrici a radioisotopi (RTG), che impiegano Pu-238, Po-210
- b) reattori nucleari veri e propri (NR)

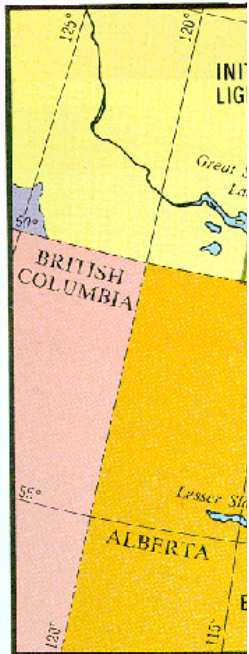
Caduta di satelliti con sistemi nucleari a bordo

Un elenco (incompleto) dei principali rientri accidentali “radioattivi”:

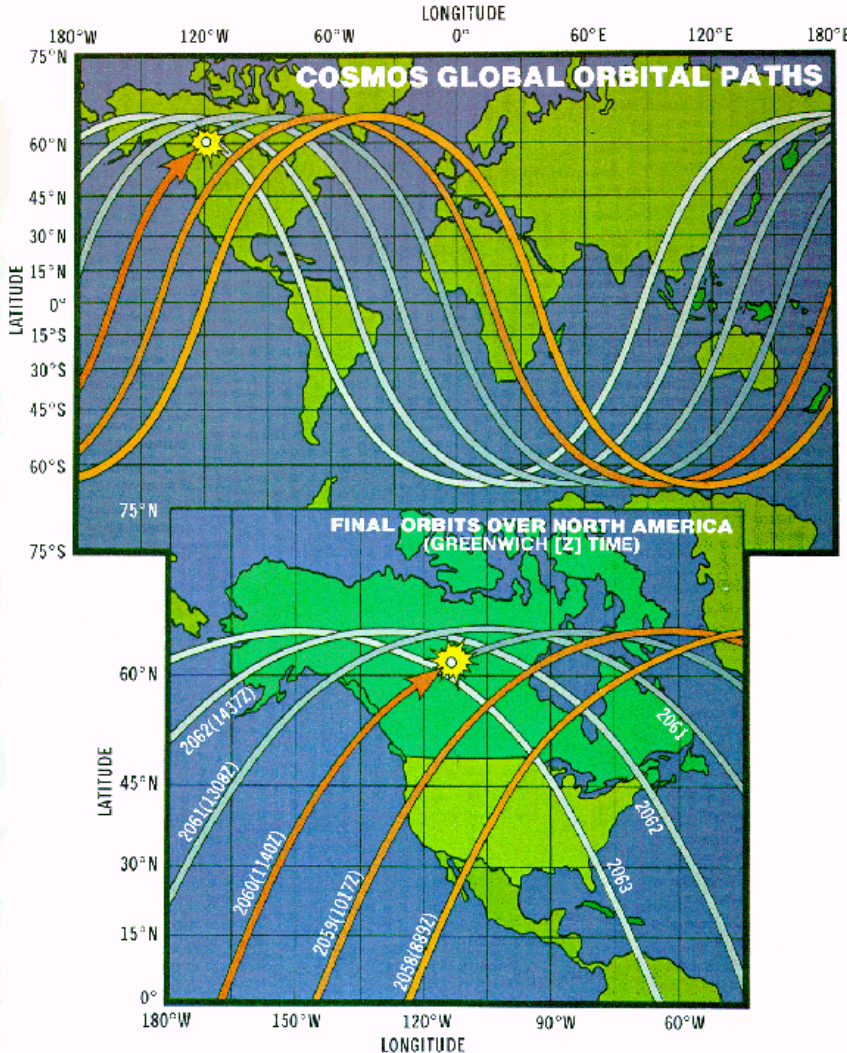
- 1) aprile 1964 TRANSIT 5BN3 (USA), RTG Pu-238
- 2) maggio 1968 NIMBUS B3 (USA), RTG Pu-238
- 3) aprile 1971 APOLLO 13/AQUARIUS, RTG Pu-238
- 4) gennaio 1978 COSMOS (URSS), NR U-235
- 5) febbraio 1983 COSMOS (URSS), NR U-235

Un esempio storico: il rientro accidentale sul Canada del Cosmos 954 nel 1978

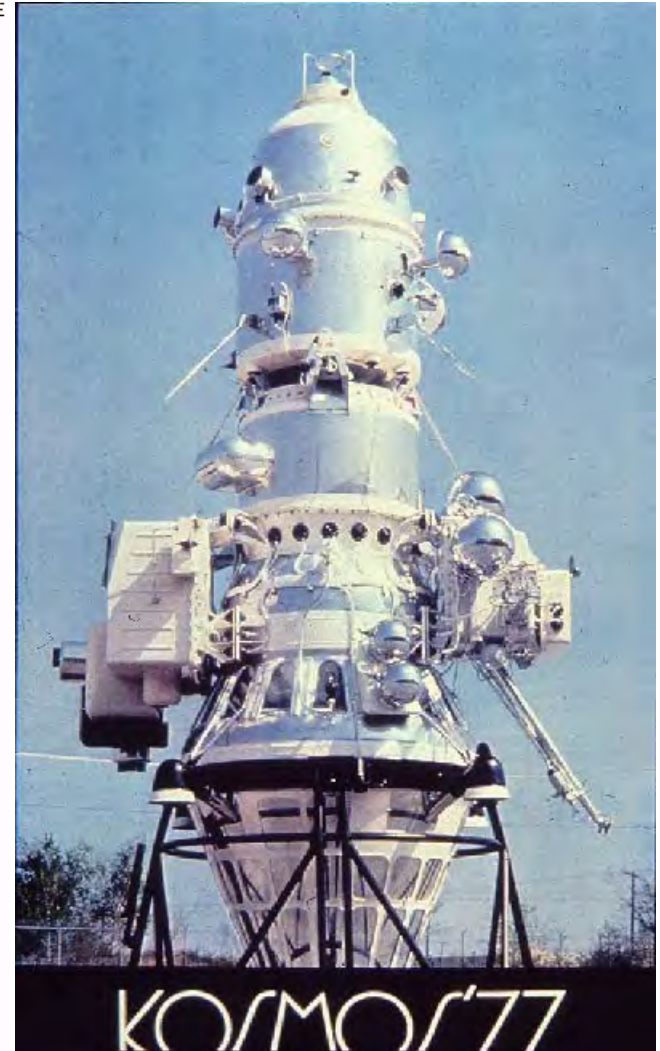
- Satellite



Cosmos reentry footprint



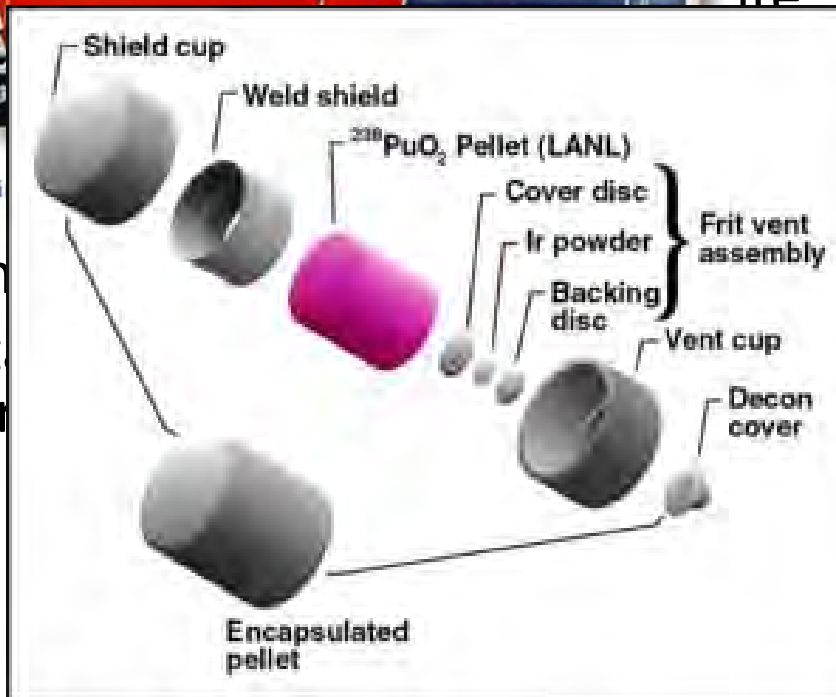
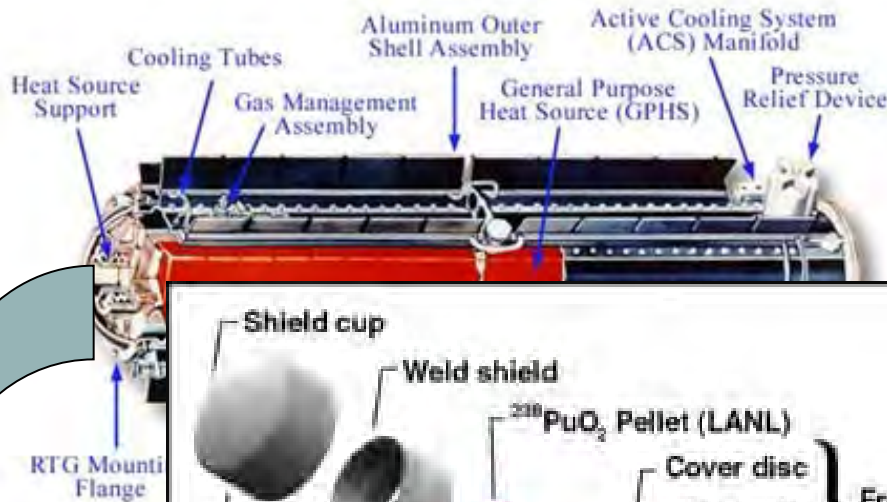
Orange and red lines show the final complete orbits (2058, 2059) as well as the partial orbit (2060), which terminated in re-entry over Canada. Blue lines show the potential orbits (2061, 2062, 2063) which Cosmos 954 would have followed had it re-entered later.



Vi sono stati molti altri eventi dello stesso tipo, meno eclatanti e conosciuti....

- Sa
- The
- 196
- Si
- 199
- Era
- (
- Mc
- essi
- produzion
- Po
- futuro altri

GPHS-RTG



reattori RTG (Radioisotope
 aporizzò nell'atmosfera nel
 = 87,7 anni)

meno documentati: nel
 el Pacifico al largo del Cile.
 ate ^{238}Pu

i) continuano ad
 milari per la

) e si abbiano in

Caduta di satelliti con sistemi nucleari a bordo

- Le possibili conseguenze per il territorio italiano:

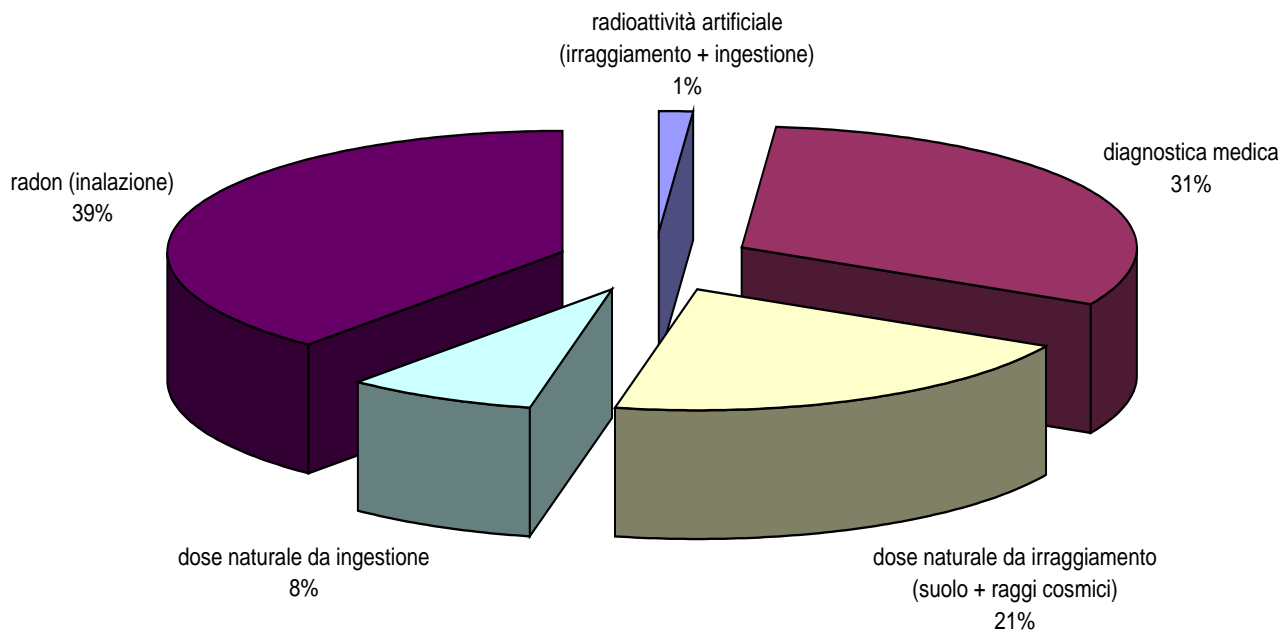
Dalle esperienze passate, l'area interessata alla caduta di frammenti dovrebbe essere un rettangolo 20x600 km!

Necessità di disporre di numerosi mezzi aerei per un'efficace recupero dei frammenti contaminati

In Canada, con 13 mezzi aerei adibiti alla ricerca, ci volle circa 1 anno

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}U , ^{235}U , ^{232}Th), con emivite sufficientemente lunghe da consentire loro di "sopravvivere" dai tempi della nucleosintesi (miliardi di anni fa)

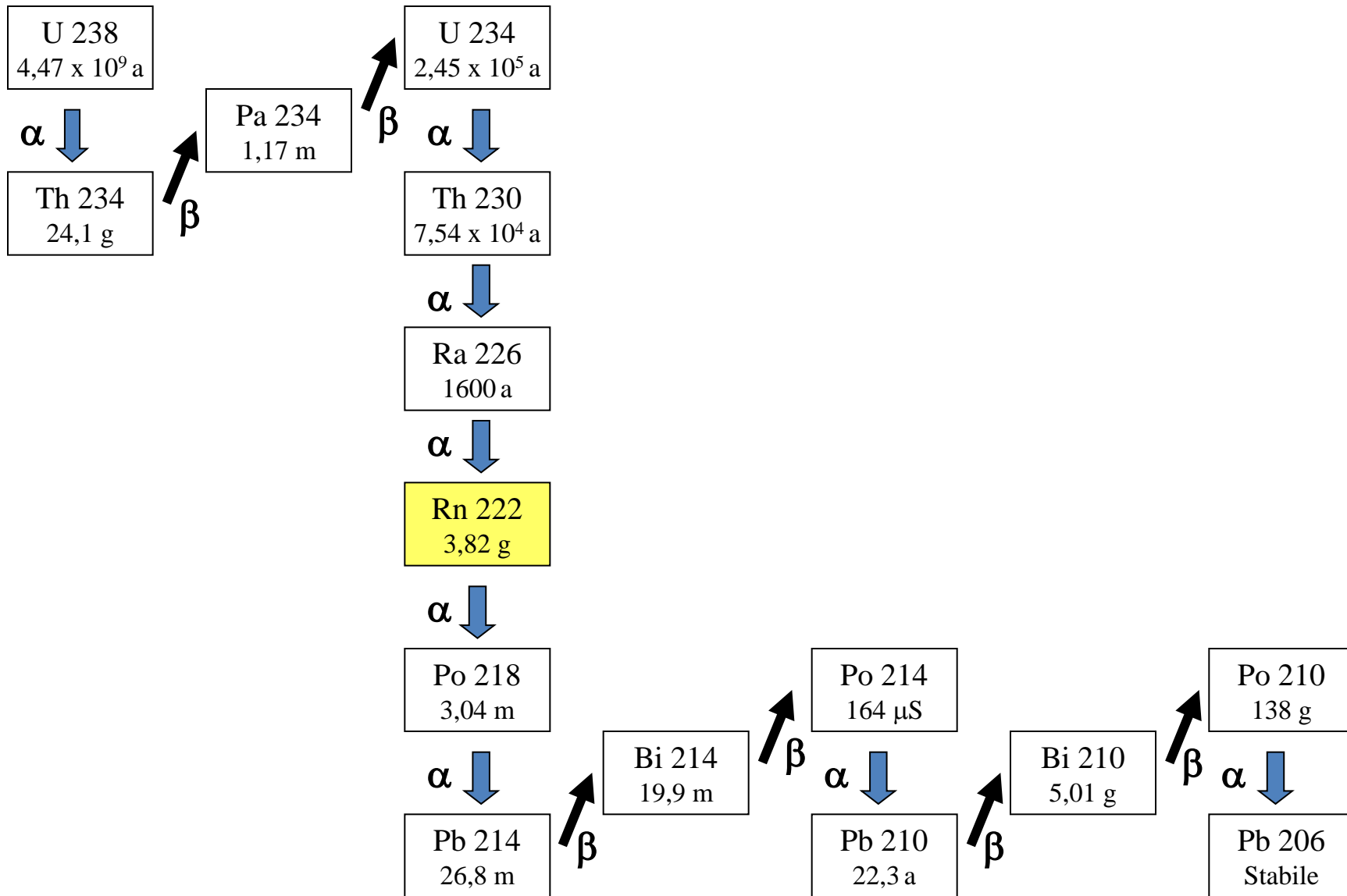


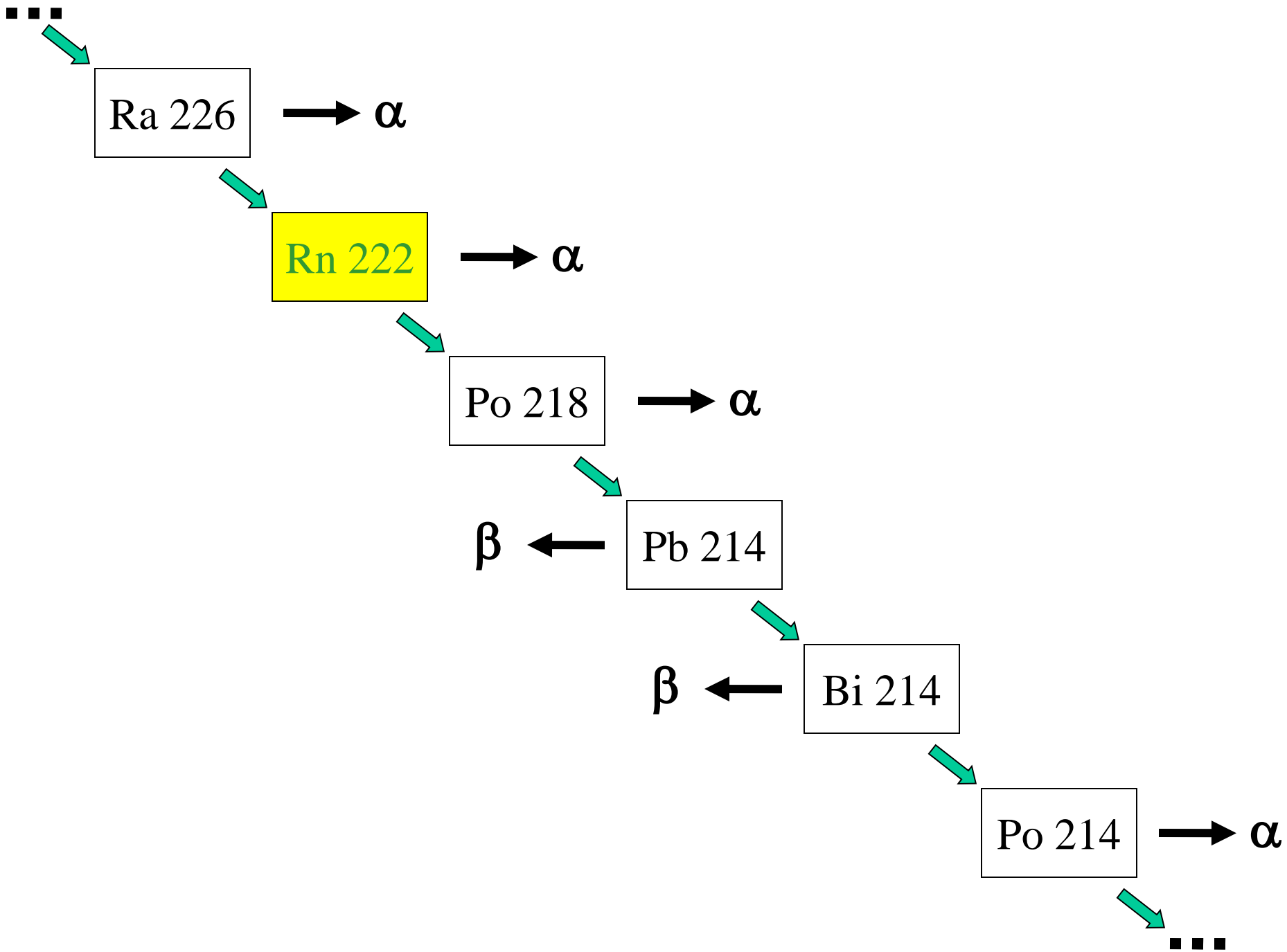
Abbiamo:

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

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

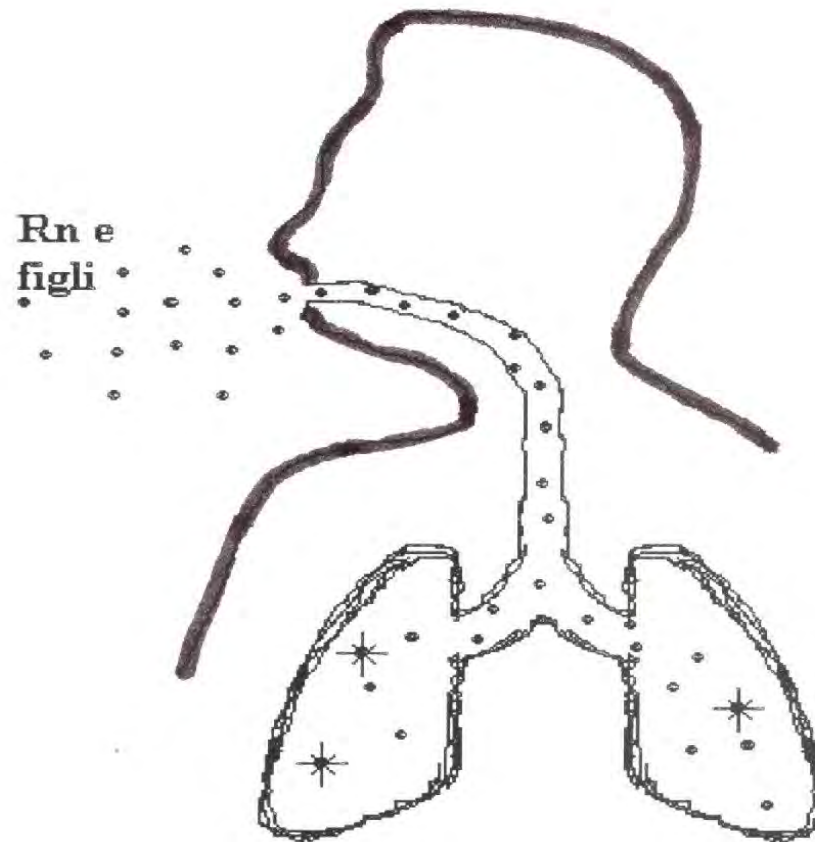
^{235}U , il capostipite della cosiddetta famiglia dell'Attinio, con $t_{1/2} = 7.38 \cdot 10^8$ anni





Natura del rischio radon

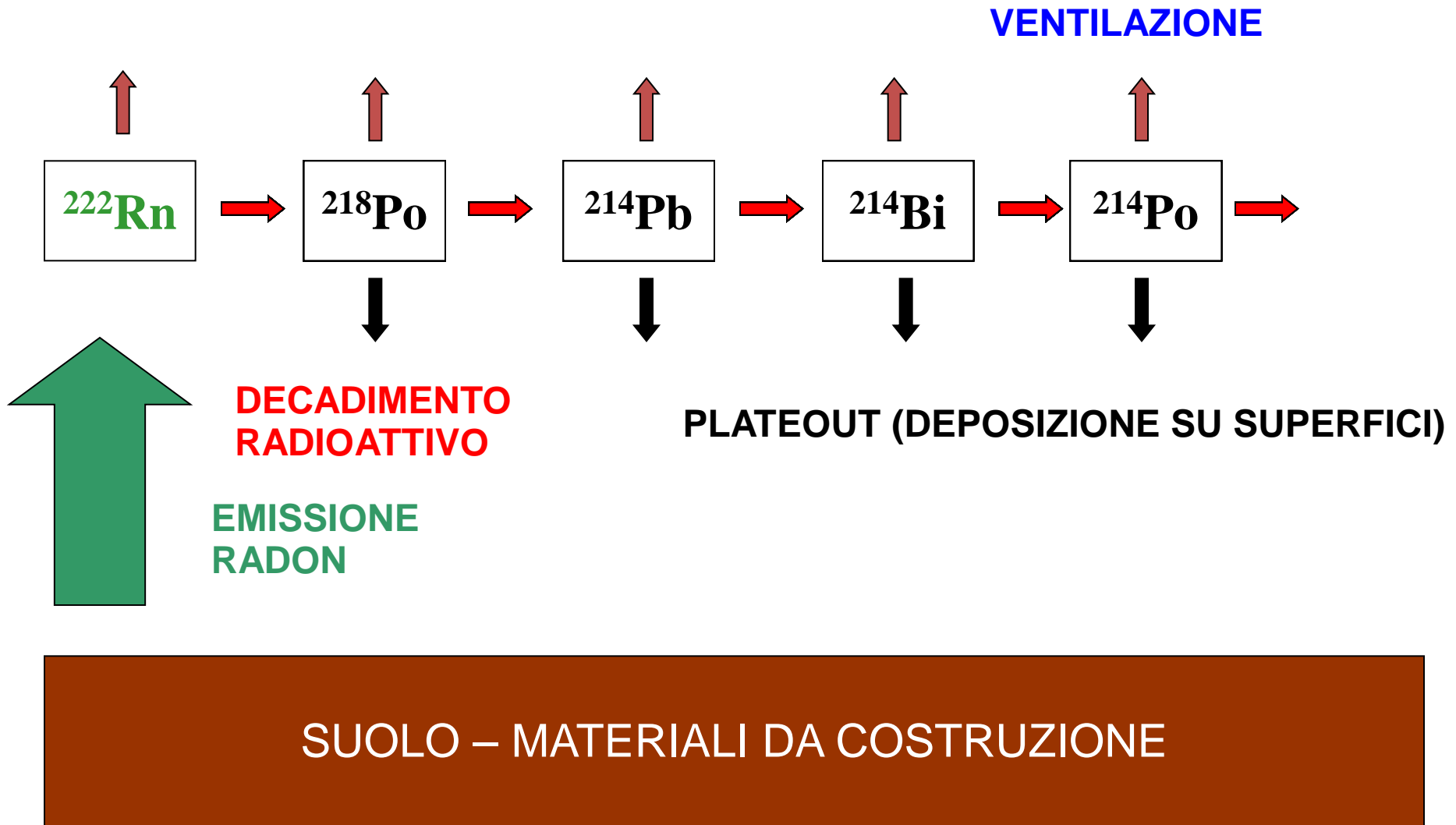
- Il rischio radiologico attribuito al radon è essenzialmente dovuto ai suoi figli a vita breve
- In particolare gli α emettitori:
 - ^{218}Po e ^{214}Po
- Essi si attaccano al pulviscolo fine (particelle con $\varnothing < 1 \mu\text{m}$) e vanno ad irraggiare le cellule basali dell'epitelio bronchiale



Natura del rischio radon

- E' quindi importante valutare la presenza in ambiente dei figli del Rn-222
- Non solo i Poloni, ma anche il ^{214}Pb e il ^{214}Bi , β emettitori (con righe γ) che decadono poi nel ^{214}Po
- La misura diretta di tutti i figli del radon sarebbe auspicabile, in linea di principio, per una corretta stima del rischio

Il sistema radon e figli a vita breve indoor



Rischio radon

- Si valuta che una quota variabile, ma consistente, dei tumori polmonari sia attribuibile al radon
- Per quanto riguarda l'Italia, esso può essere preliminarmente stimato in 5%-20% di tutti i tumori polmonari e quindi circa 1500-6000 casi/anno (su un totale di circa 31000)

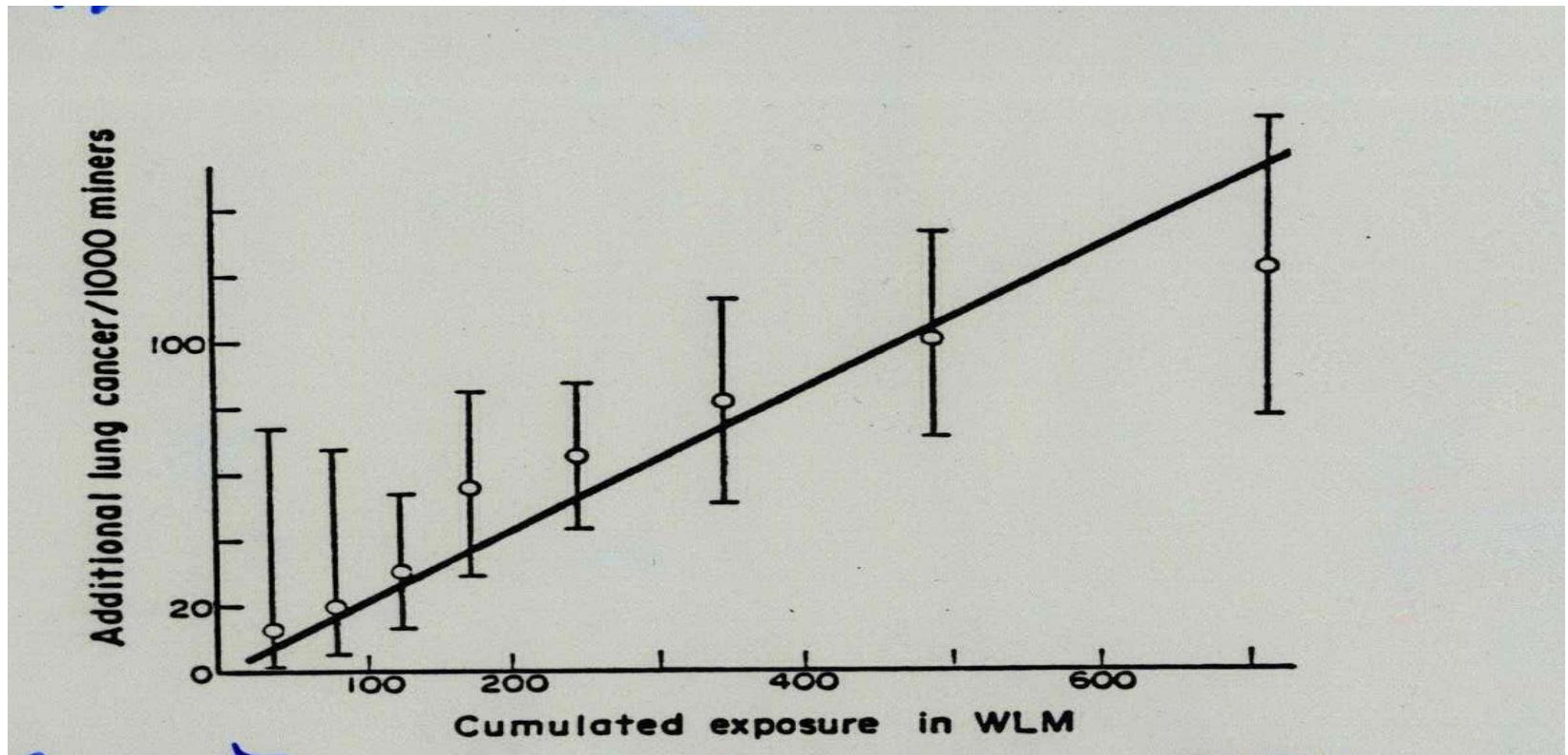
Rischio radon

- Sulla base di ciò, non stupisce quindi che **il radon, assieme ai suoi prodotti di decadimento**, sia stato classificato dallo IARC-OMS , fin dal 1988, come:

agente cancerogeno di gruppo 1



Studi epidemiologici su minatori (Archer et al., 1973)

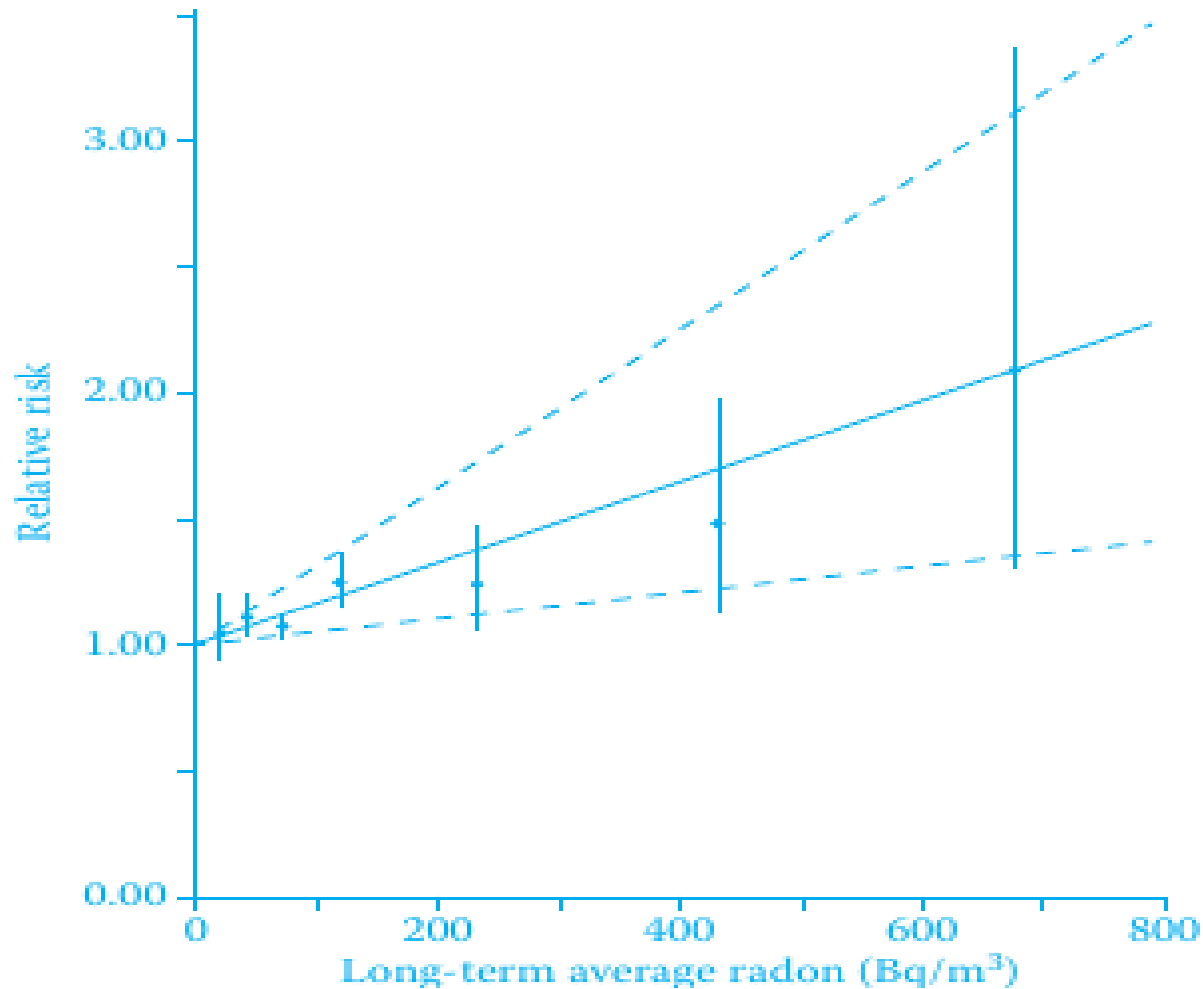


Studi sulla popolazione generale

- Sono stati progettati ed eseguiti, a partire dagli anni '90, studi epidemiologici (perlopiù caso-controllo), per verificare se anche per l'esposizione si riscontrava un rischio simile a quello visto per i lavoratori
- Parecchi di questi studi hanno confermato la cancerogenicità del radon anche per le esposizioni residenziali, per livelli di concentrazione relativamente bassi
- Elenco di alcuni dei lavori principali:
 - Pershagen et al. (1994, *The New England J. Med.*)
 - Lubin et al., (1997, *Radiat. Res.* ; 2004, *Int. J. Cancer*)
 - **Darby et al., (2004, *British Med. Journal*)**
 - Bochicchio et al., (2005, *Int. J. Cancer*)

Radon, esposizione residenziale

Rischio Relativo



Eventi Locali

- Problemi, anche molto gravi, di radioprotezione ambientale possono derivare dall'uso improprio di sorgenti di radiazione e dalla perdita di controllo di sorgenti radioattive impiegate in vari campi industriale e medico
- Meno conosciuti a livello del grande pubblico, possono talvolta avere conseguenze molto serie

Smaltimento improprio o illecito di sorgenti ad alta attività di uso medico

- I casi più pericolosi sono quelli relativi a sorgenti ad alta attività, impiegati un tempo per trattamenti di radioterapia (Co-60, Cs-137)
- Il più grave di tutti fu l'incidente radiologico di Goiania, in Brasile
- Una sorgente ad alta attività di Cs-137 (dell'ordine di 50 TBq), impiegata in una clinica privata venne abbandonata
- La testata contenente cloruro di cesio radioattivo venne venduta a un rottamaio (1987)

- Questi ruppe il contenitore e portò alla luce il cloruro di cesio, un materiale che nella notte brillava di una bellissima luce blu
- Parte di questo materiale venne distribuito a diverse famiglie che se lo portarono a casa
- Dopo circa 5 giorni alcune persone cominciarono a denunciare gravi sintomi gastrointestinali
- Più di 20 persone vennero ospedalizzate, 4 morirono nel giro di qualche settimana: si stima che avessero ricevuto dosi dell'ordine di 4,5-6 Gy

- Indagini più approfondite portarono a identificare circa 250 persone contaminate, 85 case seriamente contaminate, 41 di esse dovettero essere evacuate
- I lavori di decontaminazione dell'area durarono diversi mesi e portarono al confezionamento di 3500 m³ di rifiuti radioattivi: la radioattività recuperata nei rifiuti corrispondeva complessivamente a circa 44 TBq a fronte di un valore della sorgente stimato in 50,9 TBq

Smarrimento/smaltimento illecito di sorgenti industriali

- Sorgenti, ad alta – media attività, possono finire nei rottami metallici e quindi entrare nel ciclo del recupero dei materiali
- Diversi episodi sono avvenuti nel nostro paese, in varie zone del Nord Italia, negli anni '90 e nella prima decade del 2000: gli effetti su lavoratori e popolazione furono in generale limitati ma le contaminazioni ambientali e i danni economici furono ingenti

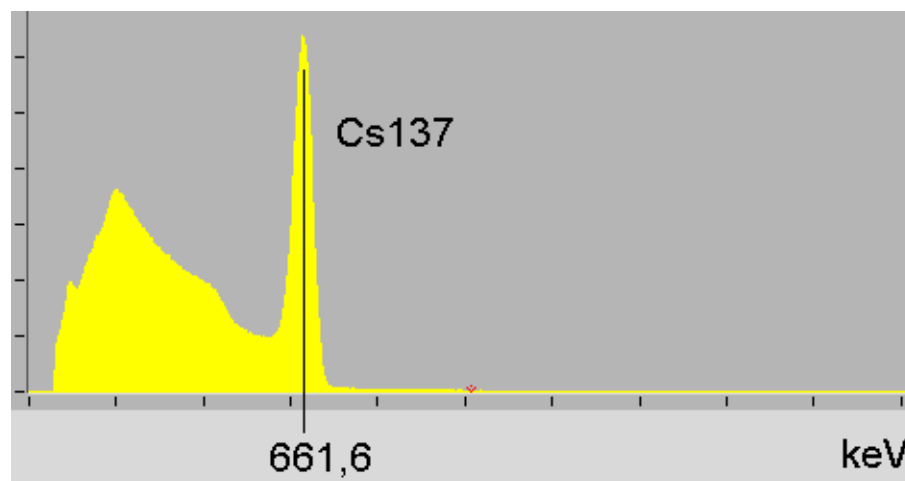
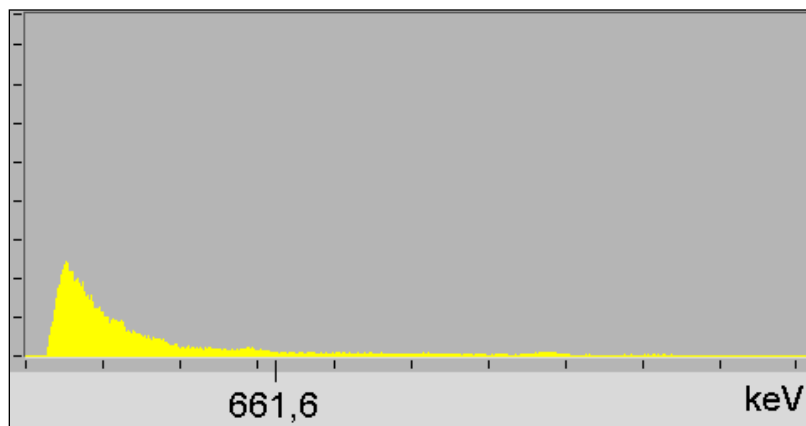
Incidente radiologico

Acciaierie Beltrame, San Didero (TO)

- Il 28 ottobre 2005, la Beltrame di San Didero (TO) segnala un allarme radioattività riscontrato dai rivelatori a portale su un carico di polveri abbattimento fumi **in uscita** dallo Stabilimento
- L'intervento ARPA e dei VV. F. porta a una prima caratterizzazione dell'incidente e al blocco dell'impianto



Intervento Acciaierie Beltrame 28 e 29 Ottobre 2005



**Spettri γ (NaI) acquisiti all'esterno dello stabilimento (rateo di dose in
aria: $0,03 \mu\text{Sv/h}$) e all'interno del capannone deposito polveri di
abbattimento fumi (rateo di dose in aria: $3,26 \mu\text{Sv/h}$)
Tempo di acquisizione 5 minuti**

- Come primi interventi si procede a:
 1. Blocco dell'impianto e interdizione all'accesso delle aree contaminate (da parte dei VVF)
 2. Monitoraggio esteso di tutto l'impianto e delle aree limitrofe
 3. Prelievo di campioni di polveri e ambientali nelle varie sezioni dell'impianto

Bonifica impianto...

- Al termine delle operazioni di bonifica sono rimasti provvisoriamente stoccati sul sito 401 big bag di polveri di abbattimento fumi per poco più di 400 tonnellate, così caratterizzate dal punto di vista radiologico:
- **n°286 big bag classificati “rossi” ($C > 1000$ Bq/kg), contenenti 287,79 tonnellate di polveri con attività totale di Cs-137 di 1215328 kBq**
- **n° 115 big bag classificati “gialli” ($380 \leq C \leq 1000$ Bq/kg), contenenti 121,4 tonnellate di polveri con attività totale di Cs-137 di 61624 kBq**
- L'attività totale dispersa nelle polveri stoccate risulta quindi essere di circa 1,3 GBq.

- Ci vollero poi circa 10 anni per la bonifica definitiva, cioè l'allontanamento di tutto il materiale radioattivo....ma questa è un'altra storia.....

Radiografia Industriale

- Sono ricomprese con questo termine tutte quelle tecniche che fanno uso di raggi X o raggi γ per effettuare radiografie su manufatti metallici
- Per esempio, per controllare l'esecuzione di saldature (tubi per gas, ecc.) e in generale per verificare la presenza di difetti

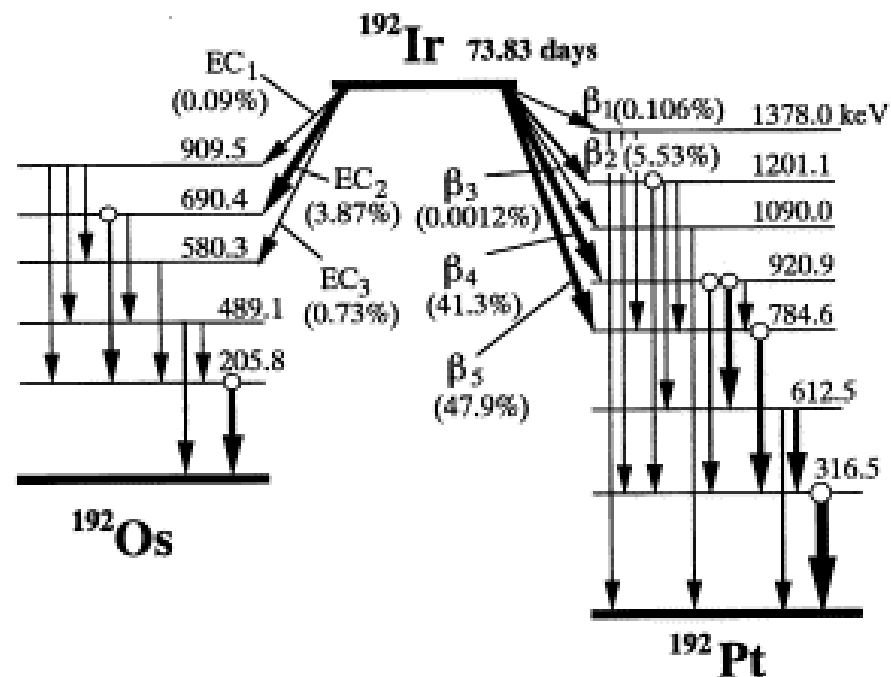
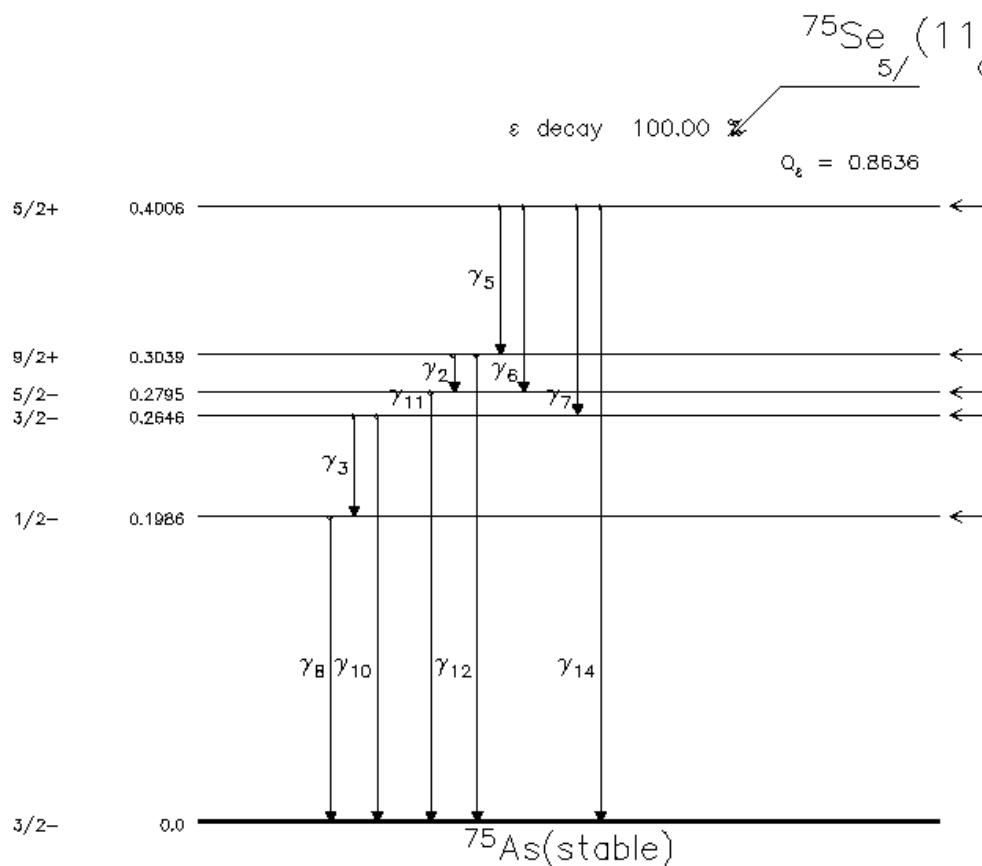
Radiografia Industriale

- Si impiegano a questo scopo **tubi radiogeni** (raggi X) ad elevata intensità ed elevato voltaggio, oppure **sorgenti sigillate γ emittenti** (cioè sorgenti allo stato solido fabbricate in modo da rimanere confinate nel loro involucro protettivo e non disperdersi nell'ambiente), di solito:

^{192}Ir (EC, β/γ , $t_{1/2}$ =73,8 giorni)

^{75}Se (EC/ γ , $t_{1/2}$ =119,8 giorni)

Schemi di decadimento

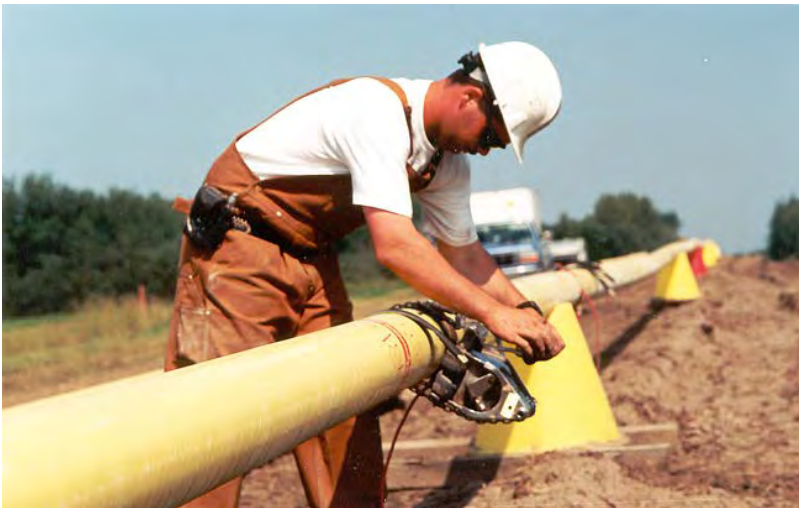


Tubi a raggi X per usi industriali



Controllo
saldature







Apparecchi per γ grafia



Custodia della sorgente di solito in Uranio impoverito, materiale ad alto Z, ed elevata densità:

$$\rho = 19 \text{ g/cm}^3$$



Rischio radiologico

- Potenzialmente elevato per popolazione e lavoratori perché:
 - si opera spesso in aree aperte, non sempre adeguatamente delimitate e segnalate e ad accesso spesso non controllato
 - sorgenti impiegate ad elevata attività, dell'ordine di qualche TBq (10^{12} Bq)

Esempio: rateo di dose misurato durante un controllo: $100 \mu\text{Sv/h}$

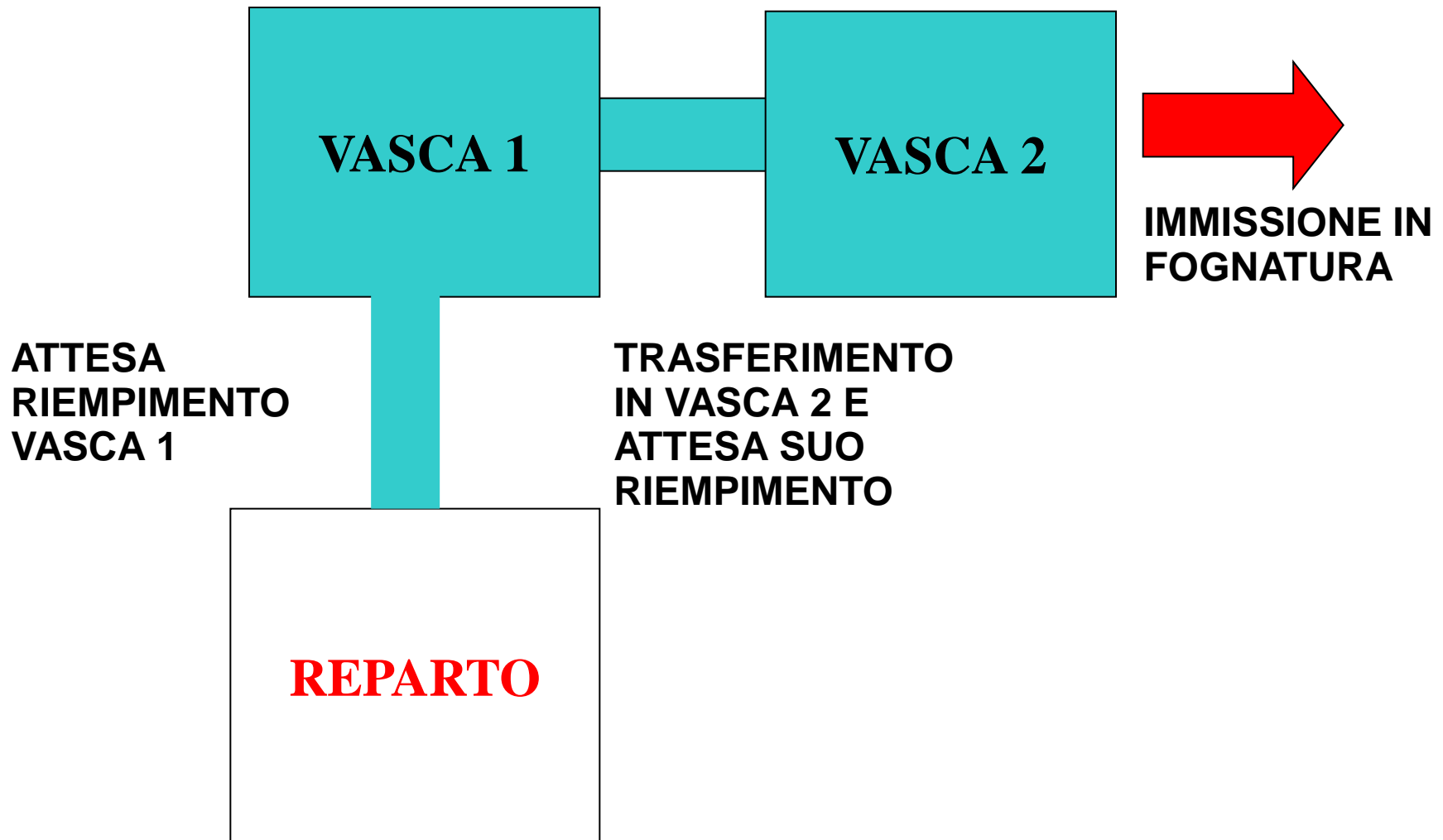


Radionuclidi in ambito sanitario: possibili impatti ambientali

- 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

Smaltimento “in esenzione” di rifiuti liquidi ospedalieri

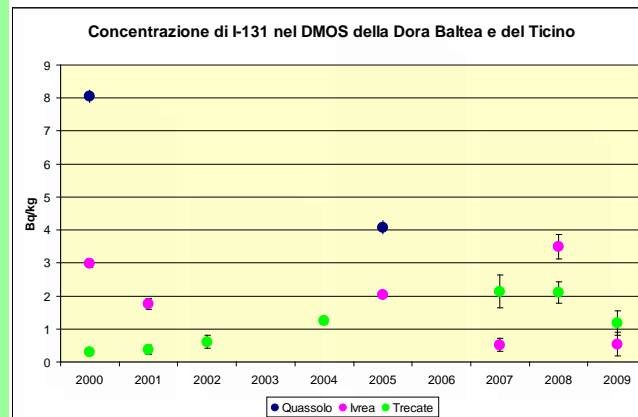
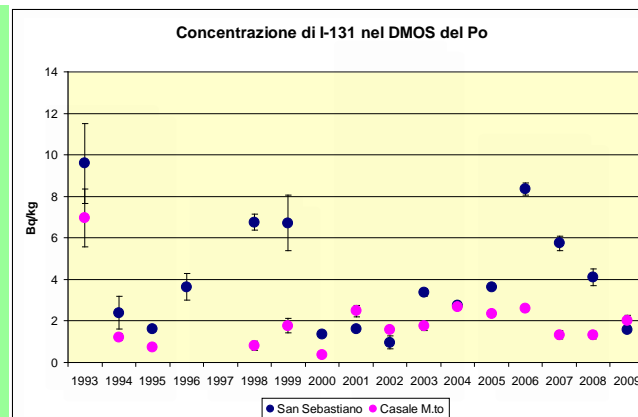


I radionuclidi di origine ospedaliera nell'ambiente

- Dove vengono trovati in ambiente i radionuclidi di origine ospedaliera ?
 1. Nei corpi idrici: acqua fluviale e sedimenti
 2. Nei fanghi di depurazione
 3. Negli inceneritori

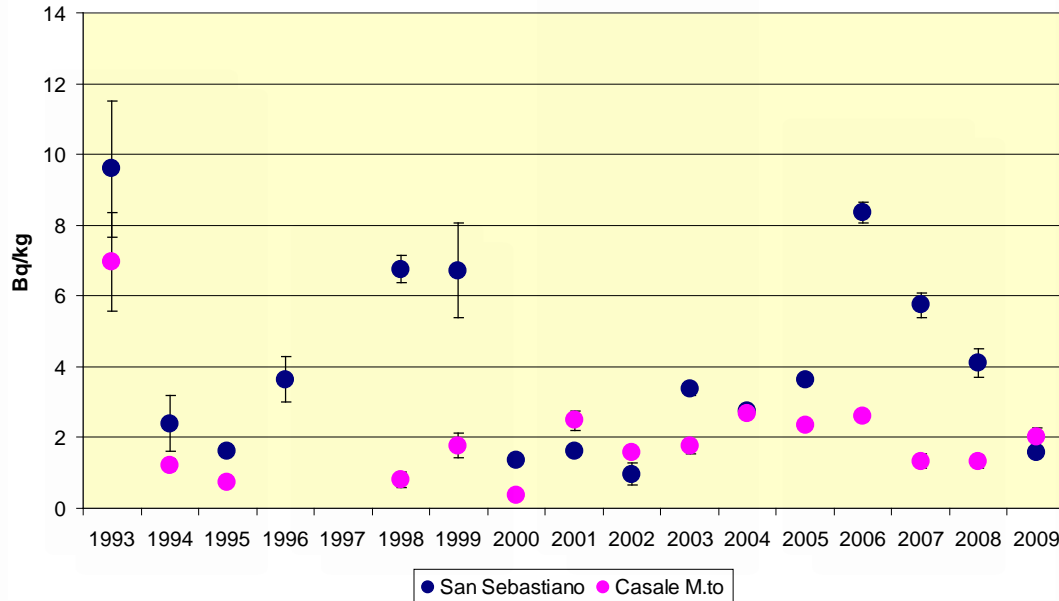
DMOS (Detrito Minerale Organico Sedimentabile) e FANGHI DI DEPURAZIONE

- 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

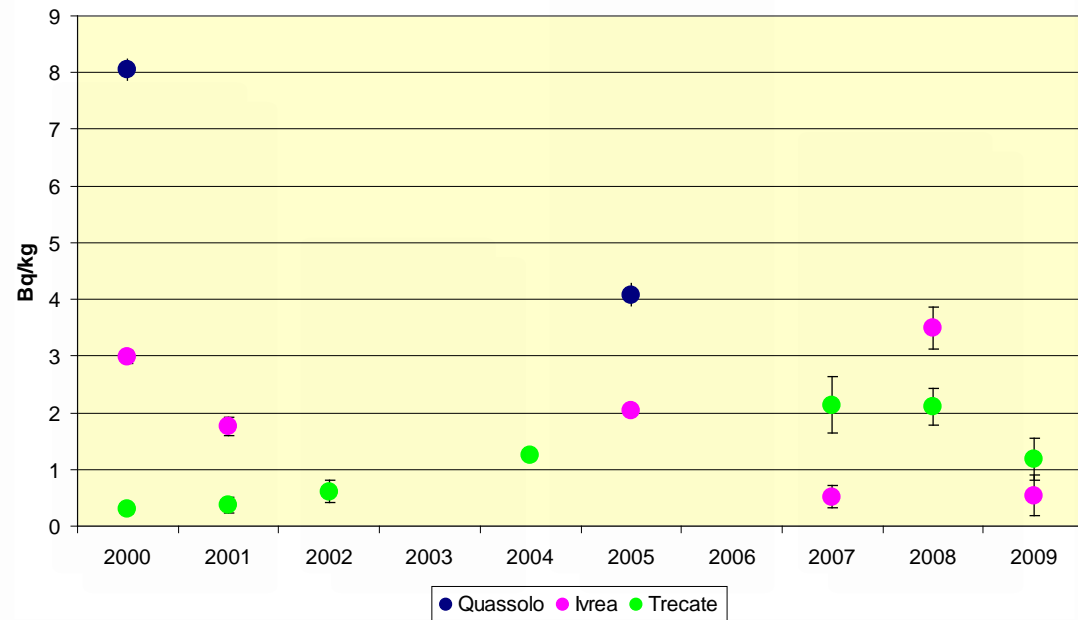


I-131 nel DMOS (origine ospedaliera)

Concentrazione di I-131 nel DMOS del Po



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



- Oltre ai rifiuti liquidi, dispersi nelle fognature, c'è pure una piccola frazione di attività che giunge in ambiente anche attraverso rifiuti solidi urbani
- Infatti, pur essendo lo smaltimento dei rifiuti solidi di solito appaltato a ditte autorizzate che prelevano direttamente dagli ospedali i solidi contaminati, accade che i pazienti dimessi possono produrre RSU contaminati (spesso si tratta di pazienti trattati con radioterapia metabolica, I-131)

Altri radionuclidi (non solo di origine ospedaliera, trovati nei rifiuti urbani)

- Prodotti di attivazione neutronica

Radionuclide	T$\frac{1}{2}$ (giorni)
V-48	16,23
Co-58	70,8
Co-56	78,76
Sc-46	83,83
Zn-65	243,9
Co-57	270,9
Mn-54	312

La radioattività negli inceneritori: Impianto di Torino-Gerbido

- Le grandi dimensioni dell'impianto generano una serie di problemi gestionali legati all'alta frequenza di anomalie radiometriche registrate dal portale (anche 2-3 volte/settimana). Ciò determina infatti:
 - a) il blocco di un elevato numero di mezzi delle aziende che conferiscono i rifiuti
 - b) l'accumulo di materiale radioattivo nell'area di stoccaggio in attesa di decadimento

- Tutti gli impianti di incenerimento sono ormai dotati di portali per il controllo radiometrico, cioè di un dispositivo di misura delle radioattività costituito da 2 o più rivelatori di radiazione γ di grandi dimensioni posti in modo tale che gli automezzi in entrata vi passino attraverso



Impianto di Torino-Gerbido

- Possibilità di fenomeni di concentrazione nelle polveri di abbattimento fumi
- Episodio 2017: carico in uscita di polveri destinato al riciclo con concentrazioni di circa **1500 Bq/kg di I-131 !!**

Grazie per l'attenzione !

