

# A CENA CON LA SCIENZA 2016

RITORNO A CHERNOBYL:  
SALUTE E AMBIENTE A 30 ANNI DAL DISASTRO NUCLEARE

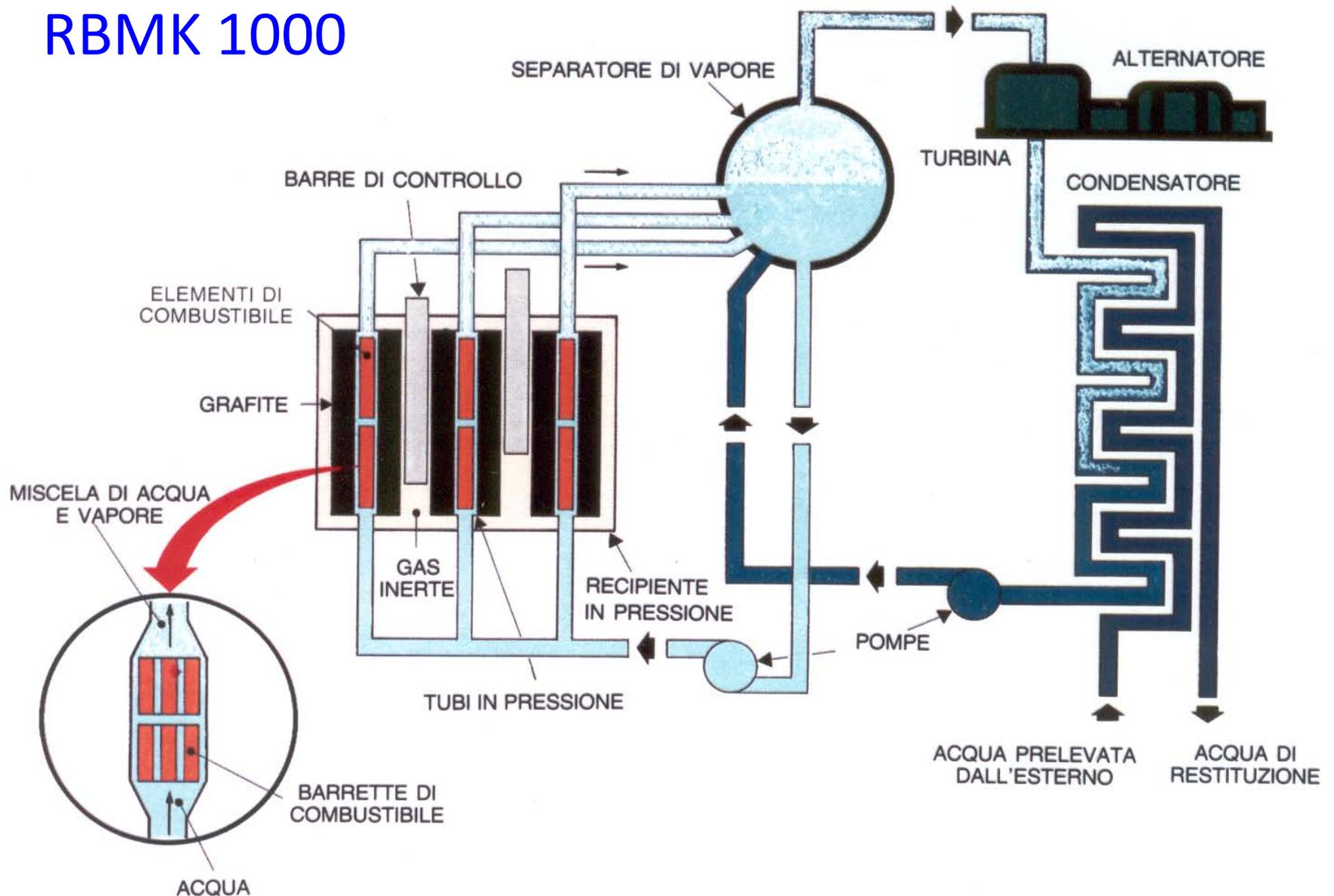
G. TRENTA

# L'INCIDENTE DI CHERNOBYL



L'impianto e il sito prima dell'incidente

# RBMK 1000



TUBI IN PRESSIONE:  
SONO LE TUBAZIONI POSTE NEL NOCCIOLO DEL REATTORE CONTENENTI GLI ELEMENTI DI COMBUSTIBILE E  
PERCORSE DAL REFRIGERANTE PER L'ASPORTAZIONE DEL CALORE PRODOTTO

# INCIDENTE DI CHERNOBYL

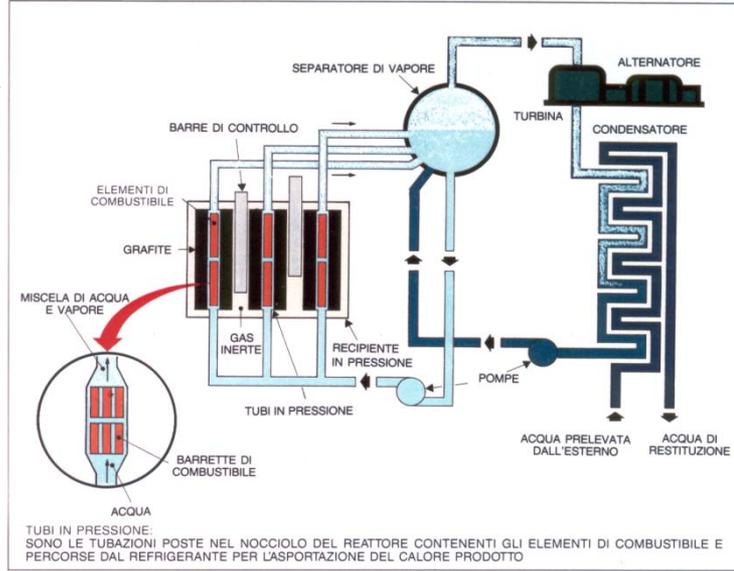
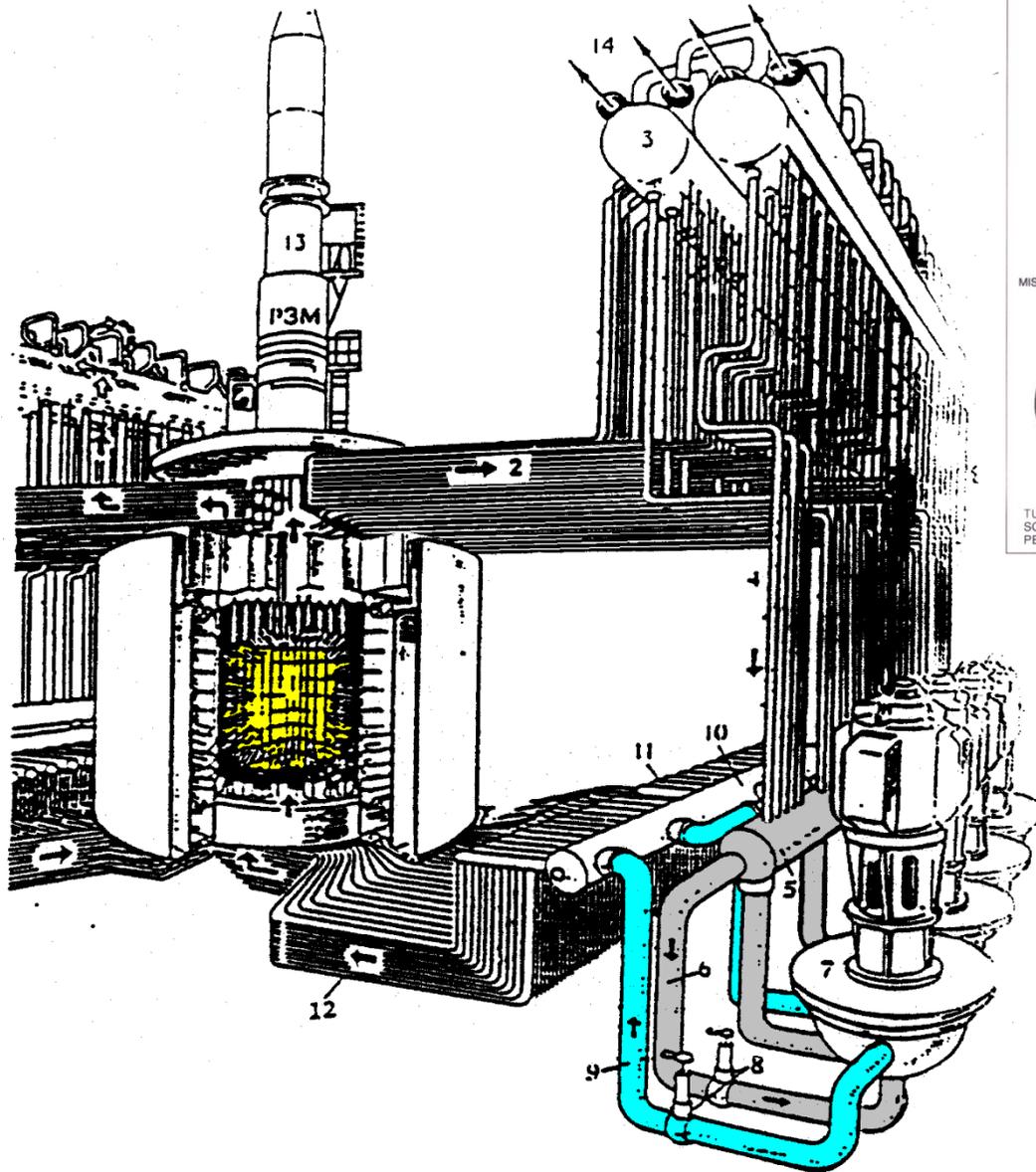
- *26 Aprile 1986, Chernobyl a 100 km da Kiev – Ucraina.*
- *Reattore **RBMK** – raffreddato ad acqua bollente, moderato con grafite.*
- *Il reattore fu distrutto come conseguenza di una repentina inserzione di reattività nel corso di prove sperimentali.*
- *Lo scenario incidentale mostra un **INCREDIBILE INSIEME DI MANOVRE NON CONFORMI ALLE PROCEDURE** eseguite su una tipologia di reattore che, in presenza di **NUMEROSE “LIMITAZIONI” SULLA SICUREZZA, NON CONSENTIVA ERRORI UMANI.***

# LIMITAZIONI SOCIO-POLITICHE

- Rigidità del “sistema” (regime) sovietico
- Assenza di differenziazione dei ruoli istituzionali (controllore-controllato)
- Organizzazione e criteri di conduzione dell’impianto (incarichi per gratificazione politica, promozioni partitiche, ruolo decisionale centralizzato)
- Produzione di Plutonio (per finalità belliche)

# LIMITAZIONI PROGETTUALI

- Virtuale assenza di contenimento secondario con contenimento primario precario (8 mm di zircalloy + ~8 mm acciaio della calandra)
- Instabilità (coefficiente di vuoti positivo)
- Complessità dell'impianto
- Presenza contemporanea di H<sub>2</sub>O, grafite e alte temperature
- Lentezza d'inserimento della barre di controllo (20 s contro 1 s)
- Conformazione delle barre di controllo



- |                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 - reattore                  | 8 - valvole di intercettazione       |
| 2 - tubazioni di uscita       | 9 - tubazioni di mandata             |
| 3 - separatore di vapore      | 10 - collettore di mandata           |
| 4 - tubazioni di discesa      | 11 - collettori di distribuzione     |
| 5 - collettore di aspirazione | 12 - tubazioni di ingresso           |
| 6 - tubazioni di aspirazione  | 13 - macchina di carico-scarico      |
| 7 - pompe di circolazione     | 14 - linee vapore al turbogeneratore |

# LIMITAZIONI DOVUTE AL “FATTORE UMANO”

- Ruoli dirigenziali affidati a ingegneri elettrotecnici o meccanici (impianti termici)
- Fattori conoscitivi (incendio grafite spento con H<sub>2</sub>O?)
- Comportamentali (giocavano a carte e a domino)
- Operativi (violazione delle consegne: 2 errori, 4 prescrizioni disattese)
- Formativi (avevano perso completamente il senso del rischio sanitario)

# LIMITAZIONI CASUALI E DA INEFFICIENZE

- Interruzione esperimento per richiesta di energia dal “dispacciatore”.
- Ultima possibilità di effettuare l’esperimento prima di una lunga fermata per manutenzione: si voleva portare il risultato all’attenzione del mondo scientifico e politico.
- Assenza o inefficienza o inadeguatezza della strumentazione di misura, del vestiario e dei dispositivi di protezione
- Grave e prolungata contaminazione degli operatori e dei VVF

# MOTIVAZIONE

L'incidente avvenne nel corso di un test sperimentale che tendeva a verificare la possibilità di servirsi dell'energia cinetica della turbina, una volta isolata dal vapore, per garantire, in caso di emergenza, l'erogazione di energia elettrica durante l'intervallo necessario a far partire i generatori diesel di soccorso.

Per descrizione dell'evento, vedi: "Diario di Chernobyl" di Gregorii Medvedev su Sapere del febbraio 1990



# I “LAVORATORI DELL’EMERGENZA”

Staff impianti 1,2,3,4 (esclusi affetti da SAR)	374**	
Lavoratori impianti 5,6 in costruzione	268*	
Vigili del fuoco		69**
Guardie		113**
Staff sanitario	10**	
Affetti da SAR (0,8-16Gy)	134	
<u>Totale</u>	≈ 700	

\* presenti all'incidente, non impegnati nell'emergenza

\*\* dose stimata inferiore a 0,8 Gy

Reattori 1, 2, 3 spenti nel '96, '91 e 2000

# EFFETTI DETERMINISTICI

## Caratteristiche:

- *Breve periodo di latenza (eccetto cataratta)*
- *Presenza di una soglia di dose*
- *Relazione dose-gravità*

# EFFETTI DETERMINISTICI

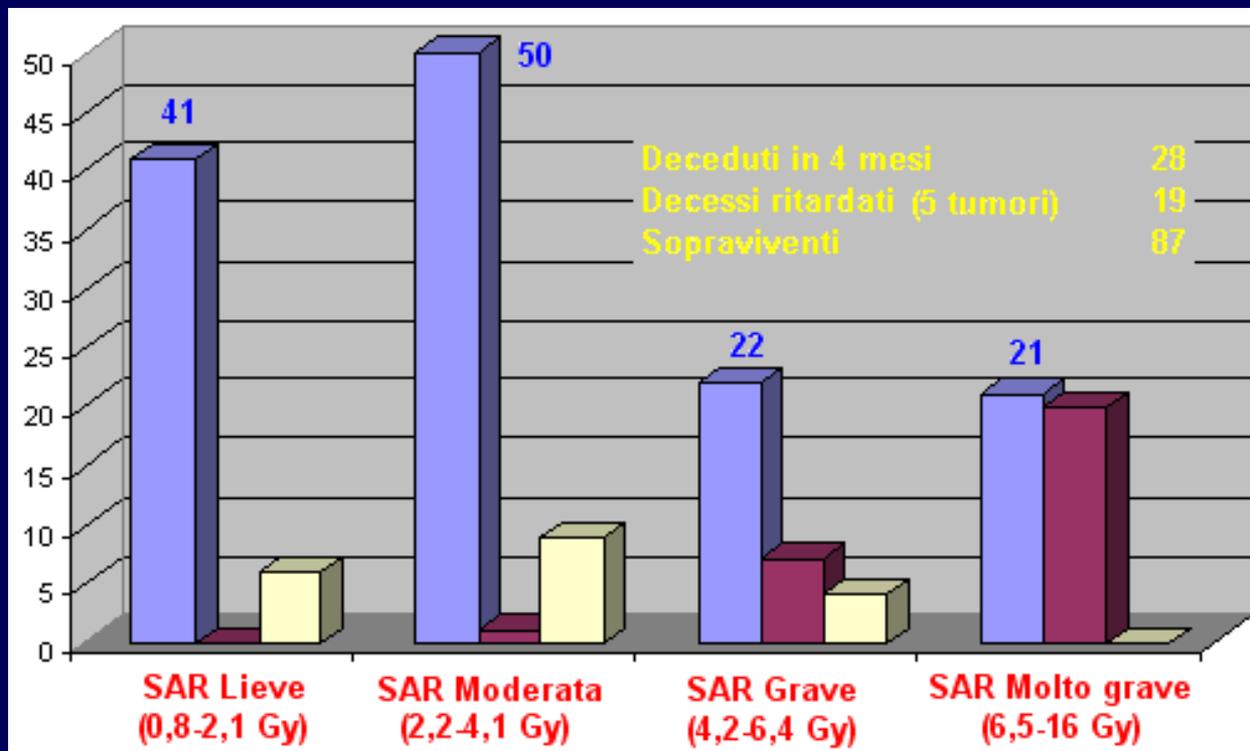
## Sindrome Acuta da Radiazioni

**237 lavoratori** dell'impianto hanno presentato sintomi di **SAR** e sono stati ricoverati per approfondimenti diagnostici e cure. La **diagnosi è stata confermata per 134 pazienti**



Di questi: **28 sono deceduti entro 4 mesi dall'incidente** e il loro decesso è direttamente attribuibile alle dosi elevate di radiazioni (**2 altri decessi precoci** sono invece conseguenti a lesioni traumatiche non correlate all'esposizione alle radiazioni)

# GLI EFFETTI ACUTI



Dei 28 deceduti entro 4 mesi: 19 determinati dalle ustioni da radiazioni  $\beta$

Di altri 19 deceduti nel corso degli anni: 7 morti per malattie di organi interni non ca., 6 per infarto, 1 per trauma, 5 morti per tumore.

Tra gli 89 sopravvivenuti (2005) vi sono: 4 casi di tumori solidi, 3 casi di MDS, 1 caso di LMA e 1 di LMC (sono nati 14 bambini normali nei primi 5 anni dall'incidente)

# ALTRI EFFETTI DETERMINISTICI

**Tiroidite autoimmune:** è stata riscontrata presenza di anticorpi, ma non segni di lesioni sui tirociti. L'evidenza non suggerisce una associazione con l'esposizione.

**Malattie cardio- e cerebrovascolari:** I dati non sono sufficienti per stabilire correlazioni al di sotto di 1-2 Sv. Il dato di un possibile eccesso riscontrato sui lavoratori per dosi di 150 mSv non considera altri fattori quali il peso, l'alcool,...



**Cataratta:** l'UACOS (Ukrainian-America Chernobyl Ocular Study) porta a stimare, su 8607 "lavoratori di Chernobyl", per le opacità subcapsulari posteriori (PSC posterior subcapsular opacity) di I grado, una soglia pari a 0,35 Gy. Praticamente si conclude come nel draft dell'ICRP: Quando, per la soglia di dose, si prende in considerazione lo stadio 1 PSC e la cataratta corticale, entrambi indicano che la migliore stima della soglia è di 350 mGy, inoltre l'intervallo di confidenza esclude valori maggiori di 700 mGy. Questi risultati non sostengono la soglia di 5 Gy delle attuali linee guida sulle opacità rilevabili da esposizione cronica e piuttosto suggeriscono una soglia dose-effetto minore di 1 Gy. Il periodo di latenza si accorcia con la dose.

# GLI EFFETTI STOCASTICI

## Caratteristiche:

- *Colpiscono a caso gli esposti (**effetti somatici**) o i loro discendenti (**effetti ereditari**)*
- *Lungo periodo di latenza (**anni**)*
- *Assenza di soglia (per **supposizione**)*
- *Relazione dose-probabilità (**lineare per ipotesi**)*

# RISCHIO RELATIVO

$$R = \frac{T_o}{T_E}$$

$T_o$  = Tasso osservato

$T_E$  = Tasso atteso

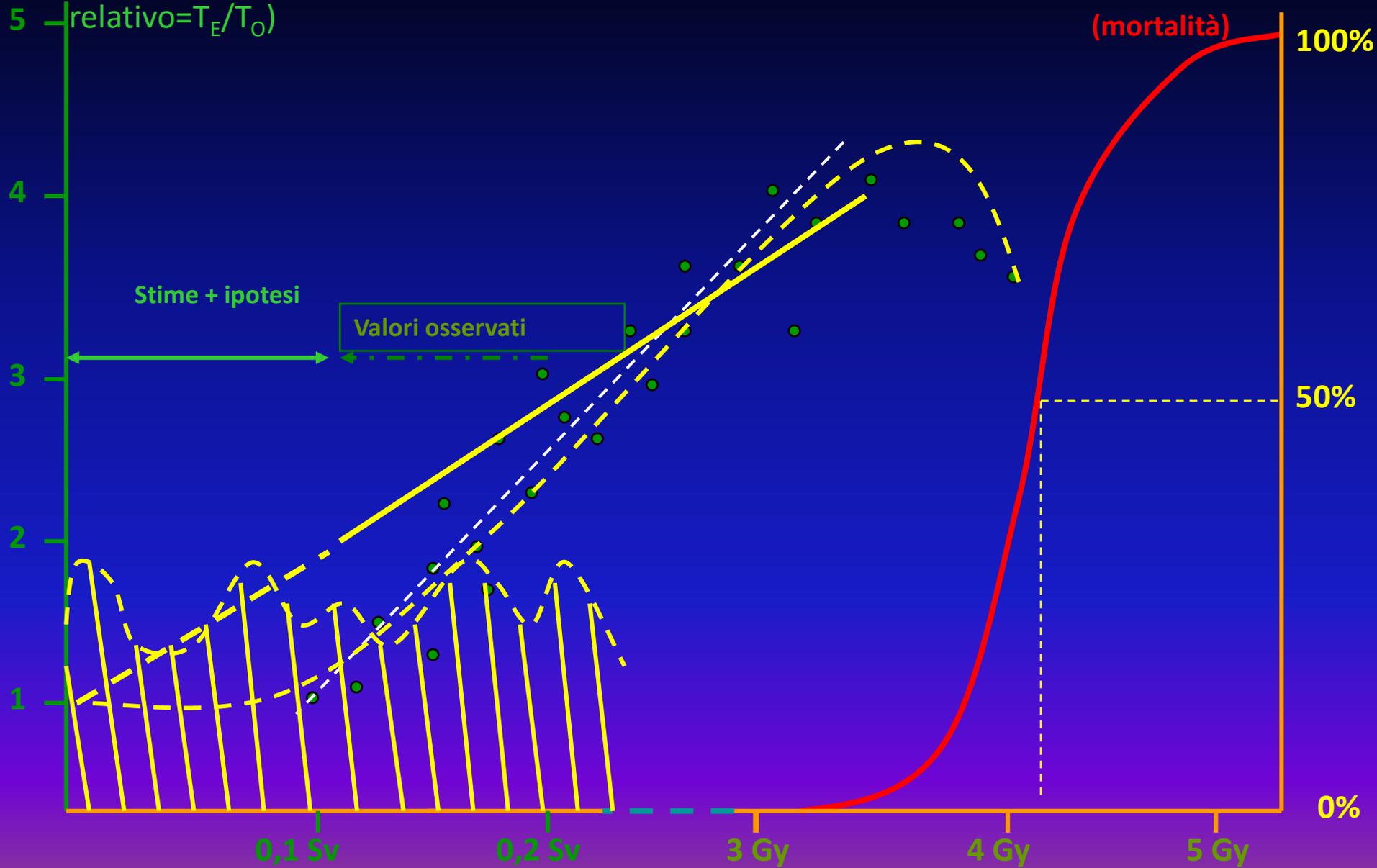
# GLI EFFETTI DELLE RADIAZIONI

Effetti Stocastici (Rischio

Effetti deterministici

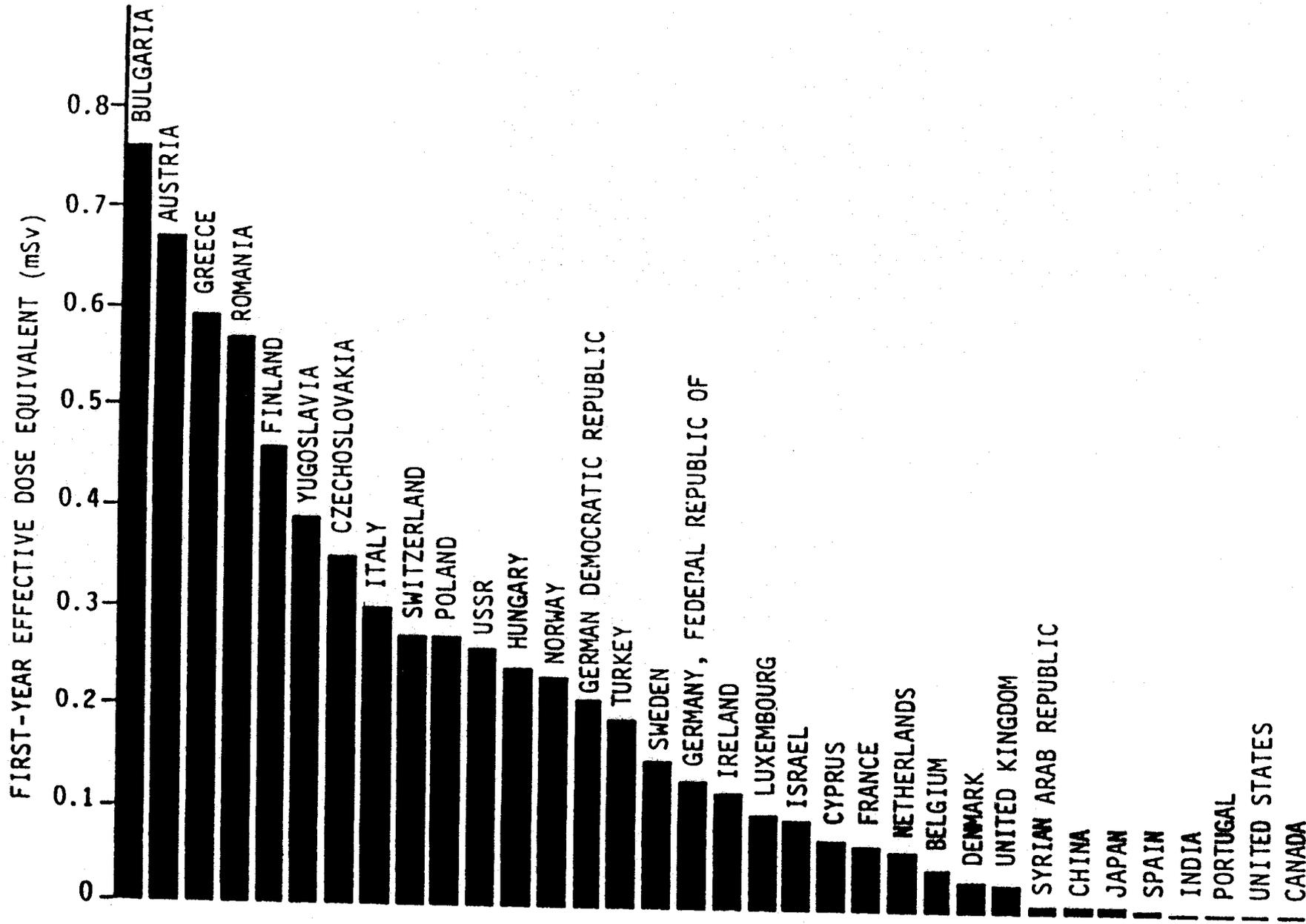
relativo= $T_E/T_0$ )

(mortalità)



# DOSE A “LIQUIDATORI” E POPOLAZIONE

Gruppi	Dimensioni (migliaia)	Dose tiroide (anno 1986) (mGy)	Dose efficace media (periodo 1986- 2005) (mSv)	Dose collettiva tiroide(anno 1986) (mGy-uomo)	Dose collettiva media (periodo 1986 -2005) (Sv-uomo)
Lavoratori in operazioni di recupero (liquidatori)	530	-	117	-	61200
Evacuati	115	490	31	57000	3600
Abitanti aree contaminate	6400	102	9	650000	5890
Abitanti Ucraina Bielarussia e Federazione R.	98000	16	1,3	1600000	125000
Abitanti territori lontani	500000	1,3	0,3	660000	130000



Country-wide average first-year committed effective dose equivalents from the Chernobyl accident.

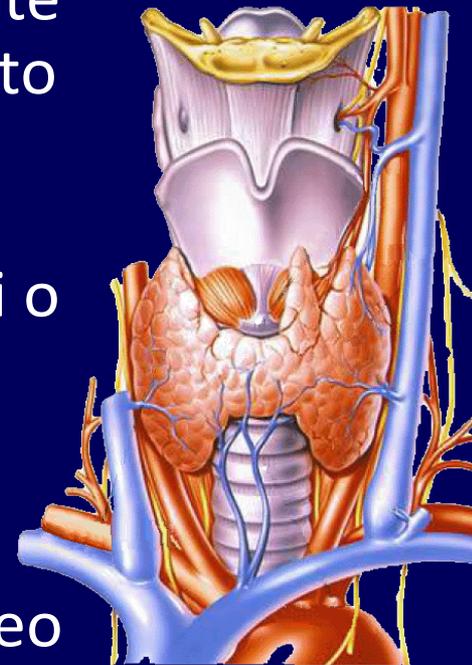
# GLI EFFETTI STOCASTICI

## (ca. tiroideo)

La contaminazione del latte da  $^{131}\text{I}$ , e l'assenza di pronte contromisure, ha comportato dosi elevate alla tiroide dei membri della popolazione; questo fatto è stato responsabile di una sostanziale frazione dei più di **6000 tumori** alla tiroide ad oggi osservati tra le persone che erano bambini o adolescenti al tempo dell'incidente.

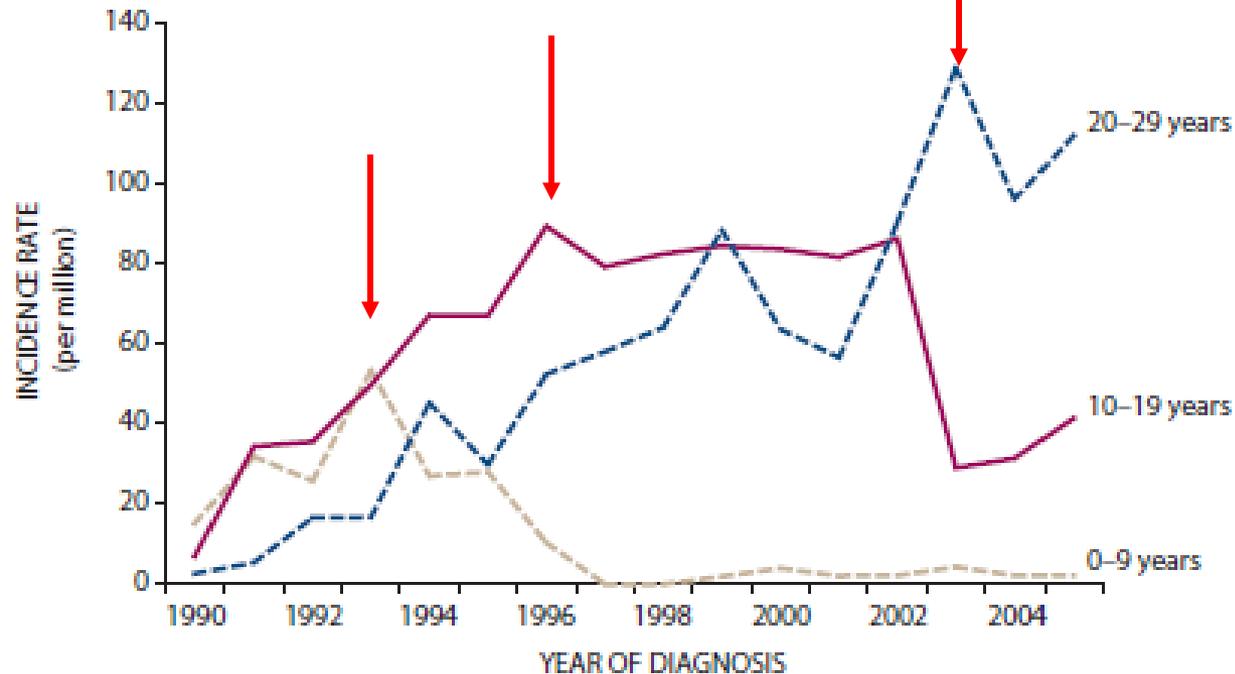
Fino al 2005, **15** casi sono risultati **fatali**.

Nella **popolazione generale** (adulti esposti) c'è l'indicazione di un leggero aumento di ca tiroideo (però i **dati sono contrastanti**, per la mancanza di parametri statistici e per la presenza di confondenti).



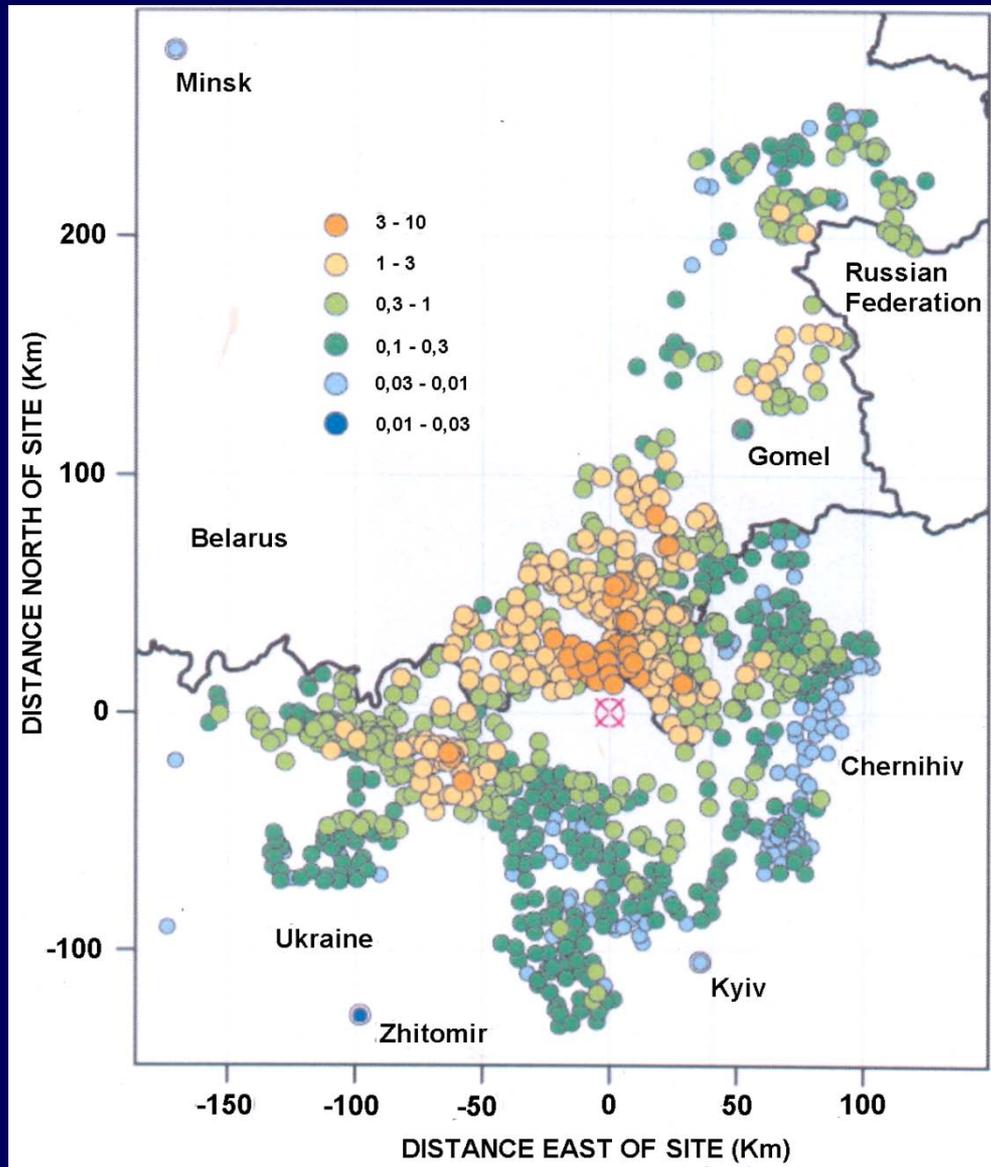
# LA DOSE ALLA TIROIDE

Figure D-VIII. Thyroid cancer incidence rates for different age groups (age at diagnosis) of the total Belarusian female population



L'incidenza di neoplasie tiroidee nella popolazione infantile si è manifestata con "ondate" successive per tornare alla normalità tra i bambini, gli adolescenti e i giovani adulti in successione.

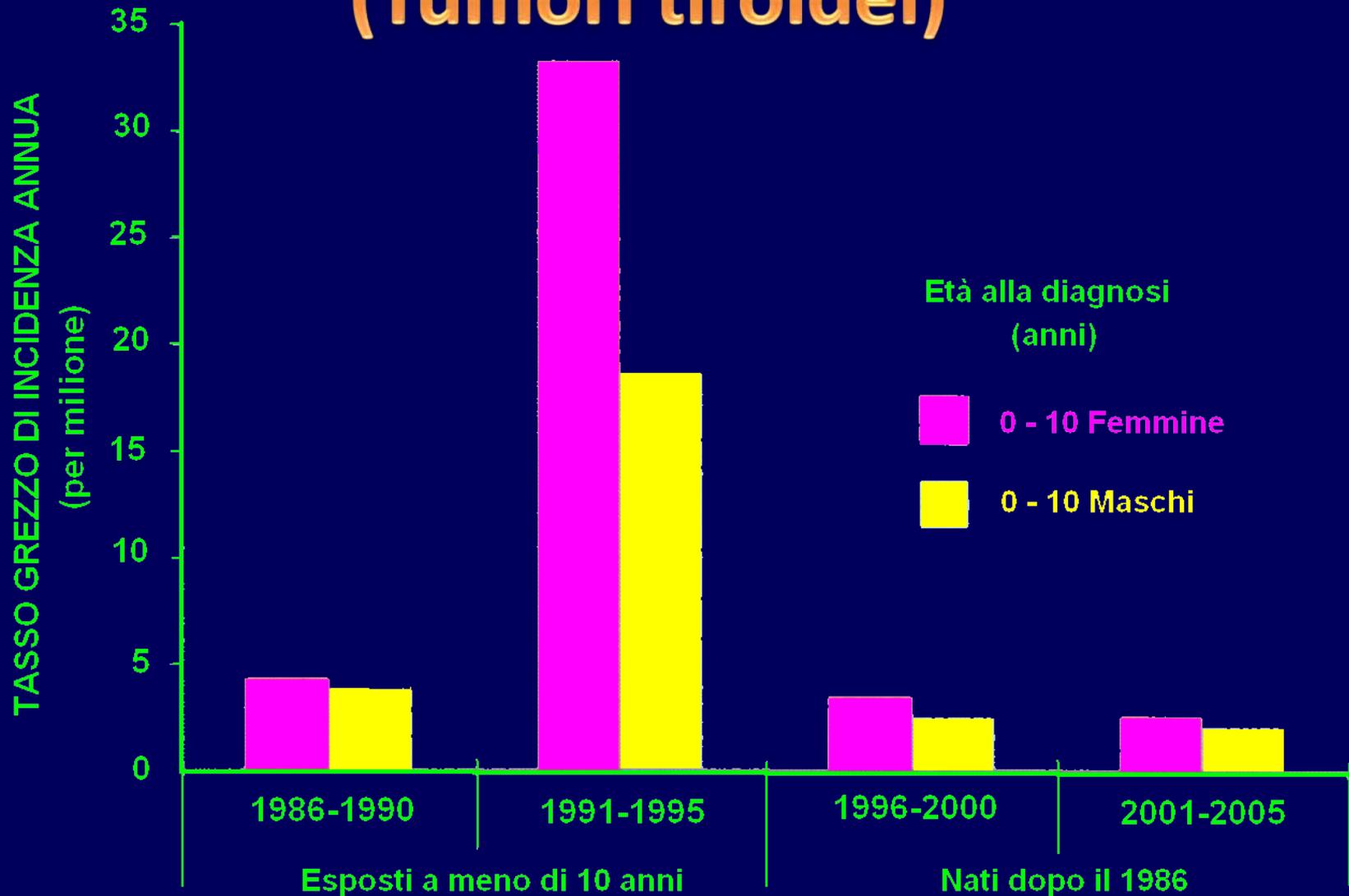
# LA DOSE ALLA TIROIDE



Dose media alla tiroide in Gy nella coorte nata tra il 1968 e il 1985 (1 - 18 anni) in 608 insediamenti dell'Ucraina e 426 della Bielorussia (UNSCEAR 2008)

# GLI EFFETTI STOCASTICI

## (Tumori tiroidei)



# GLI EFFETTI STOCASTICI

## (Tumori tiroidei)

Altri fattori vengono chiamati in causa:

- Indagini epidemiologiche dimostrerebbero che la **carenza iodica** può **aumentare** (fino addirittura a raddoppiare) il **rischio di neoplasia tiroidea** a seguito dell'esposizione a radiazioni e radioiodio in particolare
- L'**attuazione di programmi di screening** che ha portato alla rilevazione di lesioni tiroidee grazie alla diligenza diagnostica (ascertainment bias) e al **miglioramento delle tecniche diagnostiche** con l'introduzione della **ultrasonografia**
- La contaminazione da **isotopi a vita breve dello iodio** possono aver dato un contributo rilevante alla dose alla tiroide.

I 129 <sup>7/+</sup> 1,6E7 a	2+ I 130 <sup>5+</sup> 9,00 m   12,4 h	I 131 <sup>7/+ (8-)</sup> 8,04 d	I 132 <sup>4+</sup> 83,6 m   143 m	(19+) I 133 <sup>7/+ (8-)</sup> 9,00 s   20,3 h	I 134 <sup>(4)+</sup> 3,80 m   52,6 m	I 135 <sup>7/+ (8-)</sup> 6,61 h	I 136a <sup>(1-)</sup> 46,0 s   83,0 s	I 137 <sup>(7/+)</sup> 24,7 s	I 138 <sup>(2-)</sup> 6,40 s	I 139 <sup>(7/+)</sup> 2,40 s	I 140 <sup>(3)</sup> 870 ms	I 141 430 ms
E .194	E 2,95	E .971	E 3,58	E 1,77	E 4,17	E 2,85	E 8,93	E 5,88	E 7,82	E 6,81	E 8,76	E 7,80

# GLI EFFETTI STOCASTICI (Leucemia)

Alcuni studi, che hanno interessato i liquidatori, hanno riguardato la leucemia, l'effetto considerato a maggiore radioinducibilità e a più rapida comparsa dopo l'esposizione. Gli studi hanno interessato i **liquidatori provenienti dalla** Bielorussia, Ucraina, Federazione Russa e dalle Repubbliche Baltiche. Il risultato è che questi studi **non danno risultati attendibili** perché soffrono di notevoli limitazioni statistiche (scarsa potenza, dosi affette da notevole incertezza, presenza di fattori di confondimento, errori ed approssimazioni ...)  
(Dai liquidatori sono nati circa 643000 bambini senza evidenti segni di patologie radioinducibili)



- L'evidenza di incremento di tumori solidi tra i "lavoratori dell'emergenza" è contrastante con risultati positivi e altri negativi, con parametri non corretti, sul risultato dei quali, secondo l'UNSCEAR, influisce in modo rilevante lo "**ascertainment bias**", cioè il fatto che questi soggetti sono sottoposti a controlli annuali, cui la popolazione di riferimento non viene sottoposta.

# GLI EFFETTI STOCASTICI (popolazione)

- Per quanto riguarda gli **esposti in utero**, gli studi non forniscono alcuna evidenza convincente di associazione. Uno studio descrittivo di scarsa attendibilità indica un RR di 2,7.
- Tra gli esposti in **età infantile** i dati rilevano una debole evidenza di rischio (tre studi forniscono **valori** estremamente **discordi** di ERR: 78,8; 4,09; - 4,94 Gy<sup>-1</sup>)
- Tra gli adulti c'è una **qualche indicazione** sulla rilevabilità di effetti, ma il fatto, secondo l'UNSCEAR, è **lungi dall'essere conclusivo**.

# GLI EFFETTI STOCASTICI

## (Altri tumori solidi)

- Ci sono pochi studi; l'evidenza ad oggi è estremamente limitata. Osservazioni dal 1991 al 2005 su 316000 persone dei distretti più contaminati ha fornito un **RR pari a 1**.
- Altre indicazioni dell'Ucraina indicano che il numero di **tumori è inferiore** sia negli evacuati che nei residenti permanenti.



In particolare sono stati condotti studi sul **tumore mammario**. Uno ha fornito un valore del RR di 2,24 per dose media di 40 mSv per il periodo 1999-2001. Altri non hanno mostrato evidenze convincenti. In questi studi vi sono molti punti deboli, poiché **non vengono considerati cofattori** importanti come l'età alla prima gravidanza, fattori ormonali, nutrizionali, ecc.

# EFFETTI PSICOSOCIALI

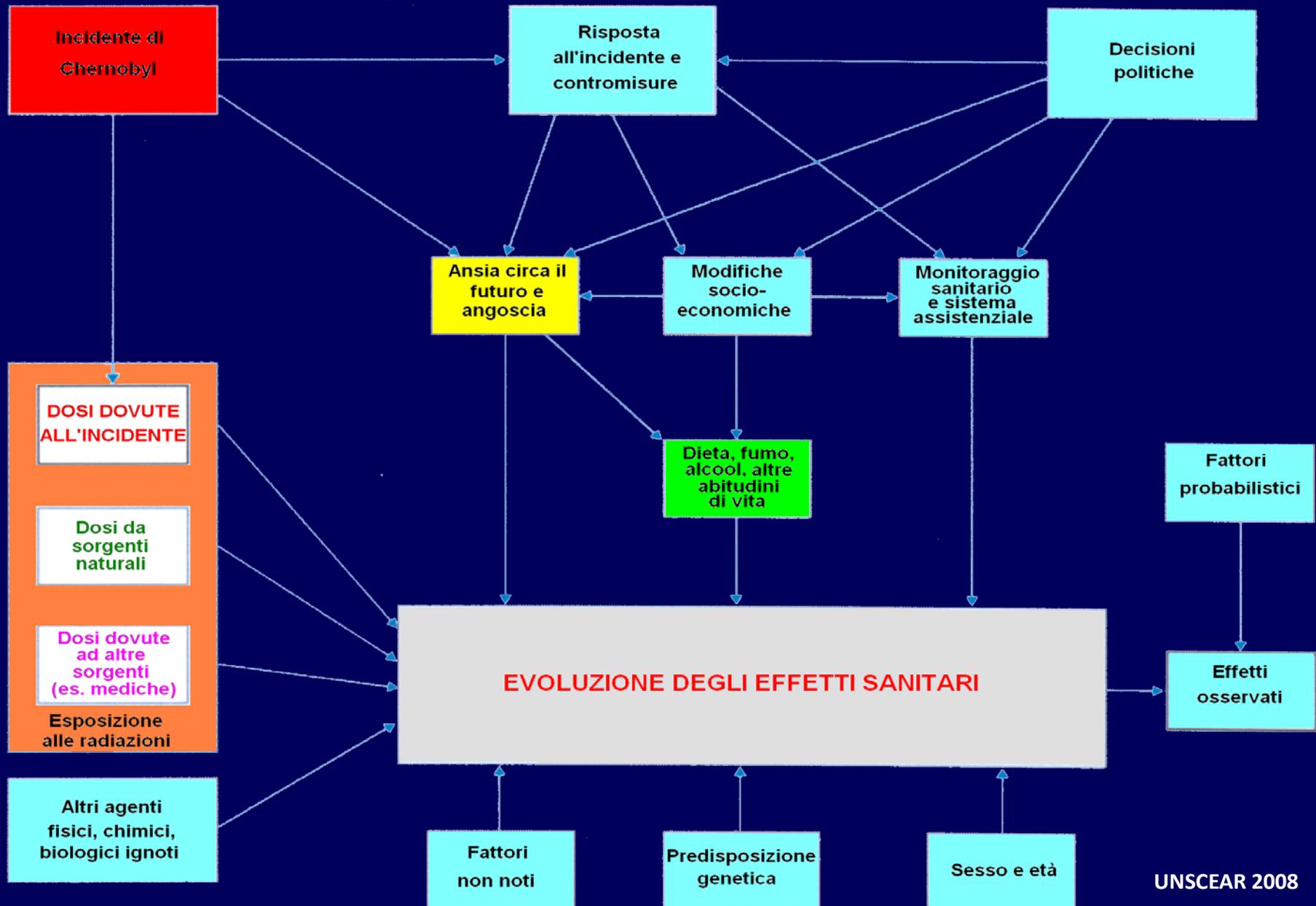
Entrambi gli effetti deterministici e stocastici hanno una base biologica riconducibile alle radiazioni, cioè all'energia delle radiazioni ionizzanti depositata nei tessuti. Tuttavia l'incidente di Chernobyl è noto per aver avuto **effetti più gravi non correlati alla dose da radiazioni**. Questi comprendono effetti dovuti all'**ansia** circa il futuro e all'**angoscia**, e ogni altra variazione, nella **dieta**, nelle abitudini al **fumo**, nel consumo di **alcool** e in ogni altro fattore sullo stile di vita che **non** è essenzialmente **correlato con** una qualsiasi reale **esposizione** alle radiazioni.

UNSCEAR 2008



AP Associated Press

# Illustrazione di alcuni fattori che possono aver influenzato gli effetti sanitari osservati



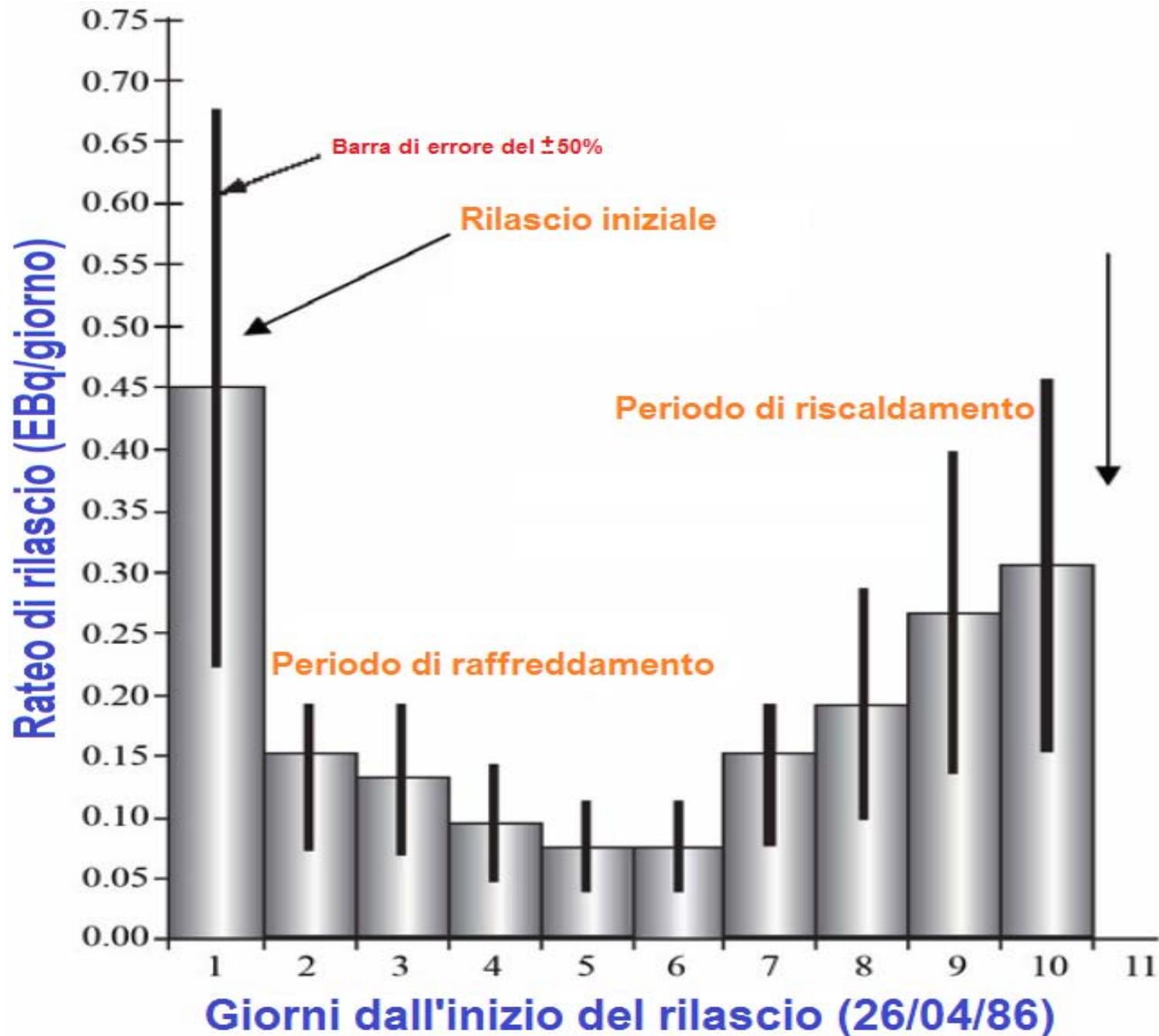
# RICONOSCIMENTO DELL'IMPORTANZA DELLE CONSEGUENZE PSICOLOGICHE

Le situazioni espositive dovute all'incidente, ....., sembra stiano producendo serie conseguenze psicologiche nella popolazione interessata. Queste comprendono lo stesso tipo di effetti osservati in altre simili occasioni: **depressione, afflizione, disordini post-traumatiche da stress, ansia cronica, disturbi del sonno, gravi emicranie, abuso di fumo ed alcool**. Inoltre in molte zone si osservano altri effetti come **rabbia** intensa, **disperazione**, **ansia** per la propria **salute** e per quella dei **figli** e in particolare **stigma e discriminazione** [(come per pregiudizio nei confronti di soggetti affetti da tumori o peggio da lebbra)].

L'incidente ha confermato che **le conseguenze psicologiche sono l'effetto più rilevante** degli incidenti nucleari più gravi.

# ASPETTI AMBIENTALI

- **Quantità di attività rilasciata**
- **Altezza del rilascio**
- **Andamento temporale del rilascio**
- **Condizioni meteorologiche**



# CONSEGUENZE

- *L'esplosione ha distrutto l'inconsistente **contenimento** del reattore e incendiato le strutture adiacenti*
- *Il rilascio è continuato per **~10 g***
- *L'alta temperatura del rilascio ha comportato l'innalzamento dell'**altezza** efficace della nube (fino a 1000 m)*
- *Principali **vie di esposizione**: irradiazione diretta dalla nube, inalazione di iodio e irraggiamento dal suolo (5-10 mSv/h Pripyat )*

# RILASCI (PBq)

## Gas inerti

$^{85}\text{Kr}$  33

$^{133}\text{Xe}$  6500

## Elementi volatili

$^{129\text{m}}\text{Te}$  240

$^{132}\text{Te}$  ~1150

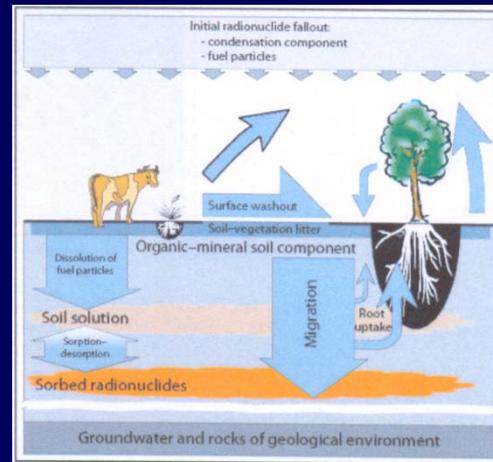
$^{131}\text{I}$  ~1760

$^{133}\text{I}$  910

$^{134}\text{Cs}$  ~47

$^{136}\text{Cs}$  36

$^{137}\text{Cs}$  ~85



## Elementi refrattari

$^{95}\text{Zr}$  84

$^{99}\text{Mo}$  >72

$^{141}\text{Ce}$  84

$^{144}\text{Ce}$  ~50

$^{239}\text{Np}$  400

$^{238}\text{Pu}$  0,015

$^{239}\text{Pu}$  0,013

$^{240}\text{Pu}$  0,018

$^{241}\text{Pu}$  ~2,6

$^{232}\text{Pu}$  0,00004

$^{242}\text{Cm}$  ~0,4

## Elementi a volatilità intermedia

$^{89}\text{Sr}$  ~115

$^{90}\text{Sr}$  ~10

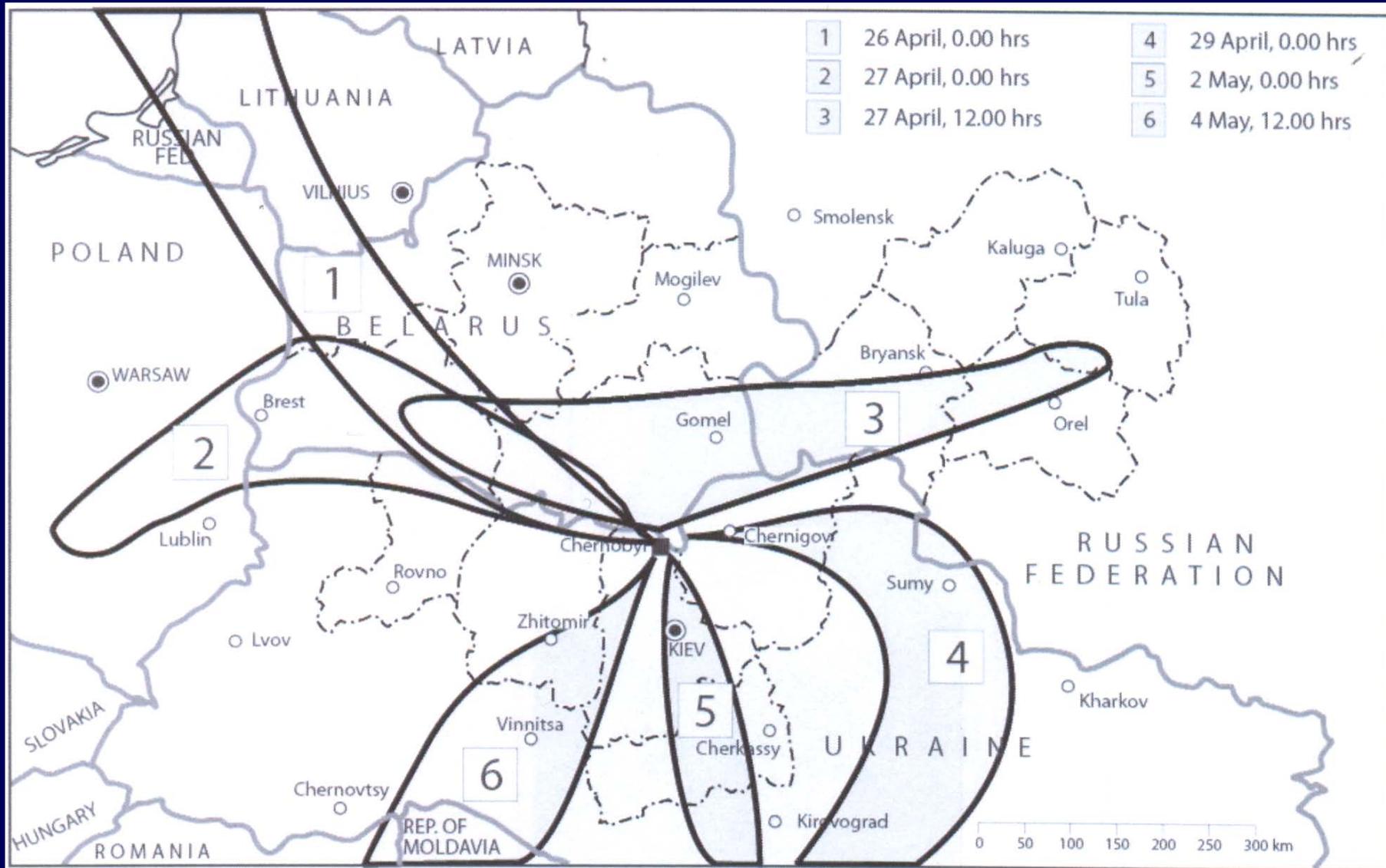
$^{103}\text{Ru}$  >168

$^{106}\text{Ru}$  >73

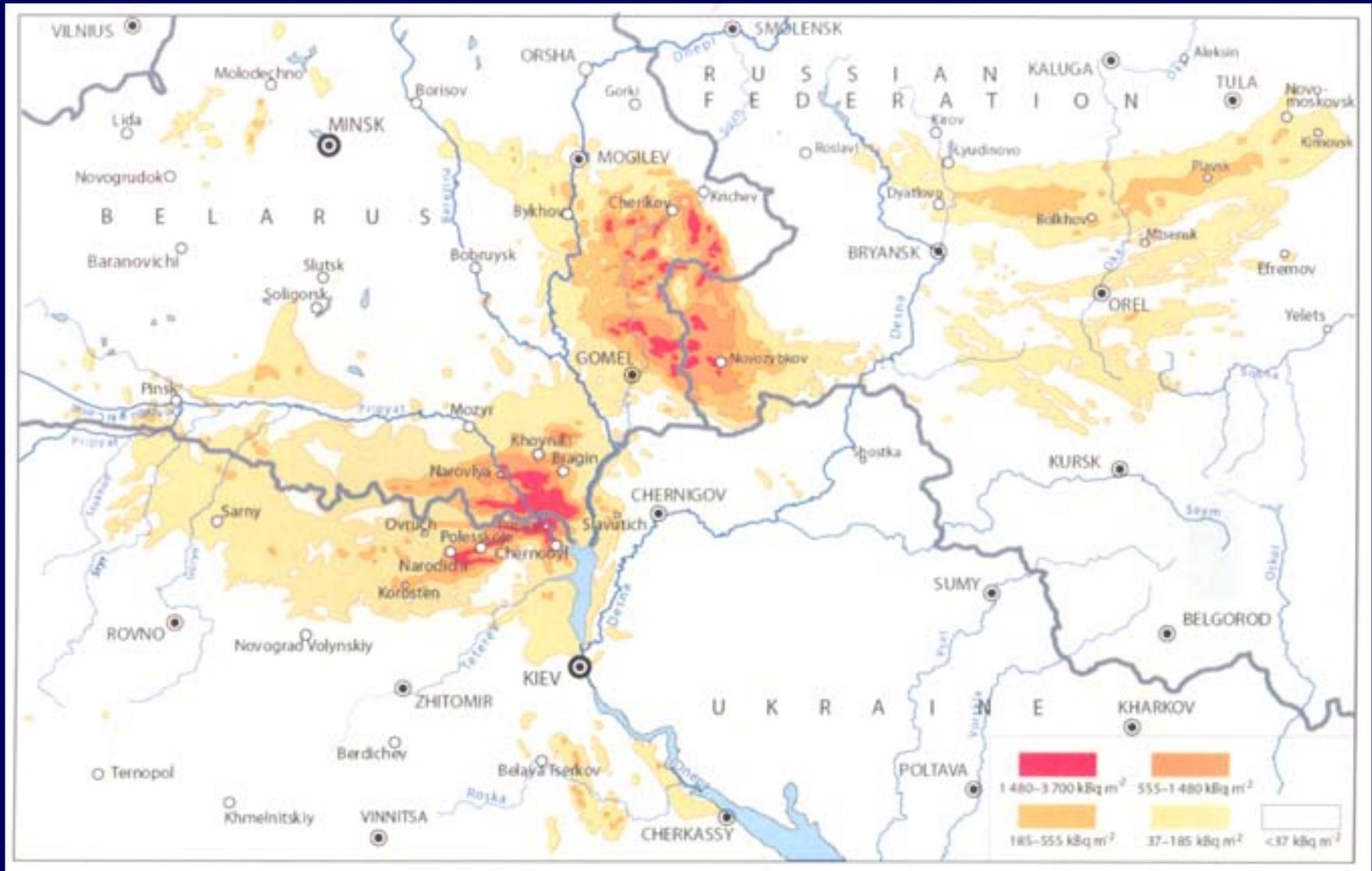
$^{140}\text{Ba}$  240

UNSCEAR 2008

# I VENTI

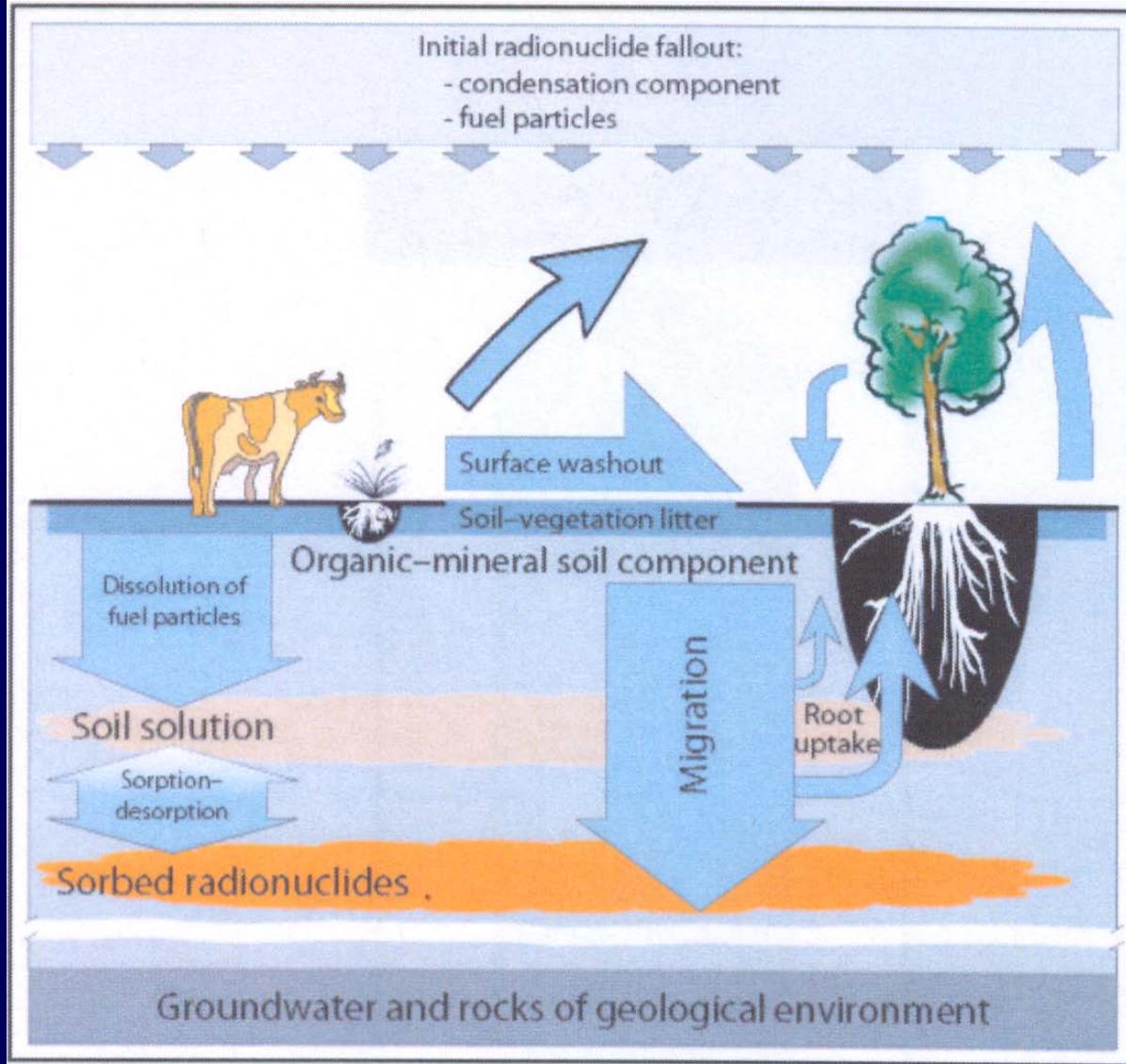


# LA DISPERSIONE SUL TERRITORIO

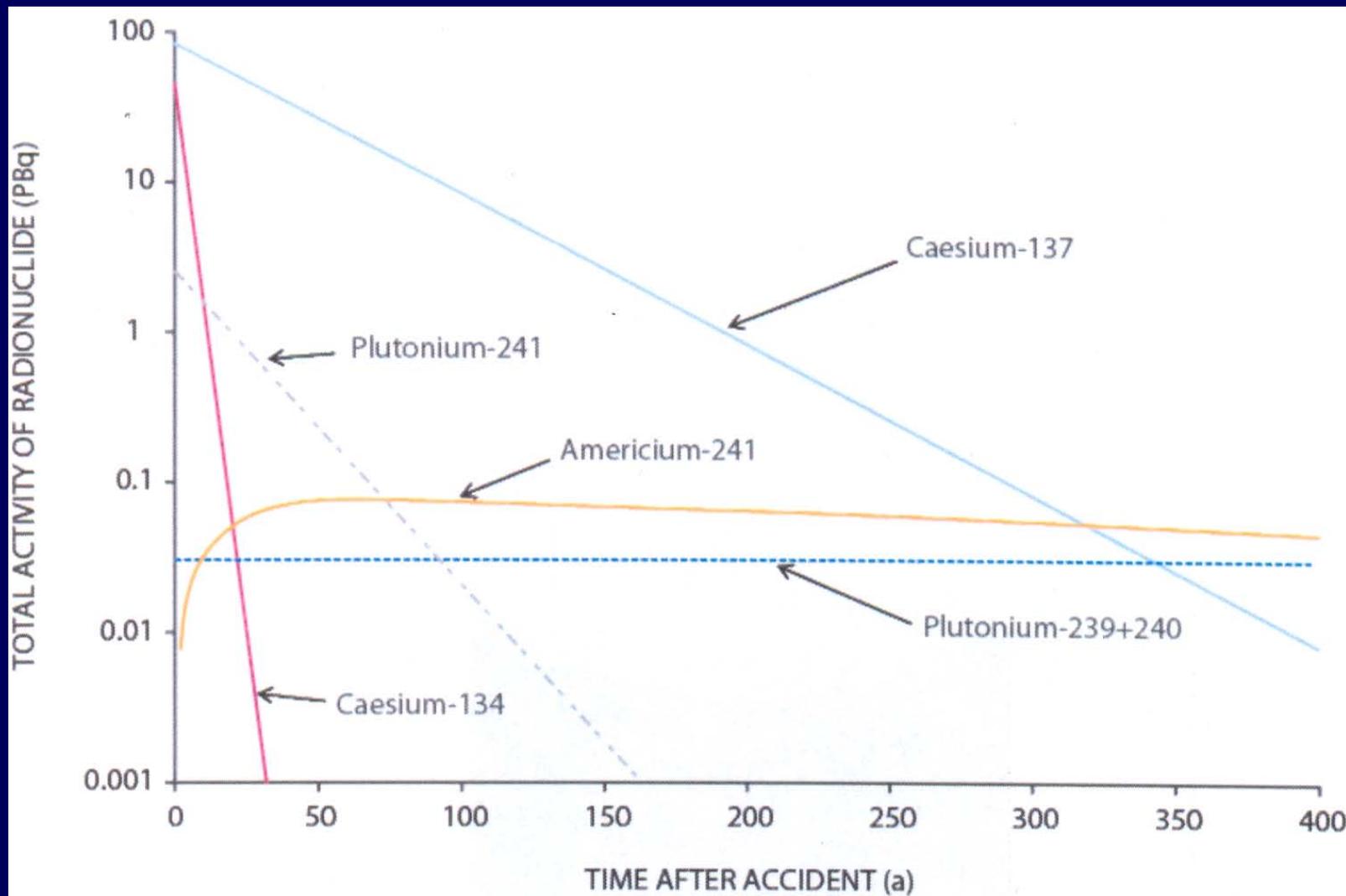


UNSCEAR 2008

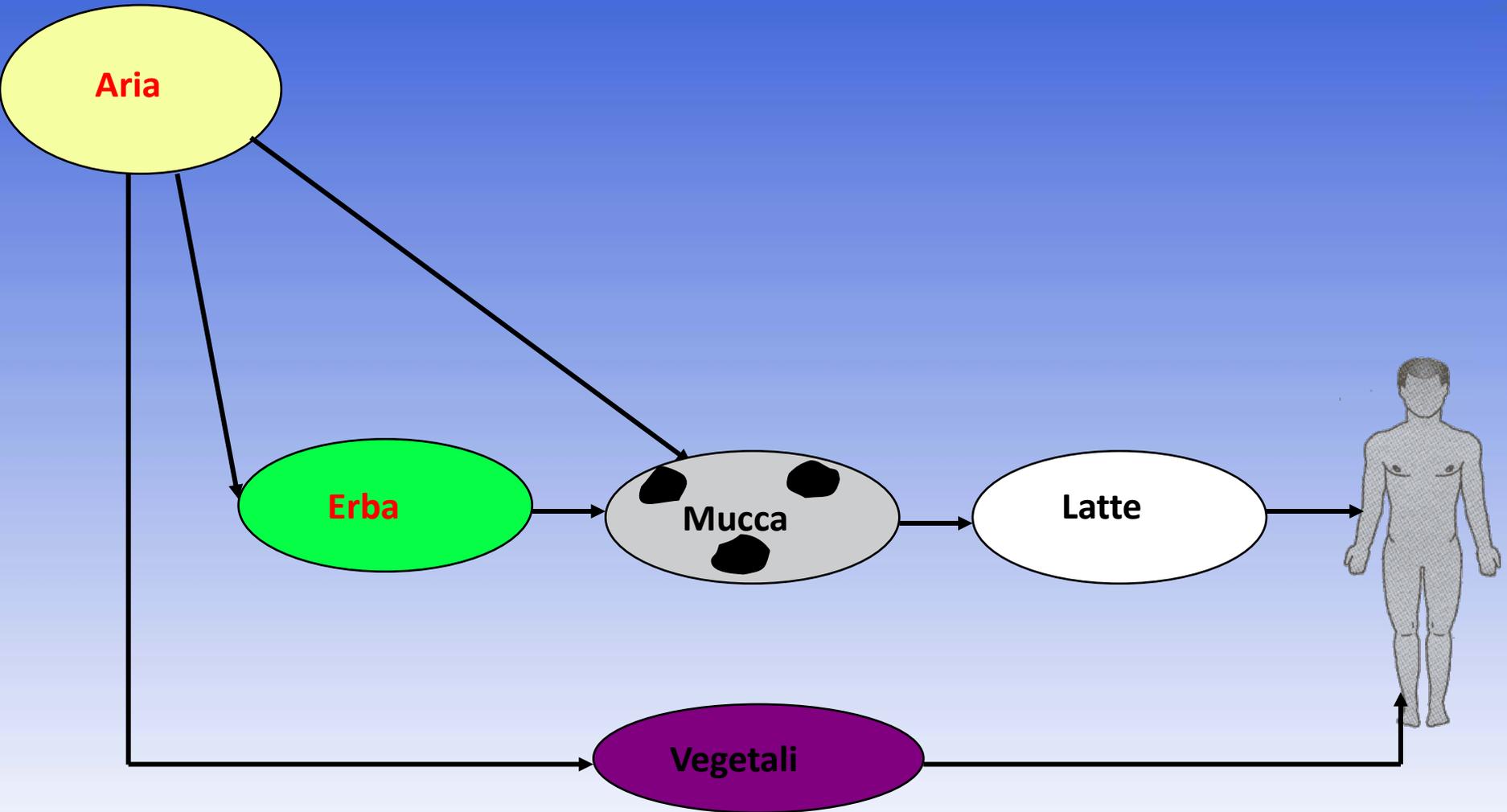
# LA MIGRAZIONE NEL TERRITORIO



# DECADIMENTO FISICO: ANDAMENTO NEL TEMPO

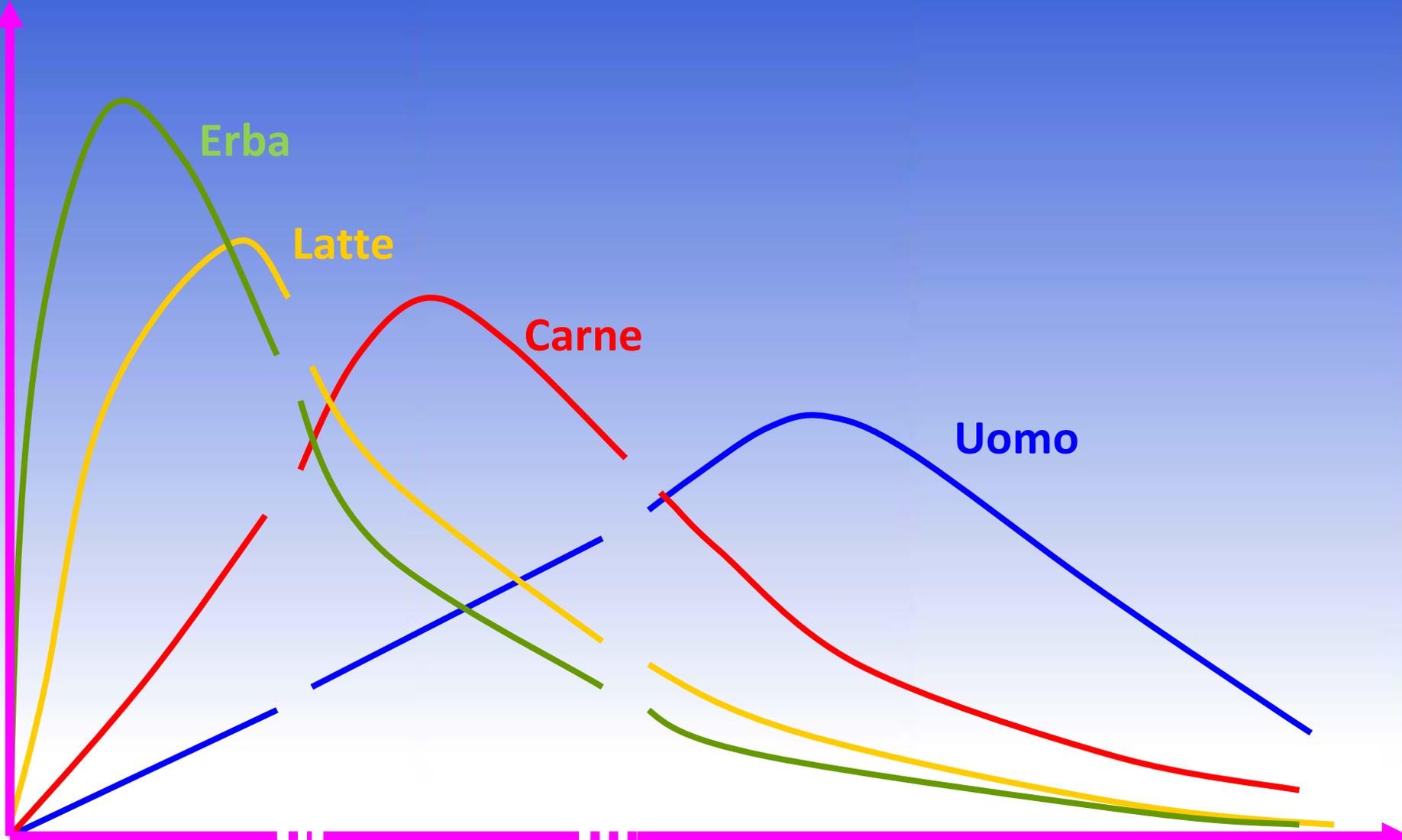


# MODELLO DI CONTAMINAZIONE AMBIENTE-UOMO ( $^{137}\text{Cs}$ )



# ANDAMENTO CONTAMINAZIONE $^{137}\text{Cs}$

Bq/kg



Erba

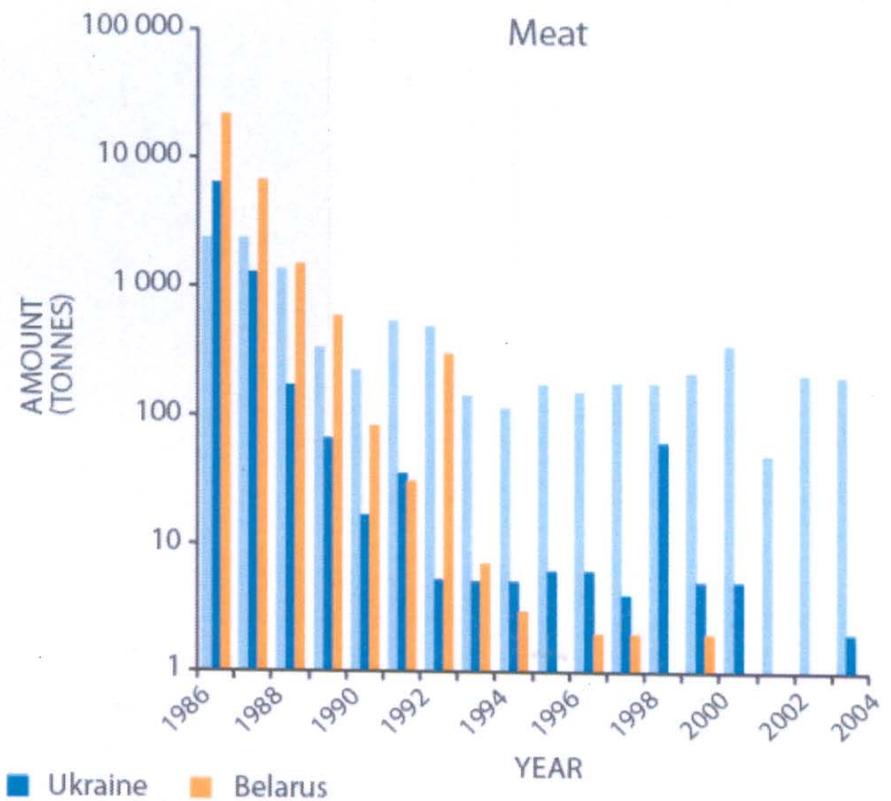
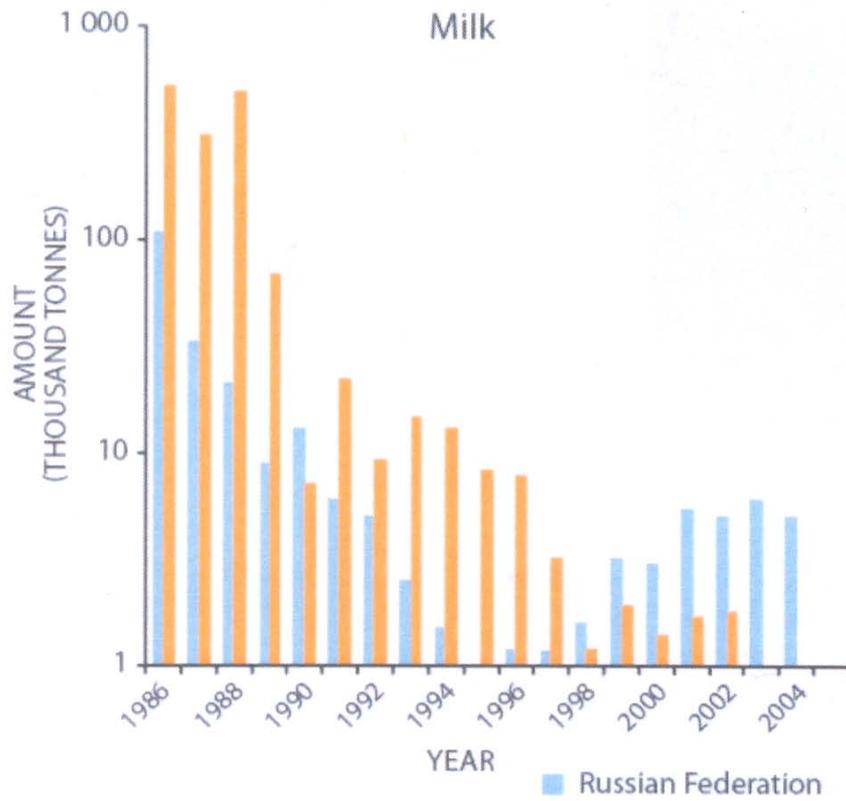
Latte

Carne

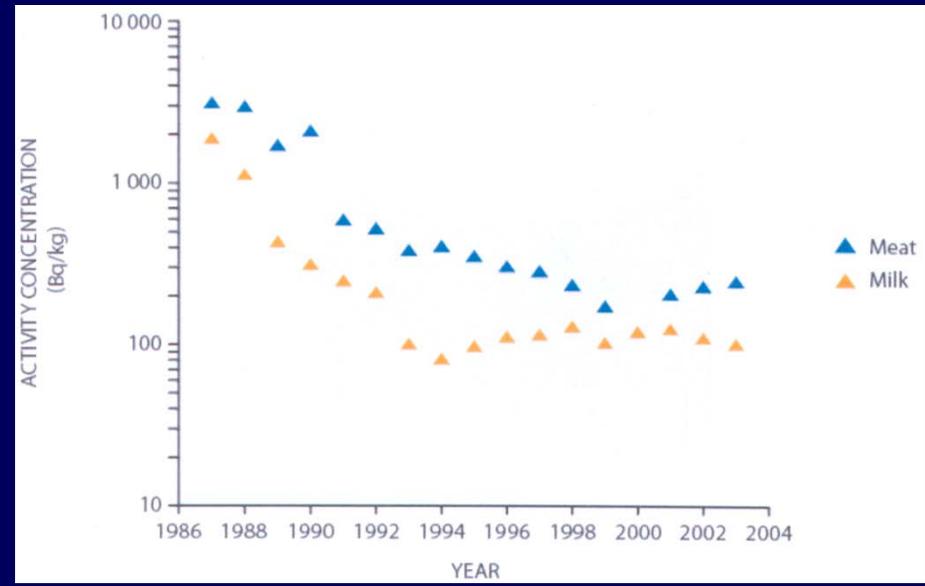
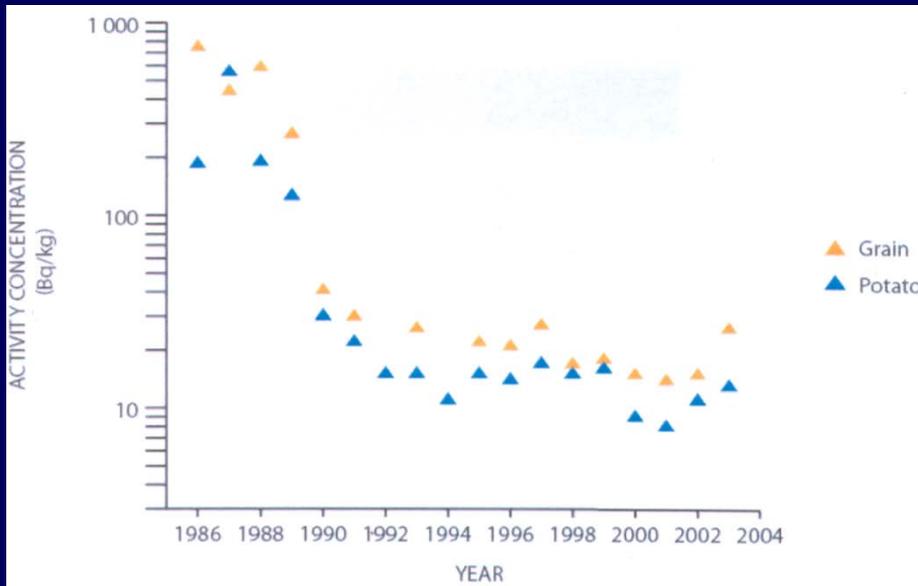
Uomo

Tempo

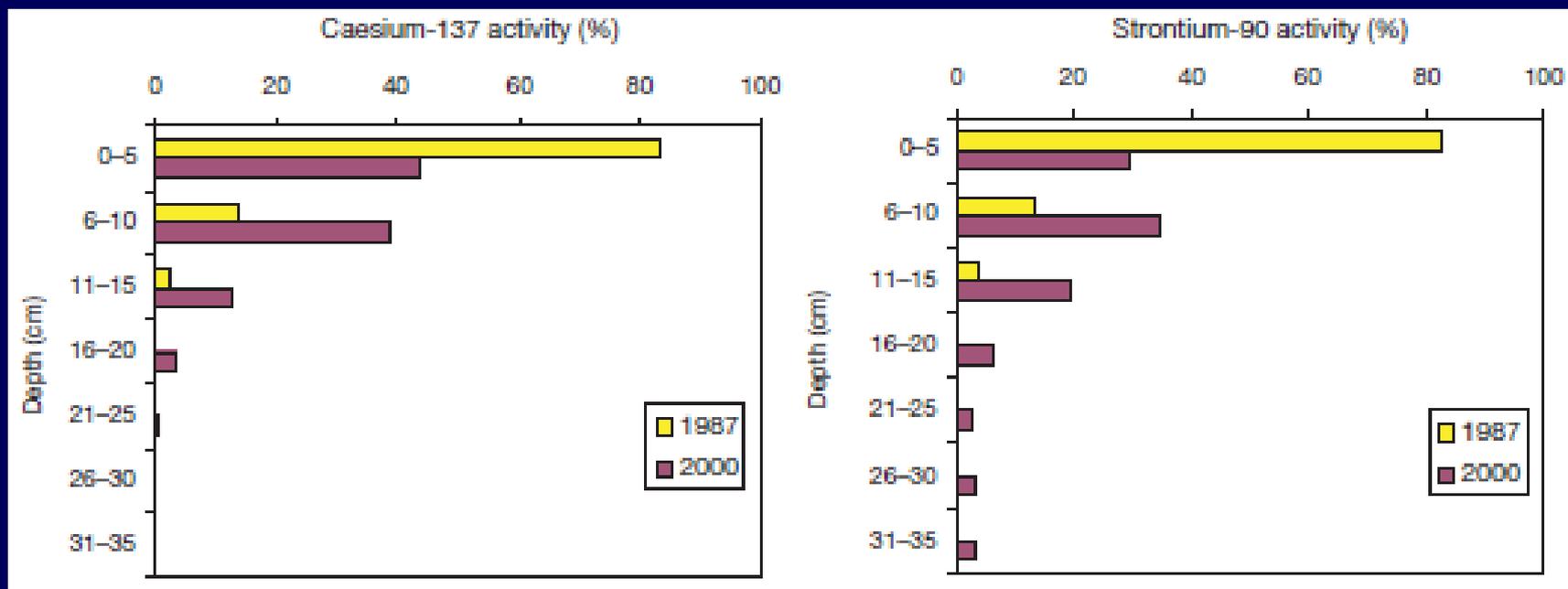
# Quantità di latte e carne con contaminazione superiore ai limiti permessi



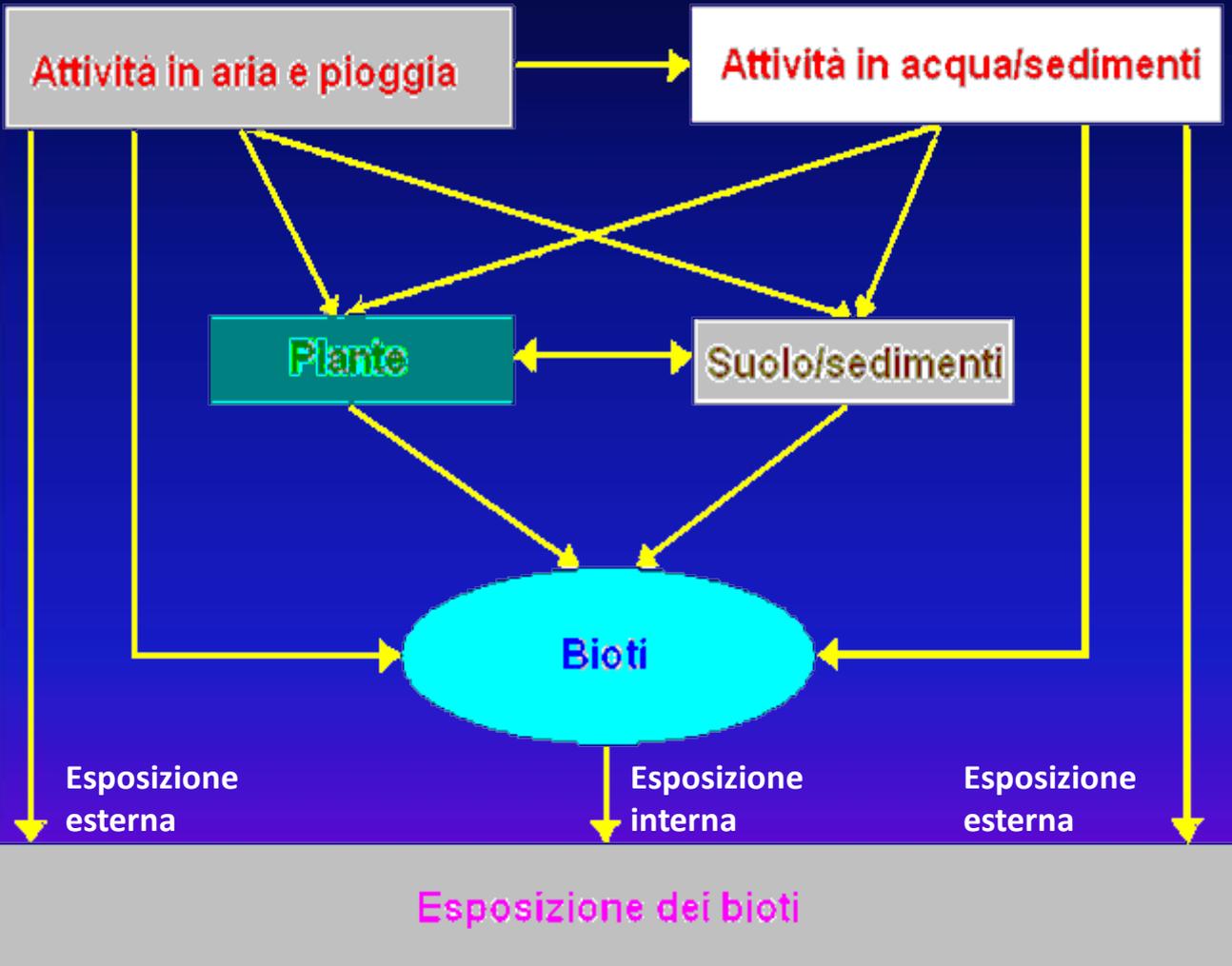
# LA CONTAMINAZIONE ALIMENTARE



# LA DISPERSIONE NEL TERRENO E DECADIMENTO “ECOLOGICO”



# LE VIE DI TRASFERIMENTO PRINCIPALI



Fattori di trasferimento suolo-pianta (Bq/kg per Bq/m<sup>2</sup>)

Coefficiente di conversione dose interna (mGy/h per Bq/kg)

Coefficiente dose-concentrazione in acqua (Gy per Bq/L)

Coefficienti di conversione dose esterna (Gy per fotoni/m<sup>2</sup> sopra e sottosuolo)

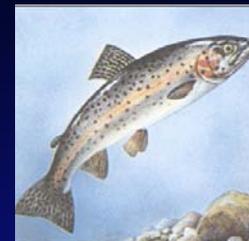
.....

# I RATEI DI DOSE CRITICI PER LA “BIOCENOSI”

<i>Category</i>	<i>Dose rate (<math>\mu\text{Gy/h}</math>)</i>	<i>Effects</i>	<i>Endpoint</i>
Plant	100–1 000	Reduced trunk growth of pine trees	Morbidity
	400–700	Reduced numbers of herbaceous plants	Morbidity
Fish	100–1 000	Reduction in testis mass and sperm production, lower fecundity, delayed spawning	Reproduction
	200–499	Reduced spermatogonia and sperm in tissues	Reproduction
Mammals	<100	No detrimental endpoints have been described	Morbidity, mortality, reproduction
Generic ecosystems (terrestrial and aquatic)	about 80	A new statistical approach (species sensitivity distribution, SSD) was applied to the data on radiation effects to estimate $\text{HDR}_{95}$ , the dose rate at which 95% of the species in the ecosystem are protected	Morbidity, mortality, reproduction

# ORGANISMI DI RIFERIMENTO

- Lombrico
- Ratto
- Ape
- Erba selvatica
- Pino
- Cervo
- Anatra
- Rana
- Alga marina marrone
- Trota
- Pesce piatto (sogliola, platessa)
- Granchio



Sono gli stessi considerati dall'ICRP

# GLI “END-POINTS”

Nella valutazione degli effetti sulla flora e sulla fauna, il **maggior oggetto di attenzione è la popolazione** e **non l'individuo**. Sulla base degli esami degli attributi della popolazione, le risposte individuali all'esposizione, per essere probabilmente significative a livello della popolazione, riguardano:

- La **mortalità** (che modifica la distribuzione di età, il rateo di morte e la densità)
- La **fertilità** (che influenza la capacità di generare)
- La **fecondità** (che influenza il tasso di natalità, la distribuzione di età, il numero e la densità della popolazione)
- L'induzione di **mutazioni** (che influenza il tasso di natalità e il tasso di mortalità)

# EFFETTI NELL'AREA PIÙ CONTAMINATA (10%)

- **Degradazione** dell'ecosistema forestale delle **conifere** (le più sensibili)
- **Aumento** della **mortalità** di un numero di organismi (flora e fauna)
- **Scomparsa** di un certo numero di **invertebrati**. Anche i vertebrati probabilmente sono morti se hanno sostato a lungo vicino all'impianto o in presenza di spot di radioattività (ci sono però scarse evidenze).
- **Inibizione** (transitoria) della **riproduzione** e dello sviluppo (flora e fauna)
- **Anomalie** (morfogenetiche, effetti epigenetici), però: **né mostri né mutanti**.
- **Variazioni** nella **composizione delle specie** e nella struttura delle popolazioni (erbivori e felini).



**Nei territori a contaminazione più bassa non ci sono effetti evidenti determinati dalla radiocontaminazione.**

# GLI EFFETTI SULLA FLORA

- Gli alti ratei di dose durante le prime settimane hanno alterato l'equilibrio nella comunità e si sono **aperte nicchie** per l'immigrazione di **nuovi individui** in una rete di azioni e controazioni che hanno alterato la comunità degli organismi.
- Per **400-500 ha le conifere sono morte** e le piante hanno subito danni per circa 1000 ha attorno all'impianto, anche con perdita della riproduttività.

Distanza dall'impianto (km)	Rateo di esposizione esterna ( $\mu\text{Gy/h}$ )	Dose esterna Accumulata (Gy)
2	2500	126
4	120	5
16	0,4	0,014



# LA FORESTA "ROSSA"

(dose stimata > 80Gy)



# LA FORESTA "ROSSA"



Si è stimata una dose esterna maggiore di 80 Gy. La superficie della zona è di circa 400 ettari. In questa zona, i tronchi degli abeti sono completamente morti e gli aghi dei pini sono diventati di color mattone.

# **Ecology of the Chernobyl Zone:** **Nuclear desert or wildlife paradise?**



**Sergey Gashchak**  
**(Slavutysh, Ukraine)**

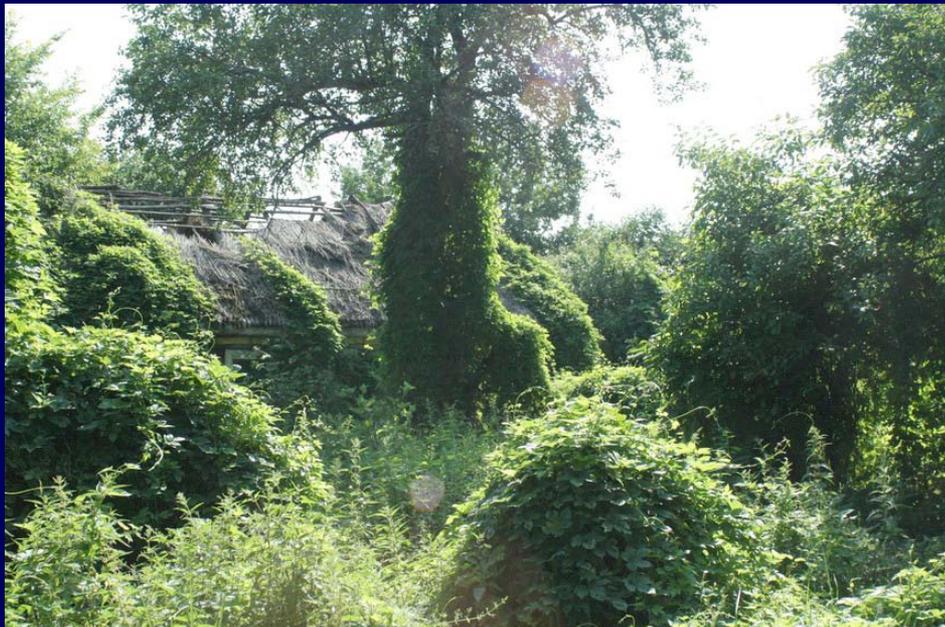
**Seguitano a vivere nell'are interdetta  
circa 200 persone e circa 5000 addetti  
a servizi o dipendenti di imprese.**



# LA RIPRESA AMBIENTALE: LA FLORA

La ripresa è stata graduale e lussureggiante e vi hanno contribuito la **sospensione di attività umane**: agricoltura, caccia, pesca, il che ha favorito una **maggiore disponibilità di cibo per gli animali**.

Il disastro nucleare **'ha trasformato'** l'area contaminata di **Chernobyl** in un **ambiente** che assomiglia all'**Europa primeva**, con **fitte foreste** e **prati rigogliosi**.



# DA FORESTA ROSSA A FORESTA VERDE



(Sergey Gashchak)

# GLI EFFETTI SUGLI ANIMALI



Il collare fornisce una misura accurata della dose da radiazione che l'animale riceve da sorgenti esterne. Questi esperimenti dimostrano che i **topi non risentono degli effetti** della radiazione residua presente nell'area di Chernobyl.

# GLI EFFETTI SUGLI ANIMALI

A seguito della riduzione della radioattività, le popolazioni animali si sono **riprese in vitalità e numerosità** per effetto della **riproduzione** e dell'**immigrazione**; c'è stato un aumento non solo della popolazione vegetale, ma anche di quella animale **terrestre, acquatica e volatile** (aquile, gufi, gru, cicogne,...)



# IL RITORNO ALLA VITA

L'area di esclusione è divenuta una riserva naturale, lasciata al corso della Natura che si arricchisce consentendo il rigoglioso sviluppo della flora e il ripopolamento faunistico. Questo **non significa che le radiazioni non abbiano avuto effetti sugli animali e sulle piante**, ma semplicemente che **l'assenza dell'uomo**, e quindi l'assenza di tutti gli interventi della mano umana, abbia portato gli animali a ripopolare quella zona, rigenerando un ambiente in cui la **natura prevale su tutto, per riappropriarsi di ciò che è suo**.



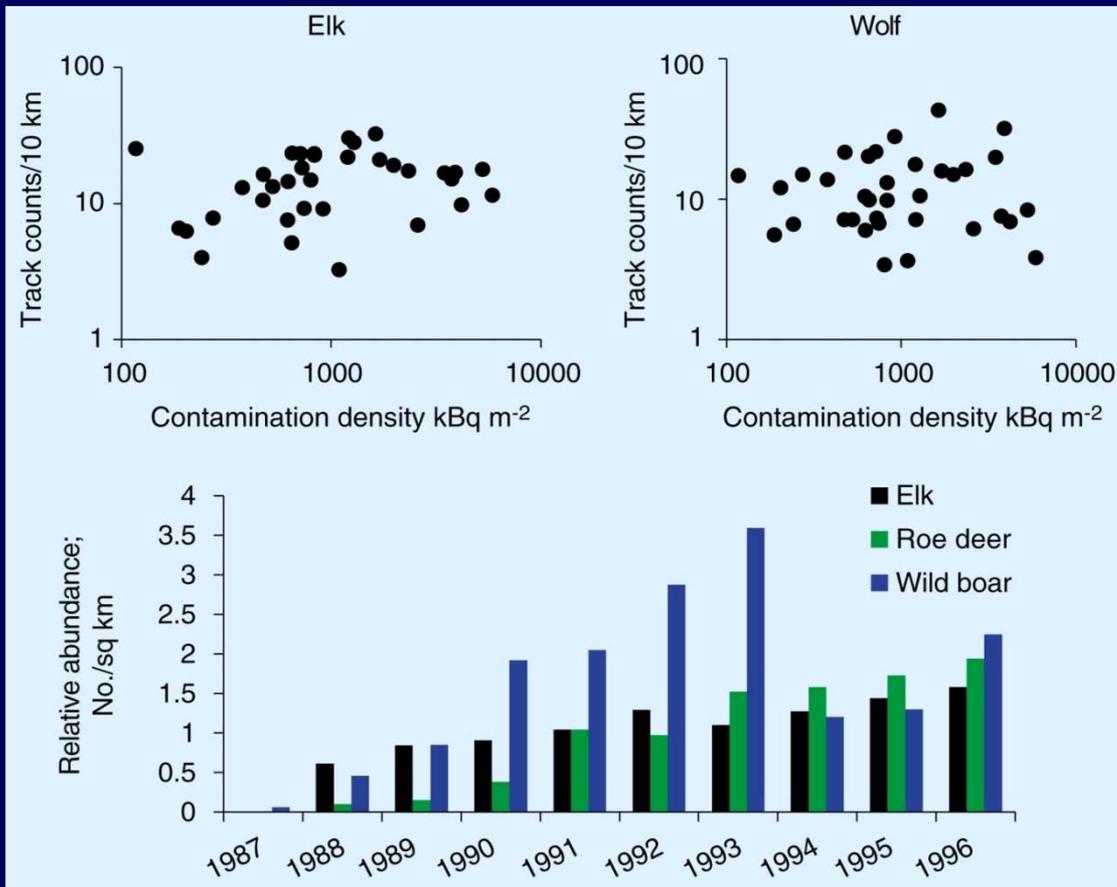
# LA FAUNA

Long-term census data reveal abundant wildlife populations at Chernobyl

T.G. Deryabina, S.V. Kuchmel, L.L. Nagorskaya, T.G. Hinton, J.C. Beasley, A. Lerebours, and J.T. Smith

*R824 Current Biology 25, R811–R826, October 5, 2015 ©2015*

*Il censimento dei grossi animali viene fatto contando le tracce sulla neve fresca caduta il giorno avanti.*



# L'“ECOSISTEMA” SI TRASFORMA

Il territorio ricco di prati e foreste viene ripopolata da grandi **mammiferi erbivori** – cervi, alci, bisonti – e **carnivori** come il lupo e la lince. Ciò è quanto hanno osservato gli scienziati che ritengono che la totale **assenza di attività umane** sia la **principale causa del ripopolamento** animale della zona evacuata. I grandi mammiferi sono oggi più numerosi nell'area di Chernobyl di quanto non fossero negli anni precedenti il disastro.



# I DATI DELLA RICERCA

I dati empirici della ricerca non hanno mostrato evidenze delle radiazioni sull'abbondanza dei mammiferi, mostrando invece che, a dispetto dei potenziali effetti della radiazione, la zona di esclusione di Chernobyl, a distanza di tre decenni di esposizione alle radiazioni, ospita e alimenta una popolazione più abbondante di mammiferi di quanto fosse prima dell'incidente. **Ciò non significa che la radiazione faccia bene alla vita selvatica, ma piuttosto che gli effetti della presenza umana sono molto peggiori.**



# BRANCHI DI CAVALLI



**Già nel 2013 era stata segnalata una cospicua presenza del cavallo brado di Przewalski (il pony delle steppe mongoliche).**

# LA VITTORIA DELLA NATURA



(Sergey Gashchak)

# DESERTO NUCLEARE O PARADISO NATURALE?



Da foresta rossa a foresta verde (Sergey Gashchak)

A vibrant sunset scene over a large body of water, likely a lake or wide river. The sun is low on the horizon, creating a bright, multi-pointed starburst effect. The sky is filled with soft, wispy clouds in shades of orange, yellow, and blue. The water in the foreground is dark, reflecting the light from the sun. In the distance, a range of dark mountains or hills is visible against the horizon. The overall mood is peaceful and serene.

**Grazie dell'attenzione**

**G. TRENTA**