

Problematiche connesse alla  
radioprotezione della  
popolazione nell'impiego di  
sostanze radioattive non  
sigillate a scopo diagnostico o  
terapeutico

# Principali riferimenti tecnici e normativi

- Radiation Protection following Iodine-131 therapy (exposures due to out-patients or discharged in-patients)  
<http://europa.eu.int/comm/environment/radprot/97/97.htm>
- NCRP Report N. 123, Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground, I e II, 1996
- D.Lgs 187/2000
- Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, IAEA Safety Reports Series No. 19 <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/publications.asp>

# Potenziali fonti di rischio per la popolazione



# Vincoli di dose

(Allegato 1, parte I, D. L.vo 187/00)

- Vengono fissati vincoli di dose per le persone che volontariamente e consapevolmente assistono pazienti sottoposti a indagini o trattamenti con radiazioni ionizzanti:
  - » adulti 18 - 60 anni : 3 mSv
  - » adulti > 60 anni : 10 mSv

# Limiti di dose

- L'esposizione degli individui della popolazione deve essere tale da garantire il rispetto del limite di dose di 1 mSv/anno
- In pratica il documento CE "Protezione dalle radiazioni 97" raccomanda un vincolo di dose efficace assorbita dagli individui della popolazione (colleghi di lavoro, persone del pubblico con cui il paziente può entrare in contatto, ad esempio durante il viaggio di ritorno a casa, ecc.) pari a 0.3 mSv

# Criteri di dimissione del paziente: aspetti generali

- L'attività ambulatoriale e le dimissioni dei pazienti portatori di radioattività dovranno avvenire in modo che:
  - » la dose assorbita dagli individui della popolazione (colleghi di lavoro, persone del pubblico con cui il paziente può entrare in contatto) sia inferiore al vincolo di dose per singola fonte di radiazione
  - » la dose assorbita dai familiari o da eventuali persone che, in modo consapevole e volontariamente, assistono o convivono con i pazienti, sia inferiore a vincoli di dose opportunamente fissati

E' necessario che venga ben evidenziato ai pazienti la loro responsabilità verso i familiari, gli amici e le altre persone del pubblico per quanto riguarda una eventuale loro irradiazione e che nel **consenso informato sottoscritto dal paziente** figurino anche il **suo impegno ad osservare** le prescrizioni e raccomandazioni che gli verranno date e **a curare** che vengano seguite quelle riguardanti i familiari

- La situazione ideale dal punto di vista protezionistico, è l'effettuazione dei trattamenti in **ricovero protetto**, dotato di scarichi contenuti, con accesso regolamentato, personale specializzato e professionalmente esposto
- In due giorni il 95% delle  $^{131}\text{I}$  non assunto dalla tiroide viene escreto con urine e feci. Il contenimento delle deiezioni riduce perciò al minimo il rischio di contaminazione ambientale e personale
- Nella maggior parte dei paesi, **inclusa l'Italia, non è realistica** per fattori economico-sociali (carenza di strutture, costi, tempi di attesa) **l'ipotesi di effettuare tutti i trattamenti in regime di ricovero**



# Paziente dimesso

## rischi da irradiazione esterna

- Sono i più importanti, soprattutto per quanto riguarda l'impiego dello  $^{131}\text{I}$
- La valutazione dell'irradiazione esterna può essere effettuata utilizzando i dati di:
  - » O'Doherty et al. (1993)
  - » Barrington et al. (1999) (trattamento degli ipertiroidismi)
  - » Barrington et al. (1996)(terapia ablativa e terapia delle metastasi)

# Dosi (mSv) ai familiari per 400 MBq (residui) di $^{131}\text{I}$

	Senza raccomandazioni (1)	Raccomand. Generali (2)	Restrizioni severe (per 1 settimana) (2)
<b>Bambini</b>			
< 2 anni	20	2	1.3
3-10 anni	6-11.5	1	0.6
<b>Coniugi</b>	18.5	8	1.4
<b>Altri adulti</b>	2.2	2	0.6

Nota (1) Dose calcolata

(2) Dosi misurate (mediana)

*Commissione Europea, 1998*

# Durata delle restrizioni a seconda della attività residua (alla dimissione) di $^{131}\text{I}$

- 800 MBq 3 settimane
- 400 MBq 2 settimane
- 200 MBq 1 settimana
- 100 MBq 4 giorni
- 60 MBq 1 giorno

Nota. Gli stessi periodi valgono per attività superiori di un terzo se somministrate ambulatorialmente

*Commissione Europea, 1998*

# Cosa dice la norma?

- Il D.Lgs 187/2000 stabilisce che siano fornite al paziente istruzioni scritte volte a ridurre le dosi per le persone a stretto contatto e a fornire informazioni sui rischi delle radiazioni ionizzanti. Un sistema di istruzioni per lo  $^{131}\text{I}$  comprende:
  - » Norme per ridurre l'esposizione (distanza, letti separati ecc.): sono le più importanti
  - » Norme per prevenire la contaminazione interna (uso impianti igienici, posate, biancheria, ecc.): importanti nei primi giorni, soprattutto nei trattamenti ambulatoriali

# Dosi (mSv) ai familiari

	Per un'attività somministrata di 400 MBq di $^{131}\text{I}$	Per un'attività residua di 400 MBq di $^{131}\text{I}$
<b>Bambini</b>		
< 2 anni	0.7	1.3
3-10 anni	0.3	0.6
<b>Coniugi</b>	0.7	1.4
<b>Altri adulti</b>	0.3	0.6

*Commissione Europea, 1998*

# Dose efficace mediana (mSv) per 600 MBq (residui alla dimissione o somministrati ambulatorialmente)

Coniugi

2.4

Bambini

0.68

Altri familiari

0.66

La dimissione di pazienti trattati con  $^{131}\text{I}$  è consentita allorchè l'attività residua sia uguale o inferiore a 600 MBq.

Dati da : *Buchan,1971; Jacobson,1978; O'Doherty,1993; Thomson,1993; Wassermann,1993; Barrington 1993 e 1999*

# Prescrizioni per assicurare il rispetto di 0.3 mSv agli individui del pubblico (ore di utilizzo dei mezzi pubblici)

	Tempo dopo la somministrazione					
	<b>0</b>	<b>8 h</b>	<b>1 g</b>	<b>2 g</b>	<b>3 g</b>	<b>4 g</b>
600 MBq (ipertiroidismo)	0.25	0.5	1.25	1.5	2	2.5
3700 MBq (terapia ablativa)	/	/	0.25	0.25	1	1.5
7400 MBq (terapia metastasi)	/	/	/	/	0.5	3

# Prescrizioni per assicurare il rispetto di 0.3 mSv agli individui del pubblico (giorni di attesa prima di riprendere il lavoro)

	<b>a</b>	<b>b</b>
600 MBq (ipertiroidismo)	15 (8*)	5
3700 MBq (terapia ablativa)	14	5
7400 MBq (terapia metastasi)	3	2

**a:** 1 m per 8 ore al giorno

**b:** 2 m per 8 ore al giorno

\* EANM, 1996



# Paziente dimesso

## rischi da irradiazione interna

---

- Comporta normalmente dosi almeno di un ordine di grandezza inferiori a quelle dovute all'irradiazione esterna
- Solo in casi particolari (ad es. paziente incontinente) può essere presa in considerazione l'opportunità di ricoverare il paziente
- Il rischio non può essere trascurato quando il paziente sia a contatto con bambini

# Dose equivalente alla tiroide di familiari per incorporazione tiroidea di $^{131}\text{I}$ (mSv)

	Età (anni)		
	< 10	10-20	> 20
mediana	2.76	0.15	0.21
massima	13.3	0.47	1.24

Valori ricavati dai dati di Jacobson et al., 1978

# Dose equivalente massima alla tiroide di familiari per incorporazione di $^{131}\text{I}$

	(mSv/GBq somministrato)	
Adulti	4.7*	6**
Bambini	20*	/

\* *Lassmann et al., 1998*

\*\* *Wollner et al., 1998*

# Rifiuti radioattivi

- l'immissione di rifiuti radioattivi in ambiente non interessa solo l'ambito territoriale del singolo produttore
- sullo stesso territorio possono contemporaneamente immettere rifiuti radioattivi numerosi utenti
- pratica da gestire nell'ambito del principio di giustificazione e ottimizzazione

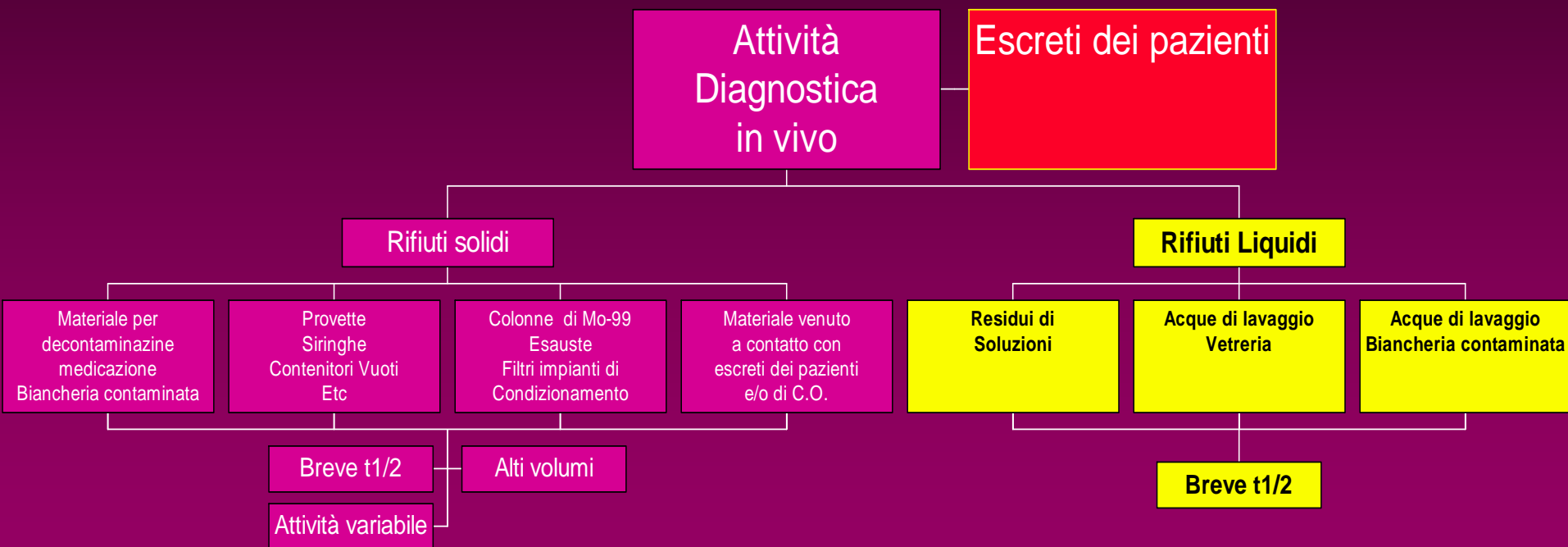
# Fonti di produzione dei rifiuti radioattivi

---

- attività diagnostica in vivo (Medicina Nucleare)
- attività terapeutica comportante la somministrazione di sostanze radioattive (Radioterapia Metabolica)
- attività diagnostica in vitro (Radioimmunologia)

# Diagnostica in vivo

## identificazione fonti di produzione



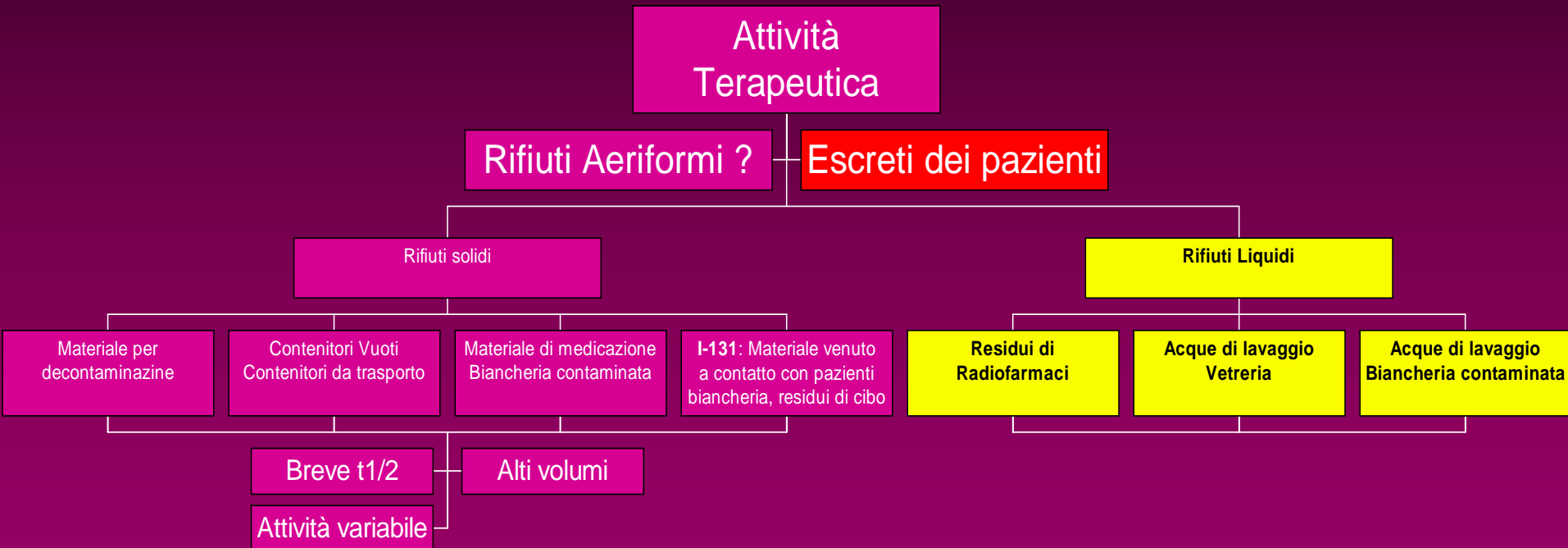
# Diagnostica in vitro

## identificazione fonti di produzione



# Attività terapeutica

## identificazione fonti di produzione





# RIFIUTI SOLIDI E LIQUIDI PRODOTTI DIRETTAMENTE DAL REPARTO

## Scelte Operative

```
graph TD; A[Scelte Operative] --> B[Stoccaggio in deposito]; A --> C[Conferimento smaltitore autorizzato]; A --> D[Immissione diretta in ambiente];
```

Stoccaggio  
in deposito

Conferimento  
smaltitore  
autorizzato

Immissione  
diretta in  
ambiente

# Ottimizzazione e analisi del problema

Valutazione delle:  
fonti di produzione  
tipologia di sostanze radioattive  
quantità di sostanze radioattive

Riduzione alla fonte  
dei rifiuti  
prodotti

Valutazione della dose  
alla popolazione

Confronto con un  
vincolo dosimetrico

Processo decisionale  
basato sull'applicazione  
del **principio di  
ottimizzazione**

# Rifiuti solidi: possibili scelte operative

- immagazzinamento del materiale radioattivo in condizioni controllate fino al suo decadimento
- successivo smaltimento nell'ambiente quando siano rispettate le condizioni autorizzative e/o i limiti di non applicabilità del D.Lgs 230/95 e s.m.i.

# Immagazzinamento dei rifiuti solidi

- confezionamento delle sostanze che garantisca, per tutto l'intervallo di tempo richiesto, il contenimento delle sostanze radioattive e delle matrici alle quali sono associate
- identificazione del materiale confezionato
- ispezionabilità del deposito

# Caratteristiche del deposito rifiuti solidi

- dimensioni adeguate (volumetria dei rifiuti prodotti e tempi di permanenza)
- valutazione del rischio di allagamento
- decontaminabilità delle superfici, del pavimento e delle pareti
- disponibilità di rivelatori di incendio e/o di estintori a secco, disponibilità di presa d'acqua
- predisposizione di una contropendenza del pavimento
- problemi igienico sanitari

# Laboratori di radioimmunologia

---

- inaccettabile lo smaltimento immediato di tali rifiuti come Rifiuti Solidi Urbani o tramite diretta immissione nella rete fognaria
- i rifiuti radioattivi liquidi dovranno essere confezionati in contenitori chiusi a doppio contenimento
- identificazione del materiale confezionato, con indicazione di Data di confezionamento, Operatore, Tipo di radionuclide contenuto, Attività al confezionamento, Numero progressivo

# Smaltimento tramite vettore e ditta autorizzata

- radionuclidi a tempo di dimezzamento più lungo (Trizio, Cobalto 57, Carbonio 14), o quando non sia possibile tecnicamente o organizzativamente provvedere allo stoccaggio
- rifiuti e residui devono essere confezionati secondo le modalità previste per il trasporto di sostanze radioattive

# Rifiuti solidi prodotti da pazienti ricoverati sottoposti ad esame scintigrafico

- materiale contaminato da  $^{99m}\text{Tc}$  e altro
- valutazione a priori della quantità di materiale radioattivo prodotto che può potenzialmente essere immesso in ambiente
- valutazione dell'impegno dosimetrico legato a tale immissione
- **non appare giustificato**, nella maggior parte dei casi, procedere a sistemi di monitoraggio continuo di tutti i rifiuti ospedalieri in uscita



# Escreti dei pazienti

- La fonte principale di rifiuti liquidi contaminati con sostanze radioattive è costituita dagli escreti dei pazienti sottoposti a procedimenti diagnostici e/o terapeutici con sostanze radioattive
- La particolare natura del rilascio in ambiente, rende praticamente impossibile risalire da determinazioni radiometriche puntuali alla valutazione dell'attività immessa in ambiente annualmente
- Stima sufficientemente cautelativa a partire da:
  - » quantità e tipologie dei radiofarmaci somministrati
  - » numero di pazienti trattati annualmente
  - » modalità di somministrazione delle sostanze radioattive e di gestione dei pazienti “caldi” (presenza o meno di vasche)
  - » frazioni escrete

# Frazione escreta

$$E(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow E_{tot}(t) = \int_0^t E(u) du = \int_0^t -\frac{dR(u)}{du} \cdot e^{-\lambda \cdot u} du = \int_0^t \frac{dR(u)}{du} \cdot e^{-\lambda \cdot u} du$$

$$E_{tot}(t) = \int_0^t \frac{d(\sum_i a_i \cdot e^{-\lambda_i \cdot u})}{du} \cdot e^{-\lambda \cdot u} du = \int_0^t (\sum_i a_i \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i \cdot u}) \cdot e^{-\lambda \cdot u} du =$$

$$= \sum_i a_i \cdot \lambda_i \cdot \int_0^t e^{-(\lambda_i + \lambda) \cdot u} du = \sum_i \frac{a_i \cdot \lambda_i}{(\lambda_i + \lambda)} (1 - e^{-(\lambda_i + \lambda) \cdot t})$$

$$E_{tot}(t) = \sum_i \left[ \frac{a_i \cdot T_{1/2}}{T_{i,1/2} + T_{1/2}} \cdot \left( 1 - e^{-\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{T_{i,1/2}} + \frac{1}{T_{1/2}} \right) \cdot t} \right) \right]$$

# Frazione Escreta

$$E_{tot}(t) = \sum_i \left[ \frac{a_i \cdot T_{1/2}}{T_{i,1/2} + T_{1/2}} \cdot \left( 1 - e^{-\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{T_{i,1/2}} + \frac{1}{T_{1/2}} \right) \cdot t} \right) \right]$$

- L'escrezione totale dipende dal tempo di dimezzamento fisico
- L'escrezione totale dipende dal tempo di dimezzamento biologico

# Escreti dei pazienti: funzioni di escrezione

Radionuclide	T1/2 Fisico [h]	Forma Chimica	Frazione escreta per via urinaria	Funzione di Ritenzione Total Body	a	T1/2 biologico [h]	b	T1/2 biologico [h]	c	T1/2 biologico [h]	Durata ospedalizzazioni [h]	Frazione escreta per via urinaria durante l'ospedalizzazione	Frazione totale escreta	Riferimento Bibliografico
99-mTc	6.02	DTPA	100 %	Biesponenziale	0.99	1.7	0.01	168			2	51%	78 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	HM-PAO	80 %	Triesponenziale	0.36	48.0	0.19	1	0.08	1	2	16%	27 %	ICRP 62
99-mTc	6.02	MAG3	100 %	Triesponenziale	0.40	0.0	0.40	0	0.20	1	2	95%	97 %	ICRP 62
99-mTc	6.02	MIBI	30 %	Triesponenziale	0.70	24.0	0.14	7	0.15	1	2	4%	33 %	ICRP 62
99-mTc	6.02	MDP (Fosfonato)	100 %	Triesponenziale	0.30	0.5	0.30	2	0.40	72	2	41%	53 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	DMSA	100 %	Triesponenziale	0.25	2.0	0.25	43	0.50	∞	2	12%	22 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	WBC	100 %	Monoesponenziale	1.00	∞					2	0%	0 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	Pertechnetato	30 %	Triesponenziale	0.77	38.4	0.19	89	0.04	528	2	1%	12 %	Health.Phys. Vol.12,1425-1435,1966
99-mTc	6.02	Fibrinogeno	100 %	Monoesponenziale	1.00	96					2	1%	6 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	Colloide	100 %	Monoesponenziale	1.00	∞					2	0%	0 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	DTPA Intratecale	100 %	Monoesponenziale	1.00	7.7					2	15%	44 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	RBC	100 %	Monoesponenziale	1.00	60					2	2%	9 %	ICRP 53
99-mTc	6.02	MAA	100 %	Biesponenziale	0.85	6.0	0.15	72	0.00		2	16%	44 %	ICRP 53
131-I	192.96	Ioduro	100 %	Monoesponenziale	1.00	20.0					3	10%	91 %	Barrington 1996 (Tiroide ablata, Diagnostica)
111-In	67.31	Platelets	100 %	Biesponenziale	0.30	48	0.70	1680			2	1%	20 %	ICRP 53
111-In	67.31	Bleomicina	100 %	Biesponenziale	0.30	48	0.70	1680			2	1%	20 %	ICRP 53
201-Tl	73.06	Cloruro	20 %	Biesponenziale	0.63	168	0.37	672			2	0%	23 %	ICRP 53
67-Ga	78	Citrato	91 %	Biesponenziale	0.17	30	0.83	612			2	1%	22 %	ICRP 53
59-Fe	1068.24	Ferro Cloruro	100 %	Monoesponenziale	1.00	48000					2	0%	2 %	ICRP 54
75-Se	2872.80	Colesterolo	100 %	Triesponenziale	0.50	120.0	0.25	720	0.25	6720	2	1%	75 %	ICRP 53
51-Cr	664.90	Sodio Cromato	100 %	Triesponenziale	0.30	8.0	0.30	240	0.40	3840	2	5%	58 %	ICRP 53
57-Co	6522.48	Vitamina B12	100 %	Biesponenziale	0.10	24	0.90	12000			2	1%	42 %	ICRP 53
58-Co	1698.72	Vitamina B12	100 %	Biesponenziale	0.10	24	0.90	12000			2	1%	21 %	ICRP 53
123-I	13.21	MIBG	100 %	Triesponenziale	0.70	6.0	-0.04	278	0.34	2784	2	14%	48 %	ICRP 53
131-I	192.96	Ioduro	100 %	Monoesponenziale	1.00	20.0					96	88%	91 %	Barrington 1996 (Tiroide ablata, Terapia)
131-I	192.96	Ioduro	100 %	Triesponenziale	0.14	1.0	0.18	14	0.68	2784	6	18%	35 %	Iper-tiroidismo, Kaul et al, 1973
Sm-153	46.70	EDTMP	100 %								6	20%	100 %	*
Re-186	90.64	HEDP/Colloide	100 %								6	47%	66 %	*
32-P	342.72	Fosfato/Colloide	100 %	Triesponenziale	0.14	12.0	0.14	48	0.42	456	6	6%	44 %	ICRP 53
89-Sr	1212	Cloruro	80 %	Triesponenziale	0.73	72	0.10	1056	0.17	96000	6	3%	74 %	ICRP 54
Y-90	64.00		100 %								6	20%	100 %	*

# Escreti dei pazienti: modalità di quantificazione delle concentrazioni

- Per ogni pratica diagnostica o terapeutica va stimata la quantità totale di attività escreta dai pazienti
- Tale quantità va ripartita in un'aliquota immessa direttamente nel sistema fognario ospedaliero (quella dovuta ai pazienti ricoverati e allo svuotamento dei sistemi di contenimento), e in un'aliquota immessa nei sistemi fognari delle rispettive località di provenienza dai pazienti ambulatoriali e/o dimessi dall'ospedale al termine dell'ospedalizzazione
- Tale ripartizione può essere effettuata proporzionalmente al rapporto tra le attività somministrate ai pazienti ricoverati e le attività somministrate complessivamente
- Le concentrazioni medie su base annua possono essere quindi valutate a partire dalle attività annualmente immesse nel sistema fognario e dalla portata complessiva del sistema fognario dell'Ospedale, calcolata riferendosi ai soli collettori ospedalieri di interesse

# Attività escreta dai pazienti Diagnostica

	Frazione escreta per via urinaria durante l'ospedalizzazione	Frazione totale escreta	Attività totale somministrata [MBq/anno]	Attività totale escreta dai Pazienti [MBq/anno]	Attività intercettabile da sistemi di contenimento [MBq/anno]	Attività non intercettabile da sistemi di contenimento [MBq/anno]	Attività non intercettabile da sistemi di contenimento escreta in Ospedale [MBq/anno]	Concentrazione media al punto di immissione in ambiente su base annua [Bq/m <sup>3</sup> ]	Attività non intercettabile da sistemi di contenimento escreta fuori dell'Ospedale [MBq/anno]
99m-Tc	95%	97%	3.01E+06	<b>2.92E+06</b>	2.86E+06	6.02E+04	1.69E+04	1.95E+04	4.33E+04
I-131	10%	91%	8.33E+04	<b>7.58E+04</b>	8.33E+03	6.75E+04			6.75E+04
In-111	1%	20%	9.51E+03	<b>1.90E+03</b>	9.51E+01	1.81E+03	5.24E+02	6.07E+02	1.28E+03
Tl-201		23%	7.35E+04	<b>1.69E+04</b>		1.69E+04	2.03E+03	2.35E+03	1.49E+04
67-Ga	1%	22%	4.82E+04	<b>1.06E+04</b>	4.82E+02	1.01E+04	4.55E+03	5.27E+03	5.56E+03
59-Fe		2%	3.30E+00	<b>6.60E-02</b>		6.60E-02			6.60E-02
75-Se	1%	75%							
51-Cr	5%	58%	1.76E+02	<b>1.02E+02</b>	8.79E+00	9.32E+01	7.00E+00	8.10E+00	8.62E+01
Co-57	1%	42%	6.12E-01	<b>2.57E-01</b>	6.12E-03	2.51E-01			2.51E-01
Co-58	1%	21%	1.02E+00	<b>2.14E-01</b>	1.02E-02	2.04E-01			2.04E-01
I-123	14%	48%	2.70E+03	<b>1.30E+03</b>	3.78E+02	9.18E+02	4.59E+02	5.31E+02	4.59E+02

# Caratteristiche impianto di smaltimento (Vasche)

- valutazione della volumetria e del frazionamento dell'impianto
- riduzione al minimo della necessità di interventi diretti
- sistema di controllo in tempo reale del suo funzionamento
- catino di contenimento
- possibilità di monitorare il contenuto delle vasche prima dello scarico
- per impianti dedicati al contenimento di  $^{131}\text{I}$  segnalazione remota
- per impianti dedicati al contenimento di  $^{131}\text{I}$  dovrà essere valutata e limitata la possibilità di evaporazioni anomale di iodio radioattivo

# Dimensionamento impianto di smaltimento (Vasche)

Obiettivo di progetto: 1 Bq/g

$$\frac{dA_i}{dt} = Q_i - \lambda_i A_i(t)$$

$Q_i$  = Quantità del radionuclide i-esimo immesso settimanalmente nel sistema in uso [Bq/settimana]

$A_i(t)$  = Attività del radionuclide i-esimo contenuta nella vasca in uso al tempo  $t$

$\lambda_i$  = Costante di decadimento del radionuclide i-esimo

Nell'ipotesi che  $Q_i$  sia costante nel tempo e con la condizione al contorno che al tempo  $t=0$ ,  $A_i=0$  la soluzione della 3 risulta essere:

$$A_i(t) = \frac{Q_i}{\lambda_i} \times (1 - e^{-\lambda_i \times t})$$



# Dimensionamento impianto di smaltimento (Vasche)

- L'attività e la concentrazione radioattiva al momento dello svuotamento risultano quindi calcolabili sulla base dei seguenti elementi:
  - » la legge fondamentale che regola la cinetica dei decadimenti radioattivi
  - » un tempo di permanenza dei liquami determinabile sulla base di una produzione di liquami contaminati pari a circa  $0.025 \text{ m}^3/\text{paziente}$  per i reparti di diagnostica e di circa  $0.1 \text{ m}^3/\text{giorno}/\text{paziente}$  per il reparto di degenza

# Valutazione della dose assorbita dalla popolazione

- La valutazione della dose assorbita dalla popolazione a seguito di rilascio in ambiente di sostanze radioattive implica la conoscenza di numerosi parametri ambientali il cui dettaglio condiziona il livello di accuratezza dei risultati ottenuti.
- In maniera più pragmatica è però possibile seguire la via indicata dall'N.C.R.P. al fine di valutare conservativamente gli ordini di grandezza delle dosi assorbite dalla popolazione e la conseguente opportunità di intraprendere provvedimenti nel caso in cui l'impatto dosimetrico dovuto all'immissione di radiocontaminanti sia non accettabile

# NCRP 123

- E' possibile utilizzare dei fattori di screening (S.F.) per ogni via di immissione delle sostanze radioattive in ambiente.
- La quantificazione di tali fattori di screening è il risultato dell'applicazione di modelli sempre più complessi che tengono conto di tutte le vie critiche di ritorno all'uomo
- la loro funzione principale è di consentire un confronto tra i risultati attraverso il loro utilizzo e un vincolo dosimetrico e in questo modo permettere di effettuare una valutazione immediata dell'entità del problema

# NCRP 123

---

I modelli adottati per calcolare gli S.F. partono da ipotesi estremamente conservative a tali da portare a risultati, in termini dosimetrici, che possono essere sovrastimati fino ad un ordine di grandezza

# Valutazione del "carico di lavoro" ai fini della stima della quantità di sostanze radioattive immesse in ambiente

## Attività terapeutica

Isotopo	Pazienti totali	Pazienti ricoverati	Pazienti ambulatoriali	Attività totale somministrata annualmente (MBq)	Attività somministrata annualmente a pazienti ricoverati (MBq)	Attività somministrata annualmente a pazienti ambulatoriali (MBq)
131-I	400	400	0	1850000	1850000	0
89-Sr	50	5	45	7400	740	6660
32-P	10	2	8	1500	300	1200

## Attività diagnostica "in vivo"

Isotopo	Pazienti totali	Pazienti ricoverati	Pazienti ambulatoriali	Attività totale somministrata annualmente (MBq)	Attività somministrata annualmente a pazienti ricoverati (MBq)	Attività somministrata annualmente a pazienti ambulatoriali (MBq)
131-I	10	2	8	1850	370	1480
111-In	200	50	150	10000	2500	7500
201-Tl	1000	200	800	90000	18000	72000
67-Ga	300	50	250	45000	7500	37500
59-Fe	10	2	8	10	2	8
51-Cr	150	10	140	150	10	140
57-Co	50	5	45	50	5	45
58-Co	50	5	45	50	5	45
123-I	100	10	90	15000	1500	13500
99m-Tc	6000	2000	4000	3000000	1000000	2000000

# Stima della quantità di sostanze radioattive immesse in ambiente

## Attività terapeutica

Isotopo	Frazione escreta con la prima minzione	Frazione totale escreta	Attività annualmente immessa in ambiente in assenza di sistemi di contenimento (MBq)	Attività annualmente immessa in ambiente in presenza di sistemi di contenimento (MBq)	Massimo risparmio operabile dai dispositivi di contenimento
131-I	*	90%	1683500	18500	99%
32-P		45%	3330	3182	4%
89-Sr		75%	1125	1080	4%

\* Frazione escreta dopo 96 ore di ospedalizzazione in un reparto di degenza protetta

## Attività diagnostica

Isotopo	Frazione escreta con la prima minzione	Frazione totale escreta	Attività annualmente immessa in ambiente in assenza di sistemi di contenimento (MBq)	Attività annualmente immessa in ambiente in presenza di sistemi di contenimento (MBq)	Massimo risparmio operabile dai dispositivi di contenimento
131-I	15%	91%	1684	1406	17%
111-In	1%	20%	2000	1900	5%
201-Tl	0.1 %	25%	22500	22410	0%
67-Ga	1%	25%	11250	10800	4%
59-Fe	0%	2%	0.2	0.2	0%
51-Cr	5%	60%	90	82.5	8%
57-Co	1%	45%	23	22	4%
58-Co	1%	25%	13	12	8%
123-I	14%	50%	7500	5400	28%
99m-Tc	51%	78%	2340000	810000	65%

# Valutazione dell'impatto dosimetrico sulla popolazione dovuto all'immissione in ambiente di sostanze radioattive

## I Caso: Immissione di radiocontaminanti in acque superficiali (fiume)

### Dinamica dell'immissione:

Dal sistema fognario dell'Ospedale al sistema fognario cittadino e quindi in acque superficiali destinate all'irrigazione.

**Assenza di sistemi di contenimento degli escreti dei pazienti sia per attività diagnostica che terapeutica.**

La concentrazione dei liquami al punto di immissione nel fiume è posta pari a quella del punto di immissione nel sistema fognario.

Prelievo di acque superficiali destinate all'irrigazione sull'argine opposto a valle rispetto al punto immissione.

Prelievo di acque superficiali destinate all'irrigazione sullo stesso argine in condizioni di completo mescolamento.

### Condizioni al contorno:

Larghezza del corso d'acqua (m):	20
Portata del corso d'acqua (m <sup>3</sup> /s):	4
Portata media del corso d'acqua negli ultimi 30 anni (m <sup>3</sup> /s):	1.3
Larghezza media del corso d'acqua negli ultimi 30 anni (m):	12
Profondità media del corso d'acqua negli ultimi 30 anni (m):	0.8
Velocità media calcolata sulla portata media degli ultimi 30 anni (m/s):	0.1
Distanza del punto di prelievo delle acque superficiali (m) in condizioni di completo mescolamento sullo stesso argine:	540

### Attività terapeutica

Isotopo	Attività immessa in ambiente (Bq/s)	Concentrazione media nelle condizioni di completo mescolamento (Bq/m <sup>3</sup> )	Coefficiente S.F. <sub>(a.s.)</sub> [Sv/Bq/m <sup>3</sup> ]	Dose efficace derivante (μSv)
131-I	53383	41064	8.6E-08	3532
32-P	106	82	8.2E-07	67
89-Sr	36	28	1.3E-08	0.4
Totale				3599.4

### Attività diagnostica "in vivo"

Isotopo	Attività immessa in ambiente (Bq/s)	Concentrazione media nelle condizioni di completo mescolamento (Bq/m <sup>3</sup> )	Coefficiente S.F. <sub>(a.s.)</sub> [Sv/Bq/m <sup>3</sup> ]	Dose efficace derivante (μSv)
131-I	53	41	8.6E-08	3.5
111-In	63	48	8.4E-09	0.4
201-Tl	713	548	1.5E-09	0.8
67-Ga	357	275	1.1E-09	0.3
59-Fe	0.01	0.01	7.4E-08	< 0.1
51-Cr	3	2	3.7E-10	< 0.1
57-Co	0.7	1	8.6E-09	< 0.1
58-Co	0.4	0	1.8E-08	< 0.1
123-I	238	183	2.2E-10	< 0.1
99m-Tc	74201	57078	3.3E-11	1.9
Totale				< 7

# Valutazione dell'impatto dosimetrico sulla popolazione dovuto all'immissione in ambiente di sostanze radioattive

## Il Caso: Immissione di in mare

### Dinamica

#### dell'immissione:

Dal sistema fognario dell'Ospedale al mare.

### Condizioni al contorno:

Profondità del punto di immissione (m):	15
Distanza del punto di immissione (m) dal primo punto utile per la pesca (condizioni di completo mescolamento):	105
Fattore di dispersione $F_{svd}$ ( $s\ m^{-2}$ ):	3

### Attività terapeutica

Isotopo	Attività immessa in ambiente (Bq/s)	Concentrazione media nelle condizioni di completo mescolamento (Bq/m <sup>3</sup> )	Coefficiente $S.F_{-(mare)}$ [Sv/Bq/m <sup>3</sup> ]	Dose efficace derivante (μSv)
131-I	53383	10677	6.2E-09	66
32-P	106	21	6.4E-07	13
89-Sr	36	7	2.7E-10	< 0.1
<b>Totale</b>				<b>&lt; 79.7</b>

### Attività diagnostica

Isotopo	Attività immessa in ambiente (Bq/s)	Concentrazione media nelle condizioni di completo mescolamento (Bq/m <sup>3</sup> )	Coefficiente $S.F_{-(mare)}$ [Sv/Bq/m <sup>3</sup> ]	Dose efficace derivante (μSv)
131-I	53	11	6.2E-09	< 0.1
111-In	63	13	1.5E-08	< 0.2
201-Tl	713	143	2.6E-09	0.4
67-Ga	357	71	2.2E-09	0.2
59-Fe	0.01	0.002	3.3E-07	< 0.1
51-Cr	3	1	3.2E-09	< 0.1
57-Co	0.73	0.1	1.3E-07	< 0.1
58-Co	0.40	0.1	2.2E-07	< 0.1
123-I	238	48	3.0E-11	< 0.1
99m-Tc	74201	14840	2.0E-11	0.3
<b>Totale</b>				<b>&lt; 1.7</b>



# Valutazione dell'impatto dosimetrico sulla popolazione dovuto all'immissione in ambiente di sostanze radioattive

## Il Caso: Immissione di in mare

### Dinamica

#### dell'immissione:

Dal sistema fognario dell'Ospedale al mare.

### Condizioni al contorno:

Profondità del punto di immissione (m):	15
Distanza del punto di immissione (m) dal primo punto utile per la pesca (condizioni di completo mescolamento):	105
Fattore di dispersione $F_{svd}$ ( $s\ m^{-2}$ ):	3

### Attività terapeutica

Isotopo	Attività immessa in ambiente (Bq/s)	Concentrazione media nelle condizioni di completo mescolamento (Bq/m <sup>3</sup> )	Coefficiente $S.F_{-(mare)}$ [Sv/Bq/m <sup>3</sup> ]	Dose efficace derivante (μSv)
131-I	53383	10677	6.2E-09	66
32-P	106	21	6.4E-07	13
89-Sr	36	7	2.7E-10	< 0.1
<b>Totale</b>				<b>&lt; 79.7</b>

### Attività diagnostica

Isotopo	Attività immessa in ambiente (Bq/s)	Concentrazione media nelle condizioni di completo mescolamento (Bq/m <sup>3</sup> )	Coefficiente $S.F_{-(mare)}$ [Sv/Bq/m <sup>3</sup> ]	Dose efficace derivante (μSv)
131-I	53	11	6.2E-09	< 0.1
111-In	63	13	1.5E-08	< 0.2
201-Tl	713	143	2.6E-09	0.4
67-Ga	357	71	2.2E-09	0.2
59-Fe	0.01	0.002	3.3E-07	< 0.1
51-Cr	3	1	3.2E-09	< 0.1
57-Co	0.73	0.1	1.3E-07	< 0.1
58-Co	0.40	0.1	2.2E-07	< 0.1
123-I	238	48	3.0E-11	< 0.1
99m-Tc	74201	14840	2.0E-11	0.3
<b>Totale</b>				<b>&lt; 1.7</b>

# Escreti dei pazienti: elementi utili per una scelta motivata di azioni da intraprendere

- una frazione significativa degli esami di diagnostica in vivo viene eseguita su pazienti ambulatoriali
- i pazienti degenti sono generalmente distribuiti nei vari Reparti degli Ospedali, insieme ai pazienti non portatori di radioattività
- realizzazione di un sistema di vasche di raccolta, collegate con i servizi igienici destinati ai pazienti “caldi”
  - » scelta **giustificata** nel caso di trattamenti terapeutici con  $^{131}\text{I}$  presso reparti di degenza protetta
  - » dovrebbe essere valutata, nell’ambito del principio di ottimizzazione, per i servizi di diagnostica in vivo

# Valutazioni in condizioni di emergenza (art. 115 Ter)

---

- Definizioni delle ipotesi di partenza:
  - » l'incendio coinvolge la camera calda e si propaga in maniera incontrollata nel reparto

# Generalità

- **La descrizione matematica del comportamento di sostanze pericolose rilasciate in atmosfera comporta la necessità di conoscenza di un numero elevato di parametri in grado di caratterizzare il termine sorgente, le condizioni meteorologiche al momento del rilascio, e tutti gli elementi che possano modificare le condizioni del trasporto (presenza di edifici, particolari conformazioni del terreno etc)**
- **la precisione ed il dettaglio di tali conoscenze determina inevitabilmente l'accuratezza delle conclusioni e dei risultati cui l'applicazione del modello scelto porta.**
- **Il tutto evidentemente si complica se il rilascio è associato alle condizioni relative ad un incendio**

# Caratteristiche del modello hot spot

- <http://www.llnl.gov/nai/technologies/hotspot/>
- fornisce un'approssimazione del primo ordine degli effetti associati al rilascio short term in atmosfera di materiale radioattivo (rilascio di durata inferiore alle 24 ore)
- 4 moduli (Plume, Explosion, Fire, Resuspension) che stimano l'impatto radiologico dovuto a rilasci continui o a puff.
- La deviazione standard relativa ai risultati dosimetrici ottenibili utilizzando il codice in questione è di un fattore compreso tra 3 e 5

# Caratteristiche del modello hot spot

- Il modello (ben documentato) tiene conto di
  - » della frazione AF della quantità di sostanze radioattive coinvolto nell'incendio che è rilasciata in atmosfera
  - » della frazione RF della quantità di sostanze radioattive dispersa in atmosfera che è respirabile in quanto caratterizzata da una AMAD inferiore a  $10\ \mu\text{m}$
  - » della frazione del rilascio respirabile pari al prodotto  $AF \times RF$ ; tale frazione presenta una velocità di deposizione di  $0.03\ \text{cm/s}$  ed è utilizzata per determinare l'inalazione, l'irradiazione dal suolo e la dose da immersione nella nube

# Caratteristiche del modello hot spot

- » della frazione del rilascio non respirabile in quanto caratterizzata da un AMAD maggiore di  $10 \mu\text{m}$ ; tale frazione presenta una velocità di deposizione di  $8 \text{ cm/s}$  ed è utilizzata per determinare il contributo all'irradiazione dal suolo e alla dose da immersione nella nube dovuto alla componente non respirabile
- » Tutte le stime dosimetriche, inoltre, vengono condotte nell'ambito dei modelli dosimetrici e metabolici successivi alle raccomandazioni della ICRP 60 e 70.

# Caratteristiche del modello hot spot

**il modello gaussiano utilizzato da HOT SPOT è descritto dalla seguente equazioni:**

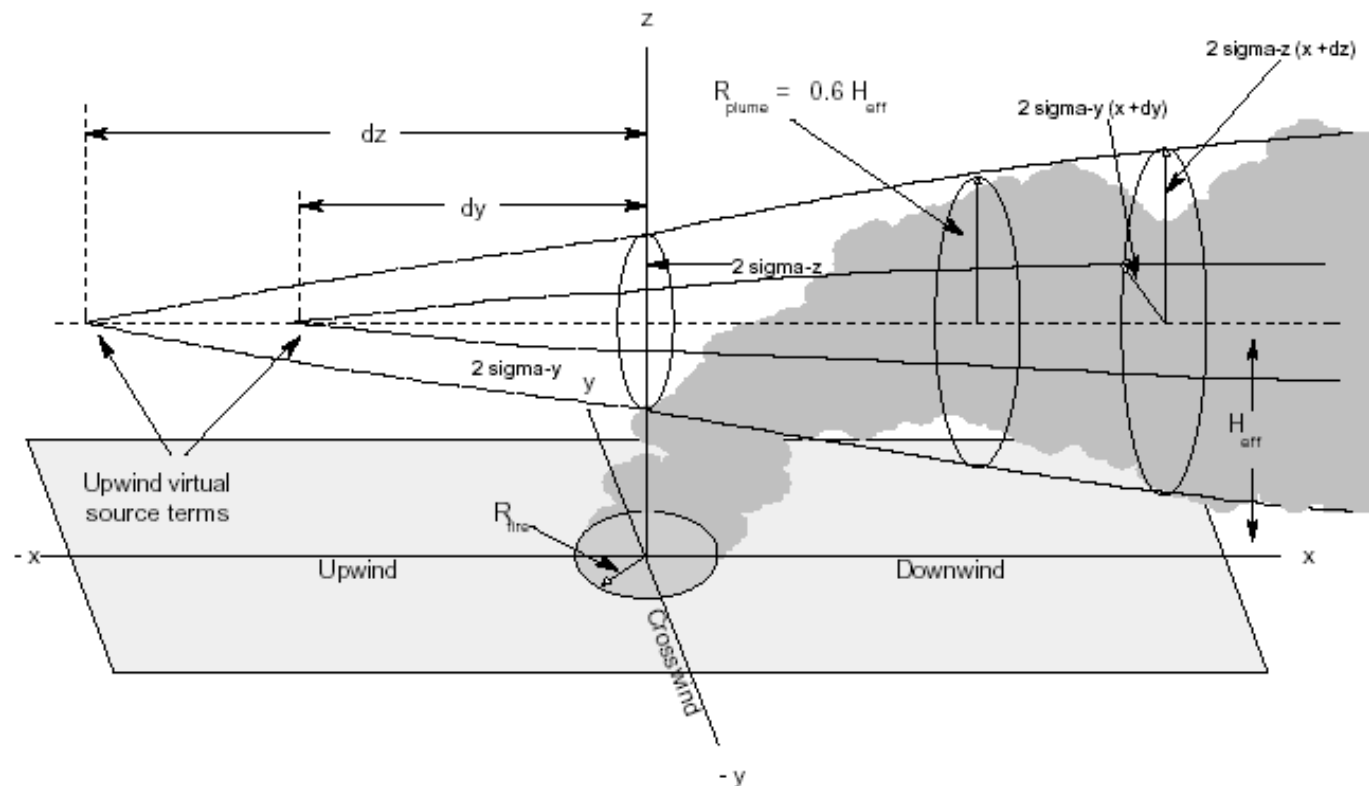
$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \exp\left[-\frac{\lambda x}{u}\right]$$

**In caso di inversione termica e nel caso in cui  $\sigma_z$  superi l'altezza di inversione termica il modello utilizza la seguente equazione:**

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\sigma_y Lu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{\lambda x}{u}\right] .$$



# Caratteristiche del modello hot spot



$$\sigma_y(x=0) = \sigma_z(x=0) = \text{Maximum} ( 0.5 R_{plume} \text{ or } 0.5 R_{fire} )$$

# Input del modello hot spot

Materiale radioattivo	Mo-99 M, $T_{1/2} = 66$ h
Attività	3.70E+10
Frazione AF	1.00E-02
Frazione RF	5.00E-02
Frazione respirabile	5.00E-04
Raggio dell'incendio (m)	15
Altezza della nube (m)	10
Altezza del rilascio (m)	0
Effettiva altezza del rilascio (m)	7.04
Velocità del vento (m/s)	1
Velocità del vento all'altezza efficace (m/s)	0.82
Classe di stabilità	F
Altezza dell'inversione termica (m)	1000

# Output del modello hot spot

Distanza (km)	Dose efficace impegnata (Sv)	Concentrazione integrata (Bq x s)/m <sup>3</sup>	Deposizione al suolo (kBq/m <sup>2</sup> )	Irradiazione dal suolo (Sv/h)	Tempo di arrivo (hh:mm)
0.01	1.60E-07	7.70E+04	1.60E+03	1.00E-06	<00:01
0.02	8.20E-08	7.30E+04	6.90E+02	4.40E-07	<00:01
0.03	5.70E-08	7.00E+04	4.10E+02	2.70E-07	<00:01
0.05	3.80E-08	6.40E+04	2.10E+02	1.40E-07	00.01
0.1	2.30E-08	5.20E+04	7.90E+01	5.10E-08	00.02
0.2	1.30E-08	3.60E+04	2.60E+01	1.70E-08	00.04
0.5	4.60E-09	1.50E+04	2.90E-01	1.80E-10	00.10
0.7	3.00E-09	9.80E+03	4.70E-02	3.00E-11	00.14
0.8	2.50E-09	8.20E+03	3.10E-02	2.00E-11	00.16
0.9	2.10E-09	7.00E+03	2.30E-02	1.50E-11	00.18
1	1.80E-09	6.00E+03	1.90E-02	1.20E-11	00.20
2	5.60E-10	1.80E+03	5.50E-03	3.50E-12	00.40
4	1.50E-10	4.90E+02	1.50E-03	9.40E-13	01.20
6	6.40E-11	2.10E+02	6.30E-04	4.00E-13	02.01
8	3.50E-11	1.20E+02	3.50E-04	2.20E-13	02.41
10	2.30E-11	7.50E+01	2.30E-04	1.40E-13	03.22
20	2.50E-12	8.40E+00	2.50E-05	1.60E-14	06.44
40	9.10E-14	3.00E-01	8.90E-07	5.70E-16	13.28
60	4.80E-15	1.60E-02	4.70E-08	3.00E-17	20.12
80	6.00E-16	2.00E-03	5.90E-09	3.80E-18	>24:00

# Output del modello hot spot

