

# L'applicazione dell'art. 115 ter

Stefano De Crescenzo  
Struttura Complessa di Fisica Sanitaria  
A.O. Niguarda Ca' Granda  
Milano



# Condizioni di applicabilità

- *“Nelle pratiche con materie radioattive che siano soggette a provvedimenti autorizzativi .....*”
- Devono quindi verificarsi congiuntamente le due seguenti condizioni
  - » Pratica soggetta a Nulla Osta
  - » Pratica con impiego di sostanze radioattive



# E' indispensabile (art.115 ter)

- La definizione dei possibili scenari
- la previsione di uno step di valutazione delle conseguenze radiologiche dell'evento
- prevedere la valutazione *“della distribuzione spaziale e temporale delle materie radioattive disperse o rilasciate nonché delle esposizioni potenziali relative ai lavoratori e ai gruppi di riferimento della popolazione ...”*

*“Le valutazioni .....sono eseguite facendo riferimento alle raccomandazioni in materia dei competenti organismi comunitari ed internazionali”*



# Riferimenti considerati

- ✓ **IAEA-TECDOC-1162**, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, 2000  
<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/publications.asp>
- ✓ **IAEA Safety Reports Series No. 19** Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/publications.asp>
- ✓ **NCRP Report N. 123**, Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground, I e II, 1996
- ✓ C. Walsh, J.A.Jones, Atmospheric dispersion from releases in vicinity of buildings, **NRPB-W16**, 2002
- ✓ Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 1998 (**Radiation Protection Dosimetry 76**, 1998)
- ✓ Lawrence Livermore National Laboratory codice HOT SPOT, <http://www.llnl.gov/nai/technologies/hotspot/>



# Possibili scenari

- Evento sismico o crollo di edificio
- Allagamento



# Incendio in presenza di sorgenti radioattive sigillate: rischi “*in situ*”

- Attività elevate (in bunker)
  - » Teleterapia (Co-60)
  - » Brachiterapia (Ir-192)
- Rischio di danneggiamento delle schermature di protezione



# Incendio in presenza di sorgenti radioattive sigillate: rischi “*in situ*”

- Se la sorgente perde le caratteristiche di “sorgente sigillata” diventa possibile la fuoriuscita di radionuclide (rischio di contaminazione locale)
- Improbabile rischio di vaporizzazione della sorgente (elevate temperature di fusione ed ebollizione)



# Sorgenti sigillate

## Classificazione ISO 2919-80

attività (C=rispetta dei limiti, E=non rispetta dei limiti)



ISO X Y<sub>1</sub> Y<sub>2</sub> Y<sub>3</sub> Y<sub>4</sub> Y<sub>5</sub>

HDR Ir-192 370 GBq: ISO C53211

resiste per 1h a 600°C senza perdere la caratteristica di “sigillata”



# ... e se invece avviene un rilascio in atmosfera?

- Il caso va considerato per le sorgenti non sigillate e, anche se meno probabile, anche per le sorgenti sigillate
- Le domande a cui rispondere sono:
  - » quale e quanto radionuclide può essere implicato nell'incendio?
  - » che frazione ne è stata rilasciata?
  - » quale è la dose assorbita dalle persone?



# Risposte

- Quale e quanto radionuclide può essere coinvolto
  - »  $A_{\max}$  istantanea (Nulla Osta all'impiego)



# Risposte

---

- Che frazione ne è stata rilasciata
  - » IAEA-TECDOC-1162



# Fire Release Fraction, FRF

## IAEA-TECDOC-1162

$$FRF = \frac{\text{Attività rilasciata [kBq]}}{\text{Attività coinvolta nell' incendio [kBq]}}$$

Se è sconosciuta la forma chimica del radionuclide

| Radionuclide | FRF   |
|--------------|-------|
| H-3 (Gas)    | 5 E-1 |
| P-32         | 5 E-1 |
| Cr-51        | 1 E-1 |
| Y-90         | 1 E-2 |

| Radionuclide | FRF   |
|--------------|-------|
| Co-58        | 1 E-3 |
| Co-60        | 1 E-3 |
| I-125        | 5 E-1 |
| Sr-89        | 1 E-1 |

| Radionuclide | FRF   |
|--------------|-------|
| Ir-192       | 1 E-3 |
| I-131        | 5 E-1 |
| Cs-137       | 1 E-2 |
| Mo-99        | 1 E-2 |



# Fire Release Fraction, FRF

## IAEA-TECDOC-1162

$$FRF = \frac{\text{Attività rilasciata [kBq]}}{\text{Attività coinvolta nell' incendio [kBq]}}$$

Se è conosciuta la forma chimico/fisica del radionuclide

| Tipo di composto                          | FRF    |
|---|--------|
| Gas Nobili                                | 1.0    |
| Forme chimico-fisiche estremamente mobili | 1.0    |
| Composti volatili e combustibili          | 0.5    |
| Carbonio                                  | 0.01   |
| Composti semivolatili                     | 0.01   |
| Liquidi non volatili, non infiammabili    | 0.001  |
| Solidi non volatili                       | 0.0001 |



# Risposte

- Quale è la dose assorbita dalle persone?
  - » IAEA-TECDOC-1162
  - » NCRP 123, IAEA Safety Reports Series No. 19
  - » Hotspot



# Calcolo della dose: generalità

La modalità adottata per la valutazione della dose assorbita dovrebbe tenere conto di tutte le possibili possibilità di esposizione:

$$E_t = E_{\text{ext}} + E_{\text{inh}} + E_{\text{ing}}$$

in cui

$E_t$  = Dose efficace totale

$E_{\text{ext}}$  = Dose efficace da irradiazione esterna (irradiazione, immersione nella nube, irraggiamento dal terreno)

$E_{\text{inh}}$  = Dose efficace da inalazione

$E_{\text{ing}}$  = Dose efficace da ingestione

dipendentemente dalle sostanze radioattive impiegate e dalla scala temporale degli eventi, le diverse componenti assumono rilevanza relativa anche molto diversa tra loro



# Alla ricerca di un ordine di grandezza

$< 10^{-6}$

- La frazione di materiale manipolato che viene inalata da un lavoratore in un incidente o esplosione
- La frazione di materiale rilasciato da un edificio che sarà **inalata** da qualcuno lontano 800 m, anche sotto le peggiori ipotesi

$$DEI = A_{\max} \times FRF \times 10^{-6} \times h(g)$$



# Conoscenze necessarie

**Valutazione della concentrazione  
di sostanze radioattive in aria  
(criticità)**

**Dose efficace  
da incorporazione**

**Inalazione**

**Ingestione**

**Dose efficace  
da irradiazione**

**Immersione  
nella nube**

**Irradiazione  
dal terreno**



# Modelli per rilascio in atmosfera

- Necessità di conoscenza di un numero elevato di parametri in grado di caratterizzare:
  - » il termine sorgente
  - » le condizioni meteorologiche al momento del rilascio
  - » tutti gli elementi che possano modificare le condizioni del trasporto
    - altezza del punto di rilascio
    - calore sviluppato nell'incendio
    - forma chimica dei composti radioattivi coinvolti
    - presenza di edifici
    - particolari conformazioni del terreno
    - .....



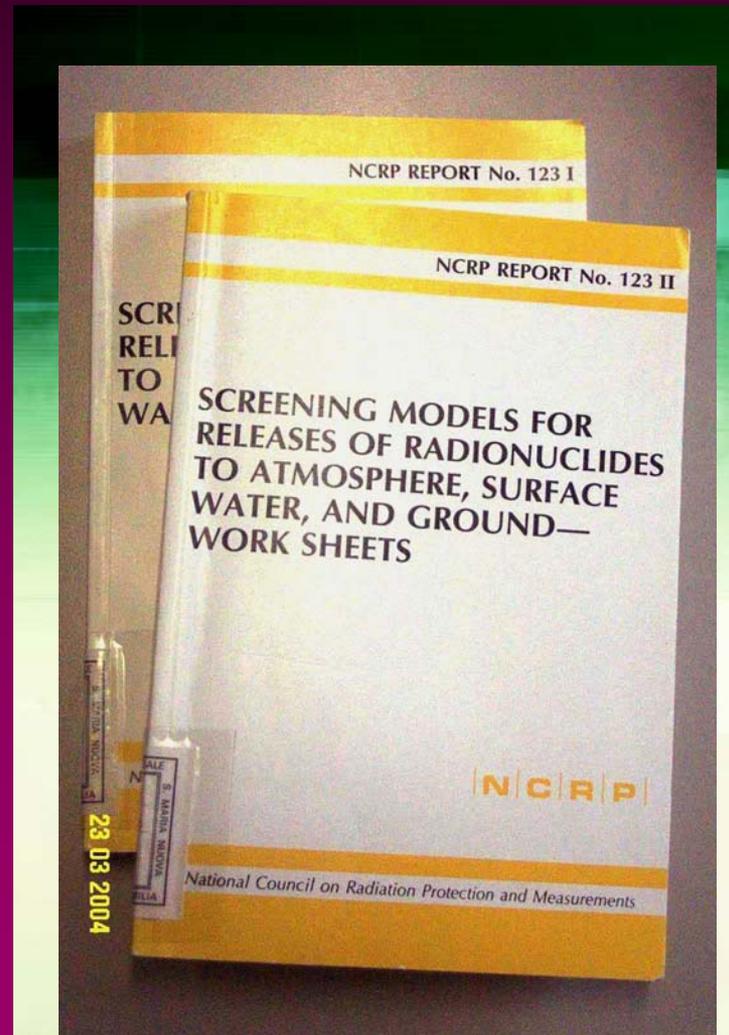
# Modelli per rilascio in atmosfera

- la precisione ed il dettaglio degli input determina inevitabilmente l'accuratezza delle conclusioni e dei risultati
- il tutto si complica se il rilascio è associato alle condizioni relative ad un incendio



# Impiego di documenti che calcolano gli Screening Factors

- **NCRP report 123**
  - » Vol I. Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground
  - » Vol II. Work sheets
- **IAEA Safety Report Series n.19, 2001**
  - Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment
  - <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/ResultsNew.asp>



# Impiego di documenti che calcolano gli Screening Factors

- valutazione grossolana, ma conservativa, per verificare il rispetto di limiti o vincoli di dose fissati, senza l'impiego di particolari risorse di calcolo
- i modelli adottati, tengono conto di tutte le possibili vie critiche di ritorno all'uomo, partono da ipotesi molto conservative e impiegano poche informazioni "*site specific*"
  - » quantificazione del termine sorgente
  - » altezza del rilascio
  - » altezza di eventuali edifici circostanti il punto di rilascio
  - » distanza del recettore



**i risultati, in termini dosimetrici, possono risultare sovrastimati anche per più di un ordine di grandezza**



# Impiego di documenti che calcolano gli Screening Factors

**Attenzione**

In caso di rilasci discontinui o dovuti a situazioni incidentali i fattori di screening non possono essere utilizzati tout-court



# Impiego di documenti che calcolano gli Screening Factors

- I modelli ipotizzati ipotizzano situazioni di equilibrio e impiegano fattori di occupazione delle aree di interesse su base annua
- E' possibile impiegare **solo i metodi** apportando modifiche per tenere conto della specificità spaziale e temporale



# Impiego di documenti che calcolano gli Screening Factors

L' immissione di sostanze radioattive in atmosfera è descritta dal modello gaussiano

$$C = \frac{fQ}{\pi u \sigma_y \sigma_x} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

f = frazione del tempo in cui il vento soffia nella direzione del recettore di interesse

Q = rate di rilascio ( $\text{Bqs}^{-1}$ )

u = velocità del vento ( $\text{ms}^{-1}$ )

H = Altezza del rilascio

$\sigma_y \sigma_x$  = parametri di diffusione atmosferica orizzontali e verticali, funzione della classe di stabilità e della distanza tra termine sorgente e recettore di interesse



# NCRP report 123

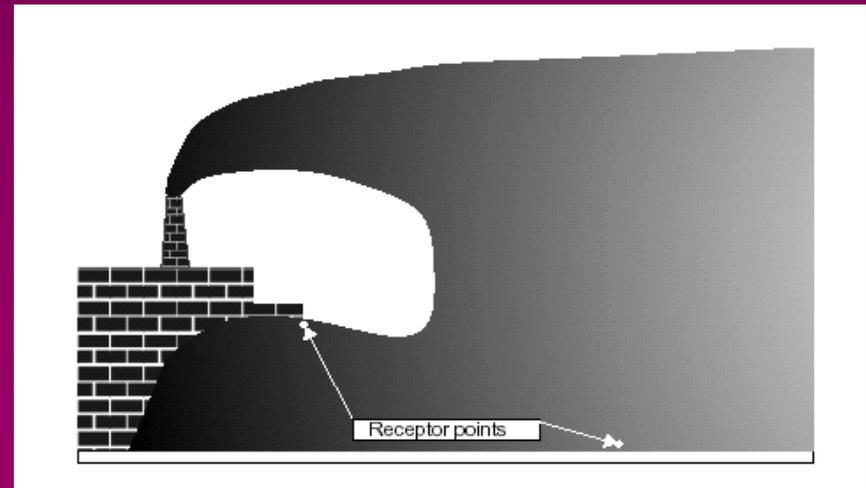
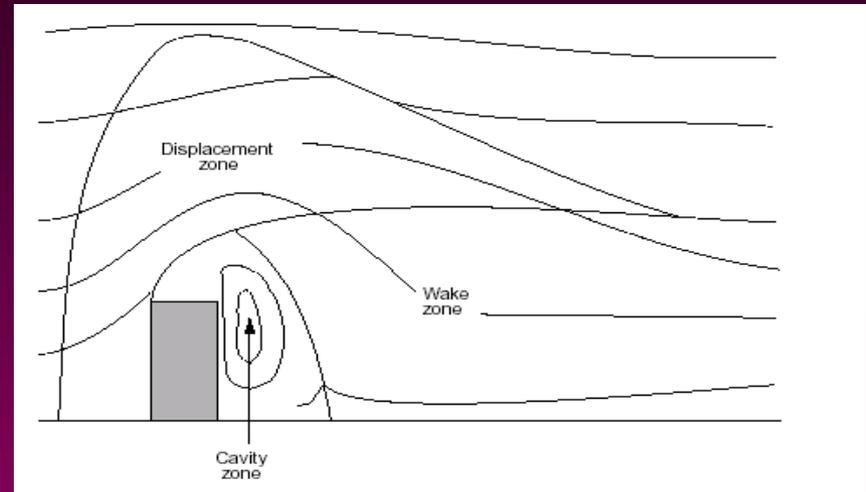
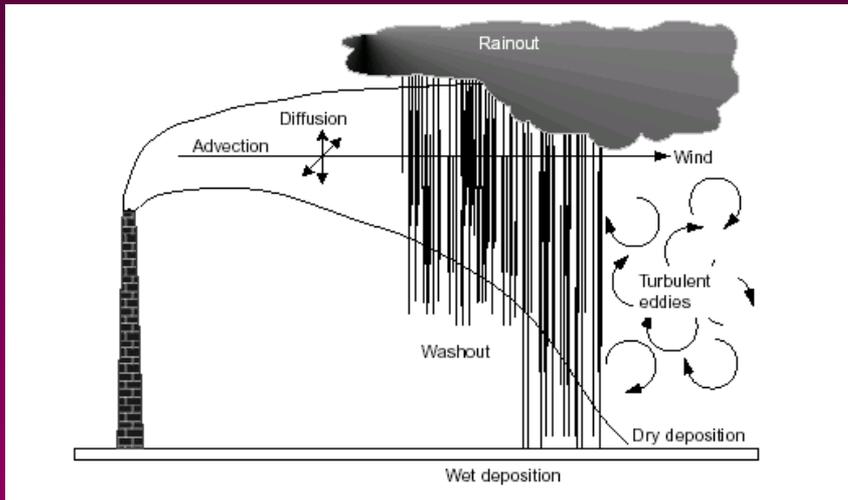
## Defaults

- Parametri da applicare ai modelli di diffusione atmosferica quando non sono noti i dati meteo locali:
  - » Velocità media del vento:  $2 \text{ ms}^{-1}$
  - » Classe di stabilità atmosferica: D (neutra)



# Alcuni tipi di correzioni che si possono apportare

## Situazione "classica"



# Screening Factors (NCRP 123) e Dose Calculation Factors (IAEA Safety Report Series n.19) di interesse sanitario

## N.C.R.P. 123

| isotopo | S.F. per inalazione, irraggiamento e immersione (Sv per Bq m <sup>-3</sup> ) |
|---------|--|
| Cr-51   | 3.4 E-5  |
| Co-58   | 2.5 E-3  |
| Ga-67   | 2.0 E-5  |
| Y-90    | 2.1 E-5  |
| Mo-99   | 3.9 E-5  |
| Tc-99m  | 1.6 E-6  |
| In-111  | 4.7 E-5  |
| I-123   | 4.9 E-6  |
| I-125   | 1.4 E-4  |
| I-131   | 2.3 E-4  |
| Tl-201  | 1.2 E-5  |

## IAEA Safety Report Series n.19

| isotopo | Generic dose factor (Sv per Bq/s) | Contributo dovuto a inalazione, irraggiamento e immersione (Sv per Bqm <sup>-3</sup> ) |
|---------|-----------------------------------|--|
| Cr-51   | 9.30E-08                          | 8.00E-08   |
| Co-58   | 6.70E-06                          | 6.23E-06   |
| Ga-67   | 5.00E-08                          | 4.95E-08   |
| Y-90    | 6.20E-08                          | 5.21E-08   |
| Mo-99   | 9.30E-08                          | 8.74E-08   |
| Tc-99m  | 3.40E-09                          | 3.40E-09   |
| In-111  | 1.10E-07                          | 1.09E-07   |
| I-123   | 1.10E-08                          | 1.07E-08   |
| I-125   | 5.70E-06                          | 2.85E-07   |
| I-131   | 3.80E-06                          | 4.56E-07   |
| Tl-201  | 2.60E-08                          | 2.50E-08   |



# IAEA-TECDOC-1162, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, 2000

- Elaborato per fornire la basi di efficaci interventi nel caso di emergenze radiologiche non legate ad incidenti nei reattori nucleari
- Pur essendo formulato per consentire di fornire risposte adeguate a posteriori fornisce elementi per effettuare valutazioni dosimetriche sulla base di semplici ipotesi teoriche



# IAEA-TECDOC-1162, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, 2000

Il metodo proposto per valutare la concentrazione di sostanze radioattive in aria in caso di incendio si basa sulla relazione:

$$C_{a,i} = \frac{\left( \frac{A_i \times FRF_i}{T_r} \right) \times DF_m}{\bar{u}}$$

$C_{a,i}$  = Concentrazione del radionuclide in aria nel punto di interesse [ $\text{kBq m}^{-3}$ ]

$A_i$  = Attività del radionuclide implicato [ $\text{KBq}$ ]

$\bar{u}$  = Velocità media del vento [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$DF_m$  = Fattore di diluizione gaussiano [ $\text{m}^{-2}$ ]

$FRF_i$  = Frazione del radionuclide rilasciata durante l'incendio

$T_r$  = Durata del rilascio



# IAEA-TECDOC-1162, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, 2000

la dose efficace da inalazione ( $E_{inh}$ ) viene calcolata attraverso la relazione:

$$E_{inh} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{a,i} \times CF_{2,i} \times T_e$$

$\bar{C}_{a,i}$  = Concentrazione media del radionuclide i-esimo in aria  
[kBq m<sup>-3</sup>]

$CF_{2,i}$  = Dose efficace (adulto) dovuta a 1 ora di inalazione a un rate di respirazione di 1.5 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>

$T_e$  = Durata dell'esposizione (h)



# IAEA-TECDOC-1162, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, 2000

la dose efficace da immersione nella nube viene calcolata attraverso la relazione:

$$E_{ext} = T_e \times \sum_{i=1}^n \overline{C}_{a,i} \times CF_{9,i}$$

$\overline{C}_{a,i}$  = Concentrazione media del radionuclide i-esimo in aria [kBq m<sup>-3</sup>]

$CF_{9,i}$  = Fattore di conversione relativo al radionuclide i-esimo [mSvh<sup>-1</sup>/kBqm<sup>-3</sup>]

$T_e$  = Durata dell'esposizione (h)



# Principali limiti del modello gaussiano “classico”

- può essere considerato appropriato:
  - » per descrivere la dispersione entro pochi chilometri dal termine sorgente se il punto di rilascio è unico
  - » se direzione e velocità del vento sono costanti
  - » se non piove
  - » se l'emissione è sostanzialmente continua
  - » se ci si trova in condizioni meteorologiche e di conformazione del terreno semplici

**Per distanze inferiori a 500 m dal punto del rilascio il fenomeno della diffusione è governato dalla presenza o meno di edifici**



# Caratteristiche del modello hot spot

- <https://narac.llnl.gov/HotSpot/HotSpot.html> 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  $0.03 \text{ cms}^{-1}$  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
- » Nella release **2.07.2** nuovi fattori di risospensione (Maxwell e Anspaugh, 2010)



# Caratteristiche del modello hot spot

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

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

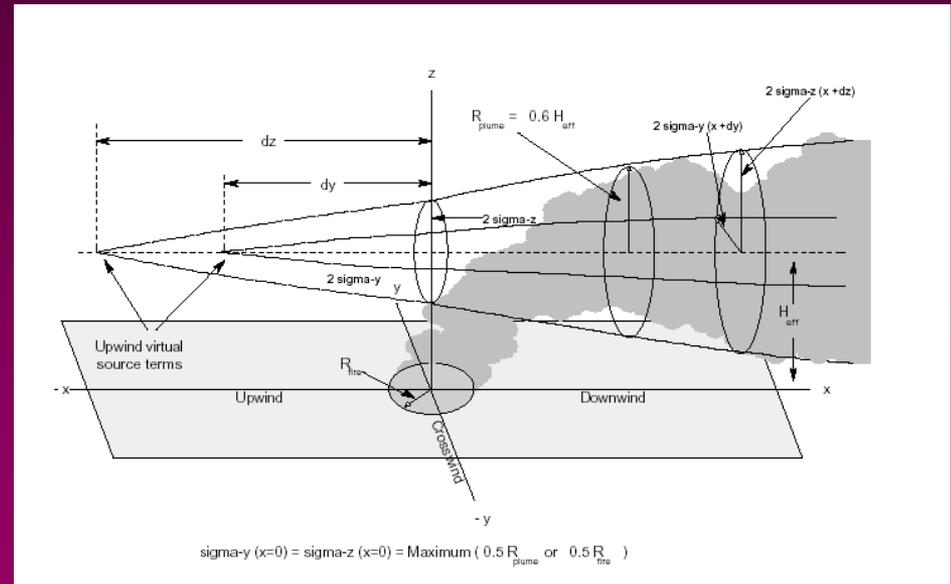
**In caso di inversione termica e nel caso in cui  $\sigma_z$  superi l'altezza di inversione termica il modello utilizza la seguente equazione:**

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



# Caratteristiche del modello hot spot

- **Modello gaussiano modificato, in cui sono introdotti**
  - » **il rate di emissione del calore**
  - » **la spinta idrostatica**
- **che intervengono nel calcolo dell'altezza effettiva del rilascio**



# Input del modello hot spot

Hotspot Version 2.05 lunedì, ottobre 31, 2005

File Help

Models **Source Term** Meteorology Receptors Setup Output

Model **General Fire**

Radionuclide  
I-131 F 8.04d  
**Change Radionuclide Source Term**

Total Release  
3.7000E+10 Bq

Deposition Velocity  
0.30 cm/sec

Airborne Fraction  
5.00E-01

Filter Mitigation  
0.000000 %

Respirable Fraction  
1.00E+00  
**Respirable Release Fraction = 5.00E-01**

Fuel Fire Information  
 Enter Cloud Top  
 Enter Heat Emission Rate  
 Enter Fuel and Burn duration

Physical Height of Fire  
0 m

Release Radius  
1 m

Cloud Top  
0 m



# Input del modello hot spot

Hotspot Version 2.05 lunedì, ottobre 31, 2005

File Help

Models Source Term **Meteorology** Receptors Setup Output

10-meter Wind Speed  Selected Stability Class

Display Wind Chart

Wind Direction  Wind from the North

Atmospheric Stability

**Enter Solar Information - or- Enter the Actual Stability**

|  |  |
|--|--|
| <input type="radio"/> Sun High in the sky          | <input type="radio"/> A - Very unstable                |
| <input type="radio"/> Sun Low in the sky or cloudy | <input type="radio"/> B - Moderately unstable          |
| <input type="radio"/> Night                        | <input type="radio"/> C - Slightly unstable            |
|  | <input checked="" type="radio"/> D - Neutral           |
|  | <input type="radio"/> E - Slightly stable              |
|  | <input type="radio"/> F - Moderately stable            |
|  | <input type="radio"/> G - Special nighttime (low wind) |



# Input del modello hot spot

|                             |   |                            |
|-----------------------------|---|----------------------------|
| Source Material             | : | I-131                      |
| Source Term (Bq)            | : | 3.70E+10                   |
| Airborne Fraction           | : | 0.5                        |
| Respirable Fraction         | : | 1.000                      |
| Respirable Release Fraction | : | 0.5                        |
| Release Radius              | : | 1 m                        |
| Cloud Top                   | : | 0.00 m                     |
| Physical Height of Fire     | : | 0 m                        |
| Effective Release Height    | : | 0.00 m                     |
| Wind Speed (h=10 m)         | : | 2.0 m/s                    |
| Stability Class             | : | D                          |
| Respirable Dep. Vel.        | : | 0.30 cm/s                  |
| Non-respirable Dep. Vel.    | : | 8.00 cm/s                  |
| Receptor Height             | : | 1.5 m                      |
| Inversion Layer Height      | : | None                       |
| Sample Time                 | : | 60.000 min                 |
| Breathing Rate              | : | 4.17E-04 m <sup>3</sup> /s |

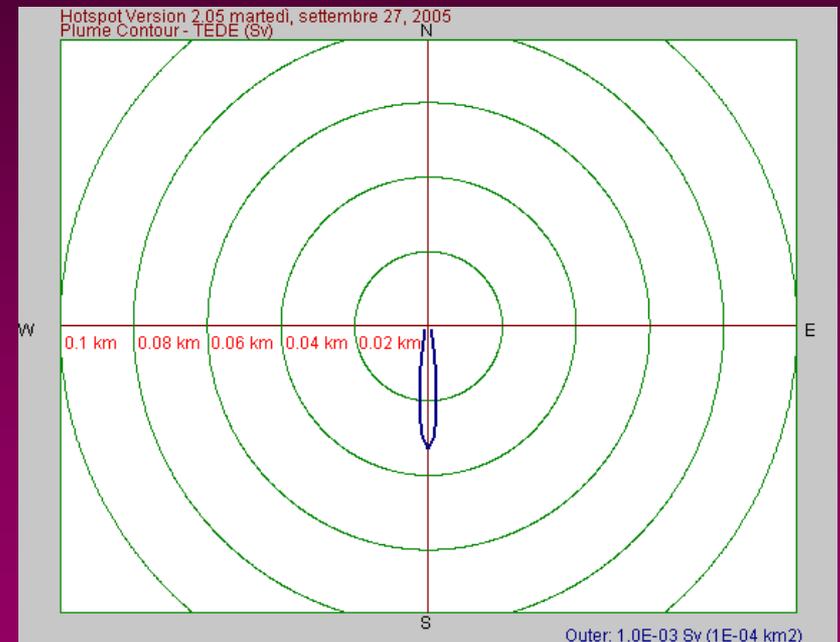


# Output del modello hot spot

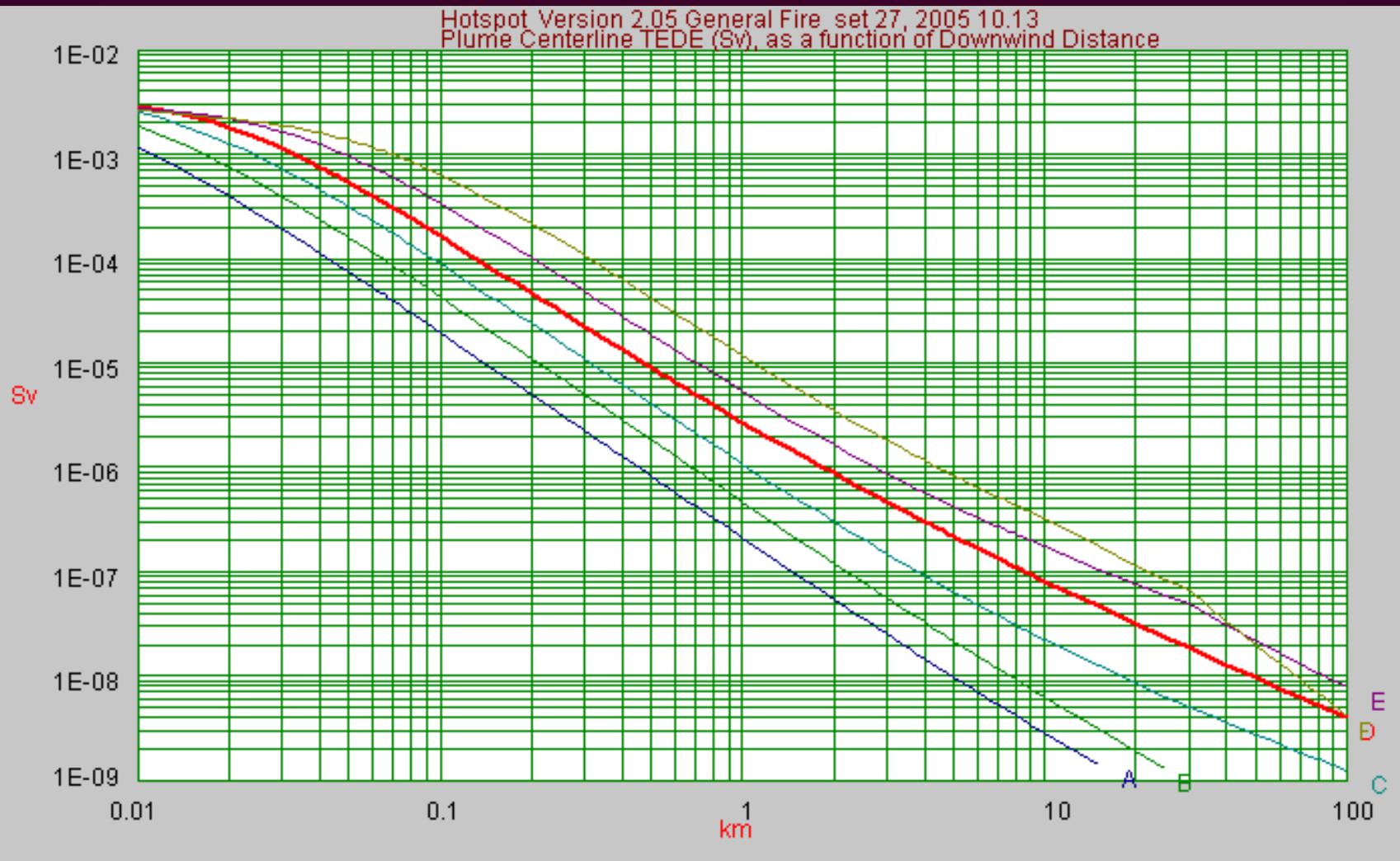
| Distanza (km) | Dose efficace impegnata (Sv) | Concentrazione integrata ( $\text{Bq s}^{-1}/\text{m}^3$ ) | Deposizione al suolo ( $\text{kBqm}^{-2}$ ) | Irradiazione dal suolo ( $\text{Svh}^{-1}$ ) | Tempo di arrivo (hh:mm) |
|---------------|------------------------------|--|---|--|-------------------------|
| 0.03          | 1.10E-03                     | 3.10E+08   | 1.20E+03                                    | 1.50E-06                                     | <00:01                  |
| 0.1           | 1.60E-04                     | 4.70E+07   | 1.50E+02                                    | 1.90E-07                                     | 0.01                    |
| 0.2           | 4.70E-05                     | 1.30E+07   | 4.10E+01                                    | 5.30E-08                                     | 0.02                    |
| 0.3           | 2.20E-05                     | 6.40E+06   | 1.90E+01                                    | 2.50E-08                                     | 0.03                    |
| 0.4           | 1.30E-05                     | 3.80E+06   | 1.20E+01                                    | 1.50E-08                                     | 0.04                    |
| 0.5           | 9.00E-06                     | 2.60E+06   | 7.80E+00                                    | 1.00E-08                                     | 0.05                    |
| 0.6           | 6.50E-06                     | 1.90E+06   | 5.60E+00                                    | 7.40E-09                                     | 0.06                    |
| 0.7           | 5.00E-06                     | 1.40E+06   | 4.30E+00                                    | 5.70E-09                                     | 0.07                    |
| 0.8           | 4.00E-06                     | 1.10E+06   | 3.40E+00                                    | 4.50E-09                                     | 0.08                    |
| 0.9           | 3.20E-06                     | 9.30E+05   | 2.80E+00                                    | 3.70E-09                                     | 0.09                    |
| 1.0           | 2.70E-06                     | 7.80E+05   | 2.40E+00                                    | 3.10E-09                                     | 0.10                    |
| 2.0           | 8.80E-07                     | 2.50E+05   | 7.60E-01                                    | 9.90E-10                                     | 0.21                    |
| 4.0           | 3.00E-07                     | 8.70E+04   | 2.60E-01                                    | 3.40E-10                                     | 0.42                    |
| 6.0           | 1.70E-07                     | 4.80E+04   | 1.40E-01                                    | 1.90E-10                                     | 1.03                    |
| 8.0           | 1.10E-07                     | 3.20E+04   | 9.60E-02                                    | 1.30E-10                                     | 1.24                    |
| 10.0          | 8.20E-08                     | 2.30E+04   | 7.00E-02                                    | 9.20E-11                                     | 1.46                    |
| 20.0          | 3.20E-08                     | 9.10E+03   | 2.70E-02                                    | 3.60E-11                                     | 3.32                    |
| 40.0          | 1.30E-08                     | 3.70E+03   | 1.10E-02                                    | 1.40E-11                                     | 7.04                    |
| 60.0          | 7.60E-09                     | 2.20E+03   | 6.60E-03                                    | 8.60E-12                                     | 10.36                   |
| 80.0          | 5.30E-09                     | 1.50E+03   | 4.50E-03                                    | 6.00E-12                                     | 14.08                   |



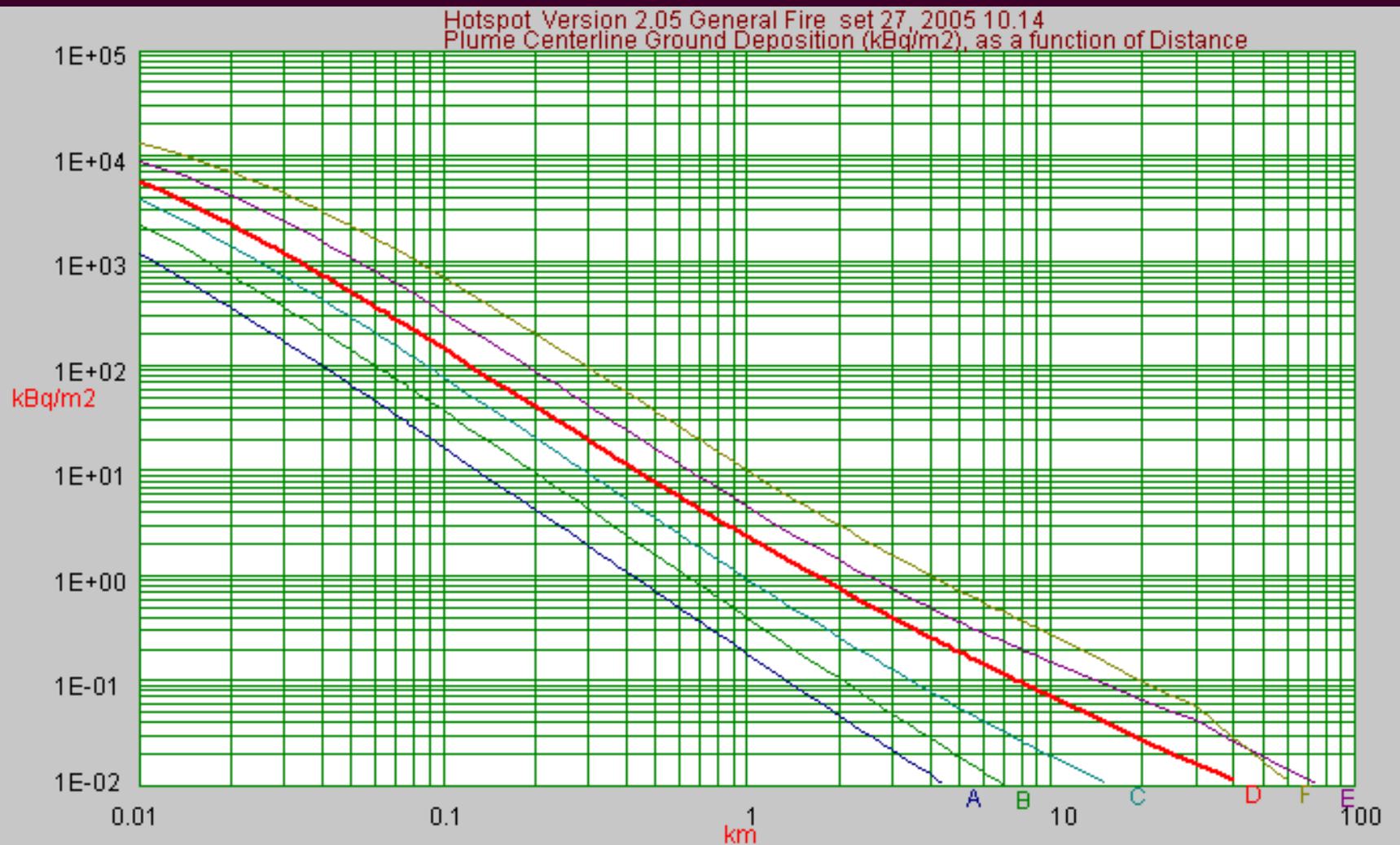
# Output del modello hot spot: curve di isodose



# Output del modello hot spot: dose efficace sottovento



# Output del modello hot spot: deposizione al suolo sottovento



# Simulazione di un caso

- Incendio che coinvolge  $3.7 \times 10^{10}$  Bq di  $^{131}\text{I}$  e  $3.7 \times 10^{10}$  Bq di un generatore  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$
- Si ipotizza:
  - » una durata dell'evento pari a 1h
  - » una velocità del vento pari a  $2 \text{ ms}^{-1}$
  - » una classe D di stabilità atmosferica
  - » l'assenza di edifici interferenti
  - » un'altezza del rilascio pari a 0 m
- Si vuole studiare la dose assorbita in 4 recettori di interesse posti a 100, 200, 500, 1000, 2000 m dal termine sorgente

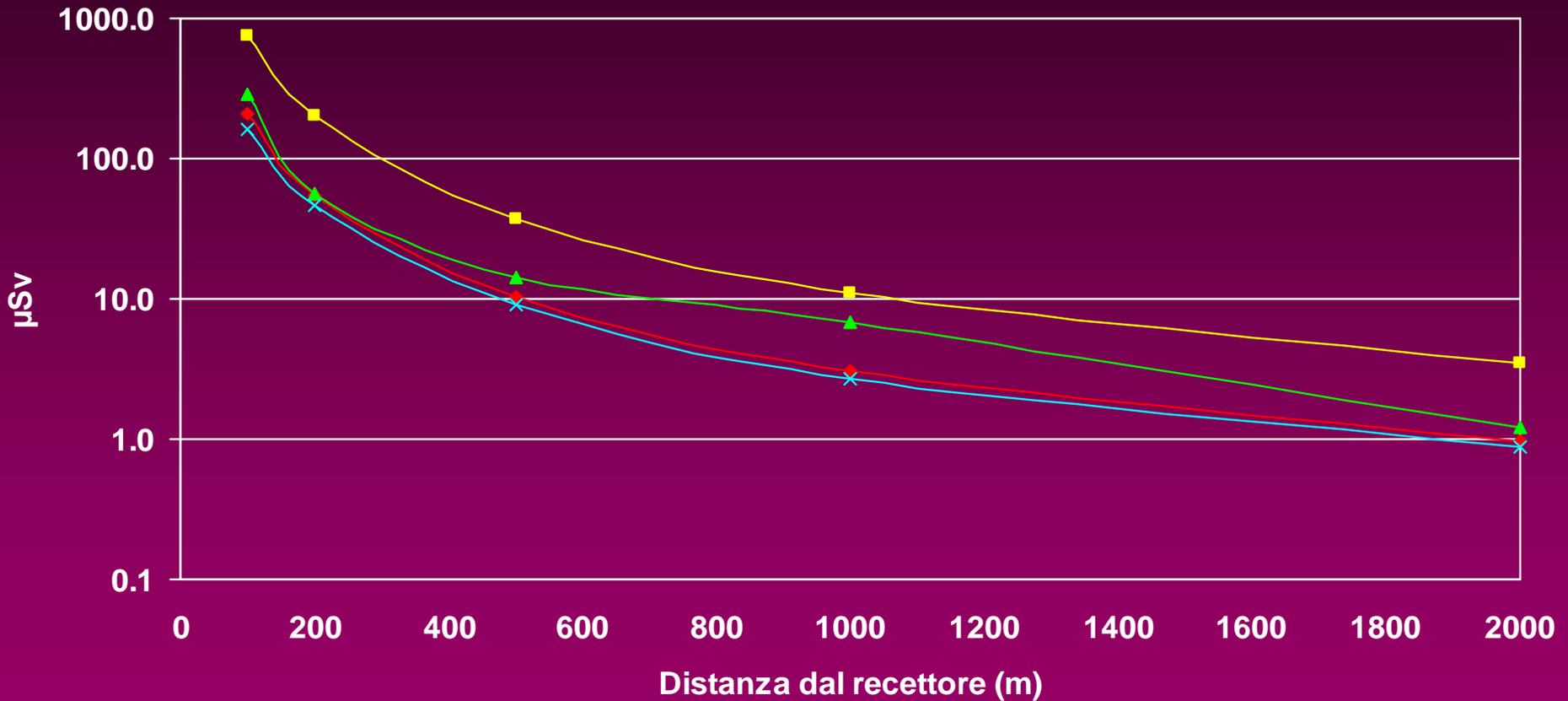


# Risultati

|                        |               | Dose efficace (uSv) a m: |          |          |          |
|------------------------|---------------|--------------------------|----------|----------|----------|
|                        |               | 100                      | 200      | 500      | 1000     |
| <b>NCRP 123</b>        | <b>I-131</b>  | 2.06E+02                 | 5.48E+01 | 1.02E+01 | 3.04E+00 |
| <b>IAEA S.S.S.19</b>   |               | 7.56E+02                 | 2.01E+02 | 3.73E+01 | 1.11E+01 |
| <b>IAEA TECDOC1162</b> |               | 2.85E+02                 | 5.69E+01 | 1.42E+01 | 6.83E+00 |
| <b>HOT SPOT</b>        |               | 1.60E+02                 | 4.70E+01 | 9.00E+00 | 2.70E+00 |
|                        |               |                          |          |          |          |
| <b>NCRP 123</b>        | <b>99m-Tc</b> | 3.46E-02                 | 9.20E-03 | 1.71E-03 | 5.10E-04 |
| <b>IAEA S.S.S.19</b>   |               | 1.83E-02                 | 4.85E-03 | 9.01E-04 | 2.69E-04 |
| <b>IAEA TECDOC1162</b> |               | 2.93E-02                 | 5.86E-03 | 1.46E-03 | 7.03E-04 |
| <b>HOT SPOT</b>        |               | 6.30E-01                 | 1.10E-01 | 9.80E-03 | 1.60E-03 |
|                        |               |                          |          |          |          |
| <b>NCRP 123</b>        | <b>99-Mo</b>  | 3.52E-01                 | 9.35E-02 | 1.74E-02 | 5.19E-03 |
| <b>IAEA S.S.S.19</b>   |               | 1.01E+00                 | 2.68E-01 | 4.97E-02 | 1.49E-02 |
| <b>IAEA TECDOC1162</b> |               | 7.88E-01                 | 1.58E-01 | 3.94E-02 | 1.89E-02 |
| <b>HOT SPOT</b>        |               | 9.80E-01                 | 1.70E-01 | 1.60E-02 | 2.70E-03 |



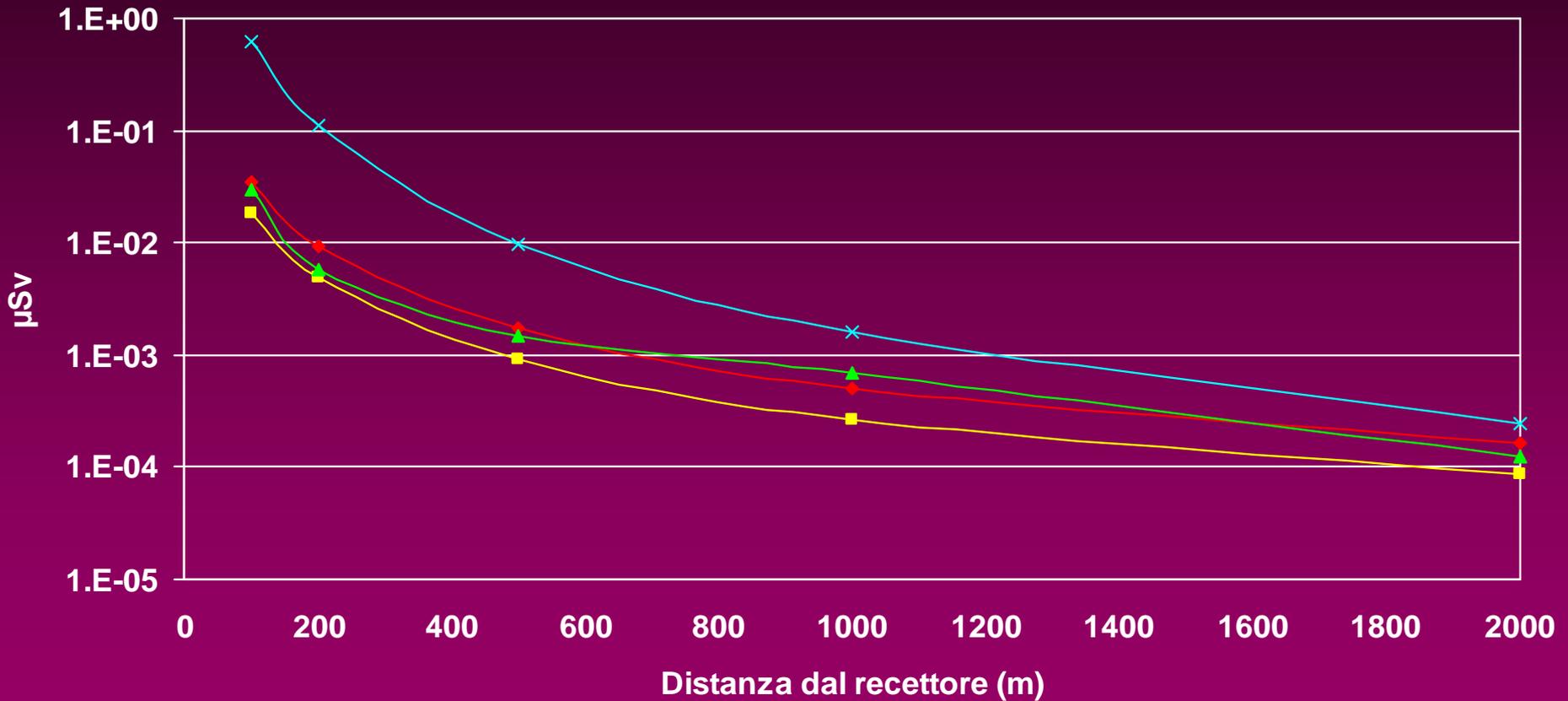
# Risultati I-131



◆ NCRP 123    ■ IAEA Safety Standard Series 19    ▲ IAEA TECDOC 1162    × HOT SPOT



# Risultati 99m-Tc



◆ NCRP 123    ■ IAEA Safety Standard Series 19    ▲ IAEA TECDOC 1162    × HOT SPOT



# Risultati

- andamenti in funzione della distanza confrontabili tra loro
- elevata variabilità nei valori assoluti
  - » differenze nei fattori di dispersione gaussiana adottati
  - » diversi coefficienti di conversione per passare dalla concentrazione alle osservabili dosimetriche di interesse
  - » **diverso il modo di calcolare la frazione dell'attività rilasciata disponibile all'incorporazione (solo HOTSPOT tiene conto della frazione respirabile)**
  - » diverso modo di considerare (o non considerare) il tempo di dimezzamento delle sostanze radioattive dal rilascio all'arrivo al recettore di interesse

**Non è importante, nei casi considerati, il fatto che solo HotSpot considera il contributo alla dose efficace dovuto all'irradiazione dal terreno**



# Ci si deve stupire?

- Le incertezze associate ai parametri di input si ripercuotono in maniera importante sui risultati
- Solo HotSpot dichiara il suo livello di accuratezza
- Con valori di input accurati la deviazione standard dei valori di dose calcolati con HOT SPOT risultano veri all'interno di un fattore 3 – 5
- Ciò significa che a un livello di confidenza del 68 % (1 sigma) il valori di dose risultanti possono essere affetti da un errore del 500 %
- Per HotSpot il livello di accuratezza risulta tale che se  $D$  è il valore di dose assorbita calcolato in un particolare recettore
  - » col 50% di probabilità la dose “vera” si collocherà tra  $D/3$  e  $3D$
  - » con l'80% di probabilità la dose “vera” si collocherà tra  $D/8$  e  $8D$



# Conclusioni

- bassi livelli di accuratezza
- in caso di crollo dell'edificio e le incertezze risultano legate in massima parte alla difficile previsione della posizione delle sorgenti, al grado di rottura dei contenitori e all'attenuazione fornita dalle macerie
- in caso di incendio il livello di accuratezza legato all'impiego dei modelli maggiormente utilizzati rimane modesto
- l'output di HotSpot è il più conforme alle prescrizioni di legge (“***distribuzione spaziale e temporale delle materie radioattive disperse o rilasciate***”)



# Conclusioni

- valori calcolati prossimi a 1 mSv potrebbero comportare nella realtà dosi ben superiori
- ragionevole fissare un livello di riferimento il cui superamento implica la necessità di approfondimento della valutazione effettuata, attraverso l'impiego di modelli più accurati e una caratterizzazione più specifica delle condizioni al contorno
- ragionevole fissare come livello di riferimento il valore di 100  $\mu$ Sv



# Obiettivi generali di una risposta ad una situazione di emergenza

- riduzione dei rischi o mitigazione delle conseguenze dell'incidente alla fonte
- prevenzione degli **effetti deterministici** attraverso l'adozione delle azioni necessarie che consentano di mantenere le esposizioni degli individui al di sotto delle soglie
- riduzione dei rischi di **effetti stocastici** per quanto ragionevolmente possibile
- adozione di procedure che consentano di limitare le dosi assorbite dagli individui coinvolti a qualunque titolo nell'emergenza
- definizione di strumenti che consentano l'individuazione delle priorità negli interventi

**Prioritario**

**definizione di procedure**



# Caratteristiche di una situazione di emergenza

- molto spesso alle emergenze “radiologiche” sono associati rischi “convenzionali” molto rilevanti (ad esempio fuoco, rischi chimici...)
- spesso la gestione del rischio “non radiologico” risulta predominante e prioritaria rispetto alla gestione degli aspetti radiologici dell'emergenza



