

Stato dell'arte della modellizzazione dei rilasci in ambiente

Ing. Francesco Mancini

Convegno AIRP
“Nuovo Nucleare in Italia”
Roma 25 febbraio 2011

- 1. Scopo, tipologia e processo di valutazione**
- 2. Criteri di esposizione per la popolazione:**
 - ✓ Limiti e vincoli di dose
 - ✓ Formule di scarico
 - ✓ Esempi internazionali
- 3. Tipologia dei modelli:**
 - ✓ Esposizioni programmate: rilasci continui
 - ✓ Esposizioni accidentali: rilasci impulsivi
 - ✓ Esposizioni esistenti: contaminazioni
- 4. Metodologia di valutazione per depositi di rifiuti (ESAM)**
- 5. Progetto EMRAS II – IAEA**
- 6. Conclusioni**

■ **Scopo della valutazione**

- ✓ La valutazione di dose al pubblico può essere fatta per verificare il rispetto di vincoli di dose, guidare il livello di controllo dell'esposizione ed aiutare ad identificare le azioni da intraprendere per la riduzione dell'esposizione
- ✓ La stima di dose in eventi incidentali può consentire di pianificare e determinare le contromisure da intraprendere
- ✓ La stima della dose può essere necessaria anche in processi di ottimizzazione, nel caso in cui non è sufficiente dimostrare il rispetto dei vincoli, ma anche che la radioprotezione sia stata ottimizzata

■ **Tipologia di valutazione**

✓ L'ICRP 101 individua 3 situazioni di esposizione:

- ✓ **normale**
- ✓ **esistente**
- ✓ **emergenza**

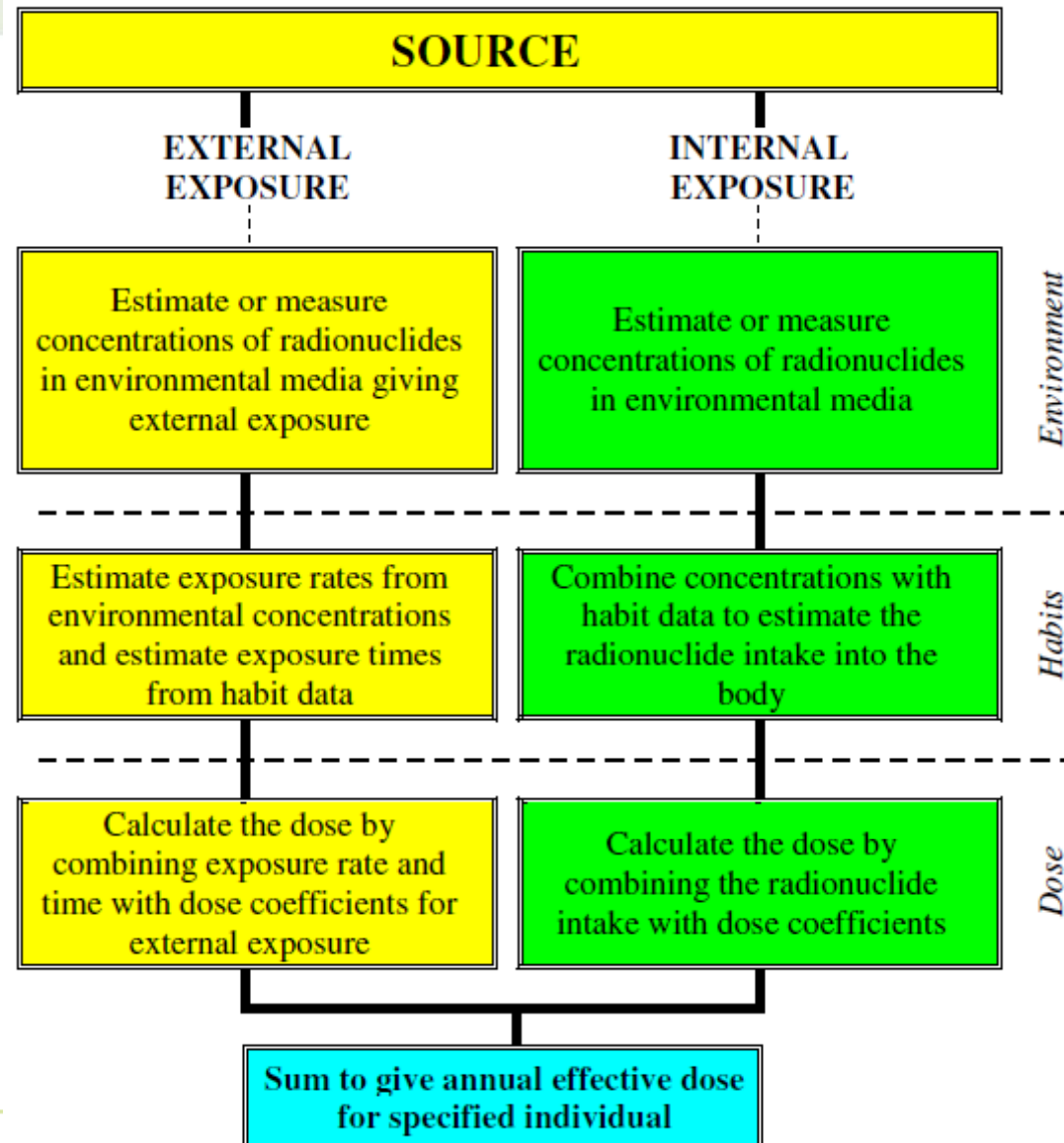
Rispetto a queste tipologie di esposizioni le valutazioni possono essere preventive e retrospettive

■ Tipologia di valutazione

Table 2.1. Examples of dose assessment in different exposure situations

Situation	Type of assessment	
	Prospective	Retrospective
Normal	Determining compliance with the relevant dose constraint	Estimating dose to the public from past operations
Existing	Future prolonged exposures (e.g. after remediation)	Past exposures (e.g. occupancy of contaminated lands)
Emergency	Emergency planning	Actual impacts after emergency

- **Processo di valutazione**



■ **Processo di valutazione**

I. Fase: informazioni sulla sorgente, quantità e tipologia di contaminazione immessa nell'ambiente

II. Fase: informazioni sull'ambiente, concentrazioni dei radionuclidi nelle matrici ambientali:

- ✓ *Esposizione esterna: aria, suolo ed acqua;*
- ✓ *Esposizione interna: alimenti, acqua ed aria.*

■ **Processo di valutazione**

III. Fase: combinare le concentrazioni con le abitudini di vita individuate per gli scenari di esposizione:

- ✓ *Esposizione esterna: tempo speso in campi di radiazioni;*
- ✓ *Esposizione interna: consumo di alimenti ed acqua e aria respirata.*

IV.Fase: utilizzo coefficienti di dose irraggiamento esterno per suolo, aria ed acqua e di conversione attività introdotta per l'irraggiamento interno

V. Fase: somma dei diversi contributi alla dose totale

■ **Persona Rappresentativa**

- L'ICRP raccomanda ora l'utilizzo della '**Persona Rappresentativa**' ai fini della protezione dalle radiazioni del pubblico invece del concetto precedente di gruppo critico.
- L'ICRP fornisce una guida sulla caratterizzazione della Persona Rappresentativa e sulla valutazione delle dosi alla Persona Rappresentativa nella **Pubblicazione 101 (ICRP, 2006a)**.
- La Persona Rappresentativa può essere ipotetica, ma è importante che le abitudini usate per caratterizzare la Persona Rappresentativa siano abitudini tipiche di un piccolo numero di individui rappresentativi di quelli maggiormente esposti e **non le abitudini estreme** di un singolo membro della popolazione.

■ Persona Rappresentativa

- Per la verifica dei vincoli di dose per esposizioni continue la ICRP raccomanda che la dose annuale per la persona rappresentativa sia definita su tre classi di età:
 - ✓ 0-5 anni
 - ✓ 5-15 anni
 - ✓ 17-70 anni
- L'utilizzo di queste tre categorie di età è sufficiente a caratterizzare l'impatto radiologico di una sorgente
- Per rappresentare le tre classi di età dovrebbero essere utilizzati i coefficienti di dose e le abitudini di vita per neonati di 1 anno, bambini di 10 anni ed adulti

Table 3.1. Dose coefficients recommended for determining compliance with the dose constraint

Age category (years)	Name of age category	Dose coefficient and habit data to be used
0-5	Infant	1 year old
6-15	Child	10 year old
16-70	Adult	Adult

- **Criteri di esposizione per la popolazione**

- ✓ **Limiti e vincoli di dose**

- Limite di dose efficace popolazione: 1 mSv/anno
 - Criteri di non rilevanza radiologica delle pratiche: 10 μ Sv/anno

- ✓ **Formule di scarico**

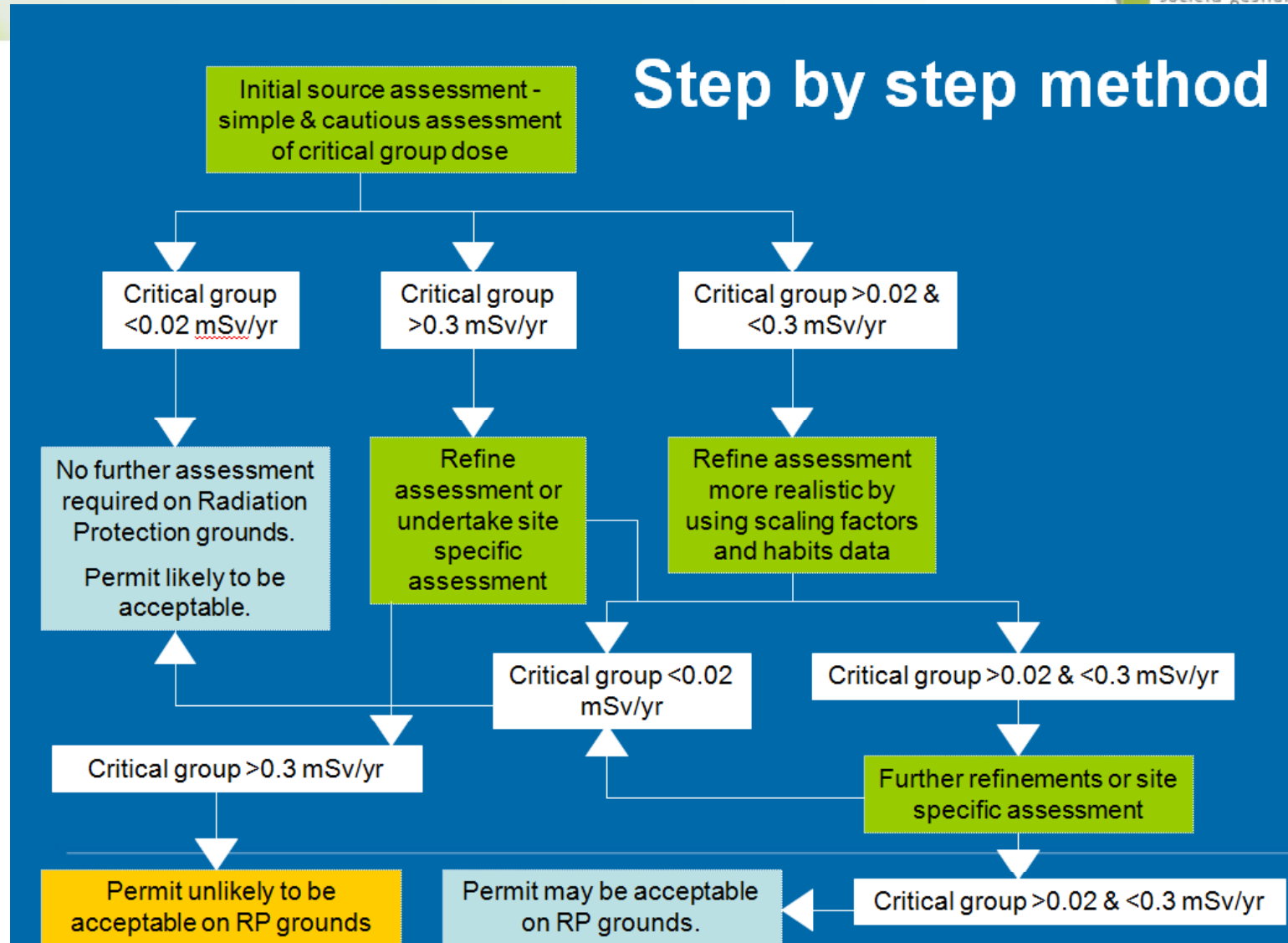
- Art. 154 - DLgs 230/95 s.m.i.

3-bis.I livelli di allontanamento da installazioni di cui ai capi IV, VI e VII di materiali, destinati ad essere smaltiti, riciclati o riutilizzati in installazioni, ambienti o, comunque, nell'ambito di attività ai quali non si applichino le norme del presente decreto debbono soddisfare ai criteri fissati con il decreto di cui all'articolo 1, comma 2, ed a tal fine tengono conto delle direttive, delle raccomandazioni e degli orientamenti tecnici forniti dall'Unione europea.

Summary of criteria for public exposure

Public dose limit	future and historical discharges and future direct radiation from the site and other sources excluding medical and natural	1.0 mSv/yr
Site constraint	future discharges from a site with more than one operator	0.5 mSv/yr
Source constraint	future discharges and future direct radiation from a facility or group of facilities	0.3 mSv/yr
Threshold of optimisation	future discharges and future direct radiation from a facility	0.02 mSv/yr
Potentially of no regulatory concern	future discharges and future direct radiation from a facility	<0.01 <u>mSv/yr</u>

Criteri di esposizione per la popolazione: Inghilterra



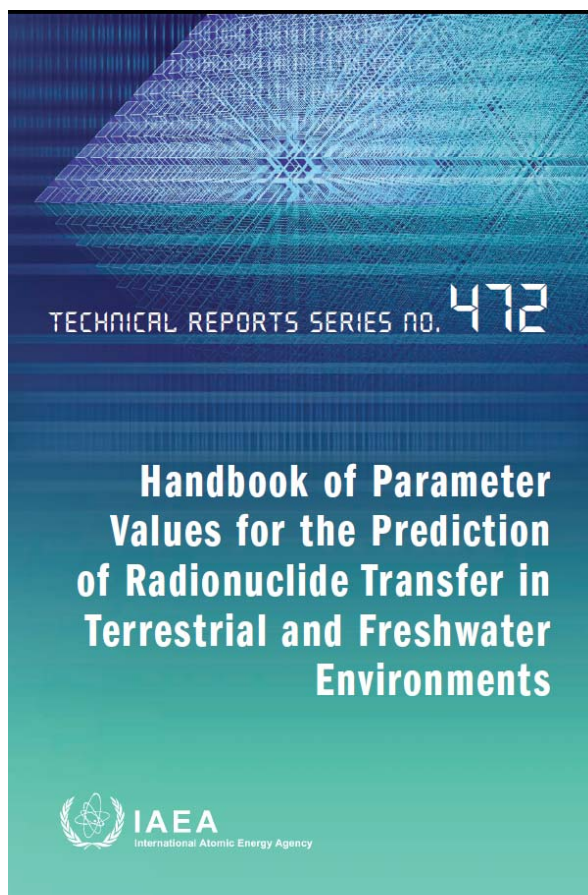
■ **Tipologia di modelli**

- Modelli per situazione di equilibrio, modelli a compartimenti (mare, fiume, alimenti terrestri), modelli Gaussiani (nube finita, nube semi-infinita), modelli empirici per esposizione esterna e risospensione
- Rilasci continui e costanti

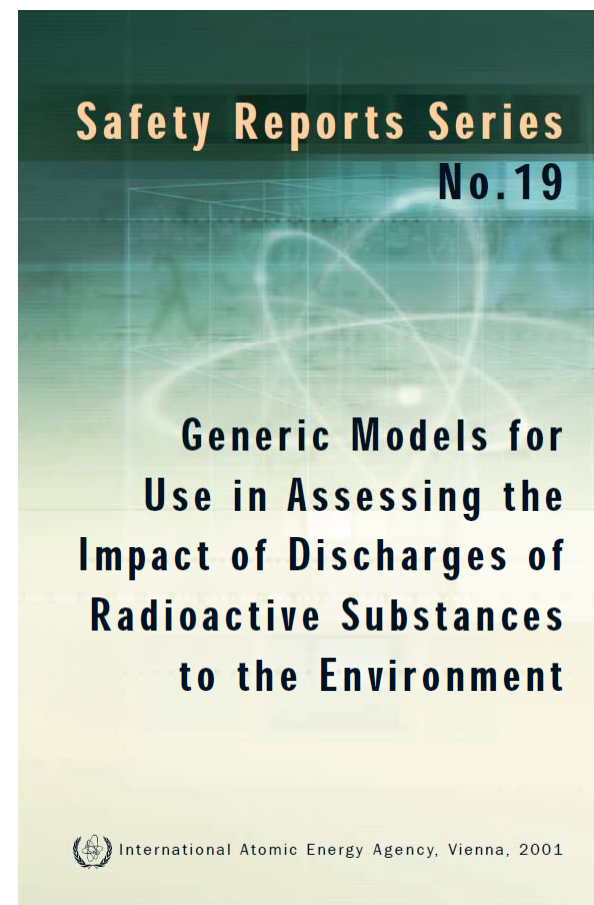
✓ **Coefficienti di trasferimento**

- Rapporto tra concentrazione di attività suolo e piante, suolo e foraggio, foraggio e carne, foraggio e latte
- Per ambienti di fiume e marini rapporto concentrazioni tra acqua e sedimenti e biota
- Riferimenti IAEA (Safety Series No 19; Technical Reports Series No. 472), NCRP (Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water, and ground. NCRP Report No 123 I , 1996)

✓ Coefficienti di trasferimento



http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs472_web.pdf



http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1103_scr.pdf

✓ **Coefficienti di trasferimento - Technical Reports Series No. 472**

- Trasferimento dei radionuclidi negli ambienti terrestri e acquatici
- I dati sono rilevati per il trasferimento dei radionuclidi della catena alimentare all'uomo
- I dati sono riferiti a situazioni di equilibrio nei compartimenti ambientali
- La pubblicazione è finalizzata sui parametri di trasferimento utilizzati nei modelli descritti nel Safety Series No 19

- ✓ *Agricultural ecosystems: foliar uptake*
- ✓ *Radionuclide interaction in soils*
- ✓ *Root uptake of radionuclides in agricultural ecosystems*
- ✓ *Agricultural ecosystems: transfer to animals*
- ✓ *Radionuclide transfer in forests*
- ✓ *Arctic and alpine ecosystems*
- ✓ *Radionuclide transfers in freshwater ecosystems*
- ✓ *Specific activity models and parameter values for tritium, ^{14}C and ^{36}Cl*
- ✓ *Food processing*

TABLE 1. GENERIC QUANTITIES AND UNITS USED IN THIS PUBLICATION

Symbol	Name	Definition	Unit
<i>Foliar uptake</i>			
α	Interception coefficient	The ratio of the initial mass activity density on the plant (A_{p0} in Bq kg ⁻¹) to the unit area activity density (A_{s0} in Bq m ⁻²) on the terrestrial surface (soil plus vegetation).	m ² kg ⁻¹
f_{tr}	Translocation ratio, translocation factor, translocation coefficient	The mass activity density (A_{tr} in Bq kg ⁻¹) in one tissue, typically an edible tissue, divided by the mass activity density (A_{p0} in Bq kg ⁻¹) in another tissue of the same plant or crop. The translocation ratio can be calculated as the mass activity density in the edible tissue (Bq kg ⁻¹) divided by the activity contained on the mass foliage covering a square metre of land surface (Bq m ⁻²).	Dimensionless, m ² kg ⁻¹
K_s	Resuspension factor	The ratio of the volumetric activity density (A_{s0} in Bq m ⁻³) measured in air or water to the areal activity density (A_{s0} in Bq m ⁻²) measured on the soil or sediment surface.	m ⁻¹
<i>Soil mobility</i>			
K_d	Distribution coefficient	The ratio of the mass activity density (A_{s0} in Bq kg ⁻¹) of the specified solid phase (usually on a dry mass basis) to the volumetric activity density (A_{s0} in Bq L ⁻¹) of the specified liquid phase.	L kg ⁻¹
<i>Soil to plant transfer</i>			
F_p	Concentration ratio	The ratio of the activity concentration of radionuclide in the plant (Bq kg ⁻¹ dm) to that in the soil (Bq kg ⁻¹ dm).	Dimensionless
<i>Herbage to animal transfer</i>			
F_i	Absorbed fraction	The fraction of the intake by an animal that is transferred to a specified receptor tissue.	Dimensionless
F_{ar}, F_f	Feed transfer coefficient	The mass or volumetric activity density in the receptor animal tissue or animal product (Bq kg ⁻¹ where d is the fresh weight or Bq L ⁻¹) divided by the daily intake of radionuclide (in Bq d ⁻¹).	d kg ⁻¹ or d L ⁻¹ , where d is the time in days
<i>Transfer in semi-natural ecosystems</i>			
T_{ag}	Aggregated transfer factor	The ratio of the mass activity density (Bq kg ⁻¹) in a specified object to the unit area activity density (A_{s0} in Bq m ⁻²).	m ² kg ⁻¹
<i>Transfer in freshwater ecosystems</i>			
CR	Concentration ratio, water-biota	The ratio of the radionuclide concentration in the receptor biota tissue (fresh weight) from all exposure pathways (including water, sediment and ingestion/dietary pathways) mass relative to that in water.	Dimensionless
$CR_{s,b}$	Concentration ratio, sediment-biota	The ratio of the concentration of a radionuclide in biota tissue (fresh weight) to that in the sediment (C_{sed}) (fresh weight).	Dimensionless

TABLE 1. GENERIC QUANTITIES AND UNITS USED IN THIS PUBLICATION (cont.)

Symbol	Name	Definition	Unit
<i>Specific activity approaches</i>			
$CR_{s,a}$	Concentration ratio, soil water to air moisture for HTO	The ratio of the tritiated water (HTO) concentration in soil water to that in air moisture.	Dimensionless
R_p, R_f	Partition factor	R_p for plants is the ratio of the concentration of non-exchangeable organically bound tritium (OBT) in the combustion water of plant dry matter to the concentration of tissue free water tritium in plant leaves. R_f for fish is the ratio of OBT concentration in the combustion water of fish dry matter to the HTO concentration in fish flesh.	Dimensionless
$CR_{a,HTO}, CR_{a,OBT}$	Concentration ratio	$CR_{a,HTO}$ is the ratio of the total tritium concentration (HTO + OBT) in an animal product to the average HTO concentration in the water taken in by the animal via feed, drinking water and inhaled air. $CR_{a,OBT}$ is the ratio of the total tritium concentration in the animal product to the average OBT concentration in the animal's feed.	Bq kg ⁻¹ fresh weight (Bq L ⁻¹) for HTO intake; Bq kg ⁻¹ fresh weight (Bq kg ⁻¹ dry weight) for OBT intake
<i>Food processing</i>			
F_r	Food processing retention factor	The ratio of the total amount of a radionuclide in a given food item when ready for consumption to the total amount of the radionuclide in the original raw food before processing and preparation.	Dimensionless
P_f	Processing factor	The ratio of the radionuclide activity concentration in a given food item when ready for consumption to the activity concentration before processing and preparation.	Dimensionless
P_e	Processing efficiency	The ratio of the fresh weight of processed food to the weight of the original raw material.	Dimensionless

✓ **Modello di dispersione atmosferico**

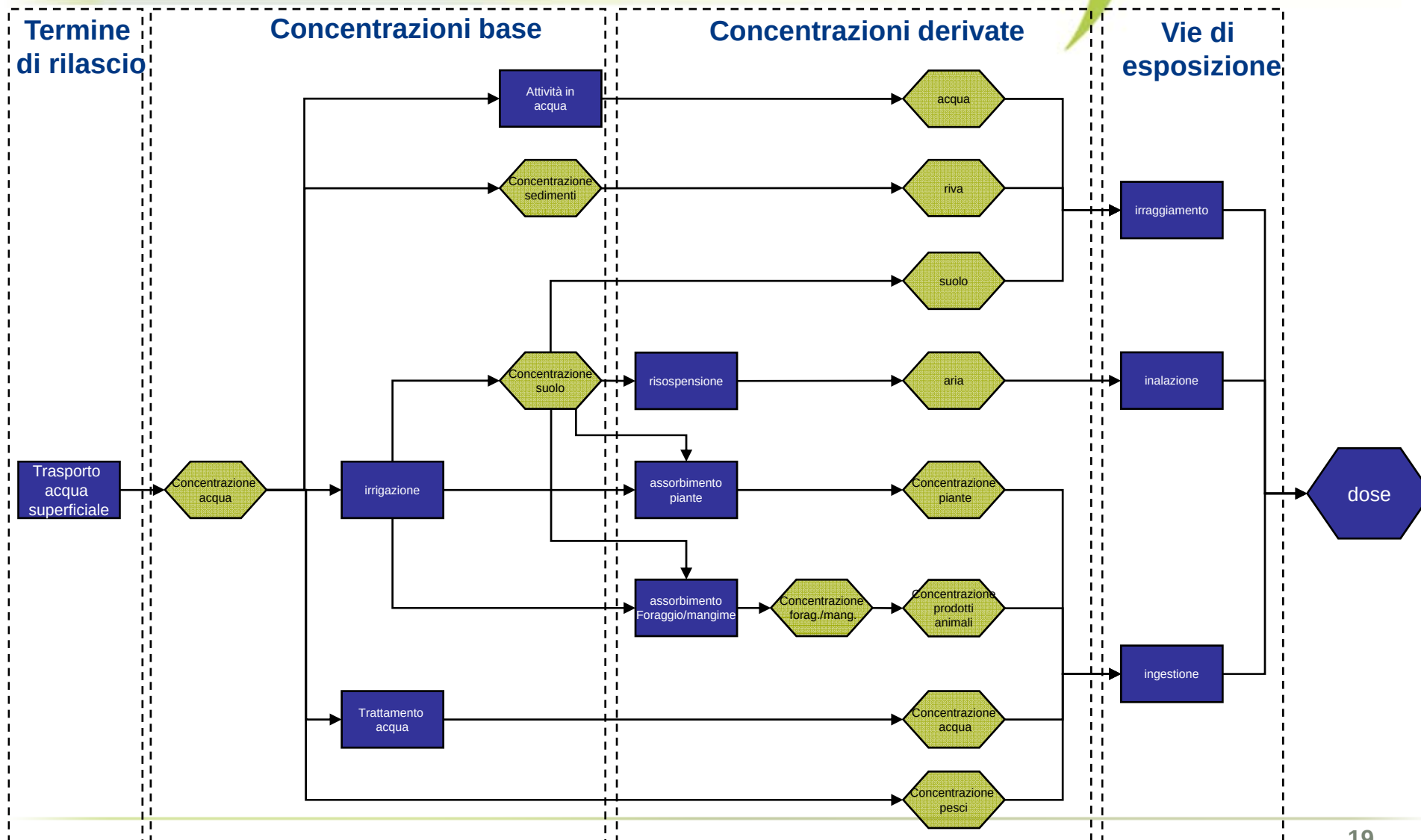
- Modello gaussiano
- Modello lagrangiano

✓ **Dati specifici del sito**

- Dipende dal tipo e dall'estensione della valutazione

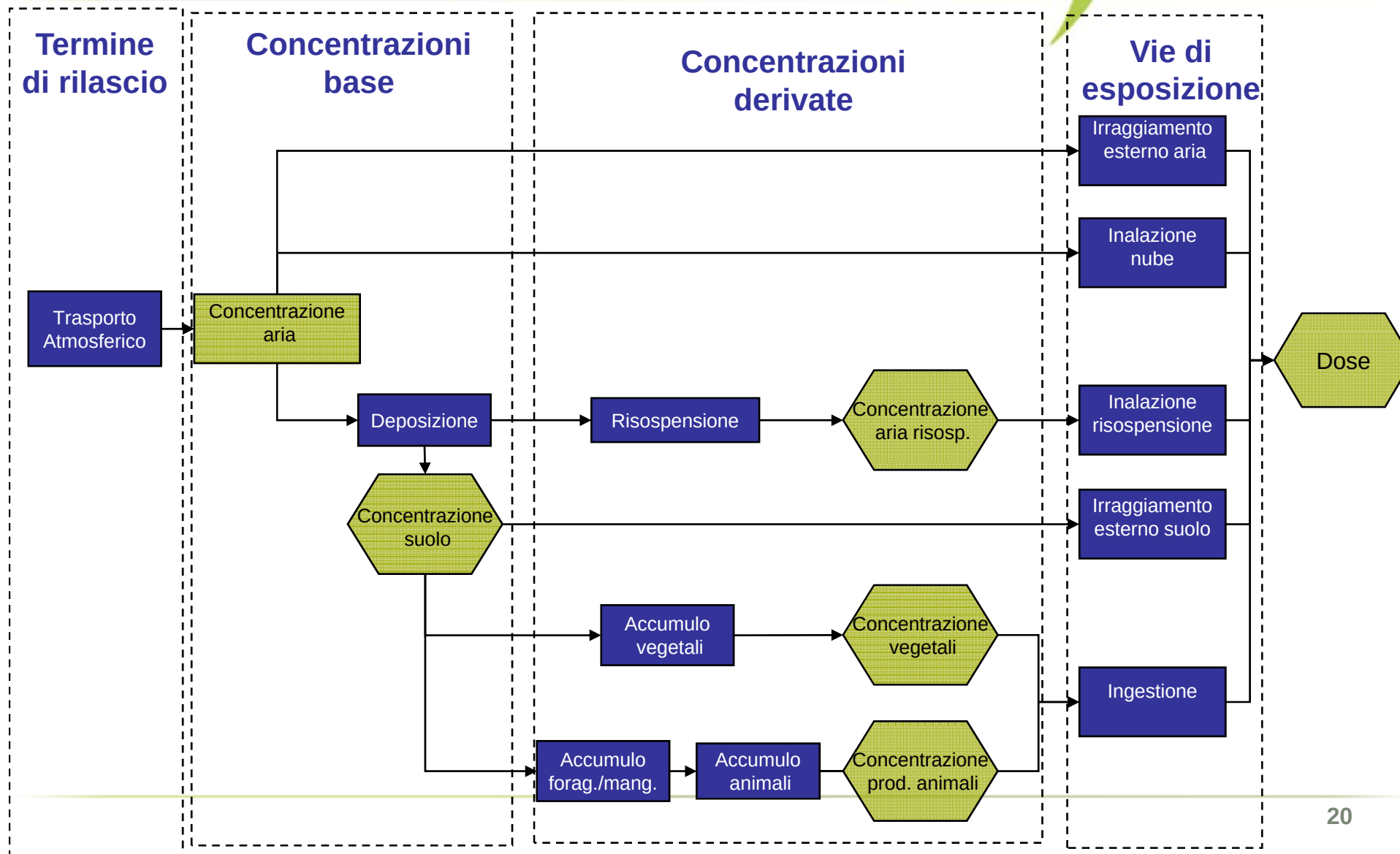
Tipologia di modelli: rilasci continui

Scenario di rilascio e vie di esposizione scarichi liquidi



Tipologia di modelli: rilasci continui

Scenario di rilascio e vie di esposizione scarichi aeriformi



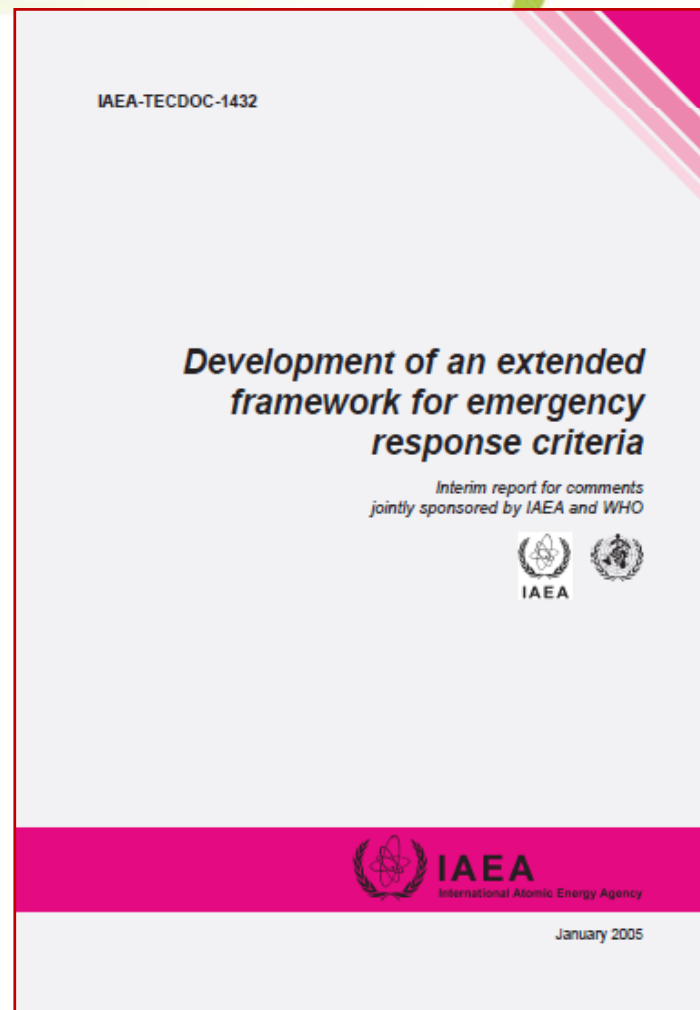
✓ **Vie di esposizioni significative**

- Dose gamma nube (cloud shine)
- Dose gamma materiale radioattivo terreno (ground shine)
- Inalazione materiale radioattivo nube
- Ingestione alimenti ed acqua contaminati
- Deposizione materiale radioattivo sulla pelle

✓ Grandezze dosimetriche

IAEA-TECDOC-1432

Development of an extended framework
for emergency response criteria



http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1432_web.pdf

✓ Grandezze dosimetriche

TABLE I-1. DOSIMETRY QUANTITIES USED IN A NUCLEAR OR RADIOLOGICAL EMERGENCY

Dosimetry quantity	Symbol	Purpose
RBE-weighted absorbed dose	AD_T	For evaluating deterministic health effects induced due to exposure of an organ or tissue.
Radiation weighted dose	H_T	For evaluating stochastic health effects induced due to exposure of an organ or tissue.
Effective dose	E	For evaluating detriment related to the occurrence of stochastic health effects in an exposed population.
Personal dose equivalent	$H_p(d)$	For monitoring external exposure of individual
Ambient dose equivalent	$H^*(d)$	For monitoring radiation field at site of emergency

The RBE-weighted averaged absorbed dose in the organ or tissue (RBE-weighted absorbed dose) (AD_T) is defined as a product of averaged absorbed dose in organ or tissue and the relative biological effectiveness (RBE):

$$AD_T = \sum_R D_{R,T} \times RBE_{R,T} \quad (I-1)$$

The unit used to express the RBE-weighted absorbed dose in SI is Jkg^{-1} and is called the *gray-equivalent* (Gy-Eq) [13, 14]. Details on the RBE-weighted absorbed dose as a basis for the criteria related to deterministic health effects are discussed in Appendix II.

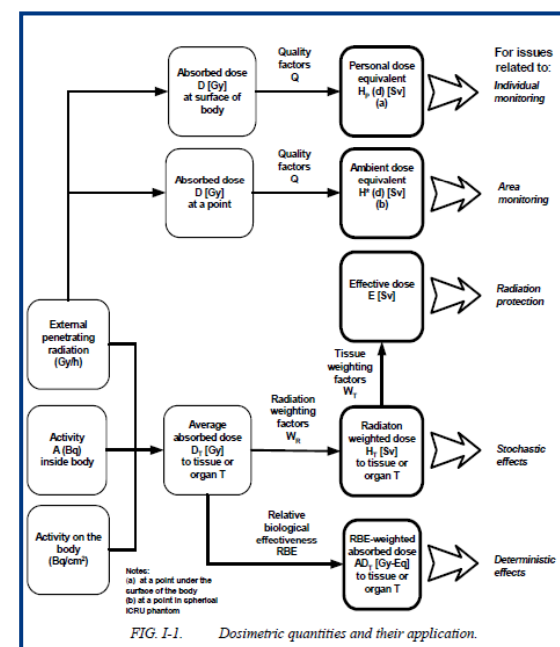


FIG. I-1. Dosimetric quantities and their application.

✓ Grandezze dosimetriche

TABLE II-1. PARAMETERS NEEDED FOR THE RISK MODELS TO ESTIMATE THE RISK OF DEVELOPING SELECTED FATAL DETERMINISTIC HEALTH EFFECTS

Health effect	Target organ or entity	Type of exposure	$RBE_{R,T}$
Haematopoietic syndrome ^(b)	Red marrow	External γ	1
		External n^0	3
		Internal β, γ	1
		Internal α	2
Pneumonitis	Lung ^{(c), (d)}	External γ	1
		External n^0	3
		Internal β, γ	1
		Internal α	7
GI Syndrome	Small intestine	External γ	1
		External n^0	3
	Colon	Internal β, γ	1
		Internal α	0 ^(e)
Embryo/foetal death	Embryo/foetus 0-18 days gestation	External γ	1
		External n^0	3
	Embryo/foetus 18-150 days	External γ	1
		External n^0	3
	Embryo/foetus 150 - term	External γ	1
		External n^0	3
Moist desquamation	Skin ^(f)	External $\beta^{(g)}, \gamma$	1

^(a) Presented the central estimates of the values; NE = not estimated.

^(b) For the supportive medical treatment, with only minimal treatment θ_{PM} is 3 Gy-Eq and θ_{T1} = 0.0

^(c) Presented values of θ_{PM} in case of irradiation of the lung are evaluated for children, and for adult Table 2.4].

^(d) Gas exchange alveolar interstitial region of the respiratory tract.

^(e) For alpha-emitters uniformly distributed in content of Colon assumed that irradiation of walls of it

^(f) For a skin area of 600 cm² (1/3 of the skin area of a reference adult) which is considered life time (See paras. (305), (306), and (310) in [18] and subsection 3.4.1 in [19]).

^(g) Includes the dose from bremsstrahlung in the material of the source.

TABLE I-3. GRLs OF RBE-WEIGHTED ABSORBED DOSE FOR SEVERE DETERMINISTIC HEALTH EFFECTS FROM EXTERNAL EXPOSURE

Disease/Status	Organ or entity	$AD_{T,DS}^{(a)},$ Gy-Eq	GRL
Haematopoietic syndrome ^(s)	Red Marrow	3 ^(b)	AD_{Torsio} 1 ^(d) Gy-Eq
Gastrointestinal syndrome ^(s)	Small Intestine	12	
Pneumonitis ^(s)	Lung	8 ^(c)	
Cataract ^(h)	Lens of the eye	0.8 ^(d)	
Hypothyroidism ^(h)	Thyroid	2	
Permanently suppressed ovulation ^(h)	Ovum	1.5	
Permanently suppressed sperm counts ^(h)	Testes	1	AD_{Foetus} 0.1 ^{(d),(f)} Gy-Eq
Embryo/foetal death ^(s)	Embryo/foetus 0-18 days of gestation	0.3	
	Embryo/foetus 18-150 days	0.6	
	Embryo/foetus 150-term	2.0	
Severe mental retardation ^(h)	Embryo/foetus 8-15 weeks	0.6	
	Embryo/foetus 16-25 weeks	0.9	
Malformation ^(h)	Embryo/foetus 8-25 weeks	0.1	AD_{Tissue} 25 Gy-Eq
Growth retardation ^(h)	Embryo/foetus 8-25 weeks	0.25	
Verifiable reduction in IQ ^(h)	Embryo/foetus 8-25 weeks	0.1	AD_{Skin} 10 Gy-Eq
Necrosis of deep tissue ^(h)	Soft tissue	25 ^(e)	
Moist desquamation ^(s)	Skin	12 ^(f)	

✓ Livelli di intervento – Normativa italiana

Livello di intervento : valore di dose equivalente o di dose efficace evitabile o di grandezza derivata, in relazione al quale si prende in considerazione l'adozione di adeguati provvedimenti di intervento

Tabella A Livelli di intervento di emergenza per l'adozione di misure protettive, espressi in millisievert:

TIPO DI INTERVENTO	
Riparo al chiuso	Da alcune unità ad alcune decine di dose efficace
Somministrazione di iodio stabile – tiroide	Da alcune decine ad alcune centinaia di dose equivalente
Evacuazione	Da alcune decine ad alcune centinaia di dose efficace

✓ Livelli di intervento – Normativa italiana

Dose proiettata: dose assorbita ricevuta da un individuo della popolazione su un intervallo di tempo dall'inizio dell'incidente, da tutte le vie di esposizione, quando non vengono adottati interventi

Tabella B – Valori di soglia di dose proiettata in un intervallo di tempo inferiore a due giorni, espressi in gray

ORGANO O TESSUTO	DOSE PROIETTATA (Gy)
Corpo intero (midollo osseo)	1
Polmoni	6
Pelle	3
Tiroide	5
Cristallino	2
Gonadi	3
Feto	0,1

✓ **Contaminazione alimenti**

- Nella I fase dell'emergenza gli alimenti più colpiti sono il latte ed i vegetali a foglia
- In caso incidentale c'è un picco di concentrazione che può essere valutato dalla contaminazione del suolo in Bq/m²
- Per il latte questo picco si ha dopo qualche giorno, per i vegetali alla fine della deposizione
- La Commissione Europea indica i livelli massimi ammissibili di concentrazione in alcuni alimenti (riportati nel CEVAD 2010)

✓ Contaminazione alimenti

Tabella 7.2 – *Livelli massimi ammissibili di radioattività per i prodotti alimentari in caso di emergenze nucleari e radiologiche ⁽⁺⁾*

Radionuclide	Livello massimo ammissibile (Bq kg ⁻¹ o Bq l ⁻¹)				
	Alimenti per lattanti	Prodotti lattiero caseari	Altri alimenti	Alimenti secondari ^(*)	Alimenti liquidi
Isotopi dello Stronzio	75	125	750	7500	125
Isotopi dello Iodio	150	500	2000	20000	500
Isotopi del Plutonio e di elementi con numero atomico superiore che emettono radiazioni alfa, in particolare Pu-239 e Am-241	1	20	80	800	20
Tutti gli altri nuclidi il cui tempo di dimezzamento supera i 10 giorni, in particolare Cs-134 e Cs-137	400	1000	1250	12500	1000

⁽⁺⁾ CCE, 1989a; CCE, 1989b

^(*) Sono i prodotti alimentari secondari elencati in CCE, 1989a

✓ Contaminazione alimenti

TABLE 19 Radionuclide transfer to foodstuffs

(a) Milk

Nuclide	Peak concentration (Bq kg ⁻¹ per Bq m ⁻²)	Time to reach peak (d)	Relevant CFIL (Bq kg ⁻¹)	Threshold deposit for exceeding CFIL (Bq m ⁻²)
⁶⁰ Co	5.1 10 ⁻²	2	1000	2.0 10 ⁴
⁸⁹ Sr	1.1 10 ⁻²	5	125	1.1 10 ⁴
⁹⁰ Sr	1.2 10 ⁻²	5	125	1.0 10 ⁴
⁹⁵ Zr	2.5 10 ⁻⁴	2	1000	4.0 10 ⁶
⁹⁵ Nb	2.4 10 ⁻⁴	2	1000	4.1 10 ⁶
¹⁰³ Ru	2.5 10 ⁻⁵	2	1000	4.1 10 ⁷
¹⁰⁶ Ru	2.5 10 ⁻⁵	2	1000	3.9 10 ⁷
¹³¹ I	7.2 10 ⁻²	4	500	7.0 10 ³
¹³³ I	1.4 10 ⁻²	2	500	3.6 10 ⁴
¹³⁵ I	2.5 10 ⁻³	1	500	2.0 10 ⁵
¹³⁴ Cs	7.2 10 ⁻²	5	1000	1.4 10 ⁴
¹³⁷ Cs	7.2 10 ⁻²	5	1000	1.4 10 ⁴
¹⁴⁰ Ba	1.1 10 ⁻²	2	1000	8.8 10 ⁴
¹⁴⁴ Ce	5.0 10 ⁻⁴	2	1000	2.0 10 ⁶
²³⁴ U	1.5 10 ⁻²	2	1000	6.6 10 ⁴
²³⁵ U	1.5 10 ⁻²	2	1000	6.6 10 ⁴
²³⁸ U	1.5 10 ⁻²	2	1000	6.6 10 ⁴
²³⁸ Pu	1.0 10 ⁻⁶	7	20	1.9 10 ⁷
²³⁹ Pu	1.0 10 ⁻⁶	7	20	1.9 10 ⁷
²⁴¹ Pu	1.0 10 ⁻⁶	7	1000	1.0 10 ⁹
²⁴¹ Am	1.0 10 ⁻⁶	7	20	1.9 10 ⁷
²⁴² Cm	1.0 10 ⁻⁶	6	20	2.0 10 ⁷
²⁴⁴ Cm	1.0 10 ⁻⁶	7	20	1.9 10 ⁷

NRPB-19: Emergency Data Handbook

<http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/NPRBArchive/NRPBWSeriesReports/2002nrpbw019/>

✓ Contaminazione alimenti

TABLE 19 Radionuclide transfer to foodstuffs

(b) Leafy green vegetables

Nuclide	Peak concentration (Bq kg ⁻¹ per Bq m ⁻²)	Relevant CFIL (Bq kg ⁻¹)	Threshold deposit for exceeding CFIL (Bq m ⁻²)
⁶⁰ Co	0.3	1250	4.2 10 ³
⁸⁹ Sr	0.3	750	2.5 10 ³
⁹⁰ Sr	0.3	750	2.5 10 ³
⁹⁵ Zr	0.3	1250	4.2 10 ³
⁹⁵ Nb	0.3	1250	4.2 10 ³
¹⁰³ Ru	0.3	1250	4.2 10 ³
¹⁰⁶ Ru	0.3	1250	4.2 10 ³
¹³¹ I	0.3	2000	6.7 10 ³
¹³³ I	0.3	2000	6.7 10 ³
¹³⁵ I	0.3	2000	6.7 10 ³
¹³⁴ Cs	0.3	1250	4.2 10 ³
¹³⁷ Cs	0.3	1250	4.2 10 ³
¹⁴⁰ Ba	0.3	1250	4.2 10 ³
¹⁴⁴ Ce	0.3	1250	4.2 10 ³
²³⁴ U	0.3	1250	4.2 10 ³
²³⁵ U	0.3	1250	4.2 10 ³
²³⁸ U	0.3	1250	4.2 10 ³
²³⁸ Pu	0.3	80	2.7 10 ²
²³⁹ Pu	0.3	80	2.7 10 ²
²⁴¹ Pu	0.3	1250	4.2 10 ³
²⁴¹ Am	0.3	80	2.7 10 ²
²⁴² Cm	0.3	80	2.7 10 ²
²⁴⁴ Cm	0.3	80	2.7 10 ²

NRPB-19: Emergency Data Handbook

✓ Contaminazione alimenti

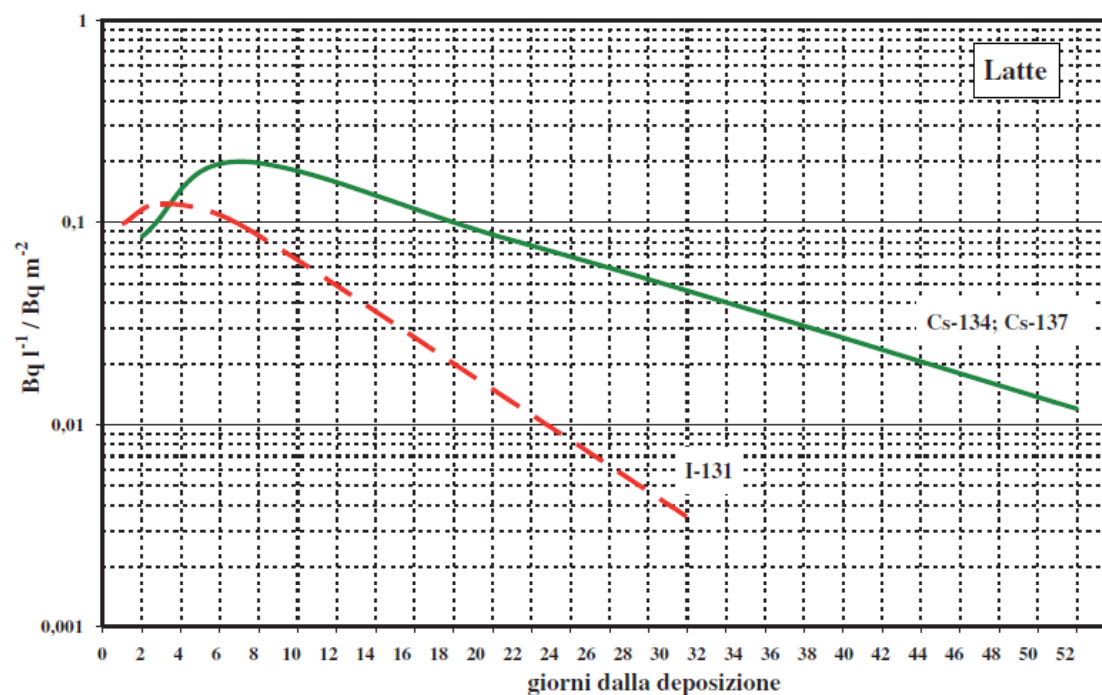


Figura 7.2 - Concentrazione di attività nel latte per unità di deposizione al suolo

Tipologia di modelli: rilasci incidentali

Esempio codice: RASCAL

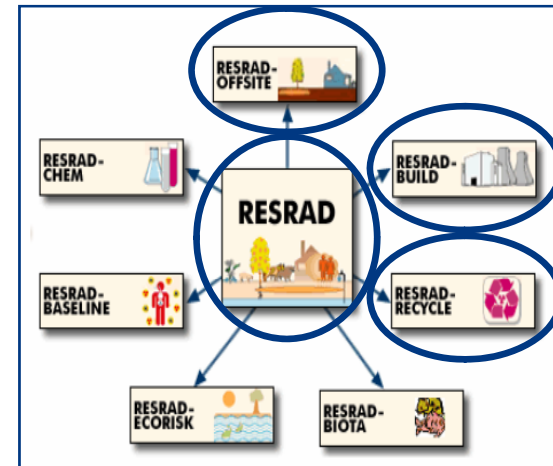


	Via di esposizione	Concentrazione integrata aria (Bq·s/m ³)	deposizione suolo (Bq/m ²)	Concentrazioni vie di esposizione
Early-phase	irraggiamento nube	X	---	C1 (Bq/m ³)
	inalazione nube	X	---	C1 (Bq/m ³)
Intermediate-phase	irraggiamento suolo	X	C2	C3 (Bq/m ²)
	inalazione risospensione suolo	X	C2	C4 (Bq/m ³)

■ Tipologia di modelli

- Ci sono codici di calcolo realizzati per valutare l'impatto radiologico di siti contaminati
- Tra questi codici è da citare la famiglia di codice RESRAD
- La famiglia dei codici RES(idual)RAD(ioactivity) è stata sviluppata dalla Environmental Science Division (EVS) dell'Argonne National Laboratory su richiesta del Department of Energy (DOE)

<http://web.ead.anl.gov/resrad/home2/>



Tipologia di modelli: contaminazioni esistenti

Vie di esposizione: RESRAD-OFFSITE

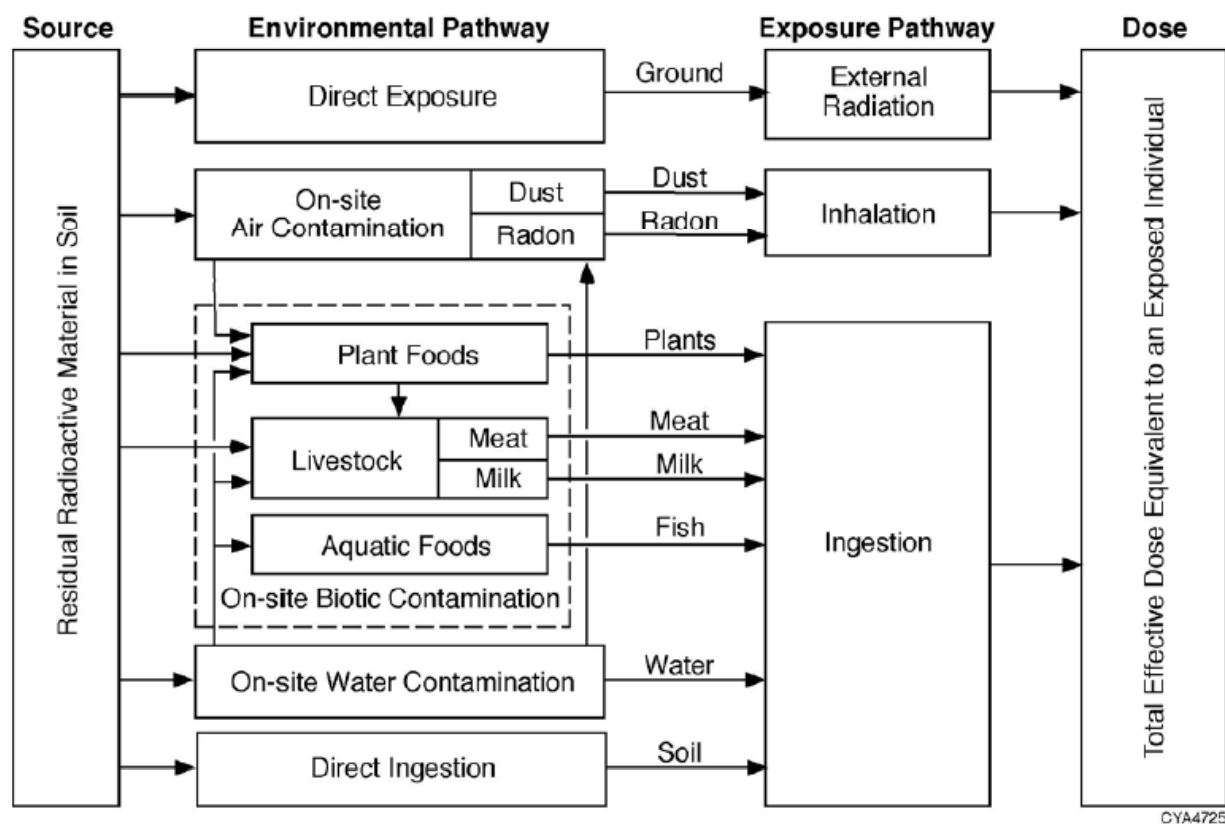


FIGURE 2.2 Schematic Representation of RESRAD Pathways

Tipologia di modelli: contaminazioni esistenti

Dati di input: RESRAD-OFFSITE

Transport Factors

Radionuclide: **Sr-90**

Distribution Coefficients: **cm³/g**

Contaminated Zone: **30**

Unsaturated Zone 1: **30**

Unsaturated Zone 2: **30**

Unsaturated Zone 3: **30**

Saturated Zone: **30**

Unsaturated Zones: **3**

Options:

Water Concentration

Time since material placement: **0** year

Groundwater Concentration: **0** Bq/L

Solubility Limit: **0** mol/L

Leach Rate: **0** /year

Use Plant/Soil ratio ☐

Save Cancel

Ingestion Pathway, Dietary Data

Fruit, vegetable, and grain consumption: **160** kilograms/year

Leafy vegetable consumption: **14** kilograms/year

Milk consumption: **92** liters/year

Meat and poultry consumption: **63** kilograms/year

Fish consumption: **5.4** kilograms/year

Other seafood consumption: **.9** kilograms/year

Soil ingestion: **36.5** grams/year

Drinking water intake: **510** liters/year

Contaminated fractions

Drinking water: **1**

Household water: **1**

Livestock water: **1**

Irrigation water: **1**

Aquatic food: **.5**

Plant food: **-1**

Meat: **-1**

Milk: **-1**

Save Cancel

Saturated Zone Hydrological Data

Density of saturated zone: **1.5** grams/cm³

Saturated zone total porosity: **.4**

Saturated zone effective porosity: **.2**

Saturated zone field capacity: **.2**

Saturated zone hydraulic conductivity: **100** meters/year

Saturated zone hydraulic gradient: **.02**

Saturated zone b parameter: **5.3**

Water table drop rate: **.001** meters/year

Well pump intake depth: **10** meters below water table

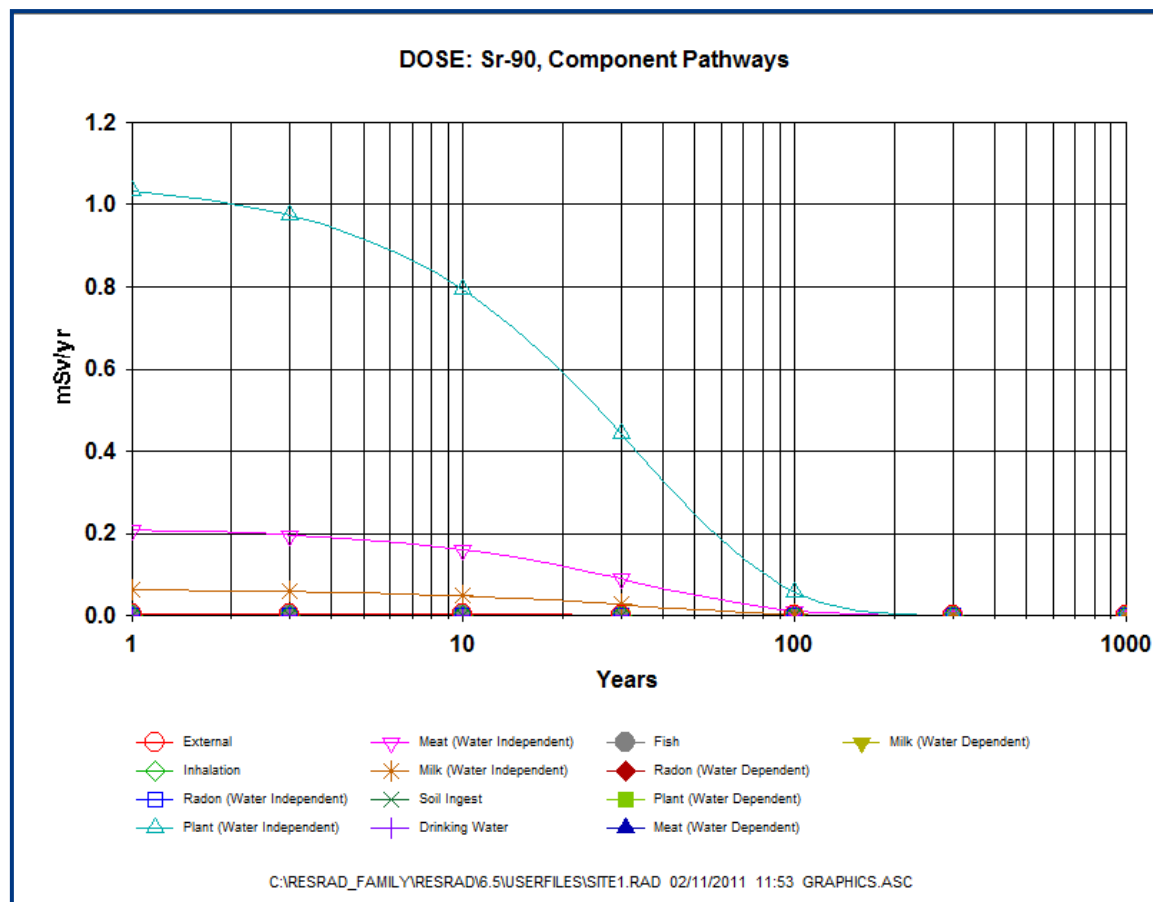
Model for Water Transport Parameters: ☒ Nondispersion ☐ Mass-Balance

Well pumping rate: **250** cubic meters/year

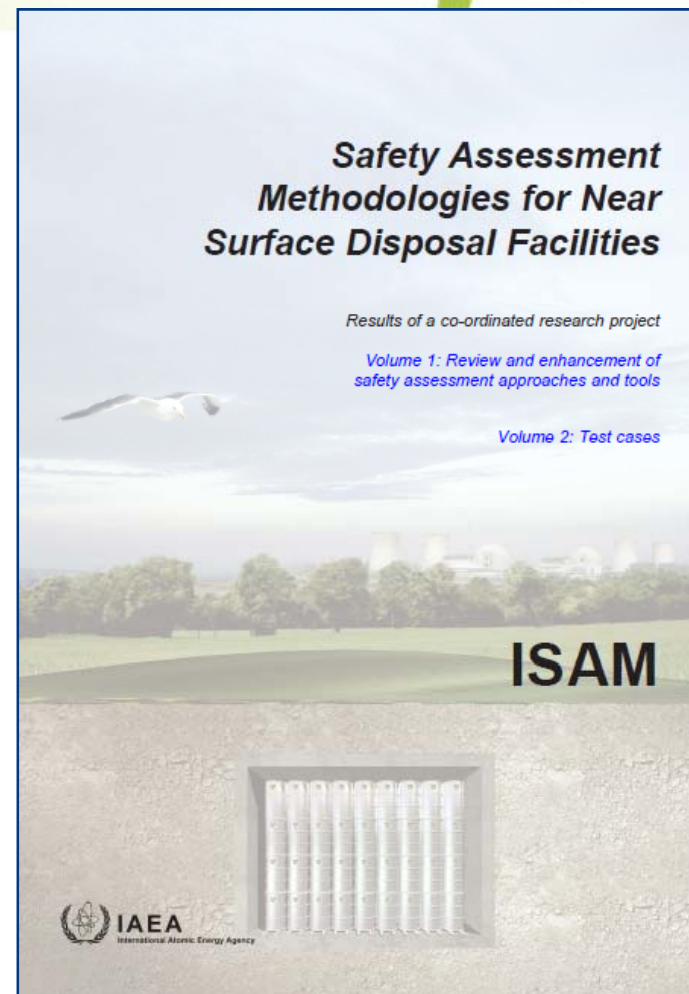
Save Cancel

Tipologia di modelli: contaminazioni esistenti

Risultati: RESRAD-OFFSITE



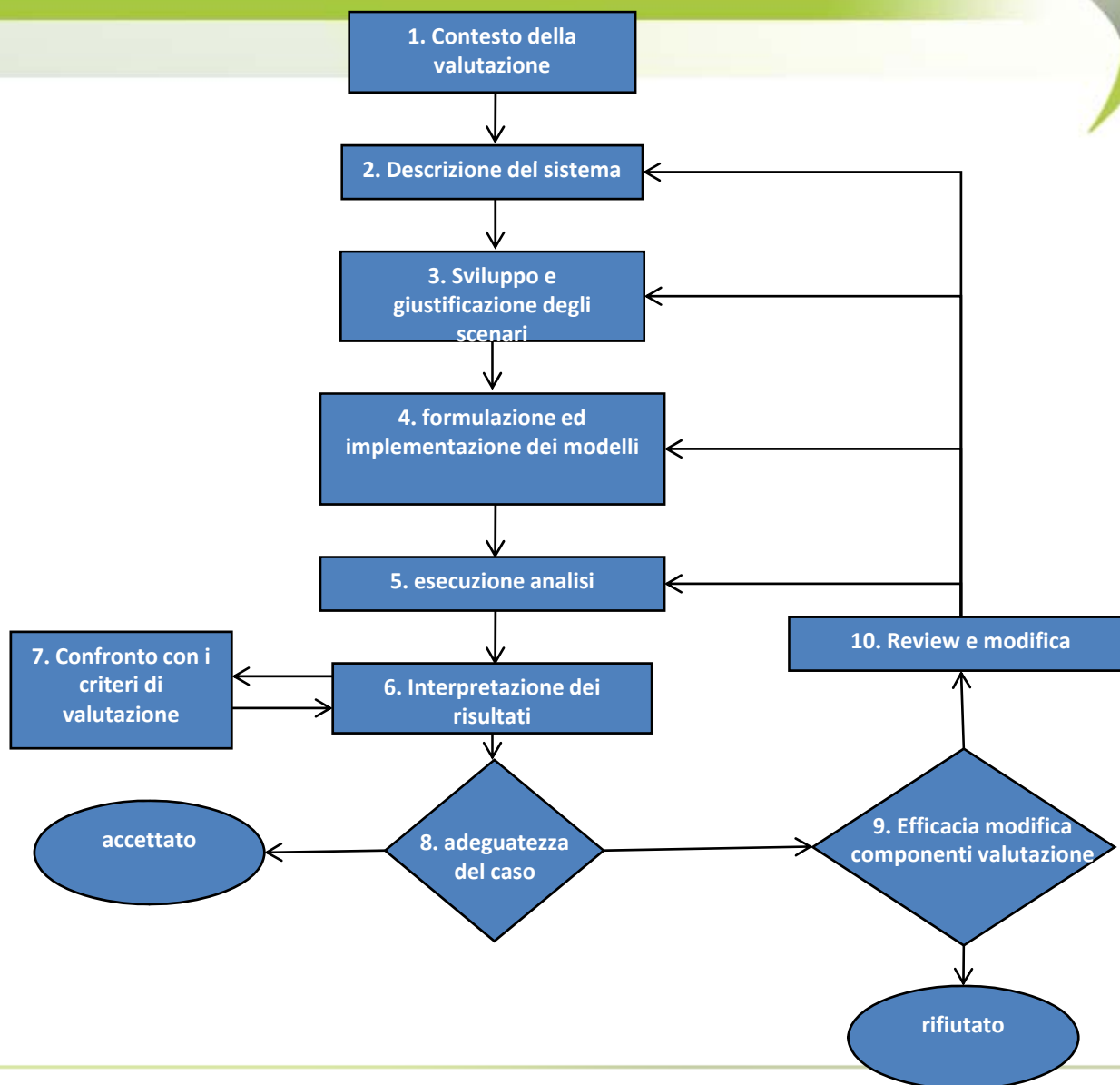
ISAM: Improvement of Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities



<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/ISAM/Start.pdf>

■ **Metodologia ISAM**

- Sviluppata all'interno di un progetto della IAEA
- La metodologia sviluppa i seguenti componenti chiave:
 - ✓ Specificazione del contesto di valutazione;
 - ✓ Descrizione del sistema deposito (Deposito e Sito);
 - ✓ Sviluppo e descrizione degli scenari (identificazione delle probabili vie di rilasci e di probabile impatto con l'ambiente);
 - ✓ Formulazione del modello concettuale;
 - ✓ Formulazione dei modelli matematici;
 - ✓ Scelta del codice di calcolo idoneo all'implementazione dei modelli matematici;
 - ✓ Run del codice ed analisi dei risultati.



■ **FEPs**

- ✓ Un elemento in comune in molte metodologie utilizzate per la determinazione degli scenari è la costruzione iniziale di una lista di **Features** (caratteristiche), **Events** (eventi) e **Processes** (processi), (FEPs), che potrebbero direttamente o indirettamente influenzare il sistema deposito per la migrazione e il rilascio dei radionuclidi.

■ **Matrice di Interazione (MI)**

- ✓ La metodologia alla base dell'utilizzo della Interaction Matrix è del tipo top-down, il sistema è diviso in parti costituenti per prendere in considerazione tutti gli aspetti del problema
- ✓ Nella costruzione della matrice i componenti principali del sistema sono identificati ed elencati sugli Elementi Lungo Diagonale (ELD) di una matrice quadrata. Le interazioni tra i componenti sono rappresentati sugli Elementi Fuori Diagonale (EFD). Quando sono coinvolti più di due parametri, l'interazione può essere rappresentata con una pathway attraverso la matrice.

■ Matrice di interazione (MI)

Identificazione degli elementi lungo la diagonale (ELDs)

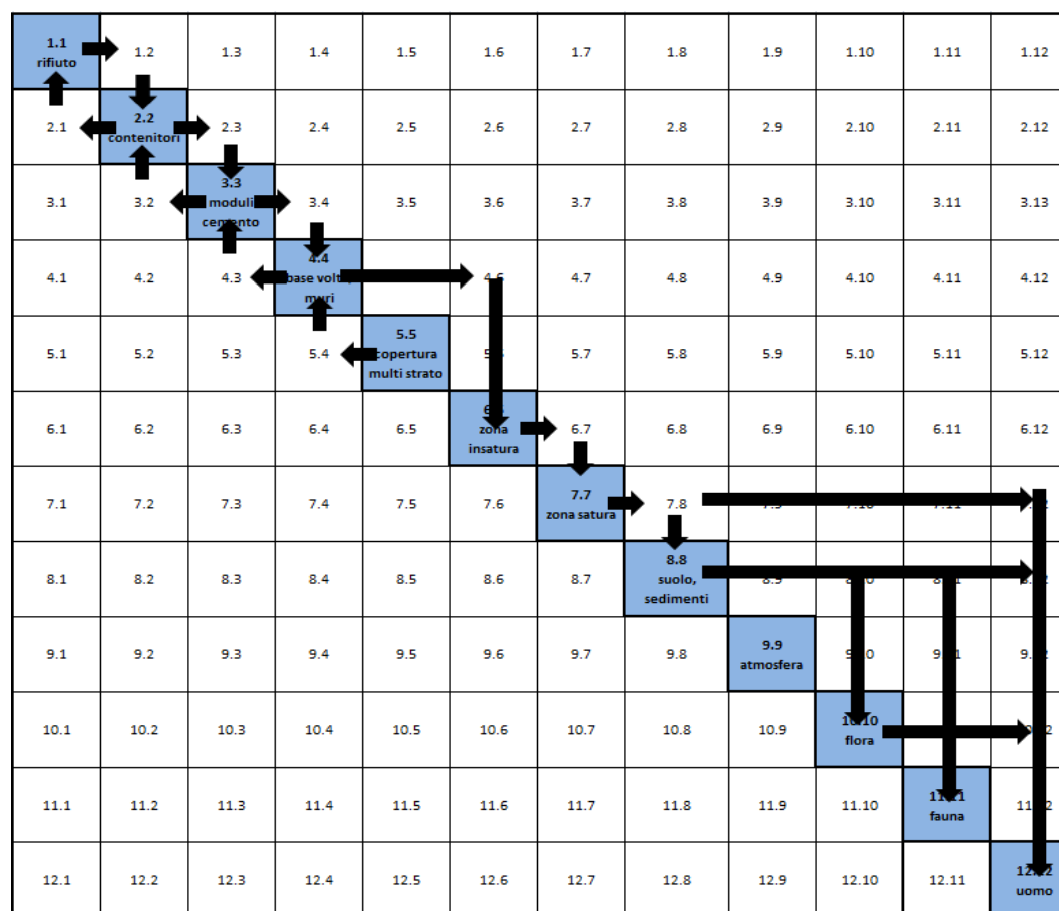
- (1.1) : Rifiuto
- (2.2): Contenitori e malta
- (3.3) : Moduli cemento
- (4.4): Base volta, pareti
- (5.5) : Copertura multistrato
- (6.6): Zona insatura
- (7.7) : Zona satura
- (8.8): Suolo e sedimenti
- (9.9) : Acque superficiali
- (10.10): Atmosfera
- (11.11): Flora
- (12.12): Fauna
- (13.13) : Uomo



1.1 rifiuto	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13
2.1	2.2 contenitori	Near-field		2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13
3.1	3.2	3.3 moduli cemento	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
4.1	4.2	4.3	4.4 base volta, pareti	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12	4.13
5.1	5.2	5.3	5.4	5.5 copertura multistrato	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	5.11	5.12	5.13
6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6 zona insatura	6.7	6.8	6.9	6.10	6.11	6.12	6.13
7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7 zona satura	7.8	7.9	7.10	7.11	7.12	7.13
8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8 suolo, sedimenti	8.9	8.10	8.11	8.12	8.13
9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9 acque superficiali	9.10	9.11	9.12	9.13
10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	10.10 atmosfera	10.11	10.12	10.13
11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.10	11.11 flora	11.12	11.13
12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	12.10	12.11	12.12 fauna	12.13
13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	13.10	13.11	13.12	13.13 uomo

■ Matrice di interazione (MI)

Rappresentazione grafica pathways sulla matrice di interazione IM



■ Computer Tools

- ✓ I codici sono classificati in quattro categorie:
- **near field** (source term) codes;
 - **far field** (geosphere) codes
 - **biosphere** codes;
 - **system-level** (integrated) codes.

Table 2.3 EXAMPLE CODES USED FOR THE SAFETY ASSESSMENT OF LLW

Near field	Geosphere	Biosphere	System level
BARRIER	DRAF	GENII	AMBER
DUST	FEMWATER	RESRAD	PRESTO-EPA-CPG
HELP	GRDFLX	TAME	GTM-1
SOURCE1 and SOURCE 2	MIGRAD		GOLDSIM
UNSAT-H	MODFLOW-96		
	PORFLO		
	TOUGH2		
	VAM2D		

▪ **Computer Tools**

✓ **near field (source term) codes:**

Richiedono vari livelli di dettaglio della forma del rifiuto, sono richiesti tre tipi di dati: fisici, chimici e radiologici

✓ **far field (geosphere) codes:**

Simulano il flusso delle acque sotteranee e il trasporto dei contaminati nella geosfera. Richiedono parametri idraulici e chimici e dati geologici del sito

✓ **biosphere codes:**

Valutano la migrazione e l'impatto radiologico risultante del rilascio dei radionuclidi nella biosfera

✓ **system-level (integrated) codes:**

Integrano tutte le FEPs più importanti che controllano il comportamento dei radionuclidi nel sistema deposito

- Il progetto **EMRAS II (Environmental Modelling for Radiation Safety)** della IAEA ha lo scopo di migliorare le capacità di valutazione della dose in campo ambientale attraverso l'acquisizione di dati migliori in campo ambientale, la verifica ed il confronto di nuovi modelli e lo scambio di informazioni.
- Il lavoro del progetto EMRAS II è focalizzato principalmente su tre temi:
 - ✓ **Valutazione di dose sull'uomo;**
 - ✓ **Approccio alle valutazioni di dose del biota;**
 - ✓ **Valutazioni in situazioni di emergenza.**
- Il progetto è articolato in **9 gruppi di lavoro**, ciascun gruppo ha lo scopo di approfondire un aspetto specifico dei tre temi principali.
- Sito web: <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/emras2/default.asp?s=8&l=63>

Reference Approaches for Human Dose Assessment

- ✓ **Working Group 1** – Reference Methodologies for "Controlling Discharges" of Routine Releases
- ✓ **Working Group 2** – Reference Approaches to Modelling for Management and Remediation at "NORM and Legacy Sites"
- ✓ **Working Group 3** – Reference Models for "Waste Disposal"

Reference Approaches for Biota Dose Assessment

- ✓ **Working Group 4** – "Biota Modelling"
- ✓ **Working Group 5** – "Wildlife Transfer Coefficient" Handbook
- ✓ **Working Group 6** – Biota "Dose Effects Modelling"

Approaches for Assessing Emergency Situations

- ✓ Working Group 7 – "Tritium" Accidents
- ✓ Working Group 8 – "Environmental Sensitivity"
- ✓ Working Group 9 – "Urban" Areas

- **Non esistono modelli che consentano di schematizzare tutte le tipologie di rilascio e di esposizione**
- **In alcuni casi è necessario l'integrazione di differenti modelli**
- **Ogni tipologia di esposizione richiede l'approfondimento e la conoscenza di particolari parametri o modelli**
- **In alcune casi occorre mettere insieme specialisti di differenti discipline, non è sufficiente l'esperto in radioprotezione**