

CALCOLO DELL' ESPOSIZIONE E RELATIVI PARAMETRI

Marco Falconi

APAT

Indice

1. Approcci alla valutazione dell'esposizione
2. Portata effettiva dell'esposizione (EM)
3. Calcolo dell'esposizione per ogni modalità di esposizione (ingestione, contatto dermico, inalazione indoor/outdoor)
4. "Rischio falda"

Esposizione

$$\text{RISCHIO} = \text{ESPOSIZIONE} \times \text{TOSSICITA'}$$

Definizione

L'Esposizione rappresenta la **dose** (massa per unità di peso corporeo) **giornaliera di contaminante** che entra in contatto con il recettore esposto alla contaminazione **nell'arco dell'intero periodo di esposizione**

E = CDI (Cronic Daily Intake)

Unità di misura

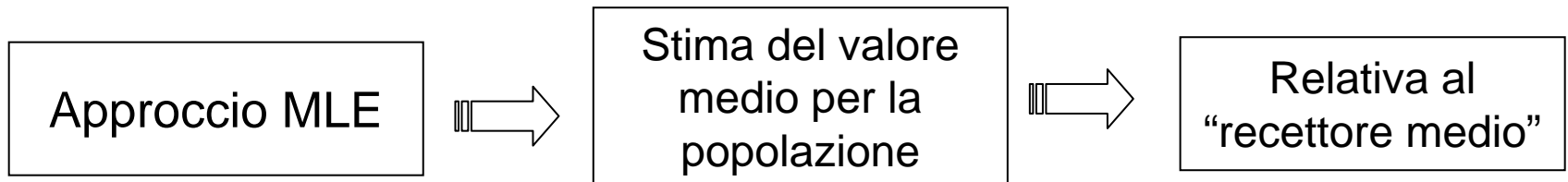
Effetti Cronici

E [mg_{contaminante} / (Kg_{peso corporeo} * giorno)]

Approcci alla valutazione dell'Esposizione

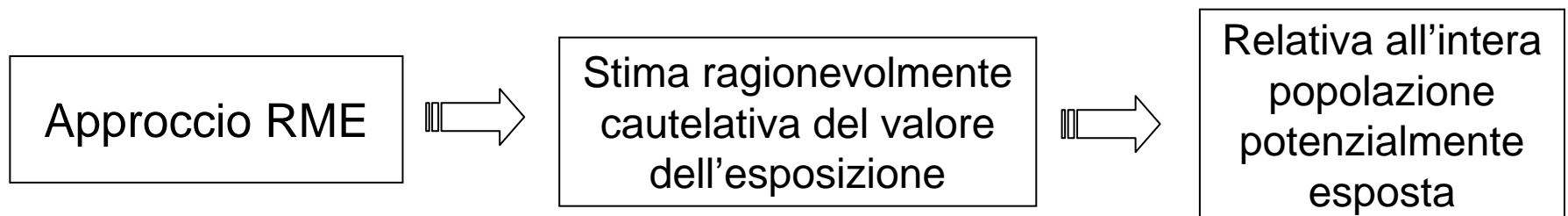
Approccio MLE (Most Likely Exposure)

Viene calcolata l'esposizione media più probabile relativa alla popolazione di recettori esposti



Approccio RME (Reasonable Maximum Exposure)

Viene calcolata l'esposizione massima ragionevolmente possibile relativa alla popolazione di recettori esposti



Approccio RME \Rightarrow **$E = MDI$ (Maximum Daily Intake)**

Formula generica dell'Esposizione

$$E = \frac{C_{POE} \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Concentrazione al punto di esposizione (POE)

Portata effettiva di esposizione (EM)

Concentrazione al POE

- Percorsi diretti: il recettore è direttamente a contatto con la sorgente
- Percorsi indiretti: il recettore non è direttamente a contatto con la sorgente e la C_{POE} viene misurata/stimata nella matrice ambientale oggetto dell'esposizione (es. aria nel caso dell'inalazione di vapori da suolo contaminato)

$$C_{POE} = C_{suolo}$$

$$C_{POE} = FT \times C_{suolo}$$

Portata effettiva di Esposizione (EM)

$$EM = \frac{CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

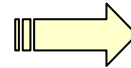
Parametri di Esposizione

- **CR = Tasso di contatto** \Rightarrow *Quantità di matrice ambientale che entra in contatto con il recettore (es. [g/giorno] di suolo ingeriti, [m³/giorno] di aria inalata);*
- **EF = Frequenza di esposizione [giorni/anno]** \Rightarrow *Numero di giorni all'anno in cui il recettore è esposto alla contaminazione*
- **BW = Peso corporeo del recettore [Kg]**
- **ED = Durata di esposizione [anni]** \Rightarrow *Numero di anni in cui si stima il recettore sia esposto alla contaminazione*
- **AT = Tempo di mediazione [giorni]** \Rightarrow *Periodo in cui viene mediata l'esposizione*
 - ✓ AT = ED \Rightarrow sostanze tossiche
 - ✓ AT = Durata della vita \Rightarrow sostanze cancerogene

Scenari di uso del sito



Industriale



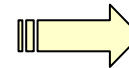
Lavoratori



Residenziale



Ricreativo



Bambini + Adulti

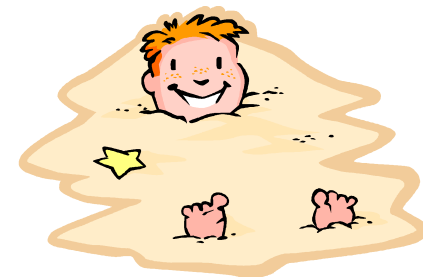
Modalità di Esposizione considerate

- **Ingestione di suolo**



ESPOSIZIONE

- **Contatto dermico con il suolo**



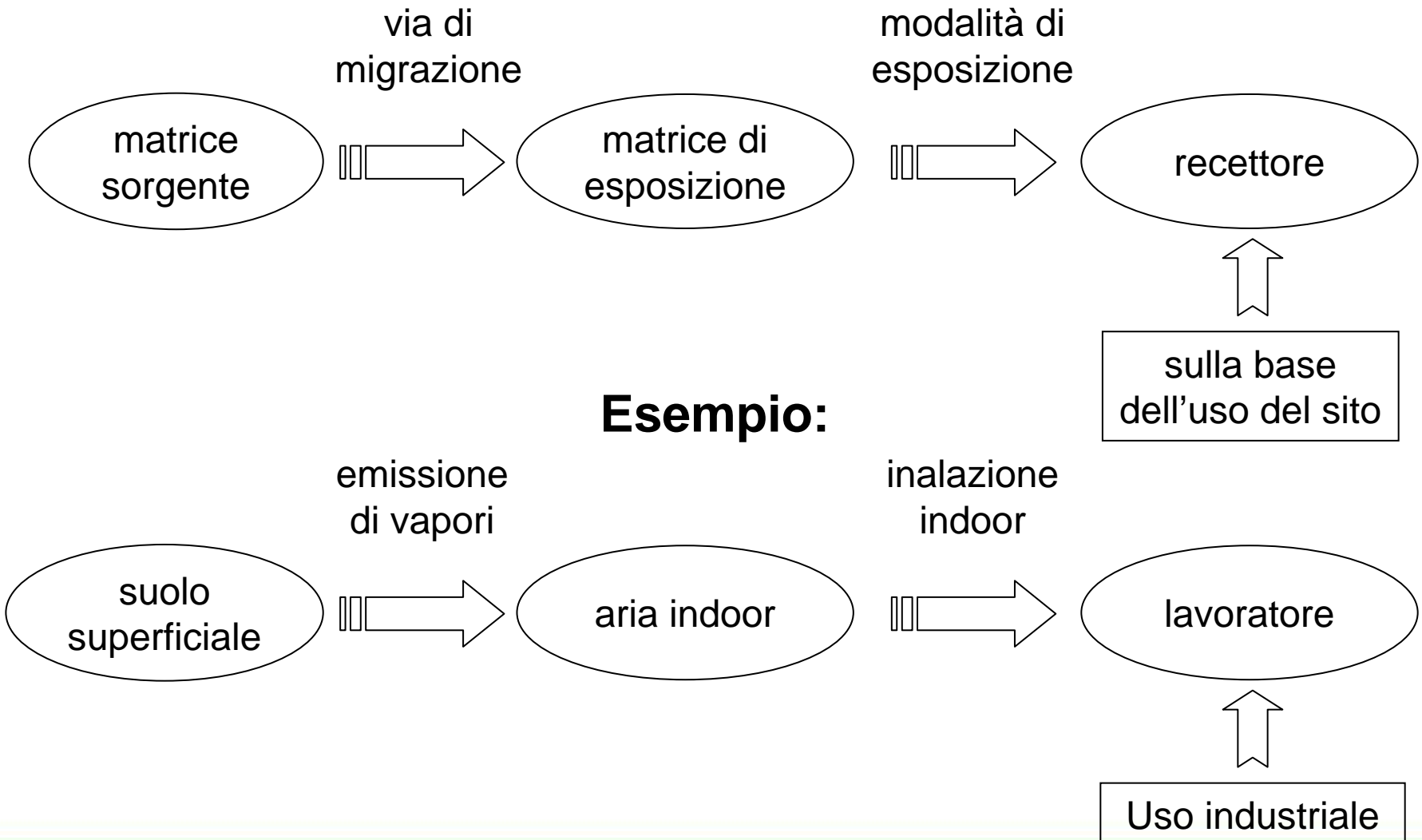
- **Inalazione aria outdoor**
- **Inalazione aria indoor**



Altre tipologie di esposizione:

- Ingestione di acqua potabile
- Ingestione accidentale di acqua superficiale (nuotando) (RISC 4.0, RBCA Toolkit)
- Contatto dermico con acqua superficiale (nuotando) (RISC 4.0, RBCA Toolkit)
- Inalazione di vapori durante la doccia (RISC 4.0)

Sorgenti ⇒ Modalità di Esposizione



Sorgenti ⇒ Modalità di Esposizione

Matrice sorgente	Via di migrazione	Matrice di esposizione	Modalità di esposizione	Tipo di esposizione	Uso del sito	Tipologia di Recettore
Suolo superficiale	---	Suolo superficiale	Ingestione di suolo	diretta	Residenziale	Adulto Bambino
					Ricreativo	
			Industriale	Lavoratore		
			Contatto dermico con il suolo	diretta	Residenziale	Adulto Bambino
	Ricreativo					
	Industriale	Lavoratore				
	Emissione e dispersione di polveri	Aria outdoor	Inalazione outdoor	indiretta	Residenziale	Adulto Bambino
	Ricreativo					
	Volatilizzazione e dispersione di vapori in atmosfera	Industriale	Lavoratore			
	Emissione e dispersione di polveri	Aria indoor	Inalazione indoor	indiretta	Residenziale	Adulto Bambino
Ricreativo						
Industriale	Lavoratore					
Lisciviazione e trasporto in falda	Acqua di falda	Rispetto delle CSC al punto di esposizione				

Sorgenti ⇒ Modalità di Esposizione

Matrice sorgente	Via di migrazione	Matrice di esposizione	Modalità di esposizione	Tipo di esposizione	Uso del sito	Tipologia di Recettore
Suolo Profondo	Volatilizzazione e dispersione di vapori in atmosfera	Aria outdoor	Inalazione outdoor	indiretta	Residenziale	Adulto Bambino
					Ricreativo	
					Industriale	Lavoratore
		Aria indoor	Inalazione indoor	indiretta	Residenziale	Adulto Bambino
	Industriale				Lavoratore	
Lisciviazione e trasporto in falda	Acqua di falda	Rispetto delle CSC al punto di esposizione				

Sorgenti ⇒ Modalità di Esposizione

Matrice sorgente	Via di migrazione	Matrice di esposizione	Modalità di esposizione	Tipo di esposizione	Uso del sito	Tipologia di Recettore
Falda	Trasporto in falda	Acqua di falda	Rispetto delle CSC al punto di esposizione			
	Volatilizzazione e migrazione di vapori in atmosfera	Aria outdoor	Inalazione outdoor	indiretta	Residenziale	Adulto Bambino
					Ricreativo	
					Industriale	Lavoratore
		Aria indoor	Inalazione indoor	indiretta	Residenziale	Adulto Bambino
Industriale	Lavoratore					

Ingestione di suolo

$$C_{POE} = C_{suolo}$$

$$EM = \frac{IR \times FI \times EF \times ED}{BW \times AT} \cdot CF$$

- C_{suolo} = Concentrazione dell'inquinante nel suolo [$mg_{contaminante}/Kg_{suolo}$]
- EM = Portata effettiva di Esposizione [$Kg_{suolo}/(Kg_{peso\ corporeo} *giorno)$]
- IR = Tasso di ingestione di suolo [$mg_{suolo}/giorno$] \Rightarrow Quantità giornaliera di suolo ingerita dal recettore
- FI = Frazione di suolo ingerita [adim.] \Rightarrow Frazione di suolo ingerita effettivamente assimilabile dal recettore
- EF = Frequenza di esposizione [giorni/anno]
- BW = Peso corporeo del recettore [Kg]
- ED = Durata di esposizione [anni]
- AT = Tempo di mediazione [anni]
- CF = Fattore di conversione $\Rightarrow \frac{10^6 [Kg_{suolo} / mg_{suolo}]}{365 [giorni / anno]}$

Ingestione di suolo

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Comm/Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	
Peso corporeo	BW	Kg	70	15	70	15	70
Tempo di mediazione sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene	ATnc	anni	=ED	=ED	=ED	=ED	=ED
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100	200	100	200	50
Frazione di suolo ingerita	FI	adim.	1	1	1	1	1

Contatto dermico con il suolo

$$C_{POE} = C_{suolo}$$

$$EM = \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \cdot CF$$

- C_{suolo} = Concentrazione dell'inquinante nel suolo [$mg_{contaminante}/Kg_{suolo}$]
- EM = Portata effettiva di Esposizione [$Kg_{suolo}/(Kg_{peso\ corporeo} *giorno)$]
- SA = Superficie di pelle esposta [cm^2] \Rightarrow Superficie della pelle che entra in contatto con il suolo contaminato
- AF = Fattore di aderenza dermica [$mg_{cuolo}/(cm^2_{pelle} *giorno)$] \Rightarrow Quantità giornaliera di suolo che aderisce alla pelle per unità di superficie esposta
- ABS = Fattore di assorbimento dermico [adim.] \Rightarrow Rapporto tra l'assorbimento dermico e quello gastrointestinale
- BW = Peso corporeo del recettore [Kg]
- EF = Frequenza di esposizione [giorni/anno]
- ED = Durata di esposizione [anni]
- AT = Tempo di mediazione [anni]
- CF = Fattore di conversione \Rightarrow $\frac{10^6 [Kg_{suolo} / mg_{suolo}]}{365 [giorni / anno]}$

Contatto dermico con il suolo

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Comm/Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	
Peso corporeo	BW	Kg	70	15	70	15	70
Tempo di mediazione sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene	ATnc	anni	=ED	=ED	=ED	=ED	=ED
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700	2800	5700	2800	3300
Fattore di aderenza dermica	AF	mg/cm ²	0.07	0.2	0.07	0.2	0.2
Fattore di assorbimento dermico ⁽¹⁾	ABS	adim.	Tabulato nella Banca dati ISS/ISPESL				

Nota (1):

Il Fattore di assorbimento dermico ABS è tabulato per ciascuna sostanza nella Banca Dati ISS/ISPESL: generalmente 0,1 per le sostanze organiche, 0,01 per le sostanze inorganiche, 0.13 per gli IPA, 0.3 diossine e furani etc.

Parte del corpo	Valore medio [cm ²]	95° percentile [cm ²]
Testa	1300	1430
Avambraccio	1310	1660
Mani	990	1170
Parte inferiore delle gambe	2560	2990
Piedi	1310	1490
Totale esposto (EFH)	4860	5820

Inalazione outdoor

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Comm/ Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	
Peso corporeo	BW	Kg	70	15	70	15	70
Tempo di mediazione sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene	ATnc	anni	=ED	=ED	=ED	=ED	=ED
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Tasso di inalazione orario	B _o	m ³ /ora	0,9 ⁽¹⁾	0,7 ⁽¹⁾	3,2	1,9	2,5 ⁽²⁾
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EF _{go}	ore/giorno	24 ⁽³⁾	24 ⁽³⁾	3 ⁽³⁾	3 ⁽³⁾	8 ⁽³⁾

Note:

- 1) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor, si consiglia l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,2 m³/ora per i bambini.
- 2) Il tasso di inalazione di 2,5 m³/ora è relativo al caso di attività fisica intensa. Nel caso di attività sedentaria e moderata il tasso di inalazione per i lavoratori va posto rispettivamente pari a 0,9 m³/ora e 1,5 m³/ora.
- 3) Poiché l'esposizione indoor e quella outdoor non si cumulano la frequenza giornaliera di esposizione (EF_{go}) è pari a quella massima ragionevolmente possibile in ambienti aperti.

Inalazione indoor

$$C_{POE} = FT \times C_{suolo}$$

$$EM = \frac{B_i \times EF_{gi} \times EF \times ED}{BW \times AT} \cdot CF$$

- C_{POE} = Concentrazione dell'inquinante in aria indoor [$mg_{contaminante}/m^3_{aria}$]
- EM = Portata effettiva di Esposizione [$m^3_{aria}/(Kg_{peso\ corporeo} * giorno)$]
- B_i = Tasso di inalazione orario indoor [m^3/ora] \Rightarrow Quantità oraria di aria inalata dal recettore
- EF_{gi} = Frequenza giornaliera di esposizione indoor [$ore/giorno$] \Rightarrow Numero di ore al giorno che il recettore trascorre in ambiente chiuso
- BW = Peso corporeo del recettore [Kg]
- EF = Frequenza di esposizione [$giorni/anno$]
- ED = Durata di esposizione [$anni$]
- AT = Tempo di mediazione [$anni$]
- CF = Fattore di conversione $\Rightarrow \frac{1}{365[giorni / anno]}$

Inalazione indoor

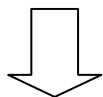
Parametro	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Comm/Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	
Peso corporeo	BW	Kg	70	15	---	---	70
Tempo di mediazione sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	---	---	70
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene	ATnc	anni	=ED	=ED	---	---	=ED
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	---	---	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	---	---	250
Tasso di inalazione orario	B _o	m ³ /ora	0,9	0,7	---	---	0,9 ⁽¹⁾
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EF _{go}	ore/giorno	24 ⁽²⁾	24 ⁽²⁾	---	---	8 ⁽²⁾

Note:

- 1) Il tasso di inalazione di 0,9 m³/ora è relativo al caso di attività sedentaria. Nel caso di attività moderata e intensa il tasso di inalazione per i lavoratori va posto rispettivamente pari a 1,5 m³/ora e 2,5 m³/ora.
- 2) Poiché l'esposizione indoor e quella outdoor non si cumulano la frequenza giornaliera di esposizione (EF_{go}) è pari a quella massima ragionevolmente possibile in ambienti chiusi.

Rischio falda

$$C_{CSC} = C_{POE}^{GW}$$



$$C_{POE}^{GW} = FT \times C_{suolo}$$

$$C_{POE}^{GW} = FT \times C_{falda}$$

$$R_{GW} = \frac{C_{POE}^{GW}}{CSC_{GW}}$$

$$R_{GW(\text{accettabile})} \leq 1$$

Il punto di conformità è definito come il punto “teorico” o “reale” di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale l’Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee. Tale punto deve essere posto coincidente con il più vicino pozzo ad uso idropotabile o, qualora all’interno del sito non siano presenti pozzi ad uso idropotabile, in corrispondenza del **limite di proprietà dell’area** o, nel caso di siti di grandi dimensioni, in corrispondenza del confine della singola subarea.

Esempio: Pollo al PCB

Calcolo dell'Esposizione:

- Concentrazione PCB nei polli:

$$C = 200 \text{ ng}_{\text{PCB}}/\text{g}_{\text{grasso}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mg}_{\text{PCB}}/\text{g}_{\text{grasso}}$$

- Consumo giornaliero di pollo pro-capite: **50 g_{pollo}/giorno**

- Contenuto di grasso nella carne di pollo: **1g di grasso per 100 g di carne**

- Quantità giornaliera di grasso di pollo assunta:

$$CR = 50 \text{ g}_{\text{pollo}}/\text{giorno} * (1 \text{ g}_{\text{grasso}} / 100 \text{ g}_{\text{pollo}}) = 0,5 \text{ g}_{\text{grasso}}/\text{giorno}$$

- Frequenza di Esposizione: **EF = 365 giorni/anno**

- Durata dell'esposizione: **ED = 70 anni** (tutta la vita)

- Tempo di mediazione: **AT = 70 anni = 2550 giorni** (tutta la vita)

- Peso corporeo adulto: **BW = 70 Kg**

$$E = \frac{(2 \cdot 10^{-4} \text{ mg}_{\text{PCB}} / \text{g}_{\text{grasso}}) \cdot (0,5 \text{ g}_{\text{grasso}} / \text{giorno}) \cdot (365 \text{ giorni} / \text{anno}) \cdot (70 \text{ anni})}{(70 \text{ Kg}) \cdot (2550 \text{ giorni})}$$

$$E = 1,43 \cdot 10^{-6} \text{ mg}_{\text{PCB}} / (\text{Kg} \cdot \text{giorno})$$

Rischio incrementale cancerogeno associato:

$$R = E \cdot SF_{\text{PCB,ingestione}} = 1,43 \cdot 10^{-6} [\text{mg}_{\text{PCB}} / (\text{Kg} \cdot \text{giorno})] \cdot 2 [\text{mg}_{\text{PCB}} / (\text{Kg} \cdot \text{giorno})]^{-1} = 2,86 \cdot 10^{-6}$$

Uso residenziale e ricreativo

Sostanze Cancerogene

- L'Esposizione viene mediata sulla durata della vita ($ATc = 70$ anni)
- Viene calcolata l'esposizione mediata sull'età del recettore considerando che la durata di esposizione complessiva **ED = 30 anni** sia così suddivisa:

✓ ED = 6 anni ⇒ recettore bambino	} Esposizione mediata sull'età
✓ ED = 24 anni ⇒ recettore adulto	

Sostanze Non cancerogene

- L'Esposizione viene mediata sul numero di anni che il recettore trascorre sul sito ($ATnc = ED$)
- Viene calcolata l'esposizione relativa a ciascuna tipologia di recettore (adulto e bambino) considerando:

✓ ED = 6 anni ⇒ recettore bambino	⇒ Esposizione bambino
✓ ED = 24 anni ⇒ recettore adulto	⇒ Esposizione adulto

Uso residenziale e ricreativo

Sostanze Cancerogene

- Portata di esposizione mediata sull'età

$$EM_{adj} = EM_{bambino} + EM_{adulto}$$

$$EM_{adj} = \left[\frac{CR_{Bam} \times ED_{Bam} \times EF}{BW_{Bam} \times AT_c} + \frac{CR_{Ad} \times ED_{Ad} \times EF}{BW_{Ad} \times AT_c} \right]$$

Con:

- $ED_{Bam} = 6$ anni
- $ED_{Ad} = 24$ anni

- Esposizione mediata sull'età:

$$E_{adj} = C_{POE} \times EM_{adj}$$

Sostanze Non cancerogene

- Esposizione relativa a ciascuna tipologia di recettore:

Bambino ($ED_{Bam} = 6$ anni)

$$EM_{Bam} = \frac{CR_{Bam} \times ED_{Bam} \times EF}{BW_{Bam} \times AT_c}$$

$$E_{Bam} = C_{POE} \times EM_{Bam}$$

Adulto ($ED_{Ad} = 24$ anni)

$$EM_{Ad} = \frac{CR_{Ad} \times ED_{Ad} \times EF}{BW_{Ad} \times AT_c}$$

$$E_{Ad} = C_{POE} \times EM_{Ad}$$