

Calcolo dell'Esposizione Parametri di Esposizione

Ing. Antonella Vecchio, Dott. Marco Falconi

APAT

Agenzia per la protezione dell' ambiente e per i Servizi Tecnici

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 $\longrightarrow \frac{10^6 [Kg_{suolo} / mg_{suolo}]}{365 [giorni / anno]}$

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	adim.	1	1	1	1	1	
Fattore di assorbimento dermico ⁽¹⁾	ABS	adim.	0, 1 per le sostanze organiche 0,01 per le sostanze inorganiche					

Nota:

- 1) Il Fattore di assorbimento dermico ABS è tabulato per ciascuna sostanza nella Banca Dati ISS/ISPESL

Inalazione outdoor

$$C_{POE} = C_{aria,outdoor}$$

$$EM = \frac{B_o \times EF_{go} \times EF \times ED}{BW \times AT} \cdot CF$$

- $C_{aria, outdoor}$ = Concentrazione dell'inquinante in aria outdoor [$mg_{contaminante}/m^3_{aria}$]
- EM = Portata effettiva di Esposizione [$m^3_{aria}/(Kg_{peso corporeo} *giorno)$]
- B_o = Tasso di inalazione orario outdoor [m^3/ora] \Rightarrow Quantità oraria di aria inalata dal recettore
- EF_{go} = Frequenza giornaliera di esposizione indoor [ore/giorno] \Rightarrow Numero di ore al giorno che il recettore trascorre in ambiente aperto
- 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 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 1,0 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

$$C_{POE} = C_{aria, indoor}$$

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

- $C_{aria, indoor}$ = 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 outdoor** [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 aperti.

Ingestione di acqua potabile

$$C_{POE} = C_{acqua}$$

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

- C_{acqua} = Concentrazione dell'inquinante nell'acqua potabile [$mg_{contaminante}/L$]
- EM = Portata effettiva di Esposizione [$L/(Kg_{peso\ corporeo} *giorno)$]
- IR_w = Tasso di ingestione di acqua [$L/giorno$] \Rightarrow Consumo giornaliero di acqua potabile da parte del recettore
- 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 $\Rightarrow \frac{1}{365[giorni / anno]}$

Ingestione di acqua potabile

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 ingestione di acqua	IR _w	L/giorno	2	1	---	---	1 ⁽¹⁾

Nota:

- 1) Nel caso di lavoro sedentario, un tasso di ingestione di acqua pari a 1 L/giorno potrebbe essere ritenuto troppo conservativo; mentre nel caso di lavoro a cui corrisponde una dura attività fisica o condizioni di clima caldo, si ritiene più opportuno utilizzare il valore pari a 0,65 L/ora

Ingestione di acqua superficiale (nuotando)

$$C_{POE} = C_{acqua, sup}$$

$$EM = \frac{IR_{sw} \times EF_g \times EF \times ED}{BW \times AT} \cdot CF$$

- $C_{acqua, sup}$ = Concentrazione dell'inquinante nell'acqua superficiale $[mg_{contaminante}/L]$
- **EM = Portata effettiva di Esposizione** $[L / (Kg_{peso corporeo} * giorno)]$
- IR_{sw} = **Tasso di ingestione di acqua superficiale** $[L/ora] \Rightarrow$ Quantità oraria di acqua superficiale ingerita accidentalmente dal recettore
- EF_{gi} = **Frequenza giornaliera di esposizione** $[ore/giorno] \Rightarrow$ Numero di ore al giorno che il recettore è in contatto con l'acqua superficiale
- **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** $\Rightarrow \frac{1}{365 [giorni / anno]}$

Ingestione di acqua superficiale (nuotando)

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Comm/ Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	
Peso corporeo	BW	Kg	---	---	70	15	---
Tempo di mediazione sostanze cancerogene	ATc	anni	---	---	70	70	---
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene	ATnc	anni	---	---	=ED	=ED	---
Durata di esposizione	ED	anni	---	---	24	6	---
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	---	---	45	45	---
Tasso di ingestione di acqua superficiale	IR _{sw}	L/ora	---	---	0,05	0,05	---
Frequenza giornaliera di esposizione	EF _g	ore/giorno	---	---	2,6	2,6	---

Contatto dermico con acqua superficiale

$$C_{POE} = C_{acqua, sup}$$

$$EM = \frac{SA \times PC \times EF_g \times EF \times ED}{BW \times AT} \cdot CF$$

- $C_{acqua, sup}$ = Concentrazione dell'inquinante nell'acqua superficiale [$mg_{contaminante}/L$]
- EM = Portata effettiva di Esposizione [$L/(Kg_{peso corporeo} *giorno)$]
- SA = Superficie di pelle esposta [cm^2] \Rightarrow Superficie della pelle che entra in contatto con il suolo contaminato
- PC = Coefficiente di permeabilità [cm/ora] \Rightarrow velocità di penetrazione nella pelle del contaminante dissolto in acqua
- EF_{gi} = Frequenza giornaliera di esposizione [$ore/giorno$] \Rightarrow Numero di ore al giorno che il recettore è in contatto con l'acqua superficiale
- 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 $\frac{10^3 [L/cm^3_{acqua}]}{365 [giorni / anno]}$

Contatto dermico con acqua superficiale

Parametro	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Comm/ Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	
Peso corporeo	BW	Kg	---	---	70	15	---
Tempo di mediazione sostanze cancerogene	ATc	anni	---	---	70	70	---
Tempo di mediazione sostanze non cancerogene	ATnc	anni	---	---	=ED	=ED	---
Durata di esposizione	ED	anni	---	---	24	6	---
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	---	---	45	45	---
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	---	---	20000	7930	---
Frequenza giornaliera di esposizione	EF _g	ore/giorno	---	---	2,6	2,6	---
Coefficiente di permeabilità	PC	cm/ora	---	---	Specifico del contaminante		---

Nota:

- 1) Il Coefficiente di permeabilità PC è tabellato per ciascuna sostanza nella Banca Dati ISS/ISPESL

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**

✓ **ED = 24 anni** ⇒ **recettore adulto**

} **Esposizione mediata
sull'età**

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)

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

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