

# Parametri di esposizione e bersagli

**Ing. Simona Berardi**

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL)

## Vie e Modalità di Esposizione

Le vie e le modalità di esposizione sono quelle mediante le quali il potenziale bersaglio entra in contatto con le specie chimiche contaminanti. Si ha una esposizione diretta se la via di esposizione coincide con la sorgente di contaminazione; si ha una esposizione indiretta nel caso in cui il contatto del recettore con la sostanza inquinante avviene a seguito della migrazione dello stesso e quindi avviene ad una certa distanza dalla sorgente. In generale, le vie di esposizione possono essere suddivise in cinque categorie:

- suolo superficiale (SS),
- aria outdoor (AO),
- aria indoor (AI),
- acqua profonda (GW)
- acqua superficiale (SW).

Ad ogni sorgente di contaminazione possono corrispondere più vie di esposizione, e pertanto in siti diversi si possono avere combinazioni diverse, a seconda delle caratteristiche specifiche del sito stesso.

## Bersagli della Contaminazione

Per quanto riguarda i bersagli della contaminazione, ai fini dell'esecuzione di un'analisi di rischio sanitaria, questi sono esclusivamente umani. Tali ricettori sono differenziati in funzione:

- della loro localizzazione: infatti si devono prendere in considerazione nella analisi tutti i recettori umani compresi nell'area logica di influenza del sito potenzialmente contaminato. In tale ambito, si definiscono bersagli on-site quelli posti in corrispondenza della sorgente di contaminazione, e bersagli off-site quelli posti ad una certa distanza da questa.

- della destinazione d'uso del suolo; nel presente documento, le tipologie di uso del suolo, sono differenziate in:

- o Residenziale, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;

- o Ricreativo, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;

- o Industriale/Commerciale, a cui corrispondono bersagli esclusivamente adulti.

Si sottolinea che per quanto riguarda il bersaglio bambini, in assenza di dati di esposizione sitespecifici, si intende individui aventi una età compresa tra 0 - 6 anni.

## Scenari di Esposizione

Uno scenario di esposizione è **Residenziale** quando al suo interno sono presenti delle abitazioni che sono o potranno essere abitate. In questo territorio, i residenti sono in frequente contatto con gli inquinanti presenti, l'assunzione di sostanze inquinanti è giornaliera e a lungo termine con possibilità quindi di generare elevati rischi di esposizione.

Nello scenario di esposizione **Commerciale/Industriale** le persone esposte al maggior rischio di contaminazione sono i lavoratori presenti nel sito, i quali sono esposti alla contaminazione con frequenza praticamente giornaliera. Svolgendo attività fisiche impegnative i lavoratori presenti in sito saranno maggiormente esposti a determinate vie espositive.

Per **Ricreativo** si intende definire un qualsiasi terreno in cui la gente spende un limitato periodo di tempo giocando, pescando, cacciando o svolgendo una qualsiasi attività esterna. Dal momento che possono essere incluse attività molto differenti tra loro è necessaria una descrizione sito-specifica per definire i range di valore dei vari coefficienti di esposizione, che possono essere anche molto differenti tra loro.

## Tipologie di bersagli considerati

sorgente di contaminazione	modalità di migrazione (*)	via di esposizione	modalità di esposizione	tipo di esposizione	uso del suolo RESIDENZIALE		uso del suolo RICREATIVO		uso del suolo IND/COMM	
					bersaglio on-site (**)	bersaglio off-site	bersaglio on-site	bersaglio off-site	bersaglio on-site	bersaglio off-site
suolo superficiale	---	suolo superficiale	ingestione di suolo	<i>diretta</i>	A e B	---	A e B	---	A	---
	---		contatto dermico	<i>diretta</i>	A e B	---	A e B	---	A	---
	erosione del vento (e dispersione in aria)	aria outdoor	inalazione di polveri outdoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
	voatilizzazione (e dispersione in aria)		inalazione di vapori outdoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
	erosione del vento (e dispersione in aria)	aria indoor	inalazione di polveri indoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	voatilizzazione (e dispersione in aria)		inalazione di vapori indoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda (e trasporto in falda)	falda	ingestione di acqua a scopo potabile	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda e volatilizzazione da falda	aria outdoor	inalazione di vapori outdoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	A e B	A e B	A	A
		aria indoor	inalazione di vapori indoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	A
percolazione, (trasporto in falda e migrazione verso risorsa idrica superficiale)	acqua superficiale	contatto dermico e ingestione accidentale di acqua	<i>indiretta</i>	---	---	A e B	A e B	---	---	
suolo profondo	voatilizzazione (e dispersione in aria)	aria outdoor	inalazione di vapori outdoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
		aria indoor	inalazione di vapori indoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda (e trasporto in falda)	falda	ingestione di acqua a scopo potabile	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda e volatilizzazione da falda	aria outdoor	inalazione di vapori outdoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	A e B	A e B	A	A
		aria indoor	inalazione di vapori indoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	A
	percolazione, (trasporto in falda e migrazione verso risorsa idrica superficiale)	acqua superficiale	contatto dermico e ingestione accidentale di acqua	<i>indiretta</i>	---	---	A e B	A e B	---	---
falda	---	falda	ingestione di acqua a scopo potabile	<i>diretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	volatilizzazione da falda	aria outdoor	inalazione di vapori outdoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	A e B	A e B	A	A
		aria indoor	inalazione di vapori indoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	A
	---	acqua superficiale	contatto dermico e ingestione accidentale di acqua	<i>indiretta</i>	---	---	A e B	A e B	---	---

(\*) le modalità di migrazione tra parentesi comportano una esposizione off-site

(\*\*) A = Adulto, B =Bambino

## Calcolo della Portata di Esposizione (EM) - 1

L'esposizione  $E$  [ $\text{mg (kg d)}^{-1}$ ] rappresenta l'assunzione cronica giornaliera del contaminante. Questo fattore è dato dal prodotto tra la concentrazione, calcolata in corrispondenza del punto di esposizione  $C_{\text{poe}}$ , es. [ $\text{mg L}^{-1}$ ], e la portata effettiva di esposizione EM, es. [ $\text{L (kg d)}^{-1}$ ], che può rappresentare la quantità di suolo ingerita, di aria inalata o di acqua contaminata bevuta al giorno per unità di peso corporeo:

$$E = C_{\text{poe}} \times EM$$

Per la determinazione di entrambe i termini è necessario definire il modello concettuale del sito. La valutazione della portata effettiva di esposizione EM si traduce nella stima della dose giornaliera della matrice ambientale considerata, che può essere assunta dai recettori umani identificati nel modello concettuale.

La stima della portata effettiva di esposizione EM ha, generalmente, carattere conservativo secondo il principio della esposizione massima ragionevolmente possibile (RME, ossia 'Reasonable Maximum Exposure'). L'RME rappresenta il valore che produce il più alto grado di esposizione che ragionevolmente si aspetta di riscontrare nel sito. Ogni RME è specifico del percorso di esposizione. Per comprendere il vero significato di RME è necessario conoscere i concetti di limite superiore e inferiore; tali limiti sono rispettivamente il valore maggiore o minore riferito ad una via espositiva.

## Calcolo della Portata di Esposizione (EM) - 2

Quindi nel caso in cui il parametro in questione sia direttamente proporzionale all'esposizione allora il RME coinciderà con il limite superiore, altrimenti con il limite inferiore. Il motivo per cui viene utilizzato il RME è quello di trovare un valore che pur rispettando un caso conservativo, non sia al di fuori del possibile range di variazione dei fattori espositivi.

L'equazione generica per il calcolo della portata effettiva di esposizione EM [mg/kg/giorno] è la seguente:

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

In particolare, con il simbolo AT si indica il tempo medio di esposizione di un individuo ad una data sostanza. Per le sostanze cancerogene l'esposizione è calcolata sulla durata media della vita (AT = 70 anni), mentre per quelle non cancerogene è mediata sull'effettivo periodo di esposizione (AT = ED). Ne consegue che il rischio per sostanze cancerogene è relativo non al periodo di tempo della diretta esposizione, bensì a tutto l'arco della vita.

## Equazioni per il calcolo della portata di esposizione

▪ **Contatto dermico con suolo** 
$$EM = \left[ \frac{mg}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(SA \times AF \times ABS \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

▪ **Ingestione di suolo** 
$$EM = \left[ \frac{mg}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(IR \times FI \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

▪ **Ingestione di acqua di falda** 
$$EM = \left[ \frac{L}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(IR \times EF \times ED)}{(AT \times BW)}$$

▪ **Inalazione di vapori e polveri outdoor** 
$$EM = \left[ \frac{m^3}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(Bo \times EFg \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

▪ **Inalazione di vapori e polveri indoor** 
$$EM = \left[ \frac{m^3}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(Bi \times EFg \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

- **Contatto dermico con acqua superficiale (balneazione)**

$$EM = \left[ \frac{cm^2}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(SA \times PC \times EFg \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

- **Ingestione di acqua di superficie (balneazione)**

$$EM = \left[ \frac{L}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(IR \times EFg \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

## Fattori di Esposizione

E' evidente che la stima della portata effettiva di esposizione EM prevede la valutazione dei diversi parametri di esposizione relativi ai ricettori individuati. Nella Appendice I è descritta, per ogni fattore di esposizione e in corrispondenza di ogni modalità di esposizione, la procedura seguita per la selezione del valore da assumere quale default. L'utilizzo di tali valori di default è previsto per l'applicazione di un livello 1 di analisi di rischio sanitario e per l'applicazione del livello 2, nel caso in cui non si abbiano a disposizione dati sito-specifici.

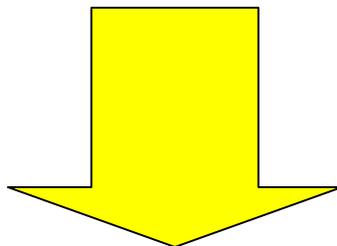


TABELLA PARAMETRI DI ESPOSIZIONE

## Fattori di esposizione (Default)

FATTORI DI ESPOSIZIONE (EF)	Simbolo	Unità di Misura	Residenziale		Ricreativo		Com/Ind	
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino		Adulto
<b>Fattori comuni a tutte le modalità di esposizione</b>								
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	15	70	
Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70	
Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	ATn	anni	ED	ED	ED	ED	ED	
<b>Ingestione di acqua potabile (GW)</b>								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	---	---	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	---	---	250	
Tasso di ingestione di acqua	IR <sub>w</sub>	L/giorno	2	1	---	---	1 <sup>(a)</sup>	
<b>Inalazione di Aria Outdoor (AO)</b>								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250	
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EFgo	ore/giorno	6	6	3	3	8	
Inalazione outdoor	Bo	m <sup>3</sup> /ora	0,9 <sup>(b)</sup>	0,7 <sup>(b)</sup>	3,2	1,9	2,5 <sup>(c)</sup>	
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	1	1	1	1	1	
<b>Inalazione di Aria Indoor (AI)</b>								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	---	---	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	---	---	250	
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	EFgi	ore/giorno	18	18	---	---	8	
Inalazione indoor (**)	Bi	m <sup>3</sup> /ora	0,9	0,7	---	---	2,5 <sup>(c)</sup>	
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim.	1	1	---	---	1	
<b>Contatto dermico con Suolo (SS)</b>								
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 <sup>2</sup>	8600	4000	8600	4000	8600 <sup>(d)</sup>	
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/(cm <sup>2</sup> giorno)	1	1	1	1	1	
Fattore di assorbimento dermico	ABS	adim.	0,1 / 0,01 <sup>(e)</sup>					
<b>Ingestione di Suolo (SS)</b>								
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250	
Frazione di suolo ingerita	FI	adim.	1	1	1	1	1	
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100	200	100	200	50	
<b>Ingestione di acqua di superficie (nuotando) (SW)</b>								
Durata di esposizione	ED	anni	---	---	24	6	---	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	---	---	45	45	---	
Frequenza giornaliera di esposizione	EFg	ore/giorno	---	---	2,6	2,6	---	
Tasso di ingestione	IR	litri/ora	---	---	0,05	0,05	---	
<b>Contatto dermico con acqua di superficie (nuotando) (SW)</b>								
Durata di esposizione	ED	anni	---	---	24	6	---	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	---	---	45	45	---	
Frequenza giornaliera di esposizione	EFg	ore/giorno	---	---	2,6	2,6	---	
Superficie di pelle esposta	SA	cm <sup>2</sup>	---	---	20000	7930	---	
Coefficiente di permeabilità (f)	PC	cm/ora	---					