

# 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).

## Bersagli della Contaminazione

Per quanto riguarda i bersagli della contaminazione 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.

In assenza di dati di esposizione sitospecifici, per BAMBINI 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.

## Bersagli

Al fine di poter localizzare gli stessi, è necessario reperire delle specifiche informazioni riguardanti l'area oggetto di indagine. Alcuni di queste informazioni riguardano:

l'uso del sito attuale e la destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici;

l'uso del suolo nell'intorno del sito (residenziale, industriale, commerciale, agricolo, ricreativo);

la presenza di pozzi e di corpi idrici superficiali;

l'utilizzo delle acque superficiali e sotterranee (potabile, irriguo, ricreativo);

la distribuzione della popolazione residente e delle altre attività antropiche.

## Bersagli

In particolare, se le due destinazioni d'uso del sito (attuale e futura) non risultano coincidenti, è opportuno effettuare una AdR per ognuna di esse e quindi selezionare il risultato maggiormente cautelativo in termini di rischio. Mentre, nel caso in cui non risulta possibile prevedere il tipo di attività associabile in futuro al sito, è necessario attribuire a questo la destinazione maggiormente cautelativa in termini di rischio potenziale, oppure prevedere la conduzione di una valutazione del sito integrativa al momento dell'attuazione del cambiamento di destinazione.

## 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) voaltilizzazione (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
	erosione del vento (e dispersione in aria) voaltilizzazione (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
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda (e trasporto in falda)	aria indoor	inalazione di polveri indoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda (e trasporto in falda)	aria indoor	inalazione di vapori indoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	---	---	A	A
	percolazione, (trasporto in falda e migrazione verso risorsa idrica superficiale)	falda	ingestione di acqua a scopo potabile	<i>indiretta</i>	A e B	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	voaltilizzazione (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
	voaltilizzazione (e dispersione in aria)	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, (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
	volatilizzazione da falda	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

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

VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

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

E = Esposizione [mg/kg - giorno]; assunzione cronica giornaliera del contaminante

EM = Portata effettiva di esposizione, es. [L (kg giorno)<sup>-1</sup>]; quantità di suolo ingerita o di aria inalata o di acqua contaminata bevuta al giorno per unità di peso corporeo

C<sub>poe</sub> = Concentrazione del contaminante nel suolo, nell'acqua, nell'aria o negli alimenti calcolata in corrispondenza del punto di esposizione, es. [mg/L] o [mg/kg-suolo]



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

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.

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** 
$$EM = \left[ \frac{mg}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(SA \times AF \times ADS \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

- **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** 
$$FM = \left[ \frac{m^3}{Kg \times giorno} \right] = \frac{(Bo \times EFg \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

- **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)**

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

## 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.

## Fattori di Esposizione

Materiale bibliografico di base:

[Manuale Unichim n. 196/1, 2002]

[RAGS/HHEM, EPA 1989]

[OSWER 9355.4-24, EPA 2001]

Concawe Report n.2, 1997]

[ASTM E1739-95] [PS 104-98]

software (RBCA Tool Kit ver 1.2, BP-RISK ver 4.0, GIUDITTA ver 3.0, ROME ver 2.1).

Inoltre: "Exposure Factor Handbook" dell'EPA  
"Children Exposure Factor Handbook" [EPA-CEFH, 2002].

RIVM Report 711701030 /2002.

Quest'ultimo contiene i risultati di una indagine svolta dal gruppo di lavoro CLARINET, che ha riguardato, tra l'altro, il confronto tra i valori dei fattori espositivi assunti da alcuni software europei (CETOX-human (Denimarca); CLEA D.D. (Regno unito); CSOIL 8.0 (Olanda); ROME 01 (Italia); Vlier-humaan (Belgio e Fiandre); modello di origine svizzera; modello di origine francese)

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 (1)	PC	cm/ora	---					

**Fattori di esposizione (Default)**