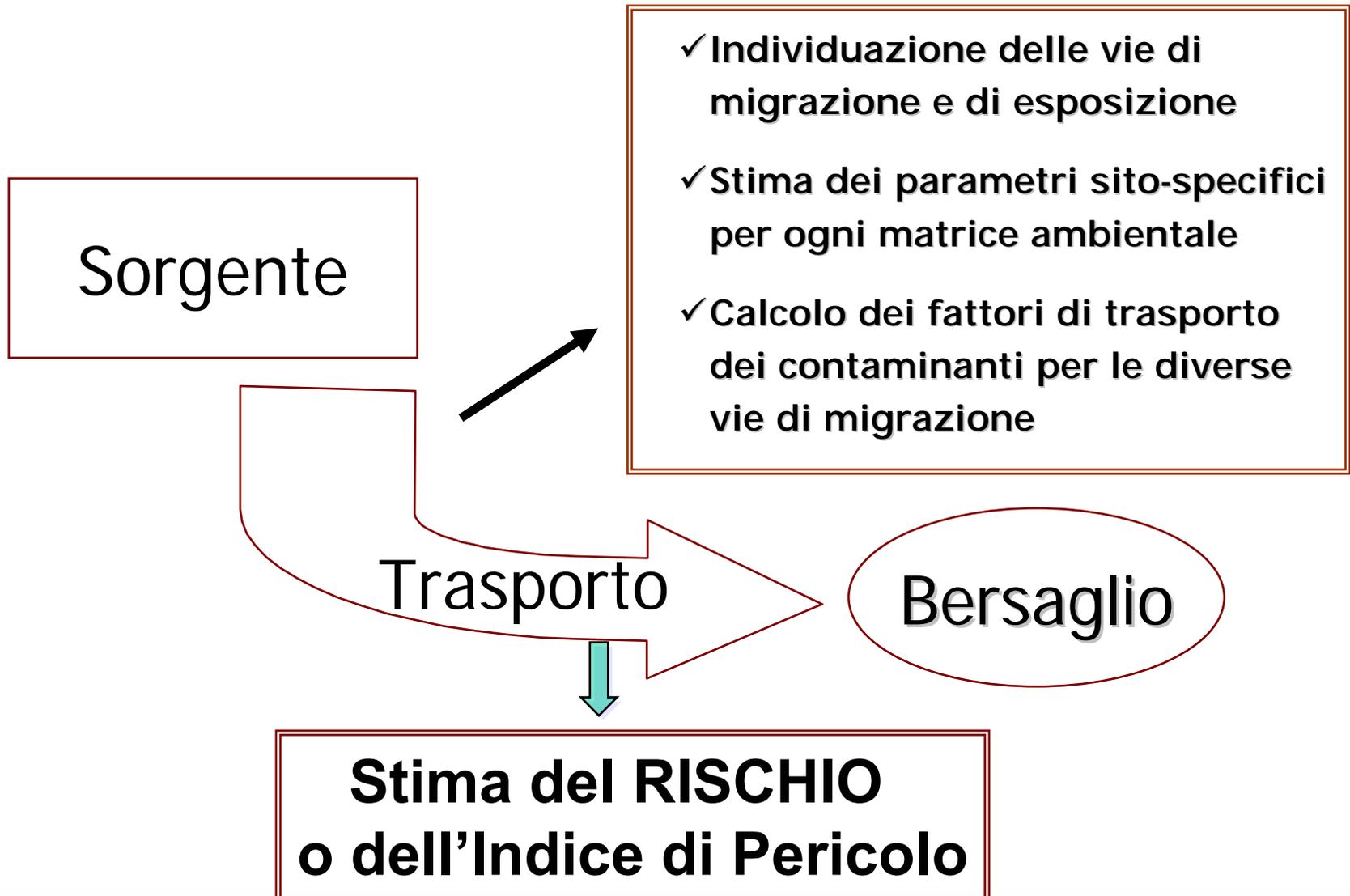


Costruzione del Modello concettuale del Sito (MCS): Vie di Migrazione e Trasporto dei Contaminanti

Ing. Simona Berardi

ISPESL - DIPIA

Definizione del Modello Concettuale



Concentrazione nel Punto di Esposizione

RISCHIO = ESPOSIZIONE x TOSSICITA'

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

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

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

C_{poe} = 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]

Concentrazione nel Punto di Esposizione

$$C_{poe} = C_s \cdot FT$$

C_{poe} = concentrazione al punto di esposizione

C_s = concentrazione in sorgente

FT = fattore di trasporto



(3.2) Vie di migrazione: criteri per la stima dei parametri

Per il calcolo dei fattori di trasporto (FT) e, quindi, per stimare la concentrazione della specie chimica in corrispondenza del bersaglio (C_{poe}), nota quella alla sorgente (C_s), è indispensabile determinare le caratteristiche fisiche dei comparti ambientali coinvolti:

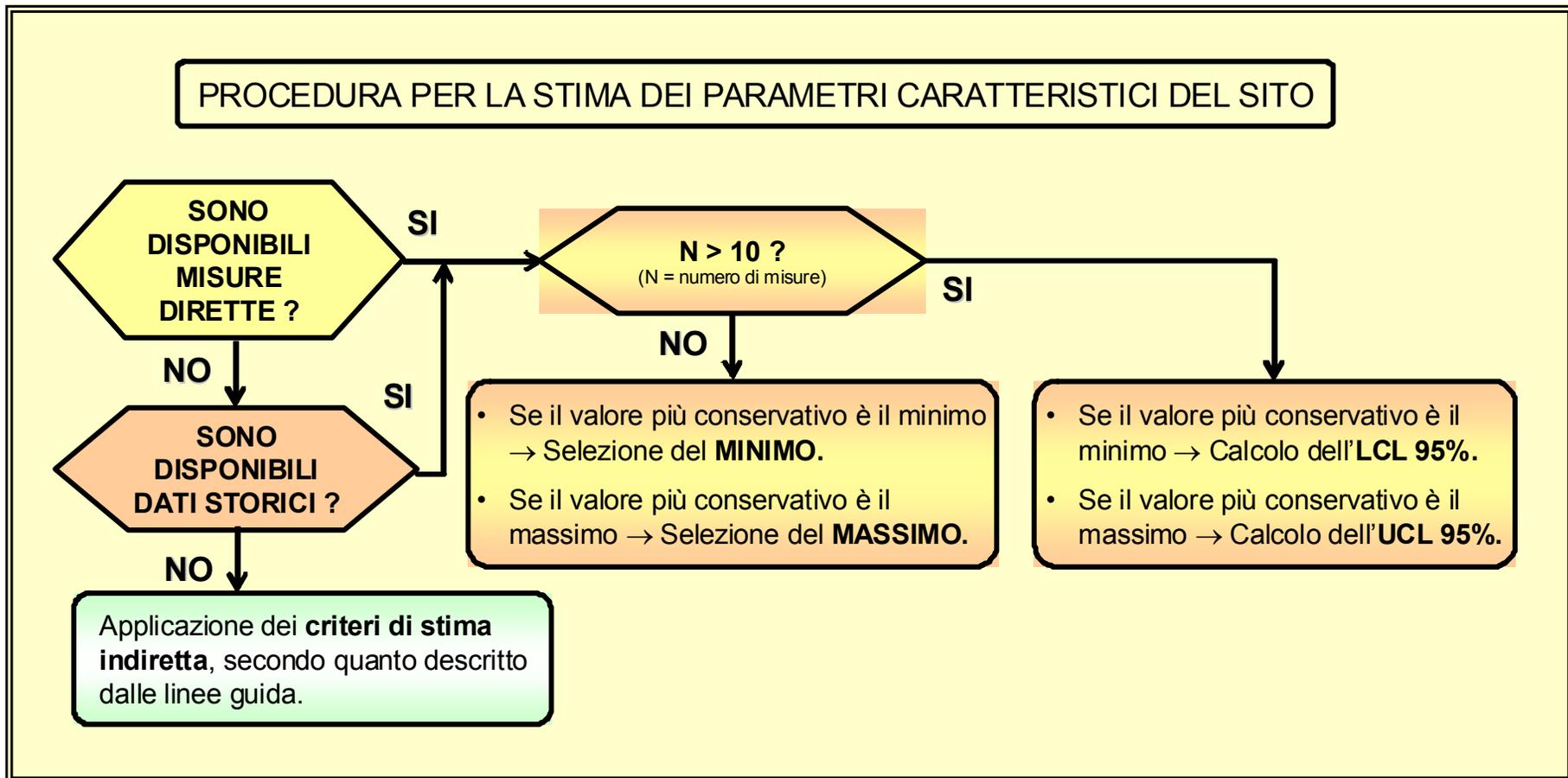
- suolo insaturo
- suolo saturo
- aria outdoor
- aria indoor
- (acqua superficiale)

(3.2) Vie di migrazione: criteri per la stima dei parametri

Per un'analisi di livello 1, in genere, vengono utilizzati “valori sito-generici” (“valori di default”), ossia valori indipendenti dalle caratteristiche specifiche del sito in esame. Questi sono definiti sulla base di assunzioni estremamente conservative.

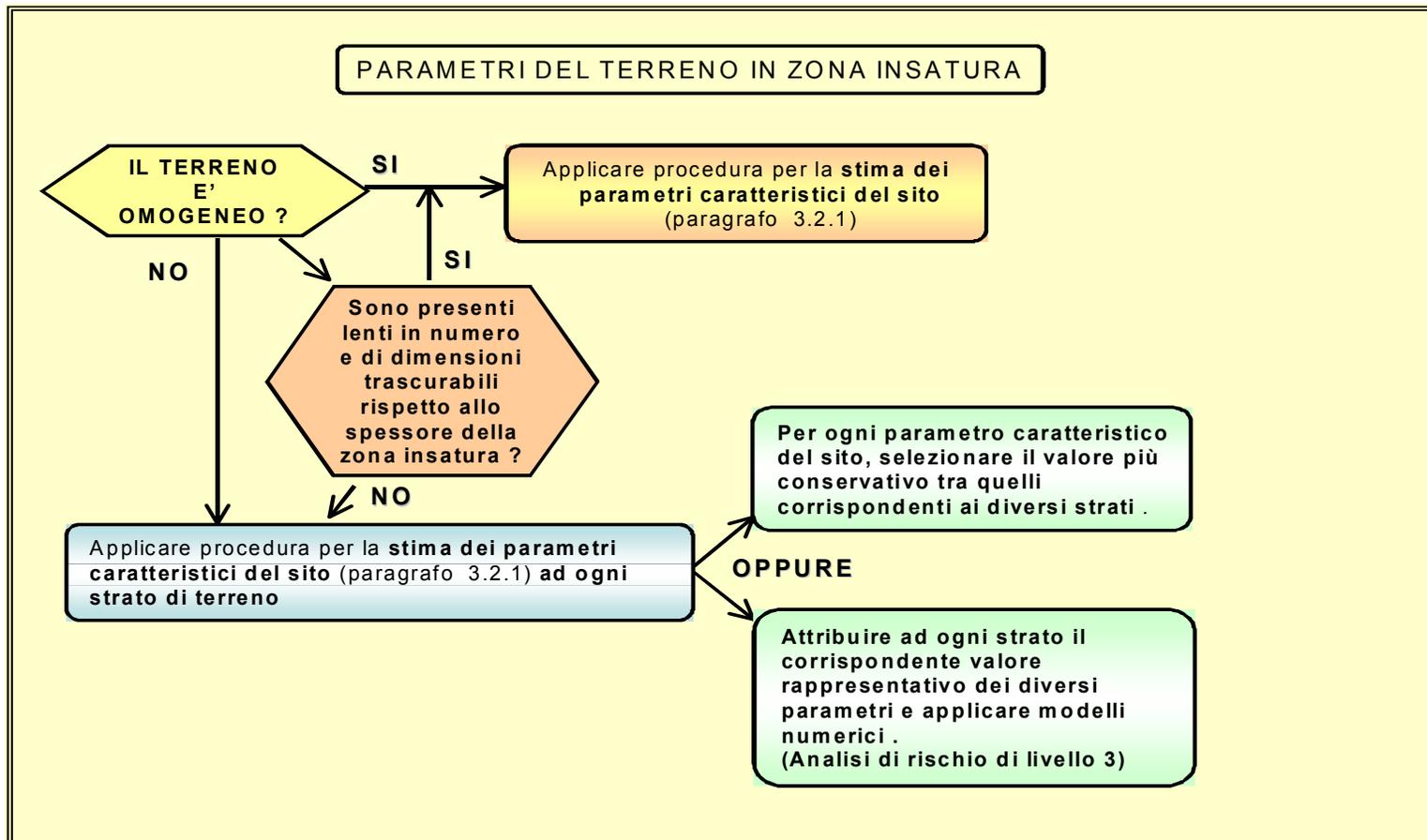
Per un livello 2 e 3 di analisi, si utilizzano “valori sito-specifici”, ossia valori strettamente dipendenti dalle caratteristiche del sito potenzialmente contaminato.

(3.2.1) Criteri per la stima dei parametri caratteristici del sito



(3.2.1) Criteri per la stima dei parametri caratteristici del sito

Nel caso dei parametri del terreno in zona insatura, la suddetta procedura è preceduta da una ulteriore fase di analisi dei dati:



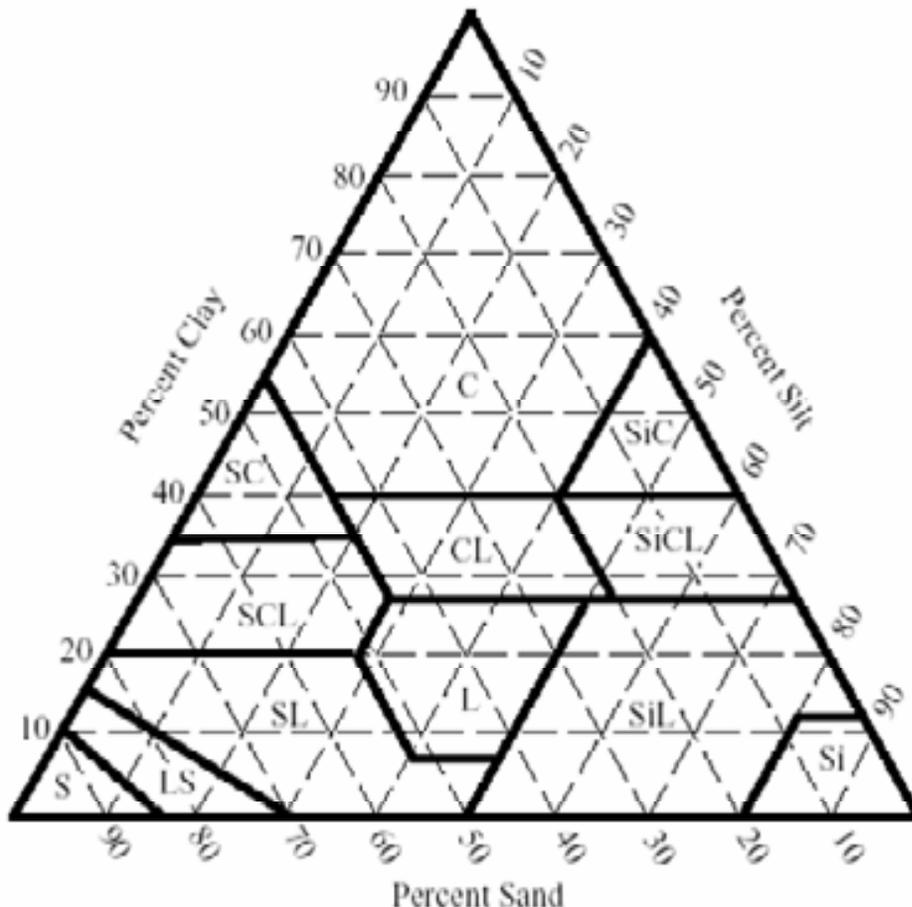
(3.2.1) Criteri per la stima dei parametri caratteristici del sito

La granulometria del terreno non entra direttamente nelle equazioni utili per il calcolo dei fattori di trasporto. Nonostante ciò, la sua determinazione risulta spesso utile per la stima indiretta dei valori di alcune proprietà fisiche del suolo saturo e insaturo.

TIPO DI TERRENO		DIAMETRO DELLE PARTICELLE (mm)	
TERRENI A GRANA MOLTO GROSSA	Blocchi	200	
	Ciottoli	60	
TERRENI A GRANA GROSSA (più del 65% in sabbia e ghiaia)	Ghiaia	Grossa	20
		Media	6
		Fine	2
	Sabbia	Grossa	0,6
		Media	0,2
		Fine	0,06
TERRENI A GRANA FINE (più del 35% in argilla e limo)	Limo	Grosso	0,02
		Medio	0,006
		Fine	0,002
	Argilla	< 0.002	

(3.2.1) Criteri per la stima dei parametri caratteristici del sito

E' possibile effettuare una classificazione dei terreni compositi basata sul metodo dell'USDA (U.S. Department of Agriculture)



Tessitura del suolo	
Simbolo	<i>nome</i>
S	Sand
LS	Loamy Sand
SL	Sandy Loam
SCL	Sandy Clay Loam
L	Loam
SiL	Silt Loam
CL	Clay Loam
SiCL	Silty Clay Loam
SiC	Silty Clay
Si	Silt
SC	Sandy Clay
C	Clay

(3.2.1) Criteri per la stima dei parametri caratteristici del sito

Percentuali di sabbia, argilla e limo calcolate nei centroidi di ogni zona caratteristica del terreno descritta nel diagramma triangolare

Tessitura del suolo			% argilla	% limo	% sabbia
Simbolo	<i>inglese</i>	<i>italiano</i>			
S	Sand	Sabbioso	3.33	5.00	91.67
LS	Loamy Sand	Sabbioso tendente medio	6.25	11.25	82.50
SL	Sandy Loam	Medio sabbioso	10.81	27.22	61.97
SCL	Sandy Clay Loam	Medio argilloso tendente sabbioso	26.73	12.56	60.71
L	Loam	Di grana media	18.83	41.01	40.16
SiL	Silt Loam	Medio limoso	12.57	65.69	21.74
CL	Clay Loam	Medio argilloso	33.50	34.00	32.50
SiCL	Silty Clay Loam	Medio argilloso tendente limoso	33.00	56.50	10.00
SiC	Silty Clay	Argilloso limoso	46.67	46.67	6.66
Si	Silt	Limoso	6.00	87.00	7.00
SC	Sandy Clay	Argilloso sabbioso	41.67	6.67	51.66
C	Clay	Argilloso	64.83	16.55	18.62

(3.2.2) Parametri del terreno in zona insatura

SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Necessità di misure sito-specifiche
Caratteristiche fisiche del terreno in zona insatura				
ρ_s	Densità del suolo	g/cm ³	1,7	SI'
θ_T	Porosità totale del terreno in zona insatura	adim.	0,41	
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona satura	adim.	0,353	
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	0,103	
θ_a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	0,25	
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	0,318	
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.	0,035	
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	g-C/g-suolo	0,01	SI'
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	SI'
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6,8	SI'

(3.2.2) Parametri del terreno in zona insatura

Per la stima indiretta di q_T , q_e , q_w e q_a si fa riferimento ai valori riportati in Tabella e desunti dalla integrazione dei dati forniti dai riferimenti bibliografici a cui si fa più comunemente riferimento [Carsel et al., 1988] [Van Genuchten model, 1980].

Range di valori di θ_w in funzione della distribuzione granulometrica

Tessitura	θ_w (massimo)	θ_w (minimo)	θ_w (varianza)
Sand	0,08	0,05	1,62E-04
Loamy Sand	0,12	0,05	1,34E-03
Sandy Loam	0,23	0,04	9,54E-03
Sandy Clay Loam	0,24	0,06	9,89E-03
Loam	0,26	0,06	1,20E-02
Silt Loam	0,30	0,07	2,76E-02
Clay Loam	0,26	0,08	1,64E-02
Silty Clay Loam	0,31	0,09	2,42E-02
Silty Clay	0,34	0,11	1,62E-02
Silt	0,30	0,05	1,93E-02
Sandy Clay	0,31	0,12	1,08E-02
Clay	0,38	0,10	2,26E-02

Valori di θ_T , θ_r , θ_e , θ_w e θ_a in funzione della distribuzione granulometrica

Tessitura	θ_T	θ_r	θ_e	θ_w	θ_a
Sand	0,43	0,045	0,385	0,068	0,317
Loamy Sand	0,41	0,057	0,353	0,103	0,250
Sandy Loam	0,41	0,065	0,345	0,194	0,151
Sandy Clay Loam	0,39	0,100	0,290	0,178	0,112
Loam	0,43	0,078	0,352	0,213	0,139
Silt Loam	0,45	0,067	0,383	0,255	0,128
Clay Loam	0,41	0,095	0,315	0,200	0,115
Silty Clay Loam	0,43	0,089	0,341	0,246	0,095
Silty Clay	0,36	0,070	0,290	0,274	0,016
Silt	0,46	0,034	0,426	0,278	0,148
Sandy Clay	0,38	0,100	0,280	0,228	0,052
Clay	0,38	0,068	0,312	0,304	0,008

(3.2.2) Parametri del terreno in zona insatura

Per la stima indiretta di $q_{w,cap}$ e $q_{a,cap}$ si fa riferimento ai valori riportati in Tabella e desunti dalla integrazione dei dati forniti dai riferimenti bibliografici a cui si fa più comunemente riferimento [Connor et al., 1996] [Van Genuchten model, 1976 e 1980].

Valori di $\theta_{w,cap}$ e $\theta_{a,cap}$ in funzione della distribuzione granulometrica					
<i>Tessitura</i>	θ_T	θ_r	θ_e	$\theta_{w,cap}$	$\theta_{a,cap}$
Sand	0,43	0,045	0,385	0,330	0,055
Loamy Sand	0,41	0,057	0,353	0,318	0,035
Sandy Loam	0,41	0,065	0,345	0,288	0,057
Sandy Clay Loam	0,39	0,100	0,290	0,248	0,042
Loam	0,43	0,078	0,352	0,317	0,035
Silt Loam	0,45	0,067	0,383	0,297	0,086
Clay Loam	0,41	0,095	0,315	0,288	0,027
Silty Clay Loam	0,43	0,089	0,341	0,317	0,024
Silty Clay	0,36	0,070	0,290	0,282	0,008
Silt	0,46	0,034	0,426	0,383	0,043
Sandy Clay	0,38	0,100	0,280	0,252	0,028
Clay	0,38	0,068	0,312	0,308	0,004

(3.2.2) Parametri del terreno in zona insatura

Nel caso in cui la sorgente secondaria di contaminazione sia costituita da terreno omogeneo o approssimabile come tale, l'infiltrazione efficace media annua può essere stimata in funzione delle precipitazioni medie annue e del tipo di tessitura prevalente nel suolo (sabbiosa, limosa o argillosa) a mezzo delle seguenti relazioni empiriche:

$$I_{ef} = 0,0018 \cdot P^2 \quad \text{per terreni sabbiosi (SAND)}$$

$$I_{ef} = 0,0009 \cdot P^2 \quad \text{per terreni limosi (SILT)}$$

$$I_{ef} = 0,00018 \cdot P^2 \quad \text{per terreni argillosi (CLAY)}$$

dove le suddette correlazioni prevedono valori di precipitazione media annua e di Infiltrazione efficace espressi in cm/anno.

(3.2.2) Parametri del terreno in zona insatura

Inoltre, per correlare le relazioni sopra riportate con la classificazione dei terreni compositi basata sul metodo dell'USDA, si sottolinea che:

- Nella classe SAND sono comprese le tessiture: Sand, Loamy Sand e Sandy Loam;
- Nella classe SILT sono comprese le tessiture: Sandy Clay Loam, Loam, Silt Loam e Silt;
- Nella classe CLAY sono comprese le tessiture: Clay Loam, Silty Clay Loam, Silty Clay, Sandy Clay e Clay.

(3.2.3) Parametri del terreno in zona satura

SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Necessità di misure sito-specifiche
Caratteristiche fisiche del terreno in zona satura				
v_{gw}	Velocità di Darcy	cm/anno	2500	SI'
K_{sat}	Conducibilità idraulica del terreno saturo	cm/anno	---	SI'
i	Gradiente idraulico	adim.	---	SI'
v_e	Velocità media effettiva nella falda	cm/anno	7082	SI'
θ_T	Porosità totale del terreno in zona satura	adim.	0,41	
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona satura	adim.	0,353	
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo saturo	g-C/g-suolo	0,001	SI'
α_x	Dispersione longitudinale	cm	10	
α_y	Dispersione trasversale	cm	3,3	
α_z	Dispersione verticale	cm	0,5	
pH	pH del suolo saturo	adim.	6,8	SI'
λ	Coefficiente di decadimento del primo ordine	1/giorno	0	SI'

(3.2.3) Parametri del terreno in zona satura

Velocità di Darcy v_{gw} [cm/anno]
$$v_{gw} = K_{sat} \cdot i$$

Gradiente idraulico: rapporto tra la perdita di carico piezometrico Δh e il tratto L in cui essa si verifica

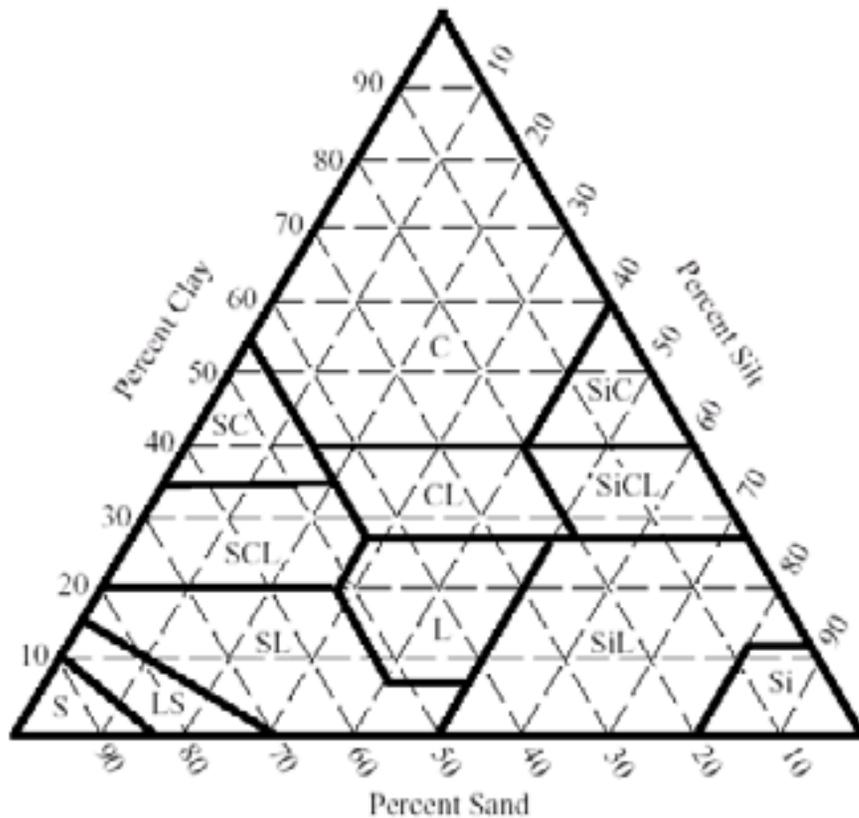
$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Velocità media effettiva dell'acqua nella falda v_e [cm/anno]

$$v_e = \frac{v_{gw}}{\theta_e} = \frac{K_{sat} \cdot i}{\theta_e}$$

(3.2.3) Parametri del terreno in zona satura

Valori di K_{sat} in funzione della distribuzione granulometrica



<i>Tessitura</i>	K_{sat} [cm/s]
	(Carsel and Parrish., 1988)
Sand	8,25E-03
Loamy Sand	4,05E-03
Sandy Loam	1,23E-03
Sandy Clay Loam	3,64E-04
Loam	2,89E-04
Silt Loam	1,25E-04
Clay Loam	7,22E-05
Silty Clay Loam	1,94E-05
Silty Clay	5,56E-06
Silt	6,94E-05
Sandy Clay	3,33E-05
Clay	5,56E-05

(3.2.3) Parametri del terreno in zona satura

La dispersione idrodinamica o meccanica è quel fenomeno per cui avviene una miscelazione meccanica del soluto nell'acqua e può essere paragonata all'effetto di turbolenza che si ha in un corso d'acqua.

Dispersività longitudinale

1. Pickens e Grisak (1981) $\alpha_x(1) = 0,1 \times L$ (A.1)

2. Xu e Eckstein (1995) $\alpha_x(2) = 0.83 \times (\log L)^{2,414}$ (A.2)

3. Gelhar et al. (1985): $\ln \alpha_x(3) = -3,795 + 1,774 \ln L - 0,093(\ln L)^2$ (A.3)

Noto il valore di dispersività longitudinale α_x , si stimano i valori di dispersività trasversale α_y e verticale α_z attraverso le seguenti relazioni [American Petroleum Institute's Report, 1987]:

$$\alpha_y = \frac{\alpha_x}{3}$$

$$\alpha_z = \frac{\alpha_x}{20}$$

(3.2.3) Parametri del terreno in zona satura

Coefficiente di degradazione del primo ordine, I [d^{-1}]

E' un parametro che tiene conto di eventuali processi di biodegradazione delle sostanze inquinanti nelle acque di falda.

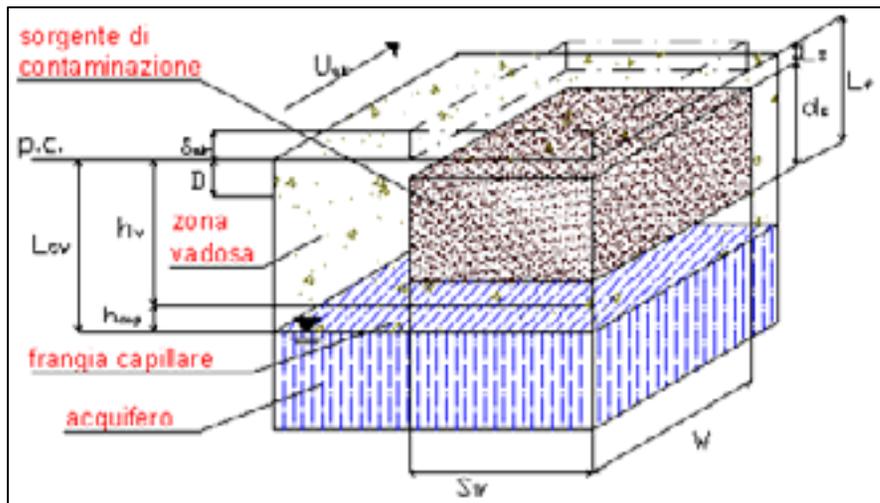
In riferimento alla sua stima , si ritiene opportuno:

- per una analisi di livello 1, porre come valore di default $I=0$;
- per una analisi di livello 2, è possibile porre $I \neq 0$ solo se, oltre ad una ricerca in letteratura di *case history* simili, si preveda anche l'esecuzione di test di laboratorio o di campo mirati a studiare la reale situazione di biodegradazione sito-specifica. Altrimenti va adottato il valore di default $I=0$.

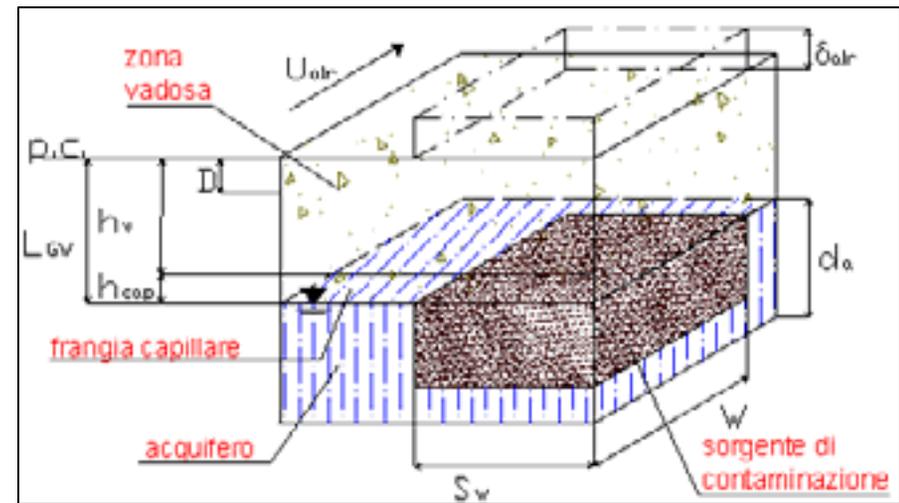
(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Vie di migrazione:

- volatilizzazione da suolo superficiale, suolo profondo e falda;
- emissione di particolato da suolo superficiale.



MCS: sorgente di contaminazione
nel suolo insaturo



MCS: sorgente di contaminazione
nel suolo saturo

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Necessità di misure sito-specifiche
Caratteristiche ambienti outdoor				
δ_{air}	Altezza della zona di miscelazione	cm	200	
W'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento	cm	4500	SI'
S_w'	Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione ortogonale a quella principale del vento	cm	4500	SI'
A'	Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)	cm ²	20250000	SI'
U_{air}	Velocità del vento	cm/s	225	SI'
σ_y	Coefficiente di dispersione trasversale	cm	---	
σ_z	Coefficiente di dispersione verticale	cm	---	
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	anno	30	
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	anno	25	
P_e	Portata di particolato per unità di superficie	g/(cm ² -s)	6,90E-14	

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Zona di miscelazione

La zona di miscelazione viene identificata con il volume di aria all'interno del quale si ipotizza avvenga la miscelazione tra i contaminanti volatili provenienti dal suolo e l'aria stessa.

Tale volume può essere schematizzato come un parallelepipedo la cui altezza è definita altezza della zona di miscelazione d_{air} [cm], avente per lati di base l'estensione della sorgente nella direzione rispettivamente parallela W' [cm] e ortogonale Sw' [cm] a quella prevalente del vento.

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Estensione della sorgente in direzione parallela e ortogonale alla direzione prevalente del vento W' [cm] e S_w' [cm]

La determinazione di questo parametro richiede di individuare preventivamente la direzione prevalente del vento.

Tale parametro coincide con la massima estensione della sorgente (nel suolo insaturo o in falda) lungo la direzione parallela alla direzione prevalente del vento.

Il miglior criterio per l'individuazione della direzione prevalente del vento è quello di utilizzare i diagrammi anemologici determinati da misure desunte da stazioni presenti sul territorio.

In assenza di misure, si fa coincidere con la massima estensione del sito.

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Direzione e Velocità del vento U_{air} [cm/s]

La direzione e la velocità del vento vengono considerati costanti sull'area di interesse (dalla sorgente al bersaglio sia on-site che off-site) e pari al valor medio annuo nella medesima area.

Essi possono essere determinati elaborando i dati della centralina meteorologica più prossima al sito in esame e rappresentativa dello stesso.

I valori di velocità del vento forniti dalle centraline meteorologiche, in genere, corrispondono a misure effettuate alla quota di 10 m dal p.c.. Per stimare il valore di velocità alla quota di 2 m, e quindi in corrispondenza della zona di miscelazione, è possibile applicare la seguente relazione empirica [S.R. Hanna et al., 1982]:

$$\frac{U_{air}(z_1)}{U_{air}(z_2)} = \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^p$$

dove “p” è funzione della classe di stabilità atmosferica e della rugosità del suolo.

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Direzione e Velocità del vento U_{air} [cm/s]

In Tabella si riportano i valori di “p” per 2 tipi di rugosità, area urbana e rurale, e per le sei classi di stabilità atmosferica, secondo la classificazione di Pasquill-Gifford.

Valori del parametro “p”

p	A	B	C	D	E	F
Suolo urbano	0,15	0,15	0,20	0,25	0,40	0,60
Suolo rurale	0,07	0,07	0,10	0,15	0,35	0,55

Nel caso in cui non sia possibile individuare il valore medio annuo della velocità del vento dell'area in esame e non risulta quindi possibile identificare anche la classe di stabilità atmosferica rappresentativa, si deve fare riferimento a due categorie di stabilità: D5 e F2.

In particolare, la classe D5 è considerata la classe che si verifica con più probabilità; mentre, la classe F2 rappresenta una scelta estremamente conservativa a carattere tipicamente notturno.

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Classi di stabilità atmosferica

Classi di stabilità di Pasquill

Velocità del vento a 10 m dal p.c. (m/s)	Radiazione solare Incidente (GIORNO)			Copertura nuvolosa (NOTTE)	
	Forte	Moderata	Debole	≥50%	<50%
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

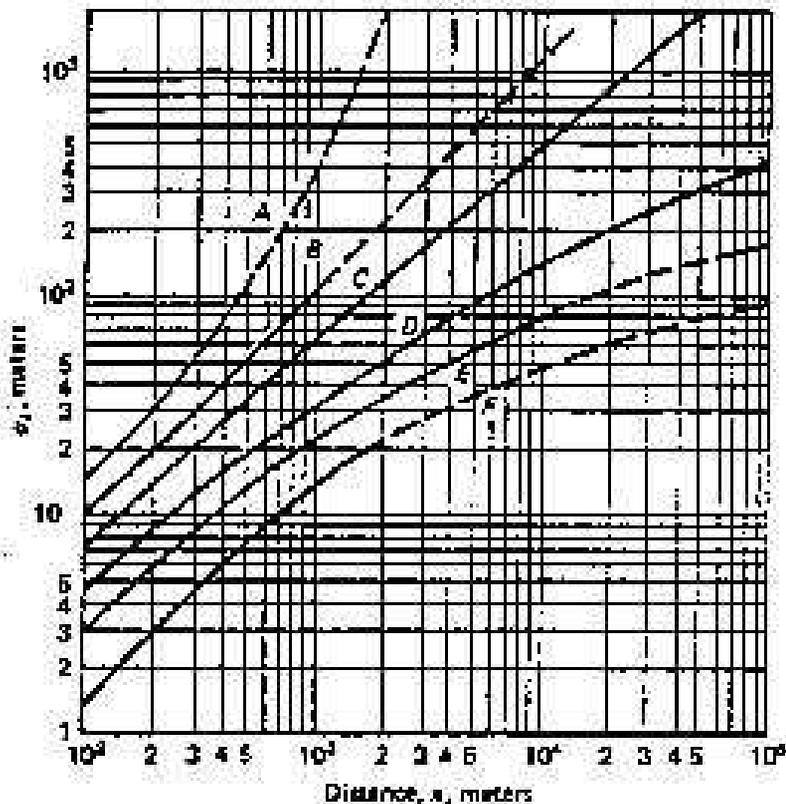
Classi di stabilità atmosferica

Classi di stabilità atmosferica in funzione del gradiente termico verticale

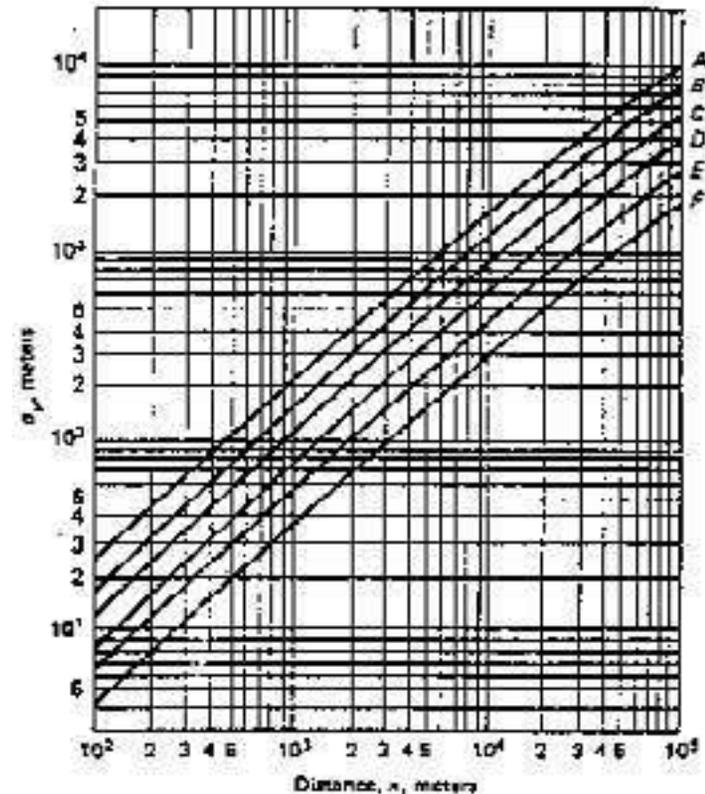
Grado di stabilità	Categoria di Pasquill-Gifford	Gradiente termico verticale (°C/100 m)
Instabilità forte	A	<-1,9
Instabilità moderata	B	Da -1,9 a -1,7
Instabilità debole	C	Da -1,7 a -1,5
Neutralità	D	Da -1,5 a -0,5
Stabilità debole	E	Da -0,5 a +1,5
Stabilità moderata	F	Da +1,5 a +4
Stabilità forte	G	>+4

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Coefficiente di dispersione trasversale e verticale



Coefficiente di dispersione trasversale σ_y (Turner, 1970)



Coefficiente di dispersione verticale σ_z (Turner, 1970)

(3.2.4) Parametri degli ambienti aperti

Coefficiente di dispersione trasversale e verticale

Coefficienti di dispersione (Briggs, 1973)

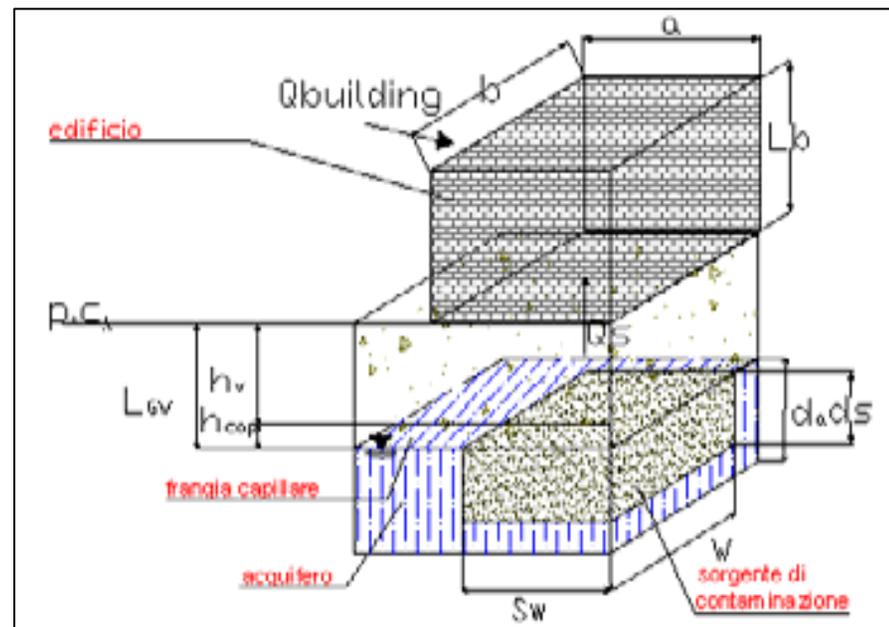
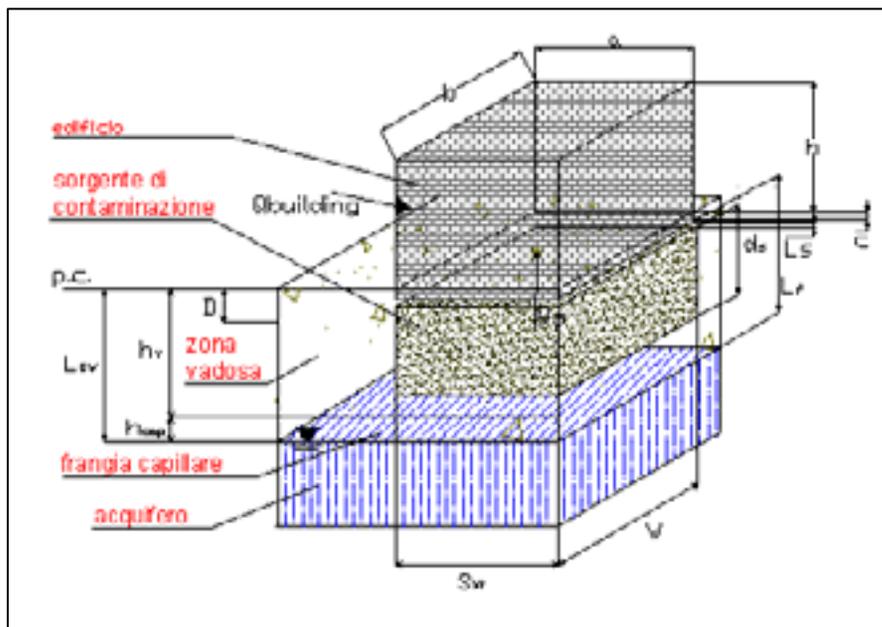
Classe di stabilità di Pasquill	σ_y (m)	σ_z (m)
Aree aperte (campagna)		
A	$0.22d (1 + 0.0001d)^{(-1/2)}$ (*)	0.20d
B	$0.16d (1 + 0.0001d)^{(-1/2)}$	0.12d
C	$0.11d (1 + 0.0001d)^{(-1/2)}$	$0.07d (1 + 0.0002d)^{(-1/2)}$
D	$0.08d (1 + 0.0001d)^{(-1/2)}$	$0.06d (1 + 0.0015d)^{(-1/2)}$
E	$0.06d (1 + 0.0001d)^{(-1/2)}$	$0.03d (1 + 0.0003d)^{-1}$
F	$0.04d (1 + 0.0001d)^{(-1/2)}$	$0.016d (1 + 0.0003d)^{-1}$
Aree Urbane		
A – B	$0.32d (1 + 0.0004d)^{(-1/2)}$	$0.24 (1 + 0.001d)^{(-1/2)}$
C	$0.22d (1 + 0.0004d)^{(-1/2)}$	0.20d
D	$0.16d (1 + 0.0004d)^{(-1/2)}$	$0.14d (1 + 0.0003d)^{(-1/2)}$
E – F	$0.11d (1 + 0.0004d)^{(-1/2)}$	$0.08d (1 + 0.00015d)^{(-1/2)}$

(*) d = Distanza dalla sorgente al bersaglio (m), dove $10^2 < d < 10^4$ m.

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

Vie di migrazione:

- volatilizzazione da suolo e falda;
- (emissione di particolato da suolo superficiale).



MCS: sorgente di contaminazione nel suolo insaturo ed edificio parzialmente interrato

MCS: sorgente di contaminazione nel suolo saturo ed edificio fuori terra

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Necessità di misure sito-specifiche
Caratteristiche ambienti indoor (1/2)				
A_b	Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione	cm ²	700000	SI'
L_{crack}	Spessore delle fondazioni/muri	cm	15	SI'
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (RES.)	cm	200	SI'
L_b	Rapporto tra volume indoor ed area di infiltrazione (IND.)	cm	300	SI'
η	Frazione areale di fratture	adim.	0,01	
θ_{wcrack}	Contenuto volumetrico di acqua nelle fratture	adim.	0,12	
θ_{acrack}	Contenuto volumetrico di aria nelle fratture	adim.	0,26	
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (RES.)	1/s	0,00014	

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

SIMBOLO	PARAMETRO	UNITA' DI MISURA	Valore di default doc. APAT (tab. 5.2)	Necessità di misure sito-specifiche
Caratteristiche ambienti indoor (2/2)				
ER	Tasso di ricambio di aria indoor (IND.)	1/s	0,00023	
L_T	Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base delle fondazioni	cm	0 (285)	SI'
Z_{crack}	Profondità delle fondazioni	cm	15	SI'
K_v	Permeabilità del suolo al flusso di vapore	cm ²	1,00E-08	
Δp	Differenza di pressione tra indoor e outdoor	g/(cm*s ²)	0	
μ_{air}	Viscosità del vapore	g/(cm*s)	1,81E-04	
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (IND.)	anni	30	
τ	Tempo medio di durata del flusso di vapore (RES.)	anni	25	
F_i	Frazione di polvere indoor	adim.	1	

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

Superficie delle fondazioni e delle pareti coinvolte dall'infiltrazione A_b [cm²]

Rappresenta la superficie dell'edificio complessivamente interessata dal fenomeno di infiltrazione indoor dei contaminanti.

Nel caso di edificio e/o locale fuori terra, questa coincide con l'area delle fondazioni, ossia l'area della base della struttura:

$$A_b = a \times b$$

Nel caso di locali interrati o seminterrati, tale superficie sarà data dalla somma dell'area della base dell'edificio più l'area delle pareti interrate:

$$A_b = (a \times b) + 2(a \times c) + 2(b \times c)$$

I simboli a e b indicano rispettivamente la larghezza e la lunghezza dell'edificio, mentre c indica l'altezza della parete interrata

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

Rapporto tra volume indoor e area di infiltrazione L_B [cm]

Nel caso di edifici fuori terra il rapporto tra volume e area dell'edificio coincide con l'altezza h dell'edificio stesso:

$$L_b = \frac{V_b}{A_b} = h$$

Nel caso di locali interrati o seminterrati, tale rapporto risulta inferiore all'altezza dell'edificio, poiché nel calcolo di A_b si tiene conto anche dell'area delle pareti interrate soggette a infiltrazione:

$$L_b = \frac{V_b}{A_b} < h$$

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

Frazione areale di fratture h [adim.]

La frazione areale di fratture rappresenta il rapporto tra l'area delle fratture nella superficie di infiltrazione e l'area totale della superficie:

$$\eta = \frac{A_{crack}}{A_b}$$

Può variare in un range compreso tra 0 (superficie priva di fratture) e 1 (superficie priva di pavimentazione).

Il valore indicato come default all'interno del presente documento è 0,01, in conformità a quanto riportato negli standard ASTM e nel database dei software ROME, RBCA Toolkit, GIUDITTA e RISC.

(3.2.5) Parametri degli ambienti confinati

Si osserva che, qualora l'Ente di Controllo preposto alla valutazione dell'analisi di rischio ritenga opportuno, tale valore, nell'applicazione di un Livello 2 di analisi, potrebbe essere modificato sulla base delle risultanze di indagini specifiche condotte sul sito oggetto di analisi e/o di stime indirette effettuate su un numero significativo di punti secondo quanto indicato nel documento EPA "User's Guide for Evaluating Subsurface Intrusion into Buildings" (EPA, 2003).

Parametri caratteristici del sito: valori di default di livello 1 [APAT rev. 1, 2006]

<u>Documento APAT</u>				
<u>SIMBOLO</u>	<u>PARAMETRO</u>	<u>UNITA' DI MISURA</u>	Valore di default	Riferimento
Caratteristiche fisiche del terreno in zona insatura				
ρ_s	Densità del suolo	g/cm^3	1,7	RBCA(ASTM 1998)
θ_T	Porosità totale del terreno in zona insatura	adim.	0,41	Tab. 3.2.7 - doc. APAT
θ_e	Porosità efficace del terreno in zona satura	adim.	0,353	Tab. 3.2.7 - doc. APAT
θ_w	Contenuto volumetrico di acqua	adim.	0,103	Tab. 3.2.7 - doc. APAT
θ_a	Contenuto volumetrico di aria	adim.	0,25	Tab. 3.2.7 - doc. APAT
θ_{wcap}	Contenuto volumetrico di acqua nelle frangia capillare	adim.	0,318	Tab. 3.2.7 - doc. APAT
θ_{acap}	Contenuto volumetrico di aria nelle frangia capillare	adim.	0,035	Tab. 3.2.7 - doc. APAT
f_{oc}	Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo	$g-C/g-suolo$	0,01	RBCA(ASTM 1998)
I_{ef}	Infiltrazione efficace	cm/anno	30	RBCA(ASTM 1998)
pH	pH del suolo insaturo	adim.	6,8	(USEPA, 1996)

(3.3) Vie di migrazione: Criteri di stima dei fattori di trasporto



I fattori di trasporto intervengono nella valutazione delle esposizioni indirette ovvero laddove eventuali contaminanti possono raggiungere i bersagli solo attraverso la migrazione dal comparto ambientale sorgente della contaminazione.

Nella **analisi di livello 2**, le relazioni per il **calcolo** dei fattori di trasporto sono di tipo prettamente **analitico**. Si utilizzano invece modelli numerici nel caso in cui venga condotto uno studio di livello 3.

(3.3) Vie di migrazione: Criteri di stima dei fattori di trasporto

Si elencano di seguito i fattori di trasporto che intervengono nella procedura di analisi di rischio di livello 2:

LF = fattore di lisciviazione in falda da suolo superficiale e/o profondo;

DAF = fattore di attenuazione in falda;

VF_{ss} = fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale;

VF_{samb} = fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo;

VF_{wamb} = fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda;

PEF = emissione di particolato outdoor da suolo superficiale;

(PEFin = emissione di particolato indoor da suolo superficiale);

VF_{sesp} = fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo;

VF_{wesp} = fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda;

(RDF = fattore di migrazione dall'acqua di falda all'acqua superficiale).

Fattori di trasporto: Standard di riferimento

ASTM E-1739 (USA 1995)
"Standard guide for Risk Based
Corrective Action Applied at
Petroleum Release Sites-RBCA" .

EPA (USA 1994)
"Technical Background Document
for Soil Screening Guidance"

ASTM PS-104 (USA 1998)
"Standard provisional guide for
Risk-Based Corrective Action"

EPA (USA 1996)
"Soil Screening Guidance: Fact
Sheet".

UNICHIM
"Manuale n. 196/1 "Suoli e falde
contaminati, analisi di rischio sito-
specifica, criteri e parametri".

CONCAWE
"Report 3/03: european oil
industry guideline for risk based
assessment of contaminated
sites " .

Fattori di trasporto: Software di riferimento

RBCA TOOLKIT ver. 1.2
Groudwater seivice Inc.
(USA 1999)

BP-RISK ver. 4.0
BP Amoco Oil (UK)

ROME ver. 2.1
Agenzia Nazionale per la
Protezione Ambientale (IT)

GIUDITTA ver. 3.0
Provincia di Milano (IT 1997)

Fattori di trasporto: Software di riferimento

Nelle Appendici A-G del documento APAT sono descritti, nel dettaglio, i criteri adottati e le analisi effettuate per la individuazione e la selezione delle suddette equazioni.

Inoltre, la scelta dell'equazione da utilizzare per ciascun fattore di trasporto è stata effettuata tenendo conto di significatività, conservatività e applicabilità alla situazione italiana.

Fattori di trasporto: Ipotesi di base

In generale, le principali assunzioni, su cui si basano le equazioni riportate nel documento APAT (2006), sono:

- La concentrazione degli inquinanti è uniformemente distribuita nel suolo ed è costante per tutto il periodo di esposizione.
- Terreno omogeneo, isotropo e incoerente (si escludono quindi i suoli porosi per fessurazione, i quali necessitano di modellistica specifica corrispondente ad un livello 3 di analisi).
- Non si considerano fenomeni di biodegradazione (ad eccezione del DAF) o meccanismi di decadimento/trasformazione delle sostanze inquinanti nel suolo, in soluzione nell'acqua o in fase vapore.

Fattori di trasporto: (Modulo 1 Corso APAT)

FATTORE DI LISCIVIAZIONE IN FALDA (LF)

FATTORE DI ATTENUAZIONE IN FALDA (DAF)

FATTORE DI VOLATILIZZAZIONE INDOOR DA SUOLO (VFsesp)

Fattore di lisciviazione in falda (LF)

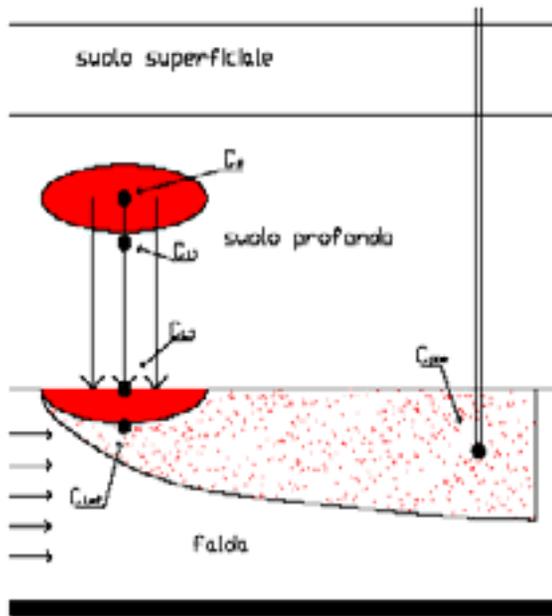


Fig. 4.2

Il fattore di lisciviazione consente di valutare l'attenuazione subita dalla concentrazione di contaminante dovuta al trasporto dalla sorgente di contaminazione, dal suolo profondo o superficiale, al piano di falda a causa dell'infiltrazione d'acqua nello strato insaturo di suolo ed alla successiva diluizione nell'acquifero superficiale.

Quindi, tale fattore rappresenta il rapporto tra la concentrazione nella sorgente (C_s) e quella che si avrà nella falda (C_{Lmf}):

$$LF = \frac{C_{Lmf}}{C_s} \left[\frac{\frac{mg}{l - H_2O}}{\frac{mg}{Kg - suolo}} \right] \quad LF = \frac{\rho_s}{(\theta_w + \rho_s k_s + H\theta_a) \cdot \left(1 + \frac{V_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{gf} \cdot W}\right)} \cdot \frac{d_s}{L_F} = \frac{k_{ws} \cdot SAM}{LDF} = \frac{C_{L1}}{C_s} \cdot \frac{C'_{L1}}{C_{L1}} \cdot \frac{C_{Lmf}}{C'_{L1}}$$

Fattore di lisciviazione in falda (LF)

1. Coefficiente di partizione suolo-acqua:

$$k_{sw} = \frac{C_{L1}}{C_s} = \left[\frac{mg / L - H_2O}{mg / kg - suolo} \right] = \frac{\rho_s}{\theta_w + k_s \rho_s + H \theta_a}$$

tiene conto della partizione dell'inquinante tra acqua, aria e suolo

2. Coefficiente di attenuazione del suolo (Soil Attenuation Model):

$$SAM = \frac{C'_{L1}}{C_{L1}} = [a \text{ dim}] = \frac{d_s}{L_F}$$

tiene conto del percorso che l'inquinante fa per raggiungere il piano di falda

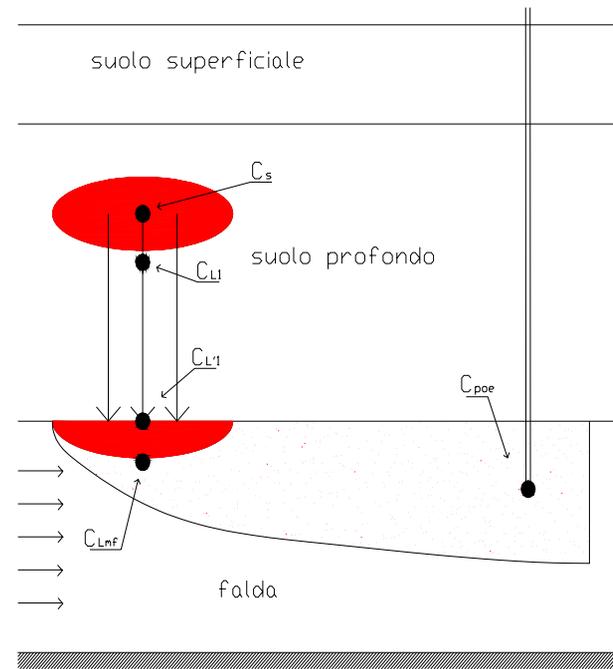


Fig. 4.2

d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)
L_F	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente

Fattore di lisciviazione in falda (LF)

3. Fattore di diluizione (Leachate Dilution Factor):

$$LDF = \frac{C'_{L1}}{C_{Lmf}} = [a \text{ dim}] = 1 + \frac{V_{gw} \cdot \delta_{gw}}{I_{ef} \cdot W}$$

tiene conto della diluizione che il contaminante subisce, una volta raggiunto il piano di falda, nel passaggio tra terreno insaturo e terreno saturo

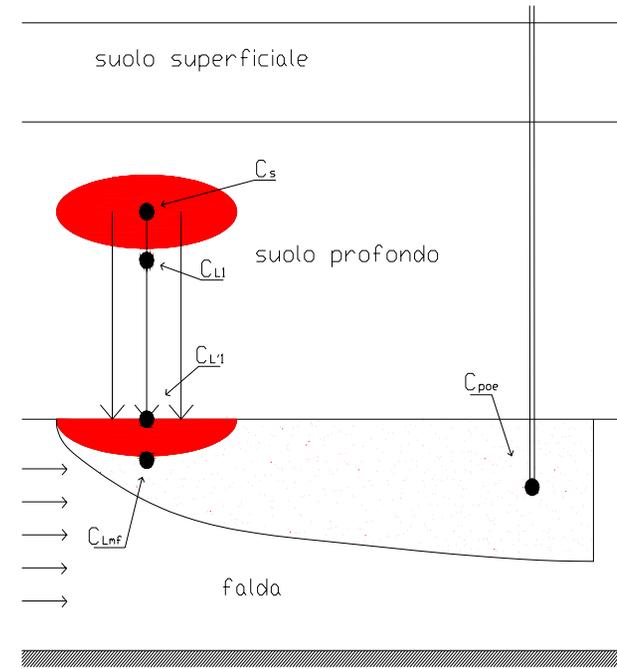


Fig. 4.2

d_s	Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)
L_F	Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente

Fattore di lisciviazione in falda (LF)

	ASTM E-1739-95	PS 104-98	UNICHIM n. 196/1 2002	Concawe report n.2/97	EPA - SSG	RAGS
k_{sw}	X	X	X		X	---
LDF	X	X	X		X	
SAM			X			
BDF			X			
TAF			X			

Il manuale Unichim n.196/1 introduce inoltre altri due fattori di attenuazione:

BDF (BioDegradation Factor), che tiene conto dei fattori di biodegradazione che possono avvenire nel tragitto dell'inquinante nella zona insatura

TAF (Time Averaging Factor), che per i **contaminanti cancerogeni** considera la concentrazione media per un particolare periodo di esposizione. Questo rimuove l'ipotesi di concentrazione stazionaria durante tutto il periodo di esposizione perché considera la diminuzione del rilascio del contaminante dalla sorgente nel tempo.

Tab. B.4 - Software esaminati: calcolo del Fattore di lisciviazione (LF)

	RBCA Tool Kit ver. 1.2	BP-RISC ver. 4.0 (livello 1)	ROME ver. 2.1	GIUDITTA ver.3.0
k_{sw}	X	X	X	X
LDF	X	X	X	X
SAM	X			X
BDF				
TAF				

Fattore di attenuazione in falda (DAF)

Il parametro DAF (Dilution Attenuation Factor) esprime il rapporto tra la concentrazione di un contaminante in corrispondenza della sorgente secondaria in falda $C_{s(falda)}$ e la concentrazione al punto di esposizione $C_{POE(falda)}$ situato a distanza x dalla sorgente nel verso di flusso:

$$DAF = \frac{C_{s(falda)}}{C_{POE(falda)}} \left[\frac{\frac{mg}{l - H_2O}}{\frac{mg}{l - H_2O}} \right]$$

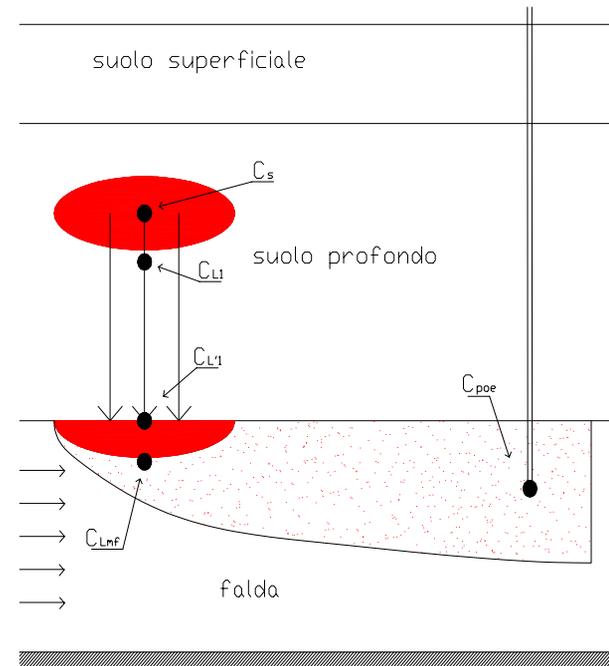
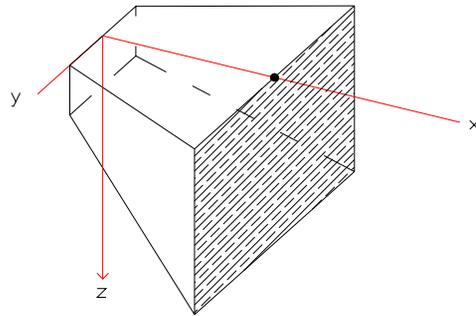


Fig. 4.2

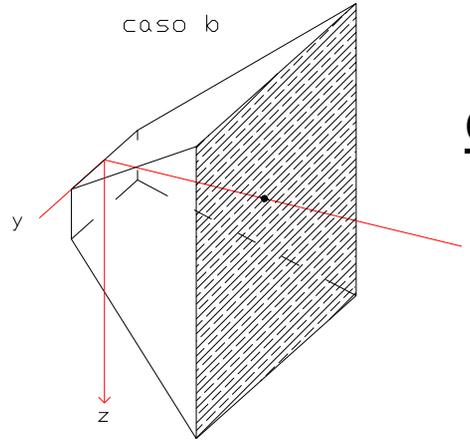
Fattore di attenuazione in falda (DAF)

Caso 2 – DAF(2)

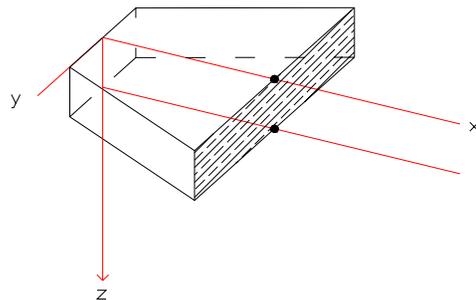


caso b

Caso 1 – DAF(1)



caso c



Caso 3 – DAF(3)

Sorgente areale di inquinamento con concentrazione costante C_0 e possibili geometrie di dispersione verticale: Caso 2) dispersione verticale solo verso il basso; Caso 1) dispersione verticale verso il basso e verso l'alto; Caso 3) nessuna dispersione verticale (nella zona di miscelazione, il contaminante ha già raggiunto la base dell'acquifero)

Fattore di attenuazione in falda (DAF)

Caso 1 - DAF(1)

$$\frac{C(x)}{C_0} = \exp\left[\frac{x}{2\alpha_x} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v_e}}\right)\right] \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}}\right) \right] \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{S_d}{4\sqrt{\alpha_z x}}\right) \right]$$

In tale equazione si tiene conto del fenomeno dispersivo in tutte le direzioni (x,y,z).

Caso 2 - DAF(2)

$$\frac{C(x)}{C_0} = \exp\left[\frac{x}{2\alpha_x} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v_e}}\right)\right] \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}}\right) \right] \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{S_d}{2\sqrt{\alpha_z x}}\right) \right]$$

Se si ipotizza una dispersione lungo z solo nella direzione positiva. Questa ipotesi è valida ipotizzando che il piano di falda si comporti come un limite superiore nella direzione z e che la sorgente possa trovarsi al limite del piano di falda.

Caso 3 - DAF(3)

$$\frac{C(x)}{C_0} = \exp\left[\frac{x}{2\alpha_x} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v_e}}\right)\right] \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_y x}}\right) \right]$$

Se l'acquifero è interessato in tutto il suo spessore dalla contaminazione, quindi non potrà esserci dispersione verticale. Tale condizione è possibile quanto minore è lo spessore dell'acquifero.

Fattore di attenuazione in falda (DAF)

L'equazione per la stima del fattore di attenuazione laterale in falda (DAF), la cui selezione è discussa in Appendice C, prende come riferimento **il modello di Domenico**, ed è la seguente :

$$1) \quad \frac{1}{DAF} = \exp\left[\frac{x}{2\alpha_x} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v_e}}\right)\right] \cdot \left[erf\left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,x}}}\right)\right] \cdot \left[erf\left(\frac{S_d}{2\sqrt{\alpha_{z,x}}}\right)\right]$$

quando l'altezza della sorgente di contaminazione in falda S_d ($= \delta gw$) è inferiore allo spessore della falda da .

$$2) \quad \left(\frac{1}{DAF}\right)' = \exp\left[\frac{x}{2\alpha_x} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda_i \alpha_x R_i}{v_e}}\right)\right] \cdot \left[erf\left(\frac{S_w}{4\sqrt{\alpha_{y,x}}}\right)\right]$$

quando tutto lo spessore dell'acquifero è interessato dalla contaminazione (cosa che può facilmente accadere nei casi di piccoli spessori di falda).

Fattore di attenuazione in falda (DAF)

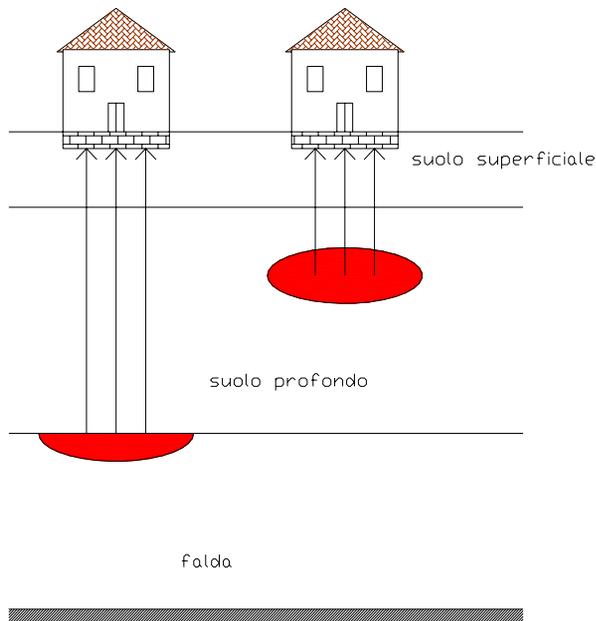
Tab. C.1- Testi di riferimento: calcolo del Fattore di attenuazione laterale in falda (DAF)

	ASTM E-1739-95	PS 104-98	UNICHIM n.196/1 2002	Concawe report n.2/97	EPA - SSG	RAGS
DAF(1)	X		X		X	---
DAF(2)			X			
DAF(3)			X			

Tab. C.4- Software esaminati: calcolo del Fattore di attenuazione laterale in falda (DAF)

	RBCA Tool Kit ver. 1.2	BP-RISC ver. 4.0 (livello 1)	ROME ver. 2.1	GIUDITTA ver.3.0
DAF(1)	X	X	X	X
DAF(2)				
DAF(3)				

Fattori di volatilizzazione INDOOR



SORGENTE DI CONTAMINAZIONE:

- a) suolo (SS e SP)
- b) falda (GW)

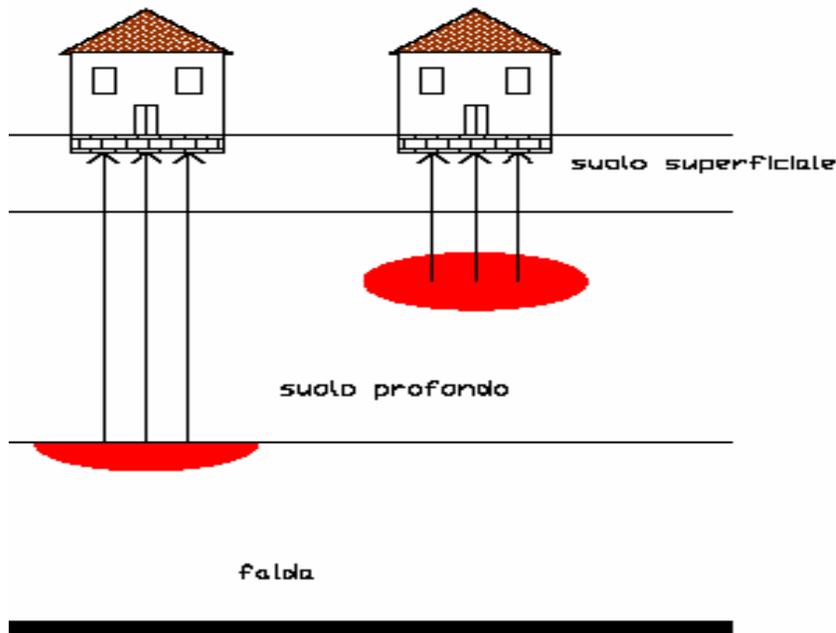
MODALITA' DI ESPOSIZIONE:

- Inalazione in ambienti confinati (INDOOR)

hp.

- 1) Concentrazione inquinante uniformemente distribuita e costante per tutto il periodo di esposizione
- 2) Non si considerano i fenomeni di biodegradazione

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VF_{sesp})



In generale, il fattore di volatilizzazione in aria indoor da suolo (SS e SP) si esprime come rapporto tra la concentrazione della specie chimica nel punto di esposizione (in aria indoor) e quella in corrispondenza della sorgente di contaminazione (suolo).

$$VF_{sesp} = \frac{C_{poe}}{C_s} \left[\frac{\frac{mg}{m^3 - aria}}{Kg - suolo} \right]$$

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VFsesp)

Modello di Jonson-Ettinger:

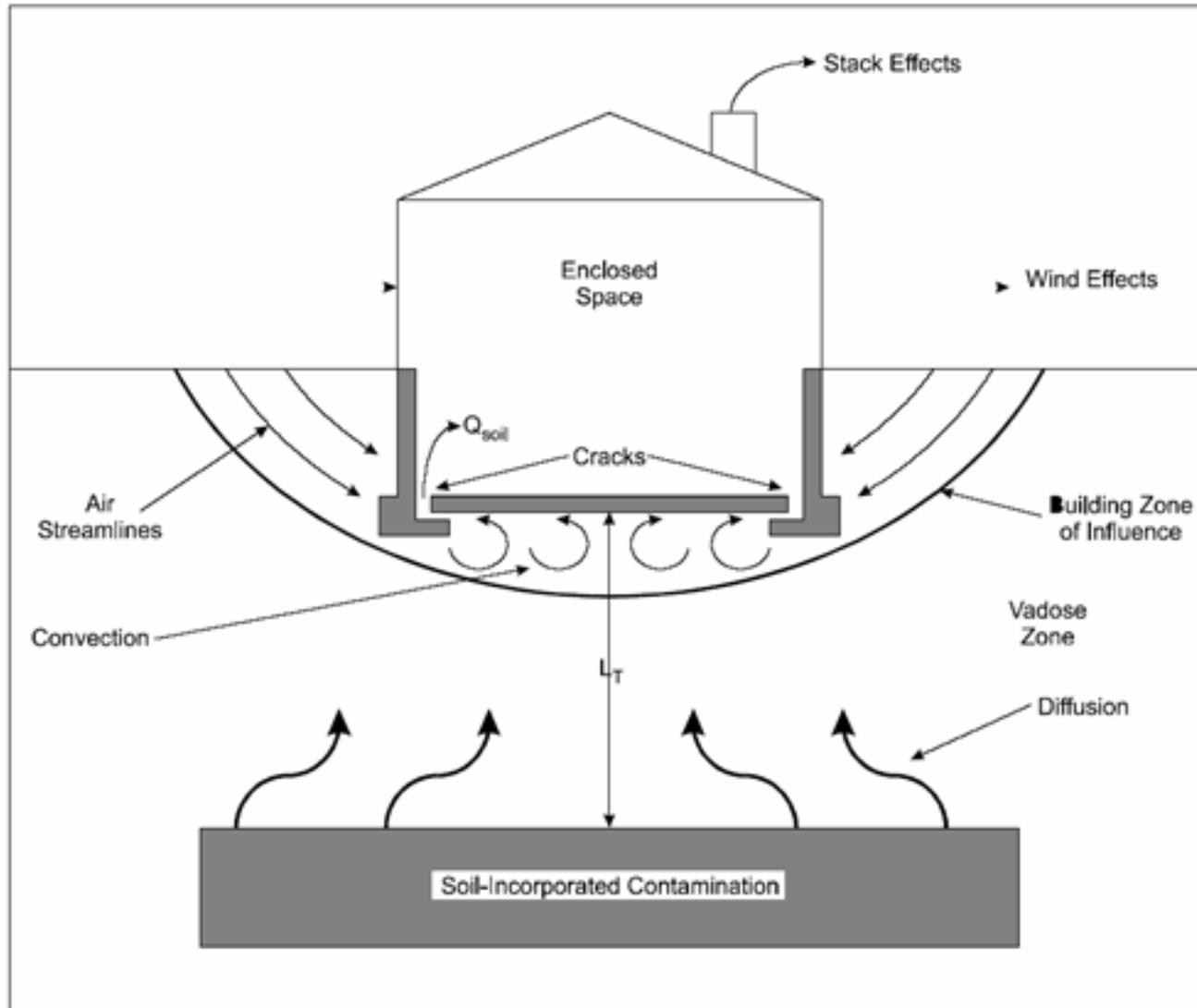
Il modello di Johnson-Ettinger è un modello analitico monodimensionale, che descrive il meccanismo di trasporto di una specie chimica dal suolo o dalla falda in ambienti indoor secondo modalità diffusive e convettive.

Nei punti distanti dal basamento prevale il fenomeno diffusivo (il contaminante migra solo per diffusione).

Vicino al basamento, se abbiamo depressurizzazione dell'edificio, sono presenti entrambi i fenomeni: diffusivo e convettivo (la migrazione del contaminante avviene anche per convezione oltre che per diffusione).

Il fenomeno convettivo è dovuto alla differenza di temperatura e quindi di pressione (ΔP) tra indoor e outdoor .

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VFsesp)



Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VF_{sest})

Tutti i testi adottati quali standard di riferimento propongono, per il calcolo di VF_{sest}, l'equazione valida ipotizzando $Q_s = 0$ (quindi $\Delta P = 0$), che tiene conto del contributo diffusivo e trascura quello convettivo:

$$VF_{sest} (1) = \frac{\frac{H\rho_s}{(\vartheta_w + k_s\rho_s + H\vartheta_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{L_T L_b ER}}{1 + \frac{D_s^{eff}}{L_T L_b ER} + \frac{D_s^{eff} L_{crack}}{D_{crack}^{eff} L_T \eta}} \cdot 10^3$$

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VFsesp)

Il documento EPA [EQM, 2003], lo standard PS 104-98 e il manuale UNICHIM n.196/1 propongono anche l'equazione del modello di Johnson-Ettinger che tiene conto del contributo diffusivo e convettivo ($Q_s > 0$, quindi $\Delta P > 0$):

$$VF_{sesp}(2) = \frac{\frac{H\rho_s}{(g_w + k_s\rho_s + Hg_a)} \cdot \frac{D_s^{eff}}{L_T L_b ER} \cdot e^\xi}{e^\xi + \frac{D_s^{eff}}{L_T L_b ER} + \frac{D_s^{eff} A_b}{Q_s L_T} \cdot (e^\xi - 1)} \cdot 10^3$$

Q_s è il flusso di vapore entrante nell'edificio dovuto al fenomeno convettivo:

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VFsesp)

Il documento EPA [EOM, 2003], e il manuale UNICHIM n. 196/1 propongono anche l'equazione ricavata da Johnson-Ettinger considerando la sorgente di contaminazione finita:

$$VF_{sesp} (3) = \frac{\rho_s \cdot d_s}{L_b \cdot ER \cdot \tau} \cdot 10^3 \quad \text{nel caso di } \tau > \tau_d. \quad (F.12)$$

Solo nel documento dell'EPA del 2003 si tiene conto del caso in cui si verifichi $\tau < \tau_d$, introducendo la seguente espressione:

$$VF_{sesp} (4) = \frac{\rho_s L_s}{L_b \cdot ER \cdot \tau} \left[\left(\beta^2 + 2\psi\tau \right)^{1/2} - \beta \right] \cdot 10^3$$

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VFsesp)

A valle di tutte le analisi e le considerazioni fatte sopra, si ritiene opportuno:

- Escludere l'utilizzo dell'equazione $VF_{sesp}(2)$ poiché fornisce, anche per ΔP molto piccoli, valori estremamente conservativi, se posti a confronto con quelli di $VF_{sesp}(1)$, già, esso stesso, ritenuto molto conservativo, in particolar modo per i composti volatili. Inoltre, per $\eta > 0,3$ o $\eta < 1E-06$, l'equazione $VF_{sesp}(2)$ perde di significato.
- *Selezionare, quindi, tra le equazioni $VF_{sesp}(1)$ e $VF_{sesp}(3)$ quella che restituisce il valore minore.*

Fattori di volatilizzazione INDOOR da suolo (VFsesp)

Tabella F.1 – Testi di riferimento: calcolo del Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo (VFsesp)

	ASTM E-1739-95	PS 104-98	UNICHIM n.196/1 2002	Concawe report 1997	EPA - 2003 (*)	RAGS
VFsesp(1)	X	X	X	X	X	--
VFsesp(2)		X	X		X	
VFsesp(3)			X		X	
VFsesp(4)					X	
(*) EPA-EQM 2003 "User's guide for evaluating subsurface vapour intrusion into building"						

Tabella F.4 – Software esaminati: calcolo del Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo (VFsesp)

	RBCA Tool Kit ver. 1.2	BP-RISC ver. 4.0 (livello 1)	ROME ver. 2.1	GIUDITTA ver.3.0
VFsesp(1)	X	X	X	X
VFsesp(2)	X	X		X
VFsesp(3)	X			
VFsesp(4)				

Fattori da trasporto: Ambienti aperti e confinanti

Le equazioni per il **calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e confinanti (indoor)** rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio.

Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio; il piano delle indagini e dei monitoraggi dovrà essere concordato con le Autorità di Controllo.

Tale approccio risulta in accordo con le più recenti indicazioni tecnico-scientifiche elaborate da organismi di controllo statunitensi sulla base di una consolidata esperienza applicativa. Tra i documenti di riferimento è opportuno citare il riferimento CalEPA (2005).

Vie di migrazione e di esposizione

SCENARIO DI ESPOSIZIONE	ROME ver. 2.1	GIUDITTA ver.3.0	BP-RISC ver. 4.0	RBCA Tool Kit ver. 1.2	Documento APAT
CONTATTO DIRETTO CON SUOLO					
Ingestione	√	√	√	√	√
Contatto dermico	√	√	√	√	√
OUTDOOR					
Inalazione di polveri da SS	√	√		√	√
Inalazione di Vapori da SS	√	√	√	√	√
Inalazione di Vapori da SP	√	√	√	√	√
Inalazione di Vapori da GW	√	√	√	√	√
INDOOR					
Inalazione di polveri da SS	√	√			√
Inalazione di Vapori da SS	√	√	√	√	√
Inalazione di Vapori da SP	√	√	√	√	√
Inalazione di Vapori da GW	√	√	√	√	√
ACQUA AD USO DOMESTICO					
Ingestione	√	√	√	√	√
Contatto dermico durante la doccia			√		
Inalazione durante la doccia			√		
ACQUA SUPERFICIALE AD USO RICREAZIONALE					
Ingestione durante il bagno			√	√	√
Contatto dermico durante il bagno			√	√	√
Consumo di pesce				√	
ACQUA AD USO IRRIGAZIONE					
Ingestione accidentale			√		
Contatto dermico			√		
Inalazione di vapori			√		
INGESTIONE DI VEGETALI					
Vegetali che crescono su terreno contaminato			√		
Vegetali che sono irrigati con acque contaminate			√		

Attinenza dei software ai criteri metodologici [APAT, 2006]

Tabella 5.2-1: attinenza dei software esaminati ai criteri di questo documento.

	RBCA Tool Kit v.1.2	BP-RISC v.4.0 (Livello 1)	ROME v.2.1	GIUDITTA v.3.0
Fattore di iscrizione (LF)	ALTA	MEDIA	MEDIA	ALTA
Fattore di attenuazione laterale in falda (DAF)	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale (VF _{ss})	ALTA	MEDIA	MEDIO/BASSA	ALTA
Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo (VF _{suolo})	ALTA	MEDIA	MEDIO/BASSA	MEDIA
Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda (VF _{falda})	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Fattore di emissione di particolato outdoor da suolo superficiale (PEF)	ALTA	ALTA	MEDIA	ALTA
Fattore di emissione di particolato indoor da suolo superficiale (PEF _{in})	-	-	MEDIA	MEDIA
Fattore di dispersione in atmosfera (ADF)	ALTA	ALTA	-	-
Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo (VF _{suolo})	MEDIO/ALTA	MEDIO/BASSA	MEDIO/BASSA	MEDIA
Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda (VF _{falda})	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA
Fattore di diluizione da falda ad acque superficiali (RDF)	ALTA	ALTA	ALTA	-

Analisi di sensibilità (Appendice N)

L'analisi di sensibilità è una tecnica comunemente usata nel campo della modellistica per valutare l'effetto della variabilità e dall'incertezza dei parametri che intervengono nelle procedure di calcolo sul risultato ottenuto dall'applicazione di un determinato modello matematico.

Lo strumento dell'analisi di sensibilità è stato applicato nell'ambito dell'analisi di rischio con i seguenti obiettivi:

- Quantificare l'effetto della variazione dei diversi parametri sito-specifici e geometrici sul valore del rischio calcolato;
- Individuare una lista di parametri che debbono prioritariamente essere determinati mediante misure sito-specifiche;
- Fornire una indicazione su quale sia la scelta più conservativa per il valore di un determinato parametro, in presenza di un set di dati.

Analisi di sensibilità (Appendice N)

Tra i parametri, non sono stati considerati quelli di esposizione, il cui effetto sull'esposizione e quindi sul rischio è di tipo lineare, visto che compaiono esplicitamente nelle equazioni per il calcolo dell'esposizione stessa.

Per quanto attiene agli altri parametri (sito-specifici e geometrici) questi rientrano di fatto nel calcolo della concentrazione al punto di esposizione, nei quali entrano più propriamente come parametri per il calcolo dei fattori di trasporto.

Per questo motivo, lo studio di sensibilità è stato focalizzato riferendosi esclusivamente alle equazioni relative al calcolo dei fattori di trasporto definite così come descritto nel Capitolo 3.3 del documento "Criteri Metodologici".

Analisi di sensibilità (Appendice N)

Classificazione dei parametri in funzione della sensibilità

Fattori di trasporto	Vie di migrazione	Sensibilità
W (cm)	LF	Alta
Sw (cm)	1/DAF	Alta
dgw (cm)	LF	Alta
Ksat (cm/s)	LF, 1/DAF	Alta
i	LF, 1/DAF	Alta
θ_T	VFss, VFsamb, VFwamb, VFseps, VFwesp, LF, 1/DAF	Bassa
θ_w	VFss, VFsamb, VFwamb, VFseps, VFwesp, LF	Medio/Bassa
θ_{wcap}	VFwamb, VFwesp	Medio/Bassa
f_{oc}	VFss, VFsamb, VFseps, LF, 1/DAF	Alta
$\delta_{air}(cm)$	VFss, Pef, VFsamb, VFwamb	Alta
W'(cm)	VFss, Pef, VFsamb, VFwamb	Alta

Analisi di sensibilità (Appendice N)

Classificazione dei parametri in funzione della sensibilità

U_{air} (cm/s)	VFss, Pef, VFsamb, Vfwamb	Alta
τ (anni)	VFss	Bassa
L_{crack} (cm)	VFsesp, VFwesp	Media
L_b (cm)	VFsesp, VFwesp	Media
ER (1/d)	VFsesp, VFwesp	Alta
η	VFsesp, VFwesp	Alta
θ_{wcrack}	VFsesp, VFwesp	Medio/Bassa
L_{GW} (cm)	Vfwamb, VFwesp	Media
h_{cap} (cm)	Vfwamb, VFwesp	Media
ρ_s (g/cm ³)	VFss, VFsamb, VFsesp, LF	Bassa
l_{ef} (cm/anno)	LF	Medio/Alta
L_s (cm)	VFsamb, VFsesp, VFwesp	Media
αX (cm)	1/DAF	Alta

Analisi di sensibilità (Appendice N)

Criterio di selezione del valore dei parametri

Infine, con riferimento ad i criteri per la stima dei parametri sito-specifici esposti in precedenza, i risultati dell'analisi di sensibilità sono stati impiegati per definire se la scelta più conservativa per un dato parametro corrisponda al valore massimo o ad un opportuno UCL della media ovvero al valore minimo o ad un opportuno LCL della media.

Questa indicazione è fornita nella slide seguente, dove:

con il simbolo “>” si indica che il valore più conservativo è quello massimo o l'opportuno UCL della media di un determinato data set;

con il simbolo “<” si indica che il valore più conservativo è il minimo o l'opportuno LCL della media di un determinato data set.

Analisi di sensibilità (Appendice N)

Criterio di selezione del valore dei parametri

ab. N. 9 Scelte più conservative

Fattori di trasporto	W (cm)	Sw (cm)	dgw (cm)	Ksat (cm/s)	i	θ_T	θ_w	θ_{wcap}	f_{oc}	$\delta_{air}(cm)$	W'(cm)	Uair (cm/s)	τ (anni)	L _{crack} (cm)
VFss						>	<		<	<	>	<	<	
Pef										<	>	<		
VF _{samb}						>	<		<	<	>	<		
VF _{wamb}						>	<	<		<	>	<		
VF _{sesp}						>	<		<					<
VF _{wesp}						>	<	<						<
LF	>		<	<	<	<	<		<					
1/DAF		>		>	>	>			<					