



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

*Servizio Interdipartimentale per le Emergenze Ambientali  
Settore Siti Contaminati*

\* \* \*

**"Protocollo ISPRA-INAIL (ex-ISPEL) per la valutazione del rischio  
associato all'inalazione di vapori e polveri, in ambienti aperti e  
confinati nei siti di bonifica"**

\* \* \*

**Rev.0 (Ottobre 2010)**

*Elaborato da:*

*Ing. Laura D'Aprile, ISPRA (laura.daprile@isprambiente.it)*

*Ing. Simona Berardi, INAIL ex-ISPEL (simona.berardi@ispesl.it)*

*Ing. Elisabetta Bemporad, INAIL ex-ISPEL (elisabetta.bemporad@ispesl.it)*

*Si ringraziano in particolare per i preziosi suggerimenti:*

*Dott.ssa Francesca Motta, URS*

*Dott.ssa Loredana Musmeci, ISS*

*Dott.ssa Mariarita Cicero, ISS*

*Dott. Igor Villani, Provincia di Ferrara*

## INDICE

INTRODUZIONE.....	4
1. DESCRIZIONE SCHEMATICA DELLA PROCEDURA .....	6
2. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO.....	8
3. CONCENTRAZIONI SOGLIA DI CONTAMINAZIONE .....	10
3.1 Concentrazioni soglia di contaminazione in aria CSC(aria) .....	10
3.2 Concentrazioni soglia di contaminazione nel soil-gas CSC(soil-gas) .....	12
4. PROCEDURA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO .....	14
5. LIVELLI DI FONDO DEGLI INQUINANTI.....	18
6. IDENTIFICAZIONE DEL VALORE DI CONCENTRAZIONE RAPPRESENTATIVO DEI DATI MISURATI.....	20
BIBLIOGRAFIA.....	21
APPENDICE A: Criterio di individuazione dei fattori di attenuazione “ $\alpha$ ” per la stima della CSC(soil-gas).....	30
APPENDICE B: Valori Limite di esposizione professionale e CSC(aria) .....	32
APPENDICE C: Misure di prevenzione e protezione generali e specifiche per i lavoratori. ....	37
APPENDICE D: Principali Fattori di Conversione.....	40

## INTRODUZIONE

L'intrusione di vapori ("vapor intrusion") è la migrazione di sostanze volatili dal sottosuolo in ambienti aperti o confinati [BCME, 2006]. Le sostanze chimiche volatili presenti nel suolo insaturo o nelle acque sotterranee possono infatti migrare attraverso il suolo insaturo stesso e raggiungere gli ambienti sovrastanti alterando la qualità dell'aria outdoor e/o indoor. In particolare per gli ambienti confinati, in casi estremi, i vapori possono accumularsi raggiungendo livelli di concentrazione tali da comportare rischi immediati per la sicurezza (es. esplosioni), rischi acuti per la salute umana (es. intossicazioni) o problemi organolettici (es. cattivi odori). Più comunemente, però, i livelli di concentrazione riscontrati negli ambienti indoor/outdoor sono tali da corrispondere a un rischio per la salute umana di tipo cronico, dovuto, quindi, ad una esposizione a lungo termine [USEPA, 2002].

La volatilizzazione da suolo o dalle acque sotterranee in ambienti aperti è, generalmente, di minor rilevanza rispetto alla volatilizzazione in ambienti confinati. L'aria outdoor può comunque risultare una fonte di esposizione significativa nei siti in cui non vi è esposizione in ambienti confinati ed in particolare per i lavoratori che effettuano attività di scavo o comunque di movimentazione del terreno, oppure durante le attività di bonifica di siti contaminati [Health Canada, 2007].

L'applicazione dell'analisi di rischio, in modalità *diretta*, per il calcolo del rischio e/o in modalità *inversa*, per il calcolo di obiettivi di bonifica sito-specifici, è prevista da numerosi strumenti normativi vigenti, come risulta dalla tabella sottostante (tabella 1.1). Tali indicazioni sono ovviamente applicabili anche alla valutazione dell'esposizione indoor/outdoor a vapori e polveri. Il documento di riferimento, a livello nazionale, per l'applicazione dell'analisi di rischio è il manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", elaborato dal gruppo di lavoro APAT (ora ISPRA)-ARPA/APPA-ENEA-ISS-ISPEL [APAT, 2008].

**Tabella 1.1 – Riferimenti per l'applicazione dell'analisi di rischio**

	Modalità di Applicazione	Riferimento Tecnico	Riferimento Normativo
Siti Contaminati (SS, SP, GW)	Diretta Inversa	Manuale ISPRA su Siti Contaminati (rev.2, 2008)	Ex DM 471/99 Dlgs 152/06
Sedimenti in Strutture di Contenimento	Diretta	Manuale ISPRA su Siti Contaminati (rev.2, 2008)	DM 7 Novembre 2008 e s.m.i.
Discariche	Diretta	Manuale ISPRA su Discariche (rev.0, 2005) limitatamente al MCS Manuale ISPRA su Siti Contaminati (rev.2, 2008)	Circolare MATTM 30 giugno 2009

Come riportato nel suddetto manuale [APAT, 2008], nel caso di attivazione dei percorsi di esposizione di inalazione indoor/outdoor di vapori e/o polveri, dall'esame delle esperienze maturate nel settore sia a livello nazionale che internazionale, è emerso che la procedura di AdR fornisce degli output estremamente conservativi, soprattutto per quanto riguarda l'esposizione indoor [CalEPA, 2005]. Quanto detto è essenzialmente legato alle equazioni utilizzate per il calcolo dei corrispondenti fattori di

trasporto, descritti nel dettaglio rispettivamente nei paragrafi 3.3.2 e 3.3.3 (e 3.3.4) del manuale suddetto.

Per tale ragione, sempre nel manuale richiamato [APAT, 2008] si specifica che, nel caso di non accettabilità del rischio per la salute umana, ovvero di superamento degli obiettivi di bonifica sito-specifici, CSR, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini dirette (es. misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di AdR. 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.

Nel seguito si riportano i criteri operativi per effettuare una valutazione del rischio associato all'esposizione inalazione di vapori e/o polveri in ambienti aperti e/o confinati. In particolare si riporta di seguito l'articolazione del presente documento:

1. Descrizione schematica della procedura (**Capitolo 1**);
2. Costruzione del modello concettuale del sito (**Capitolo 2**);
3. Concentrazioni soglia di contaminazione per i comparti ambientali aria e soil-gas, nel seguito definite CSC(aria) e CSC(soil-gas) (**Capitolo 3**);
4. Procedura di valutazione del rischio (**Capitolo 4**);
5. Livelli di fondo degli inquinanti, utili per la quantificazione del contributo dato al livello complessivo di contaminazione dell'aria indoor/outdoor da sorgenti distinte dal suolo insaturo o dalla falda contaminata (**Capitolo 5**);
6. Identificazione del valore di concentrazione rappresentativo dei dati di concentrazione misurati in aria o nel soil-gas (**Capitolo 6**).

In **Appendice A** si riporta il criterio adottato per l'individuazione dei fattori di attenuazione per la stima della CSC(soil-gas) a partire dalla CSC(aria).

In **Appendice B** si riporta una breve trattazione sui valori limite di esposizione professionale (Occupational Exposure Limits -OELs), integrata con un confronto critico tra questi e le CSC di cui al punto 3.

In **Appendice C** si riportano cenni sulle misure di prevenzione e protezione sia generali che specifiche da adottare nei casi di Messa in Sicurezza Operativa (MISO) e di adozione degli OELs, di cui al Capitolo 4.

In **Appendice D** si riportano i principali fattori di conversione per le misure di concentrazione in aria.

*Le tecniche di campionamento del soil-gas, saranno oggetto di un successivo approfondimento così come gli aspetti relativi alla biodegradazione dei contaminanti nell'insaturo.*

## 1. DESCRIZIONE SCHEMATICA DELLA PROCEDURA

Come già accennato nell'introduzione, il presente protocollo si propone di valutare il rischio associato all'intrusione di vapori in ambienti aperti e confinati in analogia a quanto delineato dal D.Lgs. 152/06 per il suolo e le acque sotterranee. In particolare verranno proposti valori di CSC per le matrici aria e soil gas (Capitolo 3).

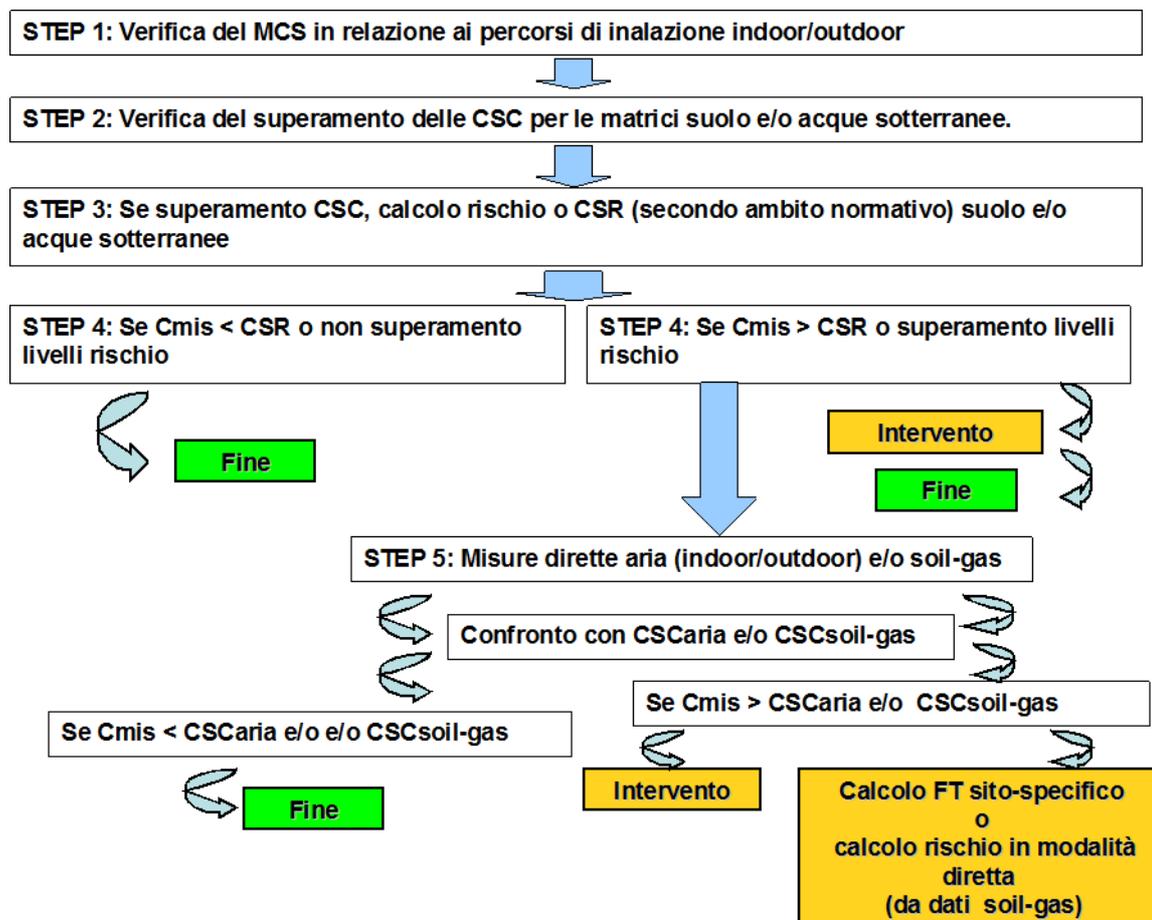
In generale, la procedura può essere schematizzata nei seguenti step che verranno descritti nel dettaglio nei paragrafi successivi:

- STEP 1: Costruzione del Modello Concettuale del sito e verifica delle "linee di evidenza" che individuano una potenziale esposizione per inalazione di vapori e/o polveri in ambienti aperti e confinati (Capitolo 2)
- STEP 2: Verifica del superamento delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) per le matrici suolo e acque sotterranee.
- STEP 3: In caso di superamento delle CSC, sulla base del contesto normativo di riferimento per l'applicazione dell'analisi di rischio, calcolo del rischio in modalità diretta (D.M. 471/99) o degli obiettivi di bonifica sito-specifici (Concentrazioni Soglia di Rischio, CSR) per le matrici suolo e acque sotterranee (D.Lgs. 152/06).
- STEP 4: Se non vi è superamento dei livelli di rischio tollerabili (per le sostanze cancerogene e/o non cancerogene) o delle CSR non vi è necessità di alcun intervento. Se vi è superamento dei livelli di rischio tollerabili (per le sostanze cancerogene e/o non cancerogene) o delle CSR, il soggetto responsabile delle attività di bonifica può:
  - decidere di intervenire direttamente sulle matrici suolo e acque sotterranee (ad es. se la necessità di intervento è stata evidenziata anche in relazione ad altri percorsi di esposizione) e chiudere la procedura;
  - verificare le criticità riscontrate mediante misure dirette dell'aria (indoor e/o outdoor) o del soil-gas.
- STEP 5: Se il soggetto responsabile delle attività di bonifica, a seguito del superamento dei livelli di rischio o di CSR in relazione al percorso di inalazione indoor/outdoor decide di effettuare campagne di indagine diretta, può selezionare una o entrambe le seguenti opzioni:
  - 5.a) Misure di concentrazione su campioni di aria outdoor/indoor. Dopo aver verificato l'eventuale esistenza di valori di fondo di sostanze inquinanti in aria non correlabili alla contaminazione presente nelle matrici suolo e acque sotterranee, le concentrazioni misurate nell'aria indoor/outdoor vengono confrontate con le CSC(aria) (vedi Paragrafo 3.1 e Capitolo 4). Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario procedere, altrimenti è necessario intervenire a mezzo di bonifica o di messa in sicurezza del sito.
  - 5.b) Misure di concentrazione su campioni di soil-gas (naturalmente tale opzione è applicabile solo nel caso in cui sia possibile trascurare il rischio da inalazione di polveri). In tal caso, e concentrazioni misurate nel soil-gas vengono confrontate, come primo screening, con le CSC(aria) (vedi Paragrafo 3.1 e Capitolo 4). Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario alcun intervento. Qualora le concentrazioni misurate nel soil-gas superino i valori di CSC(aria), il proponente potrà operare il confronto con le CSC(soil-gas), calcolate applicando l'Approccio sito-generico (vedi Paragrafo 3.2 e Capitolo 4). Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario procedere ad interventi, altrimenti è necessario intervenire a mezzo di bonifica o di messa in sicurezza del sito, o, in alternativa, procedere al calcolo del fattore di attenuazione sito-specifico o al calcolo del rischio in

modalità diretta a partire dalle concentrazioni misurate nel soil-gas (vedi Paragrafo 3.2 e Capitolo 4).

In Figura 1.1 viene rappresentato lo schema di flusso generale della procedura. Per maggiori dettagli descrittivi si rimanda ai paragrafi successivi.

Figura 1.1 – Diagramma di flusso generale della procedura



La procedura sopra delineata deve essere applicata nel caso di siti industriali/commerciali dismessi e ad uso residenziale/ricreativo. Nel caso di siti industriali/commerciali con attività in esercizio, così come definiti all'art. 240, comma 1, lett. n) del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., quindi oggetto di interventi di Messa In Sicurezza Operativa (MISO), possono essere utilizzati, ai fini del confronto con le concentrazioni misurate in aria, i limiti di esposizione professionale (vedi Capitolo 4).

Si sottolinea che la procedura delineata nel presente documento deve essere utilizzata per la valutazione del percorso di inalazione indoor/outdoor anche nel caso di applicazione dell'analisi di rischio ai Punti Vendita carburante.

Si rammenta inoltre che il presente Protocollo non è tecnicamente utilizzabile per valutazioni legate alla salute e sicurezza dei lavoratori impegnati nelle attività di bonifica o di messa in sicurezza del sito contaminato.

## 2. MODELLO CONCETTUALE DEL SITO

Come noto, l'analisi di rischio (AdR) sanitario-ambientale è una procedura che permette di effettuare una stima quantitativa del rischio per la salute umana e/o l'ambiente connesso al grado di contaminazione e alle condizioni specifiche di un dato sito. La Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. ("Norme in materia ambientale") prevede la sua applicazione per la definizione delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) dei comparti ambientali suolo saturo e insaturo, che costituiscono i limiti oltre i quali è necessario attivare delle azioni di intervento.

Per l'applicazione della procedura il primo fondamentale ed indispensabile passo da compiere è l'individuazione del Modello Concettuale del Sito (MCS). La sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l'AdR [APAT, 2008]:

**Sorgente      ⇒      Trasporto      ⇒      Bersaglio**

Devono essere quindi definiti:

- 1) La geometria e le proprietà fisico-chimiche della sorgente di contaminazione. Tale sorgente di contaminazione può essere presente in un uno o in tutti i tre comparti ambientali: suolo superficiale (0-1 m da p.c.), suolo profondo (> 1 m da p.c.) e/o falda.  
Il fenomeno di volatilizzazione di vapori, outdoor e indoor, può coinvolgere un singolo comparto o i tre comparti simultaneamente. In tal caso la contaminazione è legata alla presenza di specie chimiche volatili. Queste possono includere i composti organici volatili ("Volatile Organic Compounds" – VOC), alcuni composti organici semivolatili, e alcuni analiti inorganici come il mercurio elementare e l'idrogeno solforato [ITRC, 2007]<sup>1</sup>. Il documento [USEPA, 2002] riporta un elenco di sostanze che, per le loro caratteristiche di volatilità e di tossicità, possono comportare rischio per tale via di esposizione.  
Il fenomeno di l'emissione (sollevamento) di particolato, outdoor e indoor, può coinvolgere il solo suolo superficiale contaminato. In tal caso la contaminazione è spesso legata a specie chimiche non volatili con elevato coefficiente di adsorbimento  $K_{oc}/K_d$  (es. Metalli pesanti, PCB, PCDD/F). Difatti, per le specie volatili il suolo superficiale interessato dai fenomeni di sollevamento si depaupererà in tempi relativamente rapidi delle sostanze volatili.
- 2) Le vie di migrazione, quali la volatilizzazione da suolo o da falda contaminati e l'emissione di particolato da suolo superficiale (esposizione on-site), oppure la percolazione da suolo in falda, la diluizione ed il trasporto in falda, e la volatilizzazione da falda (esposizione off-site).
- 3) I bersagli della contaminazione.  
Il rischio di inalazione di vapori in ambienti aperti e confinati si può presentare sia on-site, ossia in corrispondenza della sorgente di contaminazione, che off-site, nel caso di contaminazione della falda idrica a valle idrogeologica della sorgente stessa. Il documento [British Columbia, 2009] suggerisce di limitare l'area di indagine su suoli e/o falde acquifere compresi in un raggio di 30 metri (100 piedi) dalla sorgente di contaminazione, ad esclusione dei casi in cui siano presenti percorsi preferenziali (ad es. corridoi di servizi) che comportino il coinvolgimento delle suddette matrici oltre i 30 m di distanza.  
Il rischio di inalazione in ambienti confinati, come è ovvio, si presenta nel caso in cui siano presenti o sia prevista la realizzazione di edifici utilizzati a scopo residenziale, commerciale o industriale. Il documento [USEPA, 2002] suggerisce di porre particolare attenzione agli edifici compresi, lateralmente e/o verticalmente, nel raggio di 30 m (100 piedi) dalla sorgente di

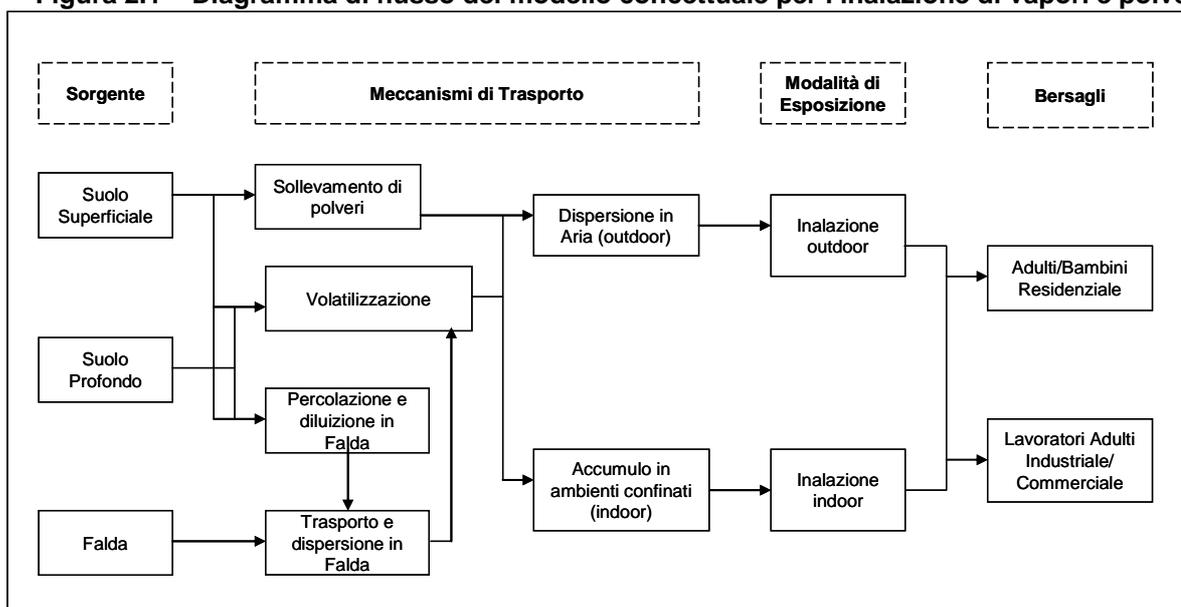
<sup>1</sup> L'Art. 268, Titolo I, Parte V del D.Lgs. 152/06, definisce: "Composto organico volatile (COV): qualsiasi composto organico che abbia a 293,15 K una pressione di vapore di 0,01 kPa (= 0,075 mm Hg) o superiore, oppure che abbia una volatilità corrispondente in condizioni particolari di uso". Il documento [USEPA, 2002] identifica come sostanze volatili quelle alle quali corrisponde una Costante di Henry  $\geq 10^{-5}$  atm m<sup>3</sup>/mol. Il documento [NJDEP, 2005] identifica come sostanze volatili quelle alle quali corrisponde una Costante di Henry  $\geq 10^{-5}$  atm m<sup>3</sup>/mol ed una pressione di vapore  $\geq 1$  mm Hg.

contaminazione (suolo insaturo o falda contaminati). Per sostanze biodegradabili (da es: BTEX) la distanza di 30 m può essere ridotta a 10 m [ASTM E2600, 2800, APPENDICE V del manuale “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”, rev.2].

Il rischio di inalazione di polveri in ambienti aperti e confinati è da considerarsi solo nel caso in cui il bersaglio sia presente in corrispondenza della sorgente di contaminazione (esposizione on-site).

La Figura 2.1 riporta il diagramma di flusso del modello concettuale del sito, con le sorgenti di contaminazione, le vie di migrazione e le modalità di esposizione da prendere in considerazione nel caso di inalazione di vapori e polveri in ambienti aperti e confinati.

**Figura 2.1 – Diagramma di flusso del modello concettuale per l’inalazione di vapori e polveri**



### 3. CONCENTRAZIONI SOGLIA DI CONTAMINAZIONE

#### 3.1 Concentrazioni soglia di contaminazione in aria CSC(aria)

E' possibile calcolare le CSC(aria) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ], nei casi di uso del suolo residenziale e commerciale/industriale, applicando la procedura di analisi di rischio sanitario/ambientale in modalità inversa, ossia partendo da un livello di rischio accettabile per la salute umana, e selezionando il valore più conservativo tra quelli individuati per effetti cancerogeni e tossici [Berardi et al., 2010]:

$$CSC_c(\text{aria}) \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] = \frac{TR}{EM \cdot SF} \times 10^3 \quad (\text{per effetti cancerogeni})$$

$$CSC_n(\text{aria}) \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] = \frac{THQ \cdot RfD}{EM} \times 10^3 \quad (\text{per effetti tossici})$$

Dove:

- TR ("Target Risk" [adim.]) rappresenta il valore soglia di rischio al di sotto del quale si ritiene tollerabile la probabilità incrementale di effetti cancerogeni sull'uomo. In generale, porre il rischio per la salute umana pari a  $10^{-6}$  significa che il rischio incrementale di contrarre il tumore è per 1 individuo su 1.000.000. Se il rischio per la salute umana è uguale o inferiore alla soglia di  $10^{-6}$  lo stesso viene considerato "tollerabile" [APAT, 2008]. In Tabella 3.1 si riportano i valori di accettabilità del rischio per la salute umana stabiliti nel D.Lgs. 152/06 e s.m.i.. Tale valore soglia di rischio è applicabile al fine di proteggere la salute umana sia nel caso di destinazione d'uso residenziale che commerciale/industriale.
- THQ ("Target Hazard Quotient" [adim.]) è il valore soglia di riferimento al disotto del quale si ritiene accettabile il rischio per la salute umana associato ad effetti tossici, quindi non cancerogeni. Poiché l'Indice di Pericolo, o "Hazard Quotient" (HQ), è definito come rapporto tra la quantità giornaliera di contaminate effettivamente assunta dal recettore e la dose quotidiana tollerabile per la salute umana (RfD), il valore soglia del THQ deve essere pari all'unità, come riportato in Tabella 2.1. Anche in tal caso tale valore soglia è applicabile al fine di proteggere la salute umana sia per residenti che per lavoratori.

**Tabella 3.1 – Limiti di accettabilità del rischio sanitario**

Accettabilità del Rischio e dell'Indice di Pericolo (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.)		
Contaminante	INDIVIDUALE	CUMULATIVO (*)
CANCEROGENO	TR = $10^{-6}$	TR <sub>cum</sub> = $10^{-5}$
TOSSICO	THQ = 1	THQ <sub>cum</sub> = 1

(\*) Rischio dovuto alla cumulazione degli effetti di più sostanze, tenendo conto degli effetti additivi e non sinergici.

- SF ("Slope Factor" [ $\text{mg}/\text{kg d}^{-1}$ ]) indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita per unità di dose, ed è un parametro tossicologico caratteristico della singola specie chimica.
- RfD (Reference Dose [ $\text{mg}/\text{kg d}$ ]) è la stima dell'esposizione media giornaliera che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita. Anche la RfD è un valore caratteristico della singola specie chimica, in condizioni definite di esposizione.
- EM rappresenta la portata effettiva di esposizione, ossia la quantità giornaliera di aria inalata per unità di peso corporeo, che può essere stimata a mezzo dell'espressione di seguito riportata [APAT, 2008]:

$$EM \left[ \frac{m^3}{Kg \times \text{giorno}} \right] = \frac{B_{air} \times EF_g \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}}} \quad (\text{Inalazione di vapori e polveri})$$

In Tabella 3.2 è riportato il significato dei termini dell'equazione sopra riportata. In particolare  $B_{air}$  rappresenta il tasso di inalazione di aria (sia in ambienti aperti che confinati) e si differenzia in funzione dell'intensità dell'attività fisica svolta, se sedentaria, moderata o intensa.

**Tab. 3.2 - Fattori di esposizione utilizzati nel calcolo della CSC(aria)**

Fattore di esposizione (EF)	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Industriale	
			Adulto	Bambino	Adulto	
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	
Tempo medio di esposizione sost.carcerogene	ATc	anni	70	70	70	
Tempo medio di esposizione sost.non cancerogene	ATn	anni	ED	ED	ED	
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	25	
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	250	
Frequenza giornaliera di esposizione	EFgi	ore/giorno	24	24	8	
Tasso di inalazione (*)	Attività fisica sedentaria	$B_{air}$	$m^3/\text{ora}$	0,9	0,7	0,9
	Attività fisica moderata			1,5	1	1,5
	Attività fisica intensa			2,5	1,8	2,5
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	1	1	1	
Frazione indoor di polvere all'aperto	Fi	adim.	1	1	1	

(\*) I tassi di inalazione sono applicabili indistintamente per ambienti aperti e confinati

La CSC(aria) rappresenta una soglia di accettabilità per gli ambienti aperti e confinati in relazione alla inalazione sia di vapori che di polveri. Quindi, per una data specie chimica, il valore limite di soglia non dovrebbe essere superato dalla somma delle concentrazioni nei vapori e, ove applicabile, nella frazione inalabile del particolato aerodisperso, misurate nelle campagne di indagine diretta.

In Tabella 3.2 si riportano i valori dei fattori di esposizione utilizzati per il calcolo delle CSC(aria) per gli ambienti di vita (uso residenziale) e di lavoro (uso commerciale/industriale). Si sottolinea che, nell'ambito residenziale, per le sostanze cancerogene, il calcolo di EM è stato condotto considerando la somma di 6 anni esposizione bambino e di 24 anni esposizione adulto; mentre per le sostanze non cancerogene è stato assunto il valore più conservativo tra esposizione adulto ed esposizione bambino.

Per i valori di "Slope Factor" e di "Reference Dose" si è fatto riferimento a quanto contenuto nella banca dati ISS-ISPEL aggiornata a Maggio 2009 [ISS-ISPEL, 2009].

Le tabelle 3.3-a, 3.3-b e 3.3-c riportano, per le specie chimiche elencate nell'Allegato 1 Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., le CSC(aria) per gli ambienti sia di vita che di lavoro, derivati applicando la procedura sopra descritta. Le tre tabelle si differenziano in relazione al tasso di inalazione  $B_{air}$  assunto (vedi Tabella 3.2). (per eventuali conversioni delle unità di concentrazione si veda l'Appendice D)

Nei casi in cui il valore di CSC(aria) dovesse risultare inferiore al limite di rilevabilità strumentale, non essendo state definite, come anche per altre matrici ambientali, metodiche standardizzate a livello nazionale, il valore da utilizzare in sostituzione della CSC sarà stabilito di concerto con gli Enti di Controllo preposti alla verifica analitica delle misure (ARPA, ASL, ecc.), sulla base di una attenta disamina delle tecniche di campionamento e dei metodi di misura applicabili per i quali si può fare riferimento a quanto riportato in APPENDICE S del manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", rev.2 (Capitolo S.5).

Occorre sottolineare che nel calcolo delle CSC(aria), così come nella definizione delle CSC per i suoli e le acque sotterranee di cui al D.Lgs. 152/06, non si tiene conto dell'effetto cumulativo conseguente all'inalazione di più contaminanti o di miscele di sostanze contaminanti eventualmente presenti. Tale approccio è comunque analogo a quello applicato a livello internazionale, in quanto gli effetti cumulati di più sostanze vengono presi in considerazione attraverso il calcolo delle CSR cumulate, mentre gli effetti sanitari di esposizioni croniche a miscele di contaminanti vengono più correttamente valutati attraverso l'esecuzione di biomonitoraggi ed indagini epidemiologiche.

I valori delle CSC(aria) possono subire modifiche, rispetto a quelli riportati nelle tabelle 3.3-a,-b,-c, conseguentemente all'esigenza di apportare variazioni, legate alla specificità del caso, relativamente ai fattori di esposizione di Tabella 3.2.

Si sottolinea che, per alcune delle specie chimiche considerate, vigono valori limite od obiettivo di qualità dell'aria stabiliti da normative specifiche ai fini della tutela della salute umana (D.Lgs. 155/2010). Tali valori sono basati sulle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS o WHO). In particolare nella 2° edizione delle linee guida sulla qualità dell'aria per l'Europa [WHO, 2000] sono forniti valori guida relativi ad un numero di sostanze decisamente superiore rispetto quelle effettivamente normate dalla CE e recepite a livello nazionale. Le specie chimiche per cui sono stabiliti tali valori obiettivo o guida, sono evidenziate in corsivo nelle tabelle 3.3-a,-b,-c e segnalate con un asterisco che rimanda alla Tabella 3.4, dove questi valori sono riportati.

Le CSC(aria) valutate con riferimento alla problematica della "vapor intrusion" risultano, in alcuni casi, molto più basse dei suddetti valori limite, in quanto si tratta di valori soglia di contaminazione che tengono conto dell'esistenza di sorgenti puntuali di contaminazione nelle matrici ambientali e sono stimati sulla base di ipotesi estremamente conservative.

Si sottolinea tuttavia che il confronto delle CSC con i valori limite od obiettivo o guida di qualità dell'aria stabiliti dalle specifiche norme nazionali di settore o dall'OMS può comportare disomogeneità, poiché tali valori sono riferiti a spazi temporali (medie annuali, medie settimanali, medie giornaliere, ecc.) diversi rispetto a quelli considerati ai fini della determinazione delle CSC(aria). Nel caso in cui, in particolare in ambienti outdoor, si verifichi un'incongruenza rispetto ad un valore limite od obiettivo vigente (D.Lgs. 155/2010), si suggerisce di valutare con l'Autorità Competente e gli Enti di Controllo, l'opportunità di utilizzare quest'ultimo, in sostituzione della CSC(aria).

### 3.2 Concentrazioni soglia di contaminazione nel soil-gas CSC(soil-gas)

Come detto in precedenza, nel caso di campagne di indagine diretta su campioni di soil-gas, porre i valori analitici, da esse ricavati, a confronto con le CSC(aria) potrebbe rappresentare un approccio eccessivamente cautelativo. Infatti, così procedendo si trascura la riduzione di concentrazione che il contaminante subisce migrando dal suolo all'ambiente aperto o confinato. Quindi, in accordo con quanto proposto da gran parte delle agenzie regionali statunitensi ed anche dall'USEPA, è possibile calcolare una concentrazione soglia di rischio nel soil-gas CSC(soil-gas) a partire dalla CSC(aria) a mezzo di un fattore di attenuazione "α":

$$\alpha = \frac{CSC(aria)}{CSC(soil - gas)}$$

Tale fattore di attenuazione può essere stimato sulla base dei due criteri di seguito descritti:

- **Criterio 1 (Approccio sito-generico).** Il fattore di attenuazione "α" viene stimato utilizzando dei valori di riferimento validi per qualsiasi forma di contaminazione e calcolati sulla base di ipotesi estremamente cautelative. In Tabella 3.5 si riportano i fattori di attenuazione proposti, ripresi dal documento del Ministero dell'ambiente della British Columbia [BCME, 2009]. Tale selezione è stata effettuata a valle di una analisi critica dei

valori di “ $\alpha$ ” proposti in numerosi documenti statunitensi. Gli elementi di valutazione hanno essenzialmente riguardato il grado di aggiornamento, la completezza ed i criteri di determinazione dei dati. Per approfondimenti si rimanda all'**Appendice A**.

- **Criterio 2 (Approccio sito-specifico)**  Il fattore di attenuazione “ $\alpha$ ” viene stimato a mezzo dei fattori di trasporto opportunamente modificati ed utilizzando quindi parametri sito-specifici. Il vantaggio di tale approccio, rispetto all'utilizzo dei fattori di trasporto FT ( $FT = \frac{CSC(aria)}{CSR(suolo/falda)}$ ) e al conseguente confronto tra le concentrazioni analiticamente determinate nel suolo insaturo o nella falda con le corrispondenti CSR(suolo/falda), è dato dal fatto che in questo modo si tiene conto della effettiva partizione del contaminante nel terreno tra fase solida e fase vapore. In tal caso sono definiti come CSR(soil-gas) i valori di concentrazione di riferimento per il comparto ambientale soil gas.

Si osserva che nel caso di contaminazione molto superficiale, l'applicazione del modello di Johnson & Ettinger risulta essere poco affidabile [Atlantic Canada RBCA, 2006] pertanto si suggerisce l'applicazione dell'approccio sito-specifico limitatamente ai soli casi in cui la sorgente di contaminazione, nel suolo insaturo o nella falda, è posta ad una profondità maggiore di 1 m rispetto alla base delle fondazioni.

**Tabella 3.5 - Fattori di attenuazione “ $\alpha$ ” per stima della CSC(soil-gas)**

Posizione punto campionamento del soil-gas	Profondità da p.c. (m)	FATTORI DI ATTENUAZIONE “ $\alpha$ ”		
		ESPOSIZIONE OUTDOOR	ESPOSIZIONE INDOOR	
			Uso agricolo, verde pubblico, residenziale	Uso commerciale/ industriale
Al di sotto della soletta	n.a.	n.a.	2,00E-02	
Suolo insaturo	1,0	1,5E-05	2,8E-03	3,7E-04
	1,5	1,2E-05	2,3E-03	3,4E-04
	2,0	9,2E-06	2,0E-03	3,1E-04
	3,0	6,1E-06	1,6E-03	2,7E-04
	5,0	3,7E-06	1,1E-03	2,1E-04
	7,0	2,6E-06	8,3E-04	1,7E-04
	10,0	1,8E-06	6,2E-04	1,3E-04
	15,0	1,2E-06	4,3E-04	9,9E-05
	20,0	9,2E-07	3,3E-04	7,8E-05
30,0	6,1E-07	2,3E-04	5,5E-05	

#### 4. PROCEDURA DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

In un sito contaminato, nel caso in cui esista un rischio potenziale (superamento delle CSC per il suolo e/o per la falda) per la salute umana derivante da inalazione di vapori e/o di polveri in un ambiente aperto o confinato, una volta costruito il modello concettuale del sito, è necessario stimare per i comparti ambientali suolo insaturo e/o saturo (falda) i valori di Concentrazione Soglia di Rischio CSR(suolo/falda) di cui al D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., selezionando il valore più conservativo tra quelli forniti dalle espressioni di seguito riportate:

$$CSR_c(\text{suolo} / \text{falda}) \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \frac{TR}{SF \cdot FT \cdot EM} = \frac{CSC_c(\text{aria})}{FT} \quad (\text{per effetti cancerogeni})$$

$$CSR_n(\text{suolo} / \text{falda}) \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \frac{THQ \cdot RfD}{FT \cdot EM} = \frac{CSC_n(\text{aria})}{FT} \quad (\text{per effetti tossici})$$

Dove:

- CSC(aria) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] è la Concentrazione Soglia di Contaminazione per il comparto ambientale aria, outdoor o indoor, definita nel Capitolo 2.
- FT è il fattore di trasporto del contaminante, che deve essere calcolato in funzione del comparto ambientale interessato dalla contaminazione (suolo superficiale (SS), suolo profondo (SP), falda (GW)), della tipologia della contaminazione stessa (polveri e/o vapori) e del comparto ambientale a mezzo del quale il bersaglio entra in contatto con la specie chimica contaminante (aria outdoor e/o aria indoor). I possibili fattori di trasporto coinvolti sono elencati di seguito:
  - $VF_{ss}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]: Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale;
  - $VF_{samb}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]: Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo;
  - $VF_{wamb}$  [ $\text{L}/\text{m}^3$ ]: Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda;
  - PEF [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]: Emissione di particolato outdoor da suolo superficiale;
  - $VF_{sesp}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]: Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo;
  - $VF_{wesp}$  [ $\text{L}/\text{m}^3$ ]: Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda;
  - $PEF_{in}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]: Emissione di particolato indoor da suolo superficiale.

I suddetti fattori di trasporto possono essere calcolati utilizzando le equazioni analitiche riportate nel documento [APAT, 2008]. Come detto nell'introduzione, tali equazioni analitiche rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei suddetti fenomeni di trasporto del contaminante e spesso forniscono risultati estremamente conservativi. A titolo esemplificativo, ma non esaustivo si ricorda l'influenza dei fenomeni di biodegradazione dei vapori derivanti da contaminanti organici nell'insaturo che può, in determinati casi, portare a una consistente sovrastima del rischio (ad es: siti contaminati da idrocarburi di origine petrolifera).

A seguito delle problematiche sopra evidenziate, viene di seguito descritta nel dettaglio la procedura utile per la valutazione del rischio sanitario associato all'esposizione "Inalazione di vapori e polveri in ambienti aperti e confinati", già delineata nel Capitolo 1. In particolare, le fasi in cui si articola tale procedura sono di seguito elencate:

- 1) Verifica dell'esistenza di un rischio potenziale per la salute umana legato all'esposizione inalazione di vapori e/o polveri in ambienti aperti o confinati. A tal fine è necessario che siano soddisfatti i requisiti per la costruzione del modello concettuale, di cui al Capitolo 2.
- 2) Verifica del superamento delle CSC per le matrici suolo e/o acque sotterranee.

- 3) Stima della Concentrazione Soglia di Rischio per il suolo insaturo e/o la falda CSR(suolo/falda) a mezzo della procedura di analisi assoluta di rischio [D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.].
- 4) Confronto tra la CSR(suolo/falda) e i valori di concentrazione analiticamente determinati nel suolo insaturo e/o nella falda in fase di caratterizzazione.
- 5) Se la CSR(suolo/falda) risulta inferiore a questi ultimi è possibile, in alternativa all'attivazione di interventi di bonifica o di messa in sicurezza, effettuare campagne di indagine diretta, selezionando una o entrambe le seguenti opzioni:
  - 5.a) Misure di concentrazione su campioni di aria outdoor/indoor.
    - Verifica sul fondo. Una problematica rilevante in tal caso è rappresentata dalla possibile presenza di contaminati, ricercati nel caso specifico e non, provenienti da sorgenti diverse rispetto al suolo insaturo e/o alla falda. Nel caso di ambienti aperti, queste possono essere dovute alla presenza di traffico o di impianti industriali nelle vicinanze; mentre nel caso di ambienti confinati, possono, ad esempio, essere rappresentate dai materiali da costruzione, dalle fonti energetiche per il riscaldamento/raffreddamento, dalla qualità dell'aria esterna e, nel caso di impianti industriali, dalle materie prime e dai prodotti utilizzati nelle lavorazioni. I livelli di contaminazione dovuti a tali sorgenti sono generalmente rilevabili e potrebbero persino superare le concentrazioni soglia di rischio. Risulta quindi opportuno distinguere i contributi relativi al fondo rispetto a quelli provenienti dal suolo, saturo o insaturo, contaminato, per la cui trattazione si rimanda al Capitolo 5.
    - Confronto delle misure aria indoor/outdoor con le CSC(aria), di cui al Paragrafo 3.1. Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario procedere, altrimenti è necessario intervenire a mezzo di bonifica o di messa in sicurezza del sito.
  - 5.b) Misure di concentrazione su campioni di soil-gas (naturalmente tale opzione è applicabile solo nel caso in cui sia possibile trascurare il rischio da inalazione di polveri)..
    - Confronto delle misure di soil-gas con le CSC(aria). Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario procedere, altrimenti è necessario intervenire a mezzo di bonifica o di messa in sicurezza del sito oppure procedere ai passaggi di cui ai punti successivi. Si sottolinea infatti che, confrontando i valori misurati di soil-gas con le concentrazioni in aria, si trascura la riduzione di concentrazione che il contaminante subisce migrando dal suolo all'ambiente aperto o confinato. Quindi, poichè tale confronto potrebbe fornire dei risultati eccessivamente cautelativi, in alternativa è possibile procedere come di seguito illustrato.
    - Confronto delle misure di soil-gas con le CSC(soil-gas), calcolate applicando l'Approccio sito-generico descritto nel Capitolo 3.2. Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario procedere, altrimenti è necessario intervenire a mezzo di bonifica o di messa in sicurezza del sito. In alternativa all'intervento, è possibile procedere come di seguito illustrato.
    - Confronto delle misure di soil-gas con le CSR(soil-gas) o calcolo del rischio in modalità diretta. Le CSR(soil-gas) sono calcolate applicando l'Approccio sito-specifico descritto nel Capitolo 3.2. Se le prime risultano inferiori alle seconde allora non è necessario procedere, altrimenti è necessario intervenire a mezzo

di bonifica o di messa in sicurezza del sito. In alternativa si può procedere al calcolo diretto del rischio a partire dalle misure di soil-gas.

La procedura sopra esposta, che dovrà essere applicata nel caso di siti industriali/commerciali dismessi e ad uso residenziale/ricreativo, è riportata, sotto forma di diagramma di flusso, in Figura 4.1 nel caso di misure effettuate in aria, sia in ambienti aperti che confinati, e in Figura 4.2 nel caso di misure di soil-gas.

Nel caso in cui gli interventi previsti sul sito riguardano una messa in sicurezza operativa (MISO), è possibile gestire il rischio da inalazione di vapori e polveri seguendo una procedura semplificativa, alternativa a quella sopra esposta.

Secondo l'art. 240 comma 1, lett. n) del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., la messa in sicurezza operativa (MISO) rappresenta *“l'insieme degli interventi eseguiti in un sito con attività in esercizio atti a garantire un adeguato livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente, in attesa di ulteriori interventi di messa in sicurezza permanente o bonifica da realizzarsi alla cessazione dell'attività.”*

Considerando lo stato di transitorietà e dunque la durata limitata dell'esposizione si ritiene infatti che in tal caso si possano ragionevolmente utilizzare i limiti di esposizione professionale (Occupational Exposure Limits - OELs), di cui all'Appendice B, come limiti di concentrazione da porre a confronto con i dati ottenuti dai campionamenti, per esposizione professionale. Ciò può essere fatto, a patto però che:

- siano identificate tutte le fonti di esposizione professionale per i contaminanti caratteristici del sito; che possono incrementare la concentrazione da confrontare con gli OELs;
- oltre alle misure generali di tutela di cui all'art.15 e, specificamente per i cantieri temporanei o mobili, all'art.95 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., sia riservata particolare attenzione in sede di esecuzione dell'intervento, alle misure di protezione e prevenzione relative alla protezione da agenti chimici, generali e specifiche di cui agli artt. 224 e 225 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. Per approfondimenti si rimanda ai contenuti dell'Appendice C, in cui si riportano cenni sulle misure di prevenzione e protezione sia generali che specifiche da adottare.

Come evidenziato nell'Appendice B, infatti, anche se i valori di concentrazione misurati in aria risultano inferiori agli OEL, ciò non implica che il rischio sia basso per la sicurezza ed irrilevante per la salute dei lavoratori. Quindi si ritiene opportuno che siano in ogni caso adottate, nel rispetto del principio di precauzione, oltre le misure generali di prevenzione obbligatorie ai sensi dell'art.224, anche le misure specifiche di prevenzione di cui all' art.225 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i. A meno che non siano presenti specifiche e documentate valutazioni contenute nel Documento Unico di Valutazione dei Rischi di Interferenza (DUVRI), di cui all'art.26 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., riguardante i lavoratori dell'attività industriale/commerciale presenti nel sito oggetto di MISO.

Figura 4.1 – Procedura per la valutazione del rischio da inalazione di vapori e polveri da misure su aria outdoor/indoor.

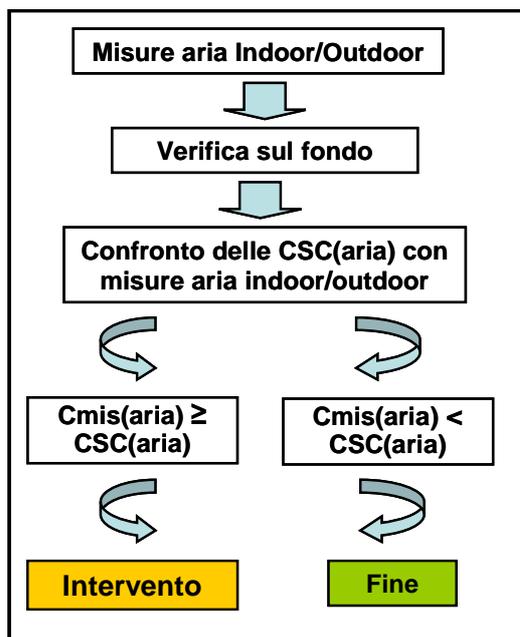
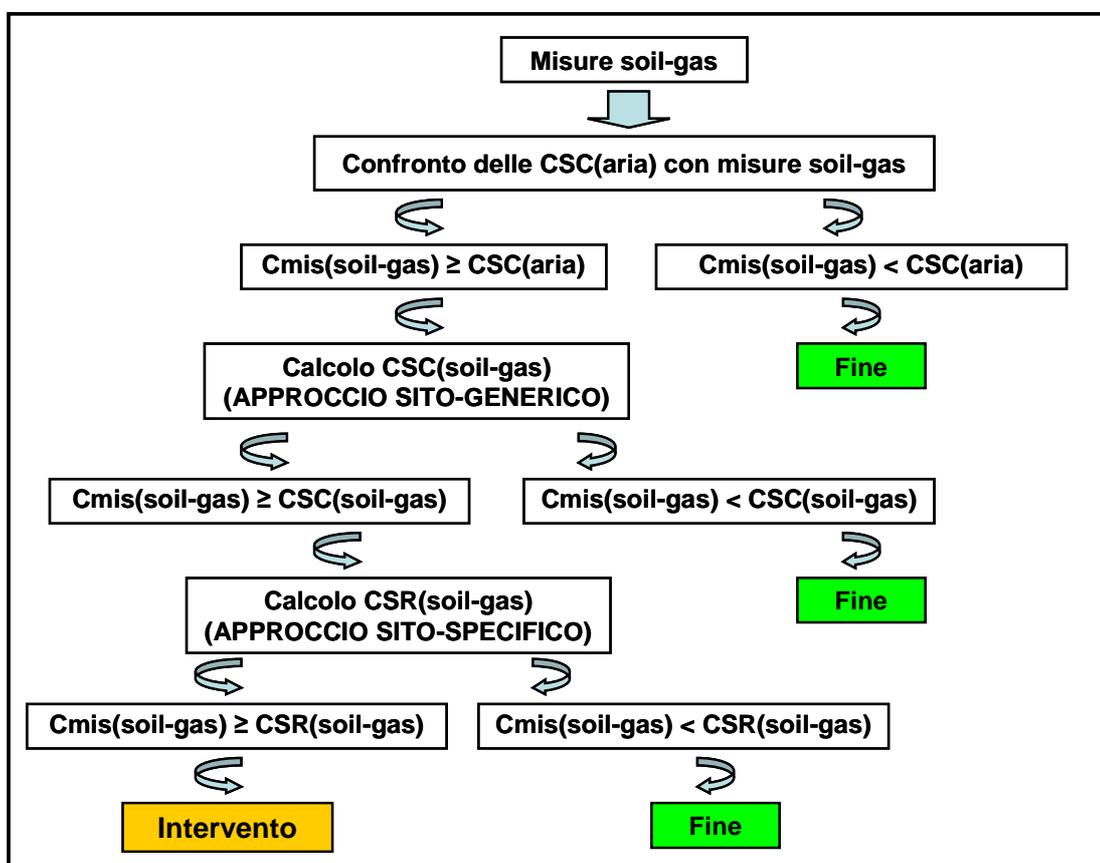


Figura 4.2 – Procedura per la valutazione del rischio da inalazione di vapori e polveri da misure su soil-gas.



## 5. LIVELLI DI FONDO DEGLI INQUINANTI

L'identificazione dei valori di concentrazione di fondo degli inquinanti, può essere effettuata, almeno in una fase iniziale, utilizzando una base di dati statisticamente significativa sulla qualità dell'aria. In assenza di dati disponibili o qualora tali dati siano ritenuti poco significativi potranno essere utilizzate come riferimento misure specifiche dei livelli di fondo in aree sopravento non interessate dalla specifica contaminazione proveniente dal sito oggetto di analisi di rischio.

Per gli ambienti aperti e per gli inquinanti il cui livello di concentrazione in aria è normato, ovvero per quelli riportati in Tabella 3.4, ma non solo, è possibile fare riferimento alla banca dati BRACE dell'ISPRA [URL: <http://www.sinanet.apat.it/it/aria>], che contiene informazioni sulle reti, le stazioni e i sensori di misura, presenti sul territorio nazionale, utilizzati per il monitoraggio della qualità dell'aria e i dati di concentrazione degli inquinanti. In particolare, a mezzo di tale banca dati è possibile, in base al posizionamento delle stazioni di rilevamento ed al periodo temporale di riferimento, ottenere indicazioni sul livello di fondo per molti inquinanti, e comunque almeno per benzene, toluene, etilbenzene, isomeri dello xilene, benzo(a)pirene, IPA, arsenico, cadmio, cromo, manganese, nichel piombo e zinco e COV totali.

A titolo esemplificativo, nelle tabelle 5.1 e 5.2 si riporta rispettivamente un'elaborazione di dati aggregati per il Benzene per l'anno 2008, ed un'elaborazione dei dati grezzi per l'Arsenico disponibili invece per anni diversi (la normativa richiede la normalizzazione dei dati ad una temperatura di 293 K e ad una pressione di 101,3 kPa). I dati nel primo caso sono più recenti, abbastanza distribuiti sul territorio nazionale e mostrano una certa variabilità, mentre nel secondo caso sono piuttosto limitati dal punto di vista geografico e temporalmente disomogenei, ma risultano caratterizzati da omogeneità di valori.

Per gli ambienti confinati occorrerebbe, se possibile, fare riferimento ad edifici posizionati in siti certamente non contaminati, mentre un maggiore livello di approfondimento richiede strategie di misurazione mirate (es. gradienti di concentrazione all'interno dell'edificio in questione). [Dawson & McAlary, 2009; McHugh et al., 2004]. Difatti alcune fonti sono praticamente ubiquitarie e difficilmente eliminabili (evaporazione da mobili o superfici di legno trattato, rilascio da depositi a lungo termine di prodotti chimici o combustibili), mentre altre sono intermittenti (fumo di sigaretta, evaporazione da puliture a secco, gas di scarico da garage adiacenti). Quindi la concentrazione di fondo di volatili può variare fortemente sia da un edificio all'altro che nel tempo all'interno dello stesso edificio.

Alcuni autori suggeriscono l'uso del radon come tracciante dei movimenti del soil-gas all'interno degli edifici, che consentirebbe di minimizzare l'interferenza dei livelli di fondo [McHugh et al., 2008]. Altri, suggeriscono di utilizzare come "marker di vapor intrusion" i rapporti tra VOC specifici in aria e in altra matrice contaminata (soil-gas, falda), ad esempio almeno due dei potenziali contaminanti di interesse scarsamente biodegradabili, con almeno uno che abbia generalmente concentrazioni di background molto basse, da porre al denominatore, ad esempio TCE/1,1-DCE [Kurtz & Folkes, 2005]. Queste costituiscono in effetti alcune delle "Multiple Lines of Evidence" suggerite come stato dell'arte unitamente all'approccio per livelli, dall'USEPA, dal CCME, dall'NJDEP, e da altre agenzie statunitensi (vedi [USEPA, 2009], [CCME, 2009] e [NJDEP, 2005]) per confermare l'esistenza effettiva della problematica della vapor intrusion.

Poiché spesso l'individuazione del bianco all'interno di un edificio ubicato in aree certamente non contaminate risulta essere una procedura difficilmente applicabile sul campo, il bianco può essere eventualmente posizionato outdoor, anziché indoor, su un'area non contaminata, in modo da fornire indicazioni sul contributo "ambientale" alla qualità dell'aria.

**Tabella 5.1 - Livelli di concentrazione di benzene nell'aria rilevati nelle regioni italiane [database BRACE dell'ISPRA (accesso in data 20/04/2010)]**

Regione	Zona rurale			Zona suburbana			Zona urbana		
	numero stazioni	media (medie annuali) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	% staz con val. max > limite*	numero stazioni	media (medie annuali) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	% staz con val. max > limite*	numero stazioni	media (medie annuali) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	% staz con val. max > limite*
ABRUZZO				1	-		2	4	100,0%
ALTO ADIGE							2	3	100,0%
BASILICATA	3	1	33,3%	2	1	0,0%	2	3	0,0%
CALABRIA	2	0	50,0%						
CAMPANIA				1	-		7	2	100,0%
EMILIA - ROMAGNA							14	2	50,0%
FRIULI VENEZIA GIULIA				4	2	50,0%	5	2	75,0%
LAZIO				1	4	100,0%	12	2	83,3%
LIGURIA				2	1	50,0%	7	3	80,0%
LOMBARDIA	5	1	25,0%	2	2	100,0%	14	2	58,3%
MARCHE	3	1	0,0%	8	3	66,7%	7	2	33,3%
MOLISE							7	2	28,6%
PIEMONTE				1	2	0,0%	11	2	87,5%
PUGLIA	1	-		4	2	0,0%	7	1	66,7%
SARDEGNA	2	1	100,0%	4	2	66,7%	4	1	25,0%
SICILIA				2	1	0,0%	14	3	100,0%
TOSCANA	1	1	0,0%	1	1	0,0%	5	2	75,0%
TRENTINO							1	1	0,0%
UMBRIA							4	1	66,7%
VALLE DI AOSTA							1	1	100,0%
VENETO							3	2	66,7%
Totale complessivo	17	1	30,8%	33	2	45,5%	129	2	68,3%

\* non tutte per tutte le stazioni è disponibile un valore massimo (max), quindi la % è calcolata sul totale dei valori max disponibili - il valore limite per il benzene è  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tabella 5.2 – Livelli di concentrazione di arsenico nell'aria rilevati in alcune regioni italiane [database BRACE dell'ISPRA (accesso in data 20/04/2010)]**

REGIONE	n.stazioni	n. valori	media ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )			n.val.>obiettivo ( $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ )
			2008	2007	2005	
<b>Piemonte</b>	20	>6.200	1	1		25*
<b>Lombardia</b>	14	1.733	1			11
<b>Sicilia</b>	4	96			2	3

\* tutti rilevati a gennaio 2007 dalla stazione NO\_3106\_Verdi ( $6,28 \text{ ng}/\text{m}^3$ )

## **6. IDENTIFICAZIONE DEL VALORE DI CONCENTRAZIONE RAPPRESENTATIVO DEI DATI MISURATI**

Per effettuare il confronto tra le CSC(aria), le CSC(soil-gas) e/o le CSR(soil-gas) ed i valori misurati nelle campagne di indagine diretta è necessario individuare un valore di concentrazione rappresentativo di quelli misurati. A tal fine è possibile fare riferimento alla procedura proposta nel documento [APAT, 2008], che consiste nel considerare come rappresentativo il valore massimo nel caso in cui il numero di misure a disposizione sia inferiore a 10, e di considerare invece l'Upper Confidential Limit al 95% (UCL 95%) se il numero di misure è pari o superiore a 10.

Si ritiene comunque opportuno evidenziare che utilizzare il valore massimo può essere ragionevole per piccoli edifici residenziali, mentre può condurre a stime troppo conservative se applicato a edifici industriali/commerciali ampi, tanto più se questi presentano delle aree di contaminazione localizzate ed i punti di campionamento non sono scelti in modo casuale, ma sono invece spostati verso i punti rappresentativi del "caso peggiore" [Eklund & Burrows, 2009].

A valle di tali considerazioni, e generalizzando a qualsiasi tipologia di edificio, si ritiene che nel caso di edifici di grandi dimensioni è preferibile individuare un numero di punti di campionamento superiore a 10, in modo da permettere l'elaborazione statistica dei dati e la conseguente individuazione del UCL 95%.

## BIBLIOGRAFIA

- Abreu L. D.V., Ettinger R.A., and McAlary T. A. (2009) Simulated Soil Vapor Intrusion Attenuation Factors Including Biodegradation for Petroleum Hydrocarbons Ground Water Monitoring & Remediation 29 (1): 105–117
- AIDII (2009). *Giornale degli Igienisti Industriali – Valori limite di soglia Indici biologici di esposizione ACGIH 2009 e Valori limite di soglia UE*, AIDII, Ottobre 2009. APAT (2008). *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati (revisione 2)*
- Atlantic Canada RBCA (2006). *Guidance for soil vapour and indoor air monitoring assessment for petroleum imparte sites in Atlantic Canada*. Appendice 9.
- BCME (British Columbia Ministry of Environment) (2006) 4 *Technical Guidance on Contaminated Sites, Soil Vapour Investigation, Draft*, December 2006
- BCME (British Columbia Ministry of Environment) (2008) *Interim Guidance for Contaminated Sites. Site Vapour Assessment*, Version 3: Posted October 3, 2008
- BCME (British Columbia Ministry of Environment) (2009) 4 *Technical Guidance on Contaminated Sites, Vapour Investigation and Remediation, Draft*, July 2009
- Berardi S., Bemporad E., Gherardi M., Mariani M. "Intrusione di vapori da suolo contaminato: un approccio alternativo per la valutazione del rischio, *Ambiente e Sicurezza*, 26 gennaio 2010 n. 2 pag. 71
- Brand E., Otte P.F, Lijzen J.P.A. (2007) *CSOIL 2000: an exposure model for human risk assessment of soil contamination A model description*. RIVM Bilthoven, The Netherlands. RIVM report 711701054/2007
- CalEPA (2005). *Guidance for the evaluation and mitigation of subsurface vapour intrusion to indoor air*, Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency, USA.
- CCME (2008), Canadian Council of Ministers of the Environment Final Scoping Assessment of Soil Vapour Monitoring Protocols for Evaluating Subsurface Vapour Intrusion into Indoor Air, Prepared by Geosyntec Consultants, Project Number TR0290 PN 1427 July 8, 2008
- Dawson H.E., McAlary T. A (2009) Compilation of Statistics for VOCs from Post-1990 Indoor Air Concentration Studies in North American Residences Unaffected by Subsurface Vapor Intrusion. *Ground Water Monitoring & Remediation* 29 (1): 60–69
- Eklund B., Burrows D. (2009) Prediction of Air Quality from Soil-Gas Data at Industrial Buildings, *Ground Water Monitoring & Remediation* 29 (1): 118–125
- Health Canada (2007) *Environmental and Workplace Health, Part III: Guidance on Peer Review of Human Health Risk Assessments for Federal Contaminated Sites in Canada Appendix A: Guidance on Checklist for Peer Review of Human Health Risk Assessments for Federal Contaminated Sites in Canada*, date modified 2007-12-14 [on line: [http://hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contamsite/part-partie\\_iii/appendix\\_a-eng.php](http://hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contamsite/part-partie_iii/appendix_a-eng.php)] (accesso in data 1/07/2010)
- Johnson P.C., Ettinger R.A., Kurtz J.P, Bryan R., and Kester J.E. (2009) Empirical Assessment of Ground Water-to-Indoor Air Attenuation Factors for the CDOT-MTL Denver Site *Ground Water Monitoring & Remediation* 29 (1): 53–159
- Johnson P.C., Ettinger R.A. (1991). *Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into building*, *Environmental Science & technology*, 25 (8).
- Kurtz, J.P., Folkes D.J. (2005) Discerning Background Sources of VOCs from Vapor Intrusion Sources Using Multiple Lines of Evidence *Paper G-62*, in: B.C. Alleman and M.E. Kelley (Conference Chairs), *In Situ and On-Site Bioremediation—2005*. Proceedings of the Eighth International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium (Baltimore, Maryland; June 6–9, 2005).

INFN (2008). *Documento di valutazione del rischio chimico*, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Genova, Servizio Prevenzione e Protezione, Nota del 4 dicembre 2008,

ISS-ISPEL (2009). *Banca dati ISS-ISPEL: proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle specie chimiche di cui al D.Lgs. 152/2008 e s.m.i.(revisione maggio 2009)*. ITRC (2007). *Vapor intrusion pathway: a practical guideline*, Interstate Technology & Regulatory Council Vapor Intrusion Team.

McHugh T. E., Hammond D. E., Nickels T., Hartman, B. (2008) Use of Radon Measurements for Evaluation of Volatile Organic Compound (VOC) Vapor Intrusion *Environmental Forensics*, 9:107–114

McHugh T.E., Connor J.A., Ahmad F. (2004) An Empirical Analysis of the Groundwater-to-Indoor-Air Exposure Pathway: The Role of Background Concentrations in Indoor Air *Environmental Forensics*, 5:33–44

NJDEP (2005). *Vapor Intrusion Guidance*. Site Remediation and Waste Management Program.

NJDEP (2008) *Inhalation Exposure Pathway Soil Remediation Standards, Basis and Background*, June 2008

Oomen A.G., Lijzen J.P.A. (2004) *Relevancy of human exposure via house dust to the contaminants lead and asbestos*. RIVM Bilthoven, The Netherlands. RIVM report 711701037/2004

Scott P.K., Proctor D. (2008) Soil Suspension/Dispersion Modeling Methods for Estimating Health-Based Soil Cleanup Levels of Hexavalent Chromium at Chromite Ore Processing Residue Sites. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 58:384–403

USEPA (2009), Office of Inspector General, Evaluation Report, *Lack of Final Guidance on Vapor Intrusion Impedes Efforts to Address Indoor Air Risks*, Report No. 10-P-0042, December 14, 2009

USEPA (2008): U.S. EPA's Vapor Intrusion Database: Preliminary Evaluation of Attenuation Factors Office of Solid Waste U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, Draft, March 4, 2008

USEPA (2004). *User's Guide for Evaluating Subsurface Vapor Intrusion into Buildings,* Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC

USEPA (2002). *OSWER Draft Guidance for Evaluating the Vapor Intrusion to Indoor Air Pathway from Groundwater and Soils (Subsurface Vapor Intrusion Guidance)*, EPA530-D-02-004.

WHO (2000) – Regional Office for Europe *Air Quality Guidelines for Europe*, 2° Edition, WHO Regional Publications, European series n. 91

**Tabella 3.3-a – CSC(aria): Attività fisica sedentaria (1/2)**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Industriale/Commerciale			Residenziale		
		CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSR <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]
<b>Composti Inorganici</b>							
Alluminio	7429-90-5	-	2,03E+01	2,0E+01	-	1,33E+00	1,3E+00
Antimonio	7440-36-0	-	5,68E+00	5,7E+00	-	3,72E-01	3,7E-01
Argento	7440-22-4	-	7,10E+01	7,1E+01	-	4,66E+00	4,7E+00
Arsenico *	7440-38-2	2,65E-03	4,26E+00	2,6E-03	3,45E-04	2,79E-01	3,4E-04
Berillio	7440-41-7	4,73E-03	8,09E-02	4,7E-03	6,15E-04	5,31E-03	6,2E-04
Boro	7440-42-8	-	8,11E+01	8,1E+01	-	5,32E+00	5,3E+00
Cadmio *	7440-43-9	6,31E-03	8,09E-01	6,3E-03	8,20E-04	5,31E-02	8,2E-04
Cianuri (liberi)	57-12-5	-	2,84E+02	2,8E+02	-	1,86E+01	1,9E+01
Cobalto	7440-48-4	4,06E-03	8,11E-02	4,1E-03	5,27E-04	5,32E-03	5,3E-04
Cromo totale	024-017-00-8	-	2,13E+04	2,1E+04	-	1,40E+03	1,4E+03
Cromo VI *	18540-29-9	9,46E-04	4,26E-01	9,5E-04	1,23E-04	2,79E-02	1,2E-04
Manganese *	7439-96-5	-	2,03E-01	2,0E-01	-	1,33E-02	1,3E-02
Mercurio *	7439-97-6	-	1,22E+00	1,2E+00	-	8,01E-02	8,0E-02
Nichel *	7440-02-0	4,73E-02	2,84E+02	4,7E-02	6,15E-03	1,86E+01	6,2E-03
Piombo *	7439-92-1	-	4,97E+02	5,0E+02	-	3,26E+01	3,3E+01
Piombo Tetraetile	78-00-2	-	3,04E-01	3,0E-01	-	1,99E-02	2,0E-02
Rame	7440-50-8	-	5,68E+02	5,7E+02	-	3,72E+01	3,7E+01
Selenio	7782-49-2	-	7,10E+01	7,1E+01	-	4,66E+00	4,7E+00
Stagno	7440-31-5	-	8,52E+03	8,5E+03	-	5,59E+02	5,6E+02
Tallio	7440-28-0	-	1,14E+00	1,1E+00	-	7,45E-02	7,4E-02
Vanadio *	7440-62-2	-	9,94E+01	9,9E+01	-	6,52E+00	6,5E+00
Zinco	7440-66-6	-	4,26E+03	4,3E+03	-	2,79E+02	2,8E+02
Nitriti	14797-65-0	-	1,42E+03	1,4E+03	-	9,31E+01	9,3E+01
<b>Aromatici</b>							
Benzene *	71-43-2	1,46E+00	1,21E+02	1,5E+00	1,89E-01	7,96E+00	1,9E-01
Etilbenzene	100-41-4	-	4,05E+03	4,0E+03	-	2,65E+02	2,7E+02
Stirene *	100-42-5	-	4,05E+03	4,0E+03	-	2,65E+02	2,7E+02
Toluene *	108-88-3	-	2,03E+04	2,0E+04	-	1,33E+03	1,3E+03
m-Xilene	108-32-3	-	2,84E+03	2,8E+03	-	1,86E+02	1,9E+02
o-Xilene	95-47-6	-	2,84E+03	2,8E+03	-	1,86E+02	1,9E+02
p-Xilene	106-42-3	-	2,84E+03	2,8E+03	-	1,86E+02	1,9E+02
Xileni	1330-20-7	-	2,84E+03	2,8E+03	-	1,86E+02	1,9E+02
<b>Aromatici policiclici</b>							
Benzo(a)antracene	56-55-3	6,62E-02	4,05E+03	6,6E-02	8,61E-03	2,65E+02	8,6E-03
Benzo(a)pirene *	50-32-8	5,43E-03	4,45E+04	5,4E-03	7,06E-04	2,92E+03	7,1E-04
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	6,62E-02	4,05E+03	6,6E-02	8,61E-03	2,65E+02	8,6E-03
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	-	4,26E+02	4,3E+02	-	2,79E+01	2,8E+01
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	1,28E+00	4,05E+02	1,3E+00	1,67E-01	2,65E+01	1,7E-01
Crisene	218-01-9	6,52E+00	4,26E+02	6,5E+00	8,47E-01	2,79E+01	8,5E-01
Dibenzo(a,h)antracene	53-70-3	5,44E-03	-	5,4E-03	7,08E-04	-	7,1E-04
Indenopirene	193-39-5	1,28E-01	4,46E+04	1,3E-01	1,67E-02	2,92E+03	1,7E-02
Pirene	129-00-0	-	4,26E+02	4,3E+02	-	2,79E+01	2,8E+01
<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>							
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	1,99E-01	2,84E+03	2,0E-01	2,58E-02	1,86E+02	2,6E-02
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	7,10E-01	8,09E+02	7,1E-01	9,23E-02	5,31E+01	9,2E-02
1,1-Dicloroetilene	75-35-4	2,27E-01	8,11E+02	2,3E-01	2,95E-02	5,32E+01	3,0E-02
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	5,68E-03	8,52E+01	5,7E-03	7,38E-04	5,59E+00	7,4E-04
1,2-Dicloroetano *	107-06-2	4,37E-01	4,05E+01	4,4E-01	5,68E-02	2,65E+00	5,7E-02
1,2-Dicloropropano	78-87-5	5,84E-01	1,62E+01	5,8E-01	7,60E-02	1,06E+00	7,6E-02
Clorometano	74-87-3	6,31E+00	3,65E+02	6,3E+00	8,20E-01	2,39E+01	8,2E-01
Cloruro di vinile	75-01-4	1,29E+00	4,06E+02	1,3E+00	1,68E-01	2,66E+01	1,7E-01
Diclorometano *	75-09-2	2,34E+01	1,22E+04	2,3E+01	3,04E+00	8,01E+02	3,0E+00
Tetracloroetilene(PCE) *	127-18-4	1,99E+00	1,42E+02	2,0E+00	2,58E-01	9,31E+00	2,6E-01
Tricloroetilene *	79-01-6	6,62E+00	8,52E+01	6,6E+00	8,61E-01	5,59E+00	8,6E-01
Triclorometano	67-66-3	4,94E-01	1,99E+02	4,9E-01	6,42E-02	1,30E+01	6,4E-02
Esaclorobutadiene	87-68-3	5,10E-01	2,84E+00	5,1E-01	6,63E-02	1,86E-01	6,6E-02
<b>Alifatici clorurati non cancerogeni</b>							
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	-	4,05E+03	4,0E+03	-	2,65E+02	2,7E+02
1,1-Dicloroetano	75-34-3	-	1,99E+03	2,0E+03	-	1,30E+02	1,3E+02
cis-1,2-Dicloroetilene	156-59-2	-	1,42E+02	1,4E+02	-	9,31E+00	9,3E+00
trans-1,2-Dicloroetilene	156-60-5	-	2,84E+02	2,8E+02	-	1,86E+01	1,9E+01
1,2-dicloroetilene	---	-	1,42E+02	1,4E+02	-	9,31E+00	9,3E+00

**Tabella 3.3-a – CSC(aria): Attività fisica sedentaria (2/2)**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Industriale/Commerciale			Residenziale		
		CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSR <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]
<b>Alifatici alogenati cancerogeni</b>							
1,2-Dibromoetano	106-93-4	5,16E-02	3,65E+01	5,2E-02	6,71E-03	2,39E+00	6,7E-03
Bromodichlorometano	75-27-4	6,41E-01	2,84E+02	6,4E-01	8,34E-02	1,86E+01	8,3E-02
Dibromoclorometano	124-48-1	4,73E-01	2,84E+02	4,7E-01	6,15E-02	1,86E+01	6,2E-02
Tribromometano (bromoformio)	75-25-2	1,03E+01	2,84E+02	1,0E+01	1,34E+00	1,86E+01	1,3E+00
<b>Nitrobenzeni</b>							
1,2-Dinitrobenzene	528-29-0	-	5,68E+00	5,7E+00	-	3,72E-01	3,7E-01
1,3-Dinitrobenzene	99-65-0	-	1,42E+01	1,4E+01	-	9,31E-01	9,3E-01
Cloronitrobenzeni	100-00-5	1,59E+00	-	1,6E+00	2,07E-01	-	2,1E-01
Nitrobenzene	98-95-3	-	8,09E+00	8,1E+00	-	5,31E-01	5,3E-01
<b>Clorobenzeni</b>							
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	95-94-3	-	4,26E+00	4,3E+00	-	2,79E-01	2,8E-01
1,2,4-Triclorobenzene	120-82-1	-	8,09E+02	8,1E+02	-	5,31E+01	5,3E+01
1,2-Diclorobenzene	95-50-1	-	8,09E+02	8,1E+02	-	5,31E+01	5,3E+01
1,4-Diclorobenzene	106-46-7	1,80E+00	3,25E+03	1,8E+00	2,34E-01	2,13E+02	2,3E-01
Esaclorobenzene	118-74-1	2,48E-02	1,14E+01	2,5E-02	3,23E-03	7,45E-01	3,2E-03
Monoclorobenzene	108-90-7	-	8,52E+01	8,5E+01	-	5,59E+00	5,6E+00
Pentaclorobenzene	608-93-5	-	1,14E+01	1,1E+01	-	7,45E-01	7,4E-01
<b>Fenoli non clorurati</b>							
Fenolo	108-95-2	-	8,52E+03	8,5E+03	-	5,59E+02	5,6E+02
<i>m</i> -Metilfenolo	108-39-4	-	7,10E+02	7,1E+02	-	4,66E+01	4,7E+01
<i>o</i> -Metilfenolo	95-48-7	-	7,10E+02	7,1E+02	-	4,66E+01	4,7E+01
<i>p</i> -Metilfenolo	106-44-5	-	7,10E+01	7,1E+01	-	4,66E+00	4,7E+00
Metilfenoli	-	-	7,10E+01	7,1E+01	-	4,66E+00	4,7E+00
<b>Fenoli clorurati</b>							
2,4,6-Triclorofenolo	88-06-2	3,97E+00	-	4,0E+00	5,17E-01	-	5,2E-01
2,4-Diclorofenolo	120-83-2	-	4,26E+01	4,3E+01	-	2,79E+00	2,8E+00
2-Clorofenolo	95-57-8	-	7,10E+01	7,1E+01	-	4,66E+00	4,7E+00
Pentaclorofenolo	87-86-5	3,31E-01	4,26E+02	3,3E-01	4,31E-02	2,79E+01	4,3E-02
<b>Ammine aromatiche</b>							
Anilina	62-53-3	6,97E+00	4,26E+00	4,3E+00	9,07E-01	2,79E-01	2,8E-01
Difenilamina	122-39-4	-	3,55E+02	3,5E+02	-	2,33E+01	2,3E+01
<i>m,p</i> -Anisidina	536-90-3	-	9,94E+01	9,9E+01	-	6,52E+00	6,5E+00
<i>o</i> -Anisidina	90-04-0	2,84E-01	8,52E-01	2,8E-01	3,69E-02	5,59E-02	3,7E-02
<i>p</i> -Toluidina	106-49-0	2,09E-01	-	2,1E-01	2,72E-02	-	2,7E-02
<b>Fitofarmaci</b>							
Alaclor	15972-60-8	4,97E-01	1,42E+02	5,0E-01	6,46E-02	9,31E+00	6,5E-02
Aldrin	309-00-2	2,32E-03	4,26E-01	2,3E-03	3,01E-04	2,79E-02	3,0E-04
Atrazina	1912-24-9	1,81E-01	4,97E+02	1,8E-01	2,35E-02	3,26E+01	2,3E-02
Clordano	57-74-9	1,14E-01	2,84E+00	1,1E-01	1,48E-02	1,86E-01	1,5E-02
DDD	72-54-8	1,66E-01	7,10E+00	1,7E-01	2,15E-02	4,66E-01	2,2E-02
DDE	72-55-9	1,17E-01	7,10E+00	1,2E-01	1,52E-02	4,66E-01	1,5E-02
DDT	50-29-3	1,17E-01	7,10E+00	1,2E-01	1,52E-02	4,66E-01	1,5E-02
Dieldrin	60-57-1	2,48E-03	7,10E-01	2,5E-03	3,23E-04	4,66E-02	3,2E-04
Endrin	72-20-8	-	4,26E+00	4,3E+00	-	2,79E-01	2,8E-01
$\alpha$ -esacloroesano	319-84-6	6,31E-03	7,10E+00	6,3E-03	8,20E-04	4,66E-01	8,2E-04
$\beta$ -esacloroesano	319-85-7	2,14E-02	2,84E+00	2,1E-02	2,78E-03	1,86E-01	2,8E-03
$\gamma$ -esaclorocicloesano (Lindano)	58-89-9	3,06E-02	4,26E+00	3,1E-02	3,98E-03	2,79E-01	4,0E-03
<b>Diossine e Furani</b>							
2,3,7,8-TCDD *	1746016	3,43E-07	-	3,4E-07	4,46E-08	-	4,5E-08
<b>PCBs</b>							
PCB *	1336-36-3	1,99E-02	-	2,0E-02	2,58E-03	-	2,6E-03
<b>Idrocarburi</b>							
Alifatici C5-C8		-	8,09E+02	8,1E+02	-	5,31E+01	5,3E+01
Aromatici C9 - C10		-	2,02E+02	2,0E+02	-	1,33E+01	1,3E+01
Alifatici C9 - C18		-	8,09E+02	8,1E+02	-	5,31E+01	5,3E+01
<b>Altre sostanze</b>							
Acrilammide	79-06-1	8,83E-03	2,84E+00	8,8E-03	1,15E-03	1,86E-01	1,1E-03
Acido para-ftalico	100-21-0	-	1,42E+04	1,4E+04	-	9,31E+02	9,3E+02
MTBE	1634-04-4	-	1,22E+04	1,2E+04	-	8,01E+02	8,0E+02
ETBE	637-92-3	-	1,22E+04	1,2E+04	-	8,01E+02	8,0E+02

**Tabella 3.3-b – CSC(aria): Attività fisica moderata (1/2)**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Industriale/Commerciale			Residenziale		
		CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSR <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]
<b>Composti Inorganici</b>							
Alluminio	7429-90-5	-	1,22E+01	<b>1,2E+01</b>	-	9,32E-01	<b>9,3E-01</b>
Antimonio	7440-36-0	-	3,41E+00	<b>3,4E+00</b>	-	2,61E-01	<b>2,6E-01</b>
Argento	7440-22-4	-	4,26E+01	<b>4,3E+01</b>	-	3,26E+00	<b>3,3E+00</b>
Arsenico *	7440-38-2	1,59E-03	2,56E+00	<b>1,6E-03</b>	2,22E-04	1,96E-01	<b>2,2E-04</b>
Berillio	7440-41-7	2,84E-03	4,85E-02	<b>2,8E-03</b>	3,96E-04	3,72E-03	<b>4,0E-04</b>
Boro	7440-42-8	-	4,86E+01	<b>4,9E+01</b>	-	3,72E+00	<b>3,7E+00</b>
Cadmio *	7440-43-9	3,79E-03	4,85E-01	<b>3,8E-03</b>	5,28E-04	3,72E-02	<b>5,3E-04</b>
Cianuri (liberi)	57-12-5	-	1,70E+02	<b>1,7E+02</b>	-	1,30E+01	<b>1,3E+01</b>
Cobalto	7440-48-4	2,43E-03	4,86E-02	<b>2,4E-03</b>	3,39E-04	3,72E-03	<b>3,4E-04</b>
Cromo totale	024-017-00-8 <sup>(5)</sup>	-	1,28E+04	<b>1,3E+04</b>	-	9,78E+02	<b>9,8E+02</b>
Cromo VI *	18540-29-9 <sup>(5)</sup>	5,68E-04	2,56E-01	<b>5,7E-04</b>	7,92E-05	1,96E-02	<b>7,9E-05</b>
Manganese *	7439-96-5	-	1,22E-01	<b>1,2E-01</b>	-	9,32E-03	<b>9,3E-03</b>
Mercurio *	7439-97-6	-	7,32E-01	<b>7,3E-01</b>	-	5,61E-02	<b>5,6E-02</b>
Nichel *	7440-02-0	2,84E-02	1,70E+02	<b>2,8E-02</b>	3,96E-03	1,30E+01	<b>4,0E-03</b>
Piombo *	7439-92-1	-	2,98E+02	<b>3,0E+02</b>	-	2,28E+01	<b>2,3E+01</b>
Piombo Tetraetile	78-00-2	-	1,82E-01	<b>1,8E-01</b>	-	1,39E-02	<b>1,4E-02</b>
Rame	7440-50-8	-	3,41E+02	<b>3,4E+02</b>	-	2,61E+01	<b>2,6E+01</b>
Selenio	7782-49-2	-	4,26E+01	<b>4,3E+01</b>	-	3,26E+00	<b>3,3E+00</b>
Stagno	7440-31-5	-	5,11E+03	<b>5,1E+03</b>	-	3,91E+02	<b>3,9E+02</b>
Tallio	7440-28-0	-	6,81E-01	<b>6,8E-01</b>	-	5,21E-02	<b>5,2E-02</b>
Vanadio *	7440-62-2	-	5,96E+01	<b>6,0E+01</b>	-	4,56E+00	<b>4,6E+00</b>
Zinco	7440-66-6	-	2,56E+03	<b>2,6E+03</b>	-	1,96E+02	<b>2,0E+02</b>
Nitriti	14797-65-0	-	8,52E+02	<b>8,5E+02</b>	-	6,52E+01	<b>6,5E+01</b>
<b>Aromatici</b>							
Benzene *	71-43-2	8,74E-01	7,28E+01	<b>8,7E-01</b>	1,22E-01	5,57E+00	<b>1,2E-01</b>
Etilbenzene	100-41-4	-	2,43E+03	<b>2,4E+03</b>	-	1,86E+02	<b>1,9E+02</b>
Stirene *	100-42-5	-	2,43E+03	<b>2,4E+03</b>	-	1,86E+02	<b>1,9E+02</b>
Toluene *	108-88-3	-	1,22E+04	<b>1,2E+04</b>	-	9,32E+02	<b>9,3E+02</b>
m-Xilene	108-32-3	-	1,70E+03	<b>1,7E+03</b>	-	1,30E+02	<b>1,3E+02</b>
o-Xilene	95-47-6	-	1,70E+03	<b>1,7E+03</b>	-	1,30E+02	<b>1,3E+02</b>
p-Xilene	106-42-3	-	1,70E+03	<b>1,7E+03</b>	-	1,30E+02	<b>1,3E+02</b>
Xileni	1330-20-7	-	1,70E+03	<b>1,7E+03</b>	-	1,30E+02	<b>1,3E+02</b>
<b>Aromatici policiclici</b>							
Benzo(a)antracene	56-55-3	3,97E-02	2,43E+03	<b>4,0E-02</b>	5,54E-03	1,86E+02	<b>5,5E-03</b>
Benzo(a)pirene *	50-32-8	3,26E-03	2,67E+04	<b>3,3E-03</b>	4,54E-04	2,04E+03	<b>4,5E-04</b>
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	3,97E-02	2,43E+03	<b>4,0E-02</b>	5,54E-03	1,86E+02	<b>5,5E-03</b>
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	-	2,56E+02	<b>2,6E+02</b>	-	1,96E+01	<b>2,0E+01</b>
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	7,69E-01	2,43E+02	<b>7,7E-01</b>	1,07E-01	1,86E+01	<b>1,1E-01</b>
Crisene	218-01-9	3,91E+00	2,56E+02	<b>3,9E+00</b>	5,45E-01	1,96E+01	<b>5,5E-01</b>
Dibenzo(a,h)antracene	53-70-3	3,27E-03	-	<b>3,3E-03</b>	4,56E-04	-	<b>4,6E-04</b>
Indenopirene	193-39-5	7,69E-02	2,67E+04	<b>7,7E-02</b>	1,07E-02	2,05E+03	<b>1,1E-02</b>
Pirene	129-00-0	-	2,56E+02	<b>2,6E+02</b>	-	1,96E+01	<b>2,0E+01</b>
<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>							
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	1,19E-01	1,70E+03	<b>1,2E-01</b>	1,66E-02	1,30E+02	<b>1,7E-02</b>
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	4,26E-01	4,85E+02	<b>4,3E-01</b>	5,94E-02	3,72E+01	<b>5,9E-02</b>
1,1-Dicloroetilene	75-35-4	1,36E-01	4,86E+02	<b>1,4E-01</b>	1,90E-02	3,72E+01	<b>1,9E-02</b>
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	3,41E-03	5,11E+01	<b>3,4E-03</b>	4,75E-04	3,91E+00	<b>4,8E-04</b>
1,2-Dicloroetano *	107-06-2	2,62E-01	2,43E+01	<b>2,6E-01</b>	3,66E-02	1,86E+00	<b>3,7E-02</b>
1,2-Dicloropropano	78-87-5	3,51E-01	9,71E+00	<b>3,5E-01</b>	4,89E-02	7,43E-01	<b>4,9E-02</b>
Clorometano	74-87-3	3,79E+00	2,19E+02	<b>3,8E+00</b>	5,28E-01	1,68E+01	<b>5,3E-01</b>
Cloruro di vinile	75-01-4	7,74E-01	2,44E+02	<b>7,7E-01</b>	1,08E-01	1,86E+01	<b>1,1E-01</b>
Diclorometano *	75-09-2	1,40E+01	7,32E+03	<b>1,4E+01</b>	1,96E+00	5,61E+02	<b>2,0E+00</b>
Tetracloroetilene(PCE) *	127-18-4	1,19E+00	8,52E+01	<b>1,2E+00</b>	1,66E-01	6,52E+00	<b>1,7E-01</b>
Tricloroetilene *	79-01-6	3,97E+00	5,11E+01	<b>4,0E+00</b>	5,54E-01	3,91E+00	<b>5,5E-01</b>
Triclorometano	67-66-3	2,96E-01	1,19E+02	<b>3,0E-01</b>	4,13E-02	9,13E+00	<b>4,1E-02</b>
Esaclorobutadiene	87-68-3	3,06E-01	1,70E+00	<b>3,1E-01</b>	4,27E-02	1,30E-01	<b>4,3E-02</b>
<b>Alifatici clorurati non cancerogeni</b>							
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	-	2,43E+03	<b>2,4E+03</b>	-	1,86E+02	<b>1,9E+02</b>
1,1-Dicloroetano	75-34-3	-	1,19E+03	<b>1,2E+03</b>	-	9,13E+01	<b>9,1E+01</b>
cis-1,2-Dicloroetilene	156-59-2	-	8,52E+01	<b>8,5E+01</b>	-	6,52E+00	<b>6,5E+00</b>
trans-1,2-Dicloroetilene	156-60-5	-	1,70E+02	<b>1,7E+02</b>	-	1,30E+01	<b>1,3E+01</b>
1,2-dicloroetilene	---	-	8,52E+01	<b>8,5E+01</b>	-	6,52E+00	<b>6,5E+00</b>

**Tabella 3.3-b – CSC(aria): Attività fisica moderata (2/2)**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Industriale/Commerciale			Residenziale		
		CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSR <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]
<b>Alifatici alogenati cancerogeni</b>							
1,2-Dibromoetano	106-93-4	3,10E-02	2,19E+01	3,1E-02	4,32E-03	1,68E+00	4,3E-03
Bromodichlorometano	75-27-4	3,85E-01	1,70E+02	3,8E-01	5,37E-02	1,30E+01	5,4E-02
Dibromoclorometano	124-48-1	2,84E-01	1,70E+02	2,8E-01	3,96E-02	1,30E+01	4,0E-02
Tribromometano (bromoformio)	75-25-2	6,19E+00	1,70E+02	6,2E+00	8,64E-01	1,30E+01	8,6E-01
<b>Nitrobenzeni</b>							
1,2-Dinitrobenzene	528-29-0	-	3,41E+00	3,4E+00	-	2,61E-01	2,6E-01
1,3-Dinitrobenzene	99-65-0	-	8,52E+00	8,5E+00	-	6,52E-01	6,5E-01
Cloronitrobenzeni	100-00-5	9,54E-01	-	9,5E-01	1,33E-01	-	1,3E-01
Nitrobenzene	98-95-3	-	4,85E+00	4,9E+00	-	3,72E-01	3,7E-01
<b>Clorobenzeni</b>							
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	95-94-3	-	2,56E+00	2,6E+00	-	1,96E-01	2,0E-01
1,2,4-Triclorobenzene	120-82-1	-	4,85E+02	4,9E+02	-	3,72E+01	3,7E+01
1,2-Diclorobenzene	95-50-1	-	4,85E+02	4,9E+02	-	3,72E+01	3,7E+01
1,4-Diclorobenzene	106-46-7	1,08E+00	1,95E+03	1,1E+00	1,51E-01	1,49E+02	1,5E-01
Esaclorobenzene	118-74-1	1,49E-02	6,81E+00	1,5E-02	2,08E-03	5,21E-01	2,1E-03
Monoclorobenzene	108-90-7	-	5,11E+01	5,1E+01	-	3,91E+00	3,9E+00
Pentaclorobenzene	608-93-5	-	6,81E+00	6,8E+00	-	5,21E-01	5,2E-01
<b>Fenoli non clorurati</b>							
Fenolo	108-95-2	-	5,11E+03	5,1E+03	-	3,91E+02	3,9E+02
<i>m</i> -Metilfenolo	108-39-4	-	4,26E+02	4,3E+02	-	3,26E+01	3,3E+01
<i>o</i> -Metilfenolo	95-48-7	-	4,26E+02	4,3E+02	-	3,26E+01	3,3E+01
<i>p</i> -Metilfenolo	106-44-5	-	4,26E+01	4,3E+01	-	3,26E+00	3,3E+00
Metilfenoli	-	-	4,26E+01	4,3E+01	-	3,26E+00	3,3E+00
<b>Fenoli clorurati</b>							
2,4,6-Triclorofenolo	88-06-2	2,38E+00	-	2,4E+00	3,33E-01	-	3,3E-01
2,4-Diclorofenolo	120-83-2	-	2,56E+01	2,6E+01	-	1,96E+00	2,0E+00
2-Clorofenolo	95-57-8	-	4,26E+01	4,3E+01	-	3,26E+00	3,3E+00
Pentaclorofenolo	87-86-5	1,99E-01	2,56E+02	2,0E-01	2,77E-02	1,96E+01	2,8E-02
<b>Ammine aromatiche</b>							
Anilina	62-53-3	4,18E+00	2,56E+00	2,6E+00	5,84E-01	1,96E-01	2,0E-01
Difenilamina	122-39-4	-	2,13E+02	2,1E+02	-	1,63E+01	1,6E+01
<i>m,p</i> -Anisidina	536-90-3	-	5,96E+01	6,0E+01	-	4,56E+00	4,6E+00
<i>o</i> -Anisidina	90-04-0	1,70E-01	5,11E-01	1,7E-01	2,38E-02	3,91E-02	2,4E-02
<i>p</i> -Toluidina	106-49-0	1,26E-01	-	1,3E-01	1,75E-02	-	1,8E-02
<b>Fitofarmaci</b>							
Alaclor	15972-60-8	2,98E-01	8,52E+01	3,0E-01	4,16E-02	6,52E+00	4,2E-02
Aldrin	309-00-2	1,39E-03	2,56E-01	1,4E-03	1,94E-04	1,96E-02	1,9E-04
Atrazina	1912-24-9	1,08E-01	2,98E+02	1,1E-01	1,51E-02	2,28E+01	1,5E-02
Clordano	57-74-9	6,81E-02	1,70E+00	6,8E-02	9,51E-03	1,30E-01	9,5E-03
DDD	72-54-8	9,94E-02	4,26E+00	9,9E-02	1,39E-02	3,26E-01	1,4E-02
DDE	72-55-9	7,01E-02	4,26E+00	7,0E-02	9,78E-03	3,26E-01	9,8E-03
DDT	50-29-3	7,01E-02	4,26E+00	7,0E-02	9,78E-03	3,26E-01	9,8E-03
Dieldrin	60-57-1	1,49E-03	4,26E-01	1,5E-03	2,08E-04	3,26E-02	2,1E-04
Endrin	72-20-8	-	2,56E+00	2,6E+00	-	1,96E-01	2,0E-01
$\alpha$ -esacloroesano	319-84-6	3,79E-03	4,26E+00	3,8E-03	5,28E-04	3,26E-01	5,3E-04
$\beta$ -esacloroesano	319-85-7	1,28E-02	1,70E+00	1,3E-02	1,79E-03	1,30E-01	1,8E-03
$\gamma$ -esaclorocicloesano (Lindano)	58-89-9	1,83E-02	2,56E+00	1,8E-02	2,56E-03	1,96E-01	2,6E-03
<b>Diossine e Furani</b>							
2,3,7,8-TCDD *	1746016	2,06E-07	-	2,1E-07	2,87E-08	-	2,9E-08
<b>PCBs</b>							
PCB *	1336-36-3	1,19E-02	-	1,2E-02	1,66E-03	-	1,7E-03
<b>Idrocarburi</b>							
Alifatici C5-C8		-	4,85E+02	4,9E+02	-	3,72E+01	3,7E+01
Aromatici C9 - C10		-	1,21E+02	1,2E+02	-	9,29E+00	9,3E+00
Alifatici C9 - C18		-	4,85E+02	4,9E+02	-	3,72E+01	3,7E+01
<b>Altre sostanze</b>							
Acrilammide	79-06-1	5,30E-03	1,70E+00	5,3E-03	7,39E-04	1,30E-01	7,4E-04
Acido para-ftalico	100-21-0	-	8,52E+03	8,5E+03	-	6,52E+02	6,5E+02
MTBE	1634-04-4	-	7,32E+03	7,3E+03	-	5,61E+02	5,6E+02
ETBE	637-92-3	-	7,32E+03	7,3E+03	-	5,61E+02	5,6E+02

**Tabella 3.3-c – CSC(aria): Attività fisica intensa (1/2)**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Industriale/Commerciale			Residenziale		
		CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSR <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]
<b>Composti Inorganici</b>							
Alluminio	7429-90-5	-	7,31E+00	<b>7,3E+00</b>	-	5,18E-01	<b>5,2E-01</b>
Antimonio	7440-36-0	-	2,04E+00	<b>2,0E+00</b>	-	1,45E-01	<b>1,4E-01</b>
Argento	7440-22-4	-	2,56E+01	<b>2,6E+01</b>	-	1,81E+00	<b>1,8E+00</b>
Arsenico *	7440-38-2	9,54E-04	1,53E+00	<b>9,5E-04</b>	1,29E-04	1,09E-01	<b>1,3E-04</b>
Berillio	7440-41-7	1,70E-03	2,91E-02	<b>1,7E-03</b>	2,30E-04	2,06E-03	<b>2,3E-04</b>
Boro	7440-42-8	-	2,92E+01	<b>2,9E+01</b>	-	2,07E+00	<b>2,1E+00</b>
Cadmio *	7440-43-9	2,27E-03	2,91E-01	<b>2,3E-03</b>	3,06E-04	2,06E-02	<b>3,1E-04</b>
Cianuri (liberi)	57-12-5	-	1,02E+02	<b>1,0E+02</b>	-	7,24E+00	<b>7,2E+00</b>
Cobalto	7440-48-4	1,46E-03	2,92E-02	<b>1,5E-03</b>	1,97E-04	2,07E-03	<b>2,0E-04</b>
Cromo totale	024-017-00-8 <sup>(5)</sup>	-	7,67E+03	<b>7,7E+03</b>	-	5,43E+02	<b>5,4E+02</b>
Cromo VI *	18540-29-9 <sup>(5)</sup>	3,41E-04	1,53E-01	<b>3,4E-04</b>	4,59E-05	1,09E-02	<b>4,6E-05</b>
Manganese *	7439-96-5	-	7,31E-02	<b>7,3E-02</b>	-	5,18E-03	<b>5,2E-03</b>
Mercurio *	7439-97-6	-	4,39E-01	<b>4,4E-01</b>	-	3,11E-02	<b>3,1E-02</b>
Nichel *	7440-02-0	1,70E-02	1,02E+02	<b>1,7E-02</b>	2,30E-03	7,24E+00	<b>2,3E-03</b>
Piombo *	7439-92-1	-	1,79E+02	<b>1,8E+02</b>	-	1,27E+01	<b>1,3E+01</b>
Piombo Tetraetile	78-00-2	-	1,09E-01	<b>1,1E-01</b>	-	7,75E-03	<b>7,7E-03</b>
Rame	7440-50-8	-	2,04E+02	<b>2,0E+02</b>	-	1,45E+01	<b>1,4E+01</b>
Selenio	7782-49-2	-	2,56E+01	<b>2,6E+01</b>	-	1,81E+00	<b>1,8E+00</b>
Stagno	7440-31-5	-	3,07E+03	<b>3,1E+03</b>	-	2,17E+02	<b>2,2E+02</b>
Tallio	7440-28-0	-	4,09E-01	<b>4,1E-01</b>	-	2,90E-02	<b>2,9E-02</b>
Vanadio *	7440-62-2	-	3,58E+01	<b>3,6E+01</b>	-	2,53E+00	<b>2,5E+00</b>
Zinco	7440-66-6	-	1,53E+03	<b>1,5E+03</b>	-	1,09E+02	<b>1,1E+02</b>
Nitriti	14797-65-0	-	5,11E+02	<b>5,1E+02</b>	-	3,62E+01	<b>3,6E+01</b>
<b>Aromatici</b>							
Benzene *	71-43-2	5,24E-01	4,37E+01	<b>5,2E-01</b>	7,06E-02	3,10E+00	<b>7,1E-02</b>
Etilbenzene	100-41-4	-	1,46E+03	<b>1,5E+03</b>	-	1,03E+02	<b>1,0E+02</b>
Stirene *	100-42-5	-	1,46E+03	<b>1,5E+03</b>	-	1,03E+02	<b>1,0E+02</b>
Toluene *	108-88-3	-	7,31E+03	<b>7,3E+03</b>	-	5,18E+02	<b>5,2E+02</b>
m-Xilene	108-32-3	-	1,02E+03	<b>1,0E+03</b>	-	7,24E+01	<b>7,2E+01</b>
o-Xilene	95-47-6	-	1,02E+03	<b>1,0E+03</b>	-	7,24E+01	<b>7,2E+01</b>
p-Xilene	106-42-3	-	1,02E+03	<b>1,0E+03</b>	-	7,24E+01	<b>7,2E+01</b>
Xileni	1330-20-7	-	1,02E+03	<b>1,0E+03</b>	-	7,24E+01	<b>7,2E+01</b>
<b>Aromatici policiclici</b>							
Benzo(a)antracene	56-55-3	2,38E-02	1,46E+03	<b>2,4E-02</b>	3,21E-03	1,03E+02	<b>3,2E-03</b>
Benzo(a)pirene *	50-32-8	1,95E-03	1,60E+04	<b>2,0E-03</b>	2,63E-04	1,14E+03	<b>2,6E-04</b>
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	2,38E-02	1,46E+03	<b>2,4E-02</b>	3,21E-03	1,03E+02	<b>3,2E-03</b>
Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2	-	1,53E+02	<b>1,5E+02</b>	-	1,09E+01	<b>1,1E+01</b>
Benzo(k)fluorantene	207-08-9	4,62E-01	1,46E+02	<b>4,6E-01</b>	6,22E-02	1,03E+01	<b>6,2E-02</b>
Crisene	218-01-9	2,35E+00	1,53E+02	<b>2,3E+00</b>	3,16E-01	1,09E+01	<b>3,2E-01</b>
Dibenzo(a,h)antracene	53-70-3	1,96E-03	-	<b>2,0E-03</b>	2,64E-04	-	<b>2,6E-04</b>
Indenopirene	193-39-5	4,62E-02	1,60E+04	<b>4,6E-02</b>	6,22E-03	1,14E+03	<b>6,2E-03</b>
Pirene	129-00-0	-	1,53E+02	<b>1,5E+02</b>	-	1,09E+01	<b>1,1E+01</b>
<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>							
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	7,15E-02	1,02E+03	<b>7,2E-02</b>	9,64E-03	7,24E+01	<b>9,6E-03</b>
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	2,56E-01	2,91E+02	<b>2,6E-01</b>	3,44E-02	2,06E+01	<b>3,4E-02</b>
1,1-Dicloroetilene	75-35-4	8,18E-02	2,92E+02	<b>8,2E-02</b>	1,10E-02	2,07E+01	<b>1,1E-02</b>
1,2,3-Tricloropropano	96-18-4	2,04E-03	3,07E+01	<b>2,0E-03</b>	2,76E-04	2,17E+00	<b>2,8E-04</b>
1,2-Dicloroetano *	107-06-2	1,57E-01	1,46E+01	<b>1,6E-01</b>	2,12E-02	1,03E+00	<b>2,1E-02</b>
1,2-Dicloropropano	78-87-5	2,10E-01	5,83E+00	<b>2,1E-01</b>	2,84E-02	4,13E-01	<b>2,8E-02</b>
Clorometano	74-87-3	2,27E+00	1,31E+02	<b>2,3E+00</b>	3,06E-01	9,31E+00	<b>3,1E-01</b>
Cloruro di vinile	75-01-4	4,65E-01	1,46E+02	<b>4,6E-01</b>	6,26E-02	1,04E+01	<b>6,3E-02</b>
Diclorometano *	75-09-2	8,42E+00	4,39E+03	<b>8,4E+00</b>	1,13E+00	3,11E+02	<b>1,1E+00</b>
Tetracloroetilene(PCE) *	127-18-4	7,15E-01	5,11E+01	<b>7,2E-01</b>	9,64E-02	3,62E+00	<b>9,6E-02</b>
Tricloroetilene *	79-01-6	2,38E+00	3,07E+01	<b>2,4E+00</b>	3,21E-01	2,17E+00	<b>3,2E-01</b>
Triclorometano	67-66-3	1,78E-01	7,15E+01	<b>1,8E-01</b>	2,40E-02	5,07E+00	<b>2,4E-02</b>
Esaclorobutadiene	87-68-3	1,83E-01	1,02E+00	<b>1,8E-01</b>	2,47E-02	7,24E-02	<b>2,5E-02</b>
<b>Alifatici clorurati non cancerogeni</b>							
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	-	1,46E+03	<b>1,5E+03</b>	-	1,03E+02	<b>1,0E+02</b>
1,1-Dicloroetano	75-34-3	-	7,15E+02	<b>7,2E+02</b>	-	5,07E+01	<b>5,1E+01</b>
cis-1,2-Dicloroetilene	156-59-2	-	5,11E+01	<b>5,1E+01</b>	-	3,62E+00	<b>3,6E+00</b>
trans-1,2-Dicloroetilene	156-60-5	-	1,02E+02	<b>1,0E+02</b>	-	7,24E+00	<b>7,2E+00</b>
1,2-dicloroetilene	---	-	5,11E+01	<b>5,1E+01</b>	-	3,62E+00	<b>3,6E+00</b>

**Tabella 3.3-c – CSC(aria): Attività fisica intensa(2/2)**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Industriale/Commerciale			Residenziale		
		CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC <sub>c</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSR <sub>n</sub> (aria) [ug/m <sup>3</sup> ]	CSC(aria) [ug/m <sup>3</sup> ]
<b>Alifatici alogenati cancerogeni</b>							
1,2-Dibromometano	106-93-4	1,86E-02	1,31E+01	1,9E-02	2,50E-03	9,31E-01	2,5E-03
Bromodichlorometano	75-27-4	2,31E-01	1,02E+02	2,3E-01	3,11E-02	7,24E+00	3,1E-02
Dibromochlorometano	124-48-1	1,70E-01	1,02E+02	1,7E-01	2,30E-02	7,24E+00	2,3E-02
Tribromometano (bromoformio)	75-25-2	3,72E+00	1,02E+02	3,7E+00	5,01E-01	7,24E+00	5,0E-01
<b>Nitrobenzeni</b>							
1,2-Dinitrobenzene	528-29-0	-	2,04E+00	2,0E+00	-	1,45E-01	1,4E-01
1,3-Dinitrobenzene	99-65-0	-	5,11E+00	5,1E+00	-	3,62E-01	3,6E-01
Cloronitrobenzeni	100-00-5	5,72E-01	-	5,7E-01	7,71E-02	-	7,7E-02
Nitrobenzene	98-95-3	-	2,91E+00	2,9E+00	-	2,06E-01	2,1E-01
<b>Clorobenzeni</b>							
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	95-94-3	-	1,53E+00	1,5E+00	-	1,09E-01	1,1E-01
1,2,4-Triclorobenzene	120-82-1	-	2,91E+02	2,9E+02	-	2,06E+01	2,1E+01
1,2-Diclorobenzene	95-50-1	-	2,91E+02	2,9E+02	-	2,06E+01	2,1E+01
1,4-Diclorobenzene	106-46-7	6,47E-01	1,17E+03	6,5E-01	8,73E-02	8,29E+01	8,7E-02
Esaclorobenzene	118-74-1	8,94E-03	4,09E+00	8,9E-03	1,21E-03	2,90E-01	1,2E-03
Monoclorobenzene	108-90-7	-	3,07E+01	3,1E+01	-	2,17E+00	2,2E+00
Pentaclorobenzene	608-93-5	-	4,09E+00	4,1E+00	-	2,90E-01	2,9E-01
<b>Fenoli non clorurati</b>							
Fenolo	108-95-2	-	3,07E+03	3,1E+03	-	2,17E+02	2,2E+02
m- Metilfenolo	108-39-4	-	2,56E+02	2,6E+02	-	1,81E+01	1,8E+01
o- Metilfenolo	95-48-7	-	2,56E+02	2,6E+02	-	1,81E+01	1,8E+01
p- Metilfenolo	106-44-5	-	2,56E+01	2,6E+01	-	1,81E+00	1,8E+00
Metilfenoli	-	-	2,56E+01	2,6E+01	-	1,81E+00	1,8E+00
<b>Fenoli clorurati</b>							
2,4,6-Triclorofenolo	88-06-2	1,43E+00	-	1,4E+00	1,93E-01	-	1,9E-01
2,4-Diclorofenolo	120-83-2	-	1,53E+01	1,5E+01	-	1,09E+00	1,1E+00
2-Clorofenolo	95-57-8	-	2,56E+01	2,6E+01	-	1,81E+00	1,8E+00
Pentaclorofenolo	87-86-5	1,19E-01	1,53E+02	1,2E-01	1,61E-02	1,09E+01	1,6E-02
<b>Ammine aromatiche</b>							
Anilina	62-53-3	2,51E+00	1,53E+00	1,5E+00	3,38E-01	1,09E-01	1,1E-01
Difenilamina	122-39-4	-	1,28E+02	1,3E+02	-	9,05E+00	9,1E+00
m,p-Anisidina	536-90-3	-	3,58E+01	3,6E+01	-	2,53E+00	2,5E+00
o-Anisidina	90-04-0	1,02E-01	3,07E-01	1,0E-01	1,38E-02	2,17E-02	1,4E-02
p-Toluidina	106-49-0	7,53E-02	-	7,5E-02	1,02E-02	-	1,0E-02
<b>Fitofarmaci</b>							
Alaclor	15972-60-8	1,79E-01	5,11E+01	1,8E-01	2,41E-02	3,62E+00	2,4E-02
Aldrin	309-00-2	8,34E-04	1,53E-01	8,3E-04	1,12E-04	1,09E-02	1,1E-04
Atrazina	1912-24-9	6,50E-02	1,79E+02	6,5E-02	8,77E-03	1,27E+01	8,8E-03
Clordano	57-74-9	4,09E-02	1,02E+00	4,1E-02	5,51E-03	7,24E-02	5,5E-03
DDD	72-54-8	5,96E-02	2,56E+00	6,0E-02	8,04E-03	1,81E-01	8,0E-03
DDE	72-55-9	4,21E-02	2,56E+00	4,2E-02	5,67E-03	1,81E-01	5,7E-03
DDT	50-29-3	4,21E-02	2,56E+00	4,2E-02	5,67E-03	1,81E-01	5,7E-03
Dieldrin	60-57-1	8,94E-04	2,56E-01	8,9E-04	1,21E-04	1,81E-02	1,2E-04
Endrin	72-20-8	-	1,53E+00	1,5E+00	-	1,09E-01	1,1E-01
α-esacloroesano	319-84-6	2,27E-03	2,56E+00	2,3E-03	3,06E-04	1,81E-01	3,1E-04
β-esacloroesano	319-85-7	7,69E-03	1,02E+00	7,7E-03	1,04E-03	7,24E-02	1,0E-03
γ-esaclorocicloesano (Lindano)	58-89-9	1,10E-02	1,53E+00	1,1E-02	1,48E-03	1,09E-01	1,5E-03
<b>Diossine e Furani</b>							
2,3,7,8-TCDD *	1746016	1,23E-07	-	1,2E-07	1,66E-08	-	1,7E-08
<b>PCBs</b>							
PCB *	1336-36-3	7,15E-03	-	7,2E-03	9,64E-04	-	9,6E-04
<b>Idrocarburi</b>							
Alifatici C5-C8		-	2,91E+02	2,9E+02	-	2,06E+01	2,1E+01
Aromatici C9 - C10		-	7,28E+01	7,3E+01	-	5,16E+00	5,2E+00
Alifatici C9 - C18		-	2,91E+02	2,9E+02	-	2,06E+01	2,1E+01
<b>Altre sostanze</b>							
Acrilammide	79-06-1	3,18E-03	1,02E+00	3,2E-03	4,29E-04	7,24E-02	4,3E-04
Acido para-ftalico	100-21-0	-	5,11E+03	5,1E+03	-	3,62E+02	3,6E+02
MTBE	1634-04-4	-	4,39E+03	4,4E+03	-	3,11E+02	3,1E+02
ETBE	637-92-3	-	4,39E+03	4,4E+03	-	3,11E+02	3,1E+02

**\*Tabella 3.4 - Valori limite od obiettivo di qualità dell'aria per la protezione della salute umana.**

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Valore obiettivo o limite o guida di qualità dell'aria per la protezione della salute umana (1) [µg/m <sup>3</sup> ]	Riferimento
<b>Composti Inorganici</b>			
Arsenico	7440-38-2	6,0E-03	D.Lgs. 155/2010 (direttiva 2008/50/CE) - I valori sono riferiti al tenore totale della frazione PM <sub>10</sub> calcolata in media su un anno
Cadmio	7440-43-9	5,0E-03	
Mercurio	7439-97-6	da monitorare	
Nichel	7440-02-0	2,0E-02	
Piombo (2)	7439-92-1	5,0E-01	
Cromo VI	18540-29-9	2,5E-05	WHO, 2000
Manganese	7439-96-5	1,5E-01	
Vanadio (3)	7440-62-2	1,0E+00	
<b>Aromatici</b>			
Benzene	71-43-2	5,0E+00	D.Lgs. 155/2010 (direttiva 2008/50/CE)
Stirene (4)	100-42-5	7,0E+01	WHO, 2000
Toluene (5)	108-88-3	2,6E+02	
<b>Aromatici policiclici</b>			
Benzo(a)antracene	56-55-3	da monitorare (6)	D.Lgs. 155/2010 (direttiva 2008/50/CE) - I valori sono riferiti al tenore totale della frazione PM <sub>10</sub> calcolata in media su un anno
Benzo(a)pirene	50-32-8	1,0E-03	
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	da monitorare (6)	
Benzo(k)fluorantene	207-08-9		
Dibenzo(a,h)antracene	53-70-3		
Indenopirene	193-39-5		
<b>Alifatici clorurati cancerogeni</b>			
1,2-Dicloroetano (7,8)	107-06-2	7,0E+02	WHO, 2000
Diclorometano (8,9)	75-09-2	4,5E+02	
Tetracloroetilene (8)	127-18-4	2,5E+02	
Tricloroetilene	79-01-6	2,3E+00	
<b>Diossine e Furani</b>			
PCDD/F TEQ (USEPA, 1987)	1746016 *	4,00E-08	Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (ISS), 1989 (10)
<b>PCBs</b>			
PCB	1336-36-3	-	(11)
<p>(1) Ove il riferimento è normativo il valore è riferito alla media annuale. Per gli inquinanti gassosi il volume deve essere standardizzato alla temperatura di 293 K e alla pressione atmosferica di 101,3 kPa (NTP). Per il particolato e le sostanze in esso contenute il volume di campionamento deve riferirsi alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni</p>			
<p>(2) Il valore limite per il Piombo, nelle immediate vicinanze delle fonti industriali localizzate in siti contaminati da decenni di attività industriali, è in vigore soltanto dal 1 gennaio 2010 mentre, fino ad allora, il limite poteva essere 1,0 µg/m<sup>3</sup> in un'area estesa non più di 1.000 m da tali fonti specifiche.</p>			
<p>(3) Il valore guida per il Vanadio è riferito alla media giornaliera.</p>			
<p>(4) Si è selezionato il valore guida dello Stirene basato sulla soglia odorigena (media semioraria)</p>			
<p>(5) Il valore guida per il Toluene è riferito alla media settimanale.</p>			
<p>(6) Il D.Lgs. 155/2010 prevede che sia verificata la costanza, nel tempo e nello spazio, dei rapporti quantitativi tra il Benzo(a)pirene e gli altri IPA di rilevanza tossicologica.</p>			
<p>(7) Il valore guida per l'1,2-Dicloroetano è riferito alla media giornaliera.</p>			
<p>(8) Si tratta di un valore basato sugli effetti non cancerogeni.</p>			
<p>(9) Si è scelto il valore guida del Diclorometano riferito alla media settimanale.</p>			
<p>* CAS della 2,3,7,8-TCDD (TEF=1)</p>			
<p>(10) La Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale ha proposto anche un valore limite per gli ambienti di lavoro pari a 1,2 E-07 µg/m<sup>3</sup>. L'OMS (WHO) non propone un valore guida in quanto l'esposizione per inalazione diretta costituisce soltanto una piccola frazione dell'esposizione totale, generalmente meno del 5% dell'assunzione giornaliera con il cibo</p>			
<p>(11) La WHO non propone un valore guida in quanto l'esposizione per inalazione diretta costituisce soltanto una piccola frazione dell'esposizione totale, dell'ordine dell'1-2% dell'assunzione giornaliera con il cibo, indica soltanto la <b>concentrazione media in ambiente urbano</b> pari a <b>3 ng/m<sup>3</sup></b>.</p>			

## APPENDICE A: Criterio di individuazione dei fattori di attenuazione “ $\alpha$ ” per la stima della CSC(soil-gas).

In Tabella A.1 si riportano i fattori di attenuazione “ $\alpha$ ”, per esposizione sia in ambienti aperti che confinati, desunti da diverse fonti bibliografiche accreditate a livello internazionale. In corrispondenza a ciascuno di essi, nelle “Note”, è riportato il criterio di stima degli stessi. E’ possibile osservare che in alcuni casi questi risultano valori empirici, ossia ricavati sperimentalmente a seguito di elaborazioni statistiche su set di dati analitici, mentre in altri casi sono ricavati dalla applicazione di specifica modellistica.

In tale ambito, si ritiene opportuno porre in evidenza alcune delle principali criticità insite nell’utilizzo del fattore di attenuazione “ $\alpha$ ”.

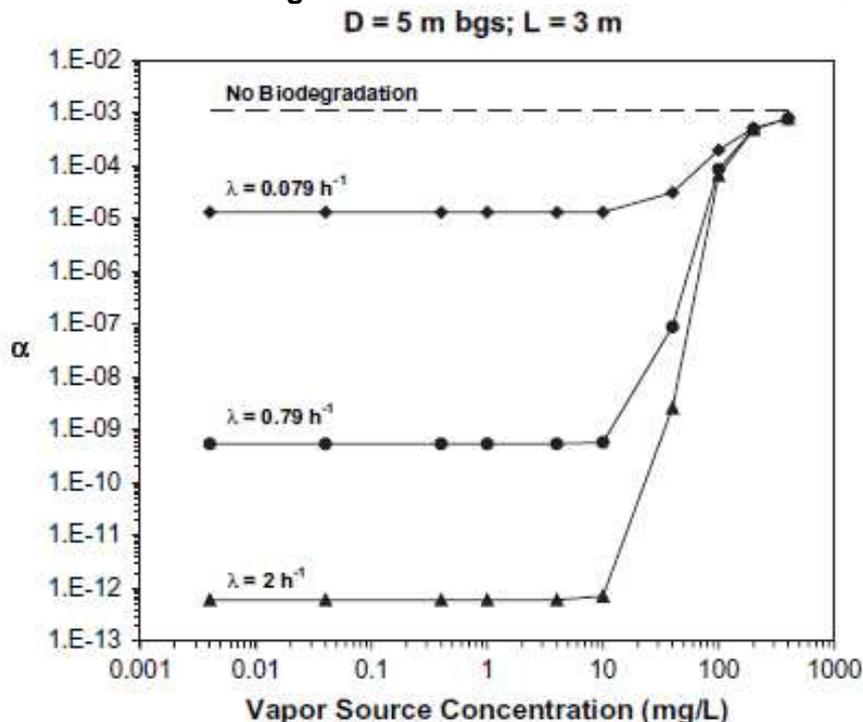
Innanzitutto, è necessario valutare attentamente le condizioni in cui i fattori di attenuazione sono stati determinati, con particolare riferimento a:

- le condizioni di applicabilità (vedi note di Tabella A.1),
- la similarità dei parametri sito-specifici più sensibili
- la modalità con cui sono stati trattati i valori inferiori ai limiti di rilevabilità (LOD): la maggioranza dei set di dati relativi all’intrusione di vapori sono influenzati da essi [Johnson et al., 2009].

Per poterli applicare è necessario avere evidenze della presenza di una correlazione effettiva, almeno spaziale, se non temporale (non sempre praticabile a causa delle tempistiche dei fenomeni di trasporto) tra concentrazioni del contaminante nel sottosuolo e nell’aria.

Infine, se calcolati a mezzo di modellistica difficilmente terranno conto di fenomeni di biodegradazione che potrebbero invece influire in modo determinante sul loro valore, soprattutto considerando che i valori di concentrazione dei contaminanti nei vapori sono piuttosto piccoli, come ben evidenziato in Figura A.1. Tale Figura illustra l’influenza delle concentrazioni dei vapori nella sorgente di contaminazione e di velocità di biodegradazione del 1° ordine sul coefficiente di attenuazione indoor per scenari con fondazioni, suoli sabbiosi omogenei e profondità della sorgente a 5 metri dalla superficie del terreno (3 m dalla base delle fondazioni)

Figura A.1 - Influenza della biodegradazione sul fattore di attenuazione “ $\alpha$ ” [Abreu et al., 2009]



**Tabella A.1 – Rassegna bibliografica sui fattori di attenuazione “α” per la stima della CSC(soli-gas)**

Posizione punto campionamento del soil-gas	Profondità da p.c. (m)	FATTORI DI ATTENUAZIONE "α"					Fonte bibliogr.	Note
		ESPOSIZIONE OUTDOOR	ESPOSIZIONE INDOOR					
			Uso agricolo, verde pubblico, residenziale		Uso commerciale/ industriale			
Al di sotto della soletta	n.a.	n.a.	2,5E-05 ÷ 9,6E-01 (5,5E-03)				USEPA (2008)	Range di valori empirici (mediana) da un set di dati ampliato rispetto al 2002 (2989 da 41 siti e 913 edifici in maggioranza residenziali) depurati da concentrazioni nel sottosuolo inferiori al limite di reporting (LOD o LOQ), evidenze di sorgenti di fondo, concentrazioni aria indoor maggiori che nel soil gas o fattori incongruenti (data set 1).
Vespaio aerato*	n.a.	n.a.	3,2E-02 ÷ 1,0E+01 (6,5E-01)					
Suolo insaturo	sotterraneo	-	1,3E-06 ÷ 3,5E+00 (6,3E-03)					
Al di sotto della soletta	< 1,5	n.a.	1,0E-01 (generico) 1,0E-02 ÷ 5,0E-02 (proposta rev. 2004)		-		USEPA (2002)	Limiti superiori ragionevolmente confidenziali di fattori ricavati sperimentalmente (408 valori) per 15 COV in 15 siti (73 edifici); uso non raccomandato per: -edifici con aperture significative verso il sottosuolo (pozzi neri, piani interrati, ecc.); -percorsi preferenziali rilevanti; - edifici con tassi di ricambio dell'aria molto bassi (<0,25/h) o differenze di pressione tra indoor ed outdoor molto elevate (>10 Pa).
Suolo insaturo		-	1,0E-02 (generico) 2,0E-04 ÷ 2,0E-03 (semi-specifico)		-			
Suolo insaturo		<i>grana suolo</i>	<i>grossa</i>	<i>fine</i>	<i>grossa</i>	<i>fine</i>	RBCA Canada (2006)	Valori calcolati da misure di soil gas applicando il modello di Johnson & Ettinger (1991) (Atlantic RBCA Tool Kit ver. 2.1) - criteri obbligatori: -pavimentazione in calcestruzzo; -volume dell'edificio pari a quello di default; -assenza di prodotto libero mobile entro 30m dall'edificio; -superficie freatica >1m al di sotto dell'edificio; condizioni del sito conformi a quelle di default (Tier I RBSL Look Up Tables).
	1		1,2E-04	1,4E-05	4,0E-05	7,1E-06		
	2		9,9E-05	1,2E-05	3,7E-05	6,5E-06		
	3		8,6E-05	1,1E-05	3,5E-05	6,0E-06		
	5		6,8E-05	8,8E-06	3,1E-05	5,2E-06		
	10		4,5E-05	6,0E-06	2,4E-05	3,9E-06		
	20		2,7E-05	3,7E-06	1,7E-05	2,6E-06		
	30		1,9E-05	2,7E-06	1,3E-05	1,9E-06		
Suolo insaturo	tutte	-	0,02 (generico)				NJDEP (2005)	Fattore scelto per screening, sulla base del documento USEPA (2002).
Vespaio aerato (*)	n.a.	n.a.	1,0E-01 ÷ 1,0E+00		-		ITRC (2007)	Range valori empirici.
Al di sotto della soletta	n.a.	n.a.	1,0E-02 (consigliato per screening) ÷ 1,0E-01		-			Range valori empirici.
Suolo insaturo	<1,5	-	2,0E-03 ÷ 1,0E-01		5,0E-04 ÷ 1,0E-01			Range valori sia empirici che calcolati da modelli.
	>1,5	-						
Al di sotto della soletta	n.a.	n.a.	2,00E-02				BCME (2009)	Fattori di default basati su uno scenario di attenuazione di vapori di benzene attraverso un suolo a grana grossa; i fattori indoor sono gli stessi raccomandati dall'Health Canada basati su di un'analisi di rischio quantitativa preliminare (PQRA), mentre i fattori outdoor sono stati ricavati utilizzando i fogli di calcolo PQRA dell'Health Canada - non si applicano per attenuazioni laterali; la scelta dipende dalla configurazione corrente e/o futura ragionevolmente prevedibile per il sito - l'uso di tali fattori non è permesso quando: -la superficie freatica si trova, o la concentrazione nel suolo è rilevabile ai livelli di riferimento, entro 1 m dall'edificio - l'edificio o la superficie del sito sono collocate al di sopra di un mezzo ad elevata permeabilità ai gas - vi sono percorsi preferenziali che collegano la sorgente dei vapori alla zona di respirazione dei recettori esposti il vapore nel sottosuolo o al di sotto della soletta è in pressione - la falda è contaminata all'interno di strati di roccia fratturati - vi sono prelievi o pompaggi attivi di acqua dalla falda.
Suolo insaturo	1,0	1,5E-05	2,8E-03		3,7E-04			
	1,5	1,2E-05	2,3E-03		3,4E-04			
	2,0	9,2E-06	2,0E-03		3,1E-04			
	3,0	6,1E-06	1,6E-03		2,7E-04			
	5,0	3,7E-06	1,1E-03		2,1E-04			
	7,0	2,6E-06	8,3E-04		1,7E-04			
	10,0	1,8E-06	6,2E-04		1,3E-04			
	15,0	1,2E-06	4,3E-04		9,9E-05			
	20,0	9,2E-07	3,3E-04		7,8E-05			
30,0	6,1E-07	2,3E-04		5,5E-05				

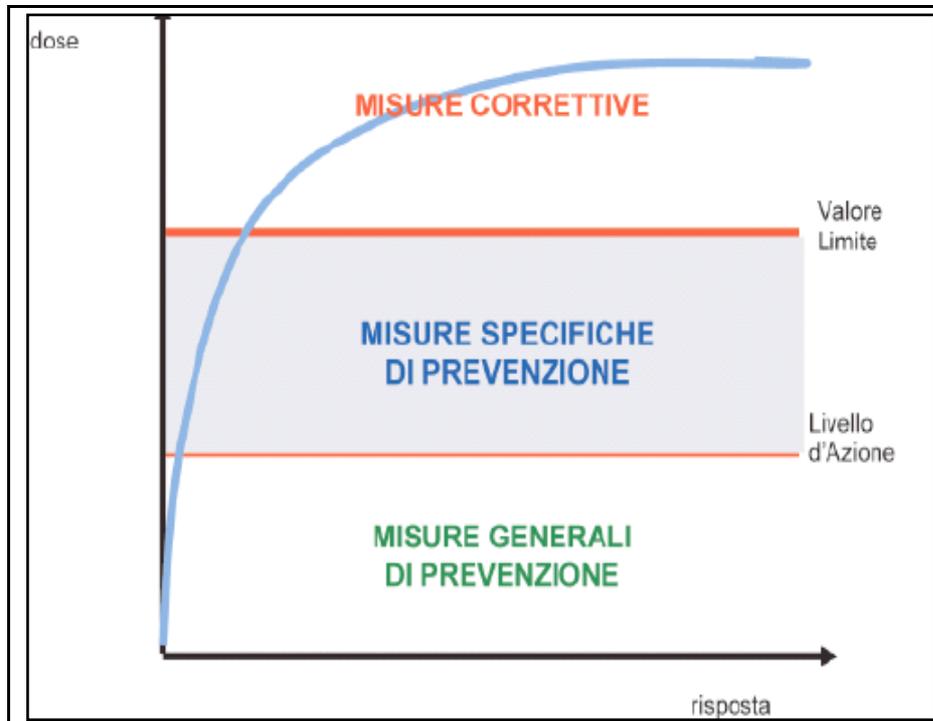
## APPENDICE B: Valori Limite di esposizione professionale e CSC(aria)

La prevenzione del rischio chimico di esposizione professionale attualmente è normata dal D.Lgs. 81/2008 (“Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro”) e s.m.i. (D.Lgs. 106/2009). La valutazione del rischio di esposizione ad agenti chimici pericolosi si articola in diverse fasi, propedeutiche e sequenziali: di queste fasi, ai fini del presente documento, risulta rilevante la fase della valutazione *dose-risposta* secondo il modello universale della curva dose-risposta, riportata in Figura B.1. Su questa curva possono essere stabiliti due diversi livelli di soglia [INFN, 2008]:

- Il valore limite di esposizione professionale (Occupational Exposure Limits - OELs),: nella procedura di valutazione approfondita del rischio chimico i limiti di esposizione professionale rappresenta il livello di esposizione di riferimento con cui confrontare i valori di concentrazione di esposizione personale misurati all'interno degli ambienti di lavoro. Tali valori limite indicano i livelli di esposizione superati i quali occorre adottare delle misure correttive, ai fini della salvaguardia della salute e della sicurezza dei lavoratori. Il valore limite di esposizione è quantitativamente determinato.

- Il livello di azione: nella procedura di valutazione preliminare del rischio rappresenta il livello in corrispondenza del quale scatta l'obbligo di adottare misure specifiche di prevenzione (sorveglianza sanitaria, formazione, DPI, sistemi di prevenzione collettiva, ecc.). Il lavoratore può essere esposto a concentrazioni superiori al livello di azione a condizione che vengano adottate delle misure preventive specifiche. Ai fini della gestione del rischio chimico di esposizione il livello di azione rappresenta un riferimento fondamentale per la decisione sul giudizio di rischio, ai sensi del D. Lgs. 81/2008: L'Art. 224 comma 2, infatti, definisce un livello “basso per la sicurezza ed irrilevante per la salute dei lavoratori “allorché non venga superata la soglia del Livello di Azione. Il livello di azione non è quantitativamente determinato.

Figura B.1 – Curva dose-risposta nella valutazione del rischio chimico [INFN, 2008]



Generalmente, al di sopra del valore limite, la maggior parte dei lavoratori corre il rischio di ammalarsi, mentre tra il livello di azione ed il valore limite verosimilmente si possono ammalare solo i soggetti ipersuscettibili. Al di sotto del livello di azione, infine, l'esposizione è talmente bassa che nessun lavoratore (nemmeno un ipersuscettibile) può ragionevolmente ammalarsi. Risulta importante

sottolineare che il livello di azione, superato il quale scatta l'obbligo dell'applicazione delle misure specifiche di tutela, può essere considerato soltanto nel caso di esposizione ad agenti chimici pericolosi non cancerogeni né mutageni, di categorie 1 o 2 secondo le definizioni dello stesso D.Lgs. 81/2008 (art.234). Vigè il criterio, infatti, che per gli agenti cancerogeni o mutageni le misure specifiche di tutela debbano obbligatoriamente essere applicate a prescindere dalla concentrazione di esposizione, ovvero l'obbligo delle misure specifiche, ivi compresa la sorveglianza sanitaria, scatta per la sola presenza di agenti cancerogeni e mutageni (le sostanze mutagene di categoria 2 sono quasi tutte anche cancerogene di categoria 1 o 2) negli ambienti di lavoro [Berardi et al., 2010].

Nel caso del rischio chimico, nell'Allegato XXXVIII (riferito genericamente agli agenti chimici) e nell'Allegato XLIII (riferito specificatamente agli agenti cancerogeni e mutageni) al D.Lgs. 81/2008 sono riportati i valori limite di esposizione professionale rispettivamente per 97 e 3 agenti chimici. E' possibile osservare che delle 97 sostanze elencate nel D.Lgs. 152/06 solo 22 sono normate dal D.Lgs. 81/2008. A livello europeo esistono numerose liste di valori limite, predisposte dai diversi Stati membri (Francia, Germania, Gran Bretagna, Olanda, Danimarca, Svezia), comunque generalmente in Italia per gli agenti non compresi negli allegati al D.Lgs. 81/2008 si fa riferimento ai TLVs dell'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Sono previste tre categorie di TLVs:

-TLV-TWA (Time-Weighted Average): concentrazione media ponderata nel tempo su una giornata lavorativa convenzionale di otto ore e su 40 ore lavorative settimanali, alla quale si ritiene che quasi tutti i lavoratori possono essere ripetutamente esposti, giorno dopo giorno, per una vita lavorativa, senza effetti negativi.

-TLV-STEL (Short Term Exposure Limit): concentrazione TWA di 15 minuti che non deve essere superata in qualsiasi momento durante la giornata lavorativa, anche se il TWA sulle otto ore non supera il valore TVL-TWA.

-TLV-C (Ceiling): concentrazione che non deve essere superata durante qualsiasi momento della esposizione lavorativa.

Per la maggior parte delle sostanze assume rilevanza solo il TWA, con il relativo STEL (se esistente). Per alcune sostanze (ad es. i gas irritanti) è applicabile soltanto il TLV-Ceiling. Se un qualsiasi di questi TLV è superato, si presume esista un rischio potenziale.

Quindi, nel caso di rischio da agenti chimici pericolosi e non cancerogeni né mutageni ai sensi del D.Lgs. 81/2008, il livello di azione corrisponde per definizione alla soglia al di sotto della quale non sono necessarie le misure di prevenzione specifiche.

Sebbene i valori limite di esposizione professionale (Occupational Exposure Limits - OELs), non derivino da stime quantitative del rischio a differenti livelli di esposizione (ovvero siano basati su valutazioni tossicologiche, normative e modalità di applicazione differenti), si è ritenuto di interesse porre a confronto gli stessi con i valori delle CSC(aria) per uso del suolo Industriale/Commerciale (Tasso di inalazione pari a 0,9 m<sup>3</sup>/ora), di cui al Capitolo 2. A tal fine sono state prese in considerazione le sostanze elencate nell'Allegato 5 Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/2006, per le quali sono risultati disponibili i valori limite di esposizione professionale tabellati nel D.Lgs. 81/2008, oppure i TLV-TWA dell'ACGIH [AIDII, 2009], e comprese nell'elenco dei contaminati con sufficiente tossicità e volatilità della Tabella 1 del documento [USEPA, 2002]. Tra queste, per ogni classe di contaminanti, ove possibile, è stata selezionata una sostanza cancerogena e una non cancerogena. In Tabella B.1 sono riportate le specie chimiche selezionate per il confronto [Berardi et al., 2010].

**Tabella B.1 – Specie chimiche selezionate per il confronto**

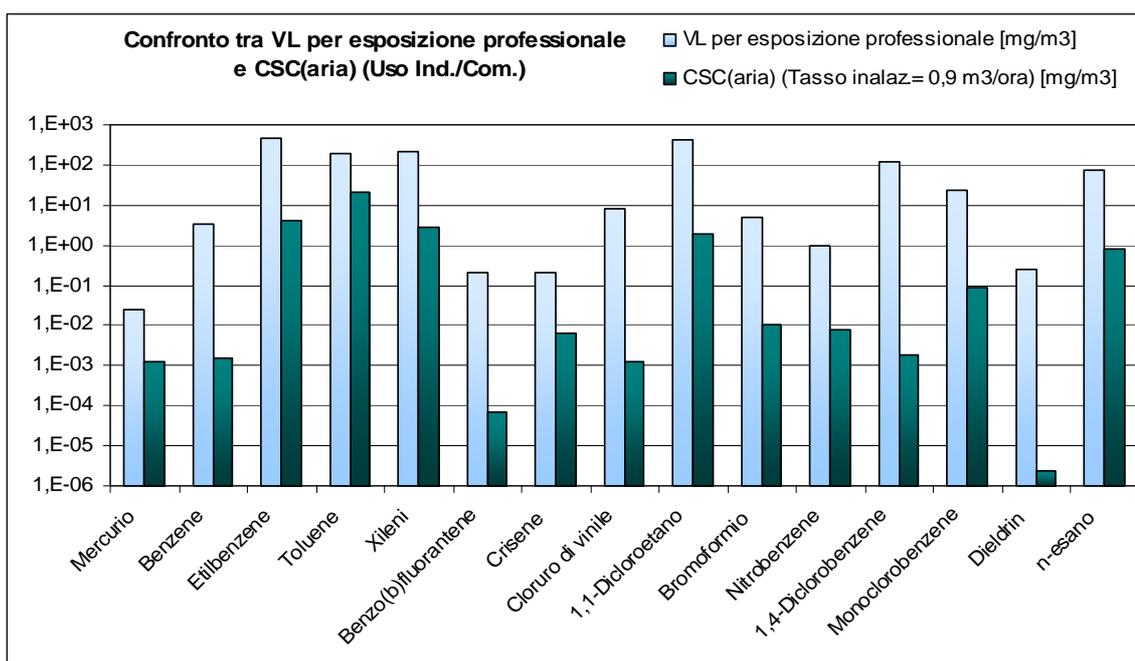
SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Valori limite di esposizione professionale [mg/mc] (1)	
<b>Composti Inorganici</b>			
Mercurio (come Hg)	7439-97-6	0,025	TLV-TWA
<b>Aromatici</b>			
Benzene (Benzolo)	71-43-2	3,25	D.Lgs. 81/2008
Etilbenzene	100-41-4	442	D.Lgs. 81/2008
Toluene (Toluolo)	108-88-3	192	D.Lgs. 81/2008
Xileni	1330-20-7	221	D.Lgs. 81/2008
<b>Aromatici policiclici</b>			
Benzo(b)fluorantene	205-99-2	0,2	TLV-TWA (2)
Crisene	218-01-9	0,2	TLV-TWA (2)
<b>Alifatici clorurati</b>			
Cloruro di vinile (Cloroetilene)	75-01-4	7,77	D.Lgs. 81/2008
1,1-Dicloroetano (Cloruro di etilidene)	75-34-3	412	D.Lgs. 81/2008
<b>Alifatici alogenati cancerogeni</b>			
Tribromometano (bromoformio)	75-25-2	5,2	TLV-TWA
<b>Nitrobenzeni</b>			
Nitrobenzene	98-95-3	1	D.Lgs. 81/2008
<b>Clorobenzeni</b>			
1,4-Diclorobenzene (p-Diclorobenzene)	106-46-7	122	D.Lgs. 81/2008
Monoclorobenzene	108-90-7	23	D.Lgs. 81/2008
<b>Fitofarmaci</b>			
Dieldrin	60-57-1	0,25	TLV-TWA
<b>Idrocarburi</b>			
n-esano	110-54-3	72	D.Lgs. 81/2008

(1) Misurato e calcolato rispetto ad un periodo di riferimento di 8 ore, come media ponderata.

(2) Idrocarburi policiclici aromatici adsorbiti su particellato (PPAH) - Catrame e pece di carbone prodotti volatili (aerosol solubile in Benzene)

In Figura B.2 si riporta l'istogramma di confronto tra i valori limite di esposizione professionale e le CSC(aria) per uso del suolo Industriale/Commerciale (Tasso di inalazione pari a 0,9 m<sup>3</sup>/ora) per le sostanze selezionate.

**Figura B.2 – Confronto tra valori limite di esposizione professionale e CSC(aria) .**



Come atteso, i TLV risultano molto meno conservativi rispetto alle CSC(aria), le quali risultano inferiori ai limiti di esposizione professionale (differenza compresa tra un minimo di un ordine di grandezza e un massimo di cinque ordini di grandezza). Le differenze maggiori sono riferibili alle sostanze cancerogene (es. benzene, benzo(b)fluorantene, cloruro di vinile), anche di categoria 3 (1,4-diclorobenzene, diedrin) non considerate nel capo II del titolo IX del D.Lgs. 81/2008. Allo stato attuale, non appare emergere comunque alcuna proporzionalità tra le due tipologie di valori sottoposti a confronto.

Del resto anche ai sensi della norma UNI EN 689: 1997, «*Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Guida alla valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione*», citata dal D.Lgs. 81/2008 come metodica standardizzata per la per misurazione degli agenti chimici pericolosi, misurazione inclusa tra le misure di prevenzione e protezione da adottare al di sopra del livello di azione, la condizione di semplice inferiorità dei valori misurati al TLV non risulta sufficiente a considerare conclusa la valutazione e sono previsti criteri maggiormente cautelativi.

Il risultato del confronto è inoltre coerente con quanto sta emergendo nell'ambito di un altro fondamentale ambito di normazione europea, ovvero quello relativo alla Registrazione, Valutazione, Autorizzazione e Restrizione delle Sostanze Chimiche o REACH.

Nel relativo Regolamento n.1907/2006, detto appunto Regolamento REACH, è stato infatti stabilito l'obbligo, per le sostanze prodotte o importate in quantitativi pari o superiori a 10 tonnellate all'anno, di una valutazione della sicurezza chimica (CSA). L'obiettivo della valutazione è individuare e descrivere le condizioni che permettono di controllare i rischi. I rischi si ritengono controllati quando i livelli d'esposizione stimati non superano i livelli privi di effetto prevedibili (DNEL o PNEC). Per alcuni effetti non è possibile determinare valori DNEL, perché si tratta di effetti non soglia, per esempio, cancerogeni e/o genotossici. In tal caso il regolamento REACH prescrive una valutazione qualitativa. Per gli agenti mutageni non soglia e gli agenti cancerogeni non soglia si dovrà calcolare un valore aggiuntivo di riferimento (semi)quantitativo (DMEL, livello derivato con effetti minimi), sempre che i dati lo consentano [ECHA, 2008a].

Quindi è possibile individuare una sorta di analogia tra tali valori DNEL o DMEL, relativi ad esposizione inalatoria a lungo termine per effetti sistemici nell'ambito della fabbricazione, importazione, utilizzo ed immissione sul mercato di sostanze chimiche, e le CSR(indoor/outdoor) nell'ambito della gestione dei siti contaminati.

I criteri per la definizione dei DNEL sono differenti dall'approccio dell'analisi di rischio sanitario prescritta dal d.lgs. n.152/2006, ma è la stessa linea guida dell'Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche [ECHA, 2008b] ad affermare che i DNEL, poiché devono tenere conto, tra l'altro, dell'incertezza derivante dalla variabilità dei dati sperimentali e dalle variazioni intra- ed inter-specie, della natura e della severità degli effetti e della sensibilità della popolazione esposta e, considerando che sono basati sull'integrazione di tutti i dati rilevanti disponibili sul rischio per la salute umana, possono essere considerati dei NAEL (No Adverse Effect Level) generali per una determinata modalità espositiva.

La linea guida [ECHA, 2008b] afferma inoltre che quando un IOEL (Indicative Occupational Exposure Level) è disponibile a livello europeo ed esso sia stato recepito ed adottato dalla normativa nazionale, tale OEL può essere utilizzato come DNEL, *a patto che le modalità espositive in termini di via, durata e frequenza siano le stesse ed a meno di nuove informazioni scientifiche acquisite nell'ottemperare agli obblighi REACH che non consentano di sostenere l'uso del OEL a tale scopo. Non possono inoltre essere utilizzati OEL nazionali senza aver valutato le informazioni alla base della sua determinazione.*

In relazione a tali indicazioni, è stato già evidenziato come, a causa delle modalità prescritte per la determinazione del DNEL proprio nel caso di esposizioni inalatorie a lungo termine, i relativi DNEL risulteranno significativamente inferiori rispetto agli OEL [Roy et al., 2008]; e come non sempre le informazioni alla base della determinazione di quest'ultimi siano trasparenti [Kroese, 2009]. In Tabella Z è riportato un confronto esemplificativo.

**Tabella B.2 - Confronto tra i DNEL ricavati in ambito REACH e gli OEL per due sostanze chimiche esemplificative [Roy et al., 2008].**

Test Chemical	OSHA <sup>1</sup>	ACGIH <sup>2</sup>	AIHA <sup>3</sup>	IOEL <sup>4</sup>	DNEL <sup>5</sup>
Cyclohexane, CAS# 110-82-7	1050	350	-	700	15
Isooctyl Acrylate CAS# 29590-42-9	-	-	37.5	-	8

<sup>1</sup> OSHA PEL - Occupational Safety & Health Association Permissible Exposure Limit

<sup>2</sup> ACGIH TLV - American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Value

<sup>3</sup> AIHA WEEL - American Industrial Hygiene Association Workplace Environmental Exposure Levels

<sup>4</sup> IOEL - Indicative Occupational Exposure Level (European-based OELs)

<sup>5</sup> REACH DNEL - Derived No Effect Level for workers for long-term inhalation exposures to protect against systemic effects. It is noted that these values are considered draft based on the current REACH Implementation Guidance and our understanding of this guidance. These values may be subject to change if there is a significant change in REACH guidance or toxicological information for these test chemicals.

Peraltro va evidenziato anche che *la linea guida [ECHA, 200b] a seguito di review relativamente al livello di rischio di contrarre un cancro nell'arco della vita lavorativa scelto come "accettabile" per i lavoratori, conclude che in genere viene scelto 10<sup>-5</sup>, anche se livelli inferiori o superiori sono considerati accettabili in determinate circostanze.*

Tali considerazioni e/o analogie portano a concludere sull'inopportunità di utilizzare, in via generale, in assenza di valutazioni specifiche o senza adottare opportune precauzioni, gli OEL (stabiliti da normativa o TLV-TWA) quali valori Limite di concentrazione da porre a confronto con i dati ottenuti dai campionamenti, anche nel caso di esposizione professionale.

### **APPENDICE C: Misure di prevenzione e protezione generali e specifiche per i lavoratori.**

Nella presente appendice si riportano dei cenni sulle misure di prevenzione e protezione sia generali che specifiche da adottare nei casi in cui gli interventi previsti sul sito riguardano una messa in sicurezza operativa (MISO) e si intendono utilizzare i limiti di esposizione professionale (Occupational Exposure Limits - OELs), di cui all'Appendice B, come limiti di concentrazione da porre a confronto con i dati ottenuti dai campionamenti di aria outdoor/indoor o di soil-gas (se solo vapori).

Si riportano di seguito le misure generali di prevenzione [art.224 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i]:

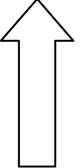
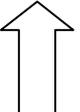
- a) progettazione e organizzazione dei sistemi di lavorazione sul luogo di lavoro;
- b) fornitura di attrezzature idonee per il lavoro specifico e relative procedure di manutenzione adeguate;
- c) riduzione al minimo del numero di lavoratori che sono o potrebbero essere esposti;
- d) riduzione al minimo della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- e) misure igieniche adeguate;
- f) riduzione al minimo della quantità di agenti presenti sul luogo di lavoro in funzione delle necessità della lavorazione
- g) metodi di lavoro appropriati comprese le disposizioni che garantiscono la sicurezza nella manipolazione, nell'immagazzinamento e nel trasporto sul luogo di lavoro di agenti chimici pericolosi nonché dei rifiuti che contengono detti agenti chimici

e le misure specifiche di protezione e prevenzione, in ordine di priorità [art.225 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i]:

- a) progettazione di appropriati processi lavorativi e controlli tecnici, nonché uso di attrezzature e materiali adeguati;
- b) appropriate misure organizzative e di protezione collettive alla fonte del rischio;
- c) misure di protezione individuali, compresi i dispositivi di protezione individuali, qualora non si riesca a prevenire con altri mezzi l'esposizione;
- d) sorveglianza sanitaria dei lavoratori.

In Tabella C.1 sono schematizzate le misure di prevenzione e protezione con alcune indicazioni generali, mentre in Tabella C.2 si riporta un esempio, non esaustivo, di misure di prevenzione e protezione che possono essere adottate all'interno di un cantiere di MISO in caso di esposizione a polveri da suolo contaminato.

**TABELLA C.1 – Indicazioni generali sulle misure di prevenzione e protezione**

<p>1. <b>Eliminazione</b> – sostituire ove possibile l'agente pericoloso o la pratica di lavoro pericolosa</p> <p>2.</p>	<p><b>RIDUZIONE DEL PERICOLO ALLA FONTE (PREVENZIONE)</b></p>	<p><b>MISURE PIÙ EFFICACI</b></p> 
<p>3. <b>Sostituzione</b> – rimpiazzo del pericolo o di una prassi lavorativa pericolosa con una meno pericolosa (es. impianti, attrezzature o processi meno pericolosi)</p>		
<p>4. <b>Isolamento</b> – separazione del pericolo o di una prassi lavorativa pericolosa dai lavoratori o dall'area di lavoro generale (es. sistemi chiusi, riallocazione dei lavoratori ed installazione di barriere fisiche)</p>	<p><b>CONTROLLO DEL RISCHIO</b></p>	
<p>5. <b>Sistemi tecnici di controllo</b> – introduzione ad es. di modifiche a strumenti ed attrezzature di lavoro o di presidi a macchinari ed impianti</p>		
<p>6. <b>Organizzazione e gestione</b> – introduzione di prassi lavorative che riducono il rischio, quale l'implementazione di misure per garantire che procedure, istruzioni, addestramento e segnali di avvertimento siano in uso (ad es. preparazione e distribuzione del Piano d'Emergenza e del Piano di Protezione dei Lavoratori o Piano di Sicurezza Sito-Specifico a tutti i lavoratori)</p>	<p><b>COLLETTIVI</b></p> 	
<p>7. <b>DPI</b> – devono essere considerati soltanto quando le altre misure non sono praticabili o per incrementare il livello di protezione.</p>	<p><b>INDIVIDUALI</b></p>  <p><b>INTERVENTI DI PROTEZIONE</b></p>	<p><b>MISURE MENO EFFICACI</b></p>
<p><b>Talvolta è appropriata una combinazione delle misure da 1 a 7</b></p>		

**Tabella C.2 – Esempio di misure di prevenzione e protezione per MISO in caso di esposizione a polveri da suolo contaminato.**

<b>MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE PER I LAVORATORI</b>				
Pericolo	Danno potenziale	Luogo / Mansioni	Misure di prevenzione e protezione	Sistemi di controllo (efficacia misure)/ Procedure di sistema
...	...	...	...	...
Polveri da suolo	danni biologici	generali:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- leggera nebulizzazione di acqua sul suolo per inumidirlo e non saturarlo (attenzione nel caso di contaminazione recente di sostanze volatili o semi-volatili);</li> <li>- minimizzazione del traffico e della sua velocità su suolo contaminato esposto;</li> <li>- uso di coperture superficiali del terreno;</li> <li>- installazione di schermi frangivento;</li> <li>- utilizzo minimo dei seguenti DPI:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>o facciale filtrante (a perdere)</li> <li>o calzature antinfortunistica con suola antiscivolo;</li> <li>o tuta in tessuto non tessuto (a perdere);</li> <li>o guanti antitaglio;</li> <li>o occhiali a mascherina</li> </ul> </li> <li>- ....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- monitoraggio periodico della concentrazione ambientale di polveri</li> <li>- procedura di lavoro per la nebulizzazione del suolo esposto al transito di mezzi</li> <li>- adozione di limiti di velocità nel sito</li> <li>- procedura per l'uso e la manutenzione dei DPI"</li> <li>- ...</li> </ul>
		ambienti indoor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- locali chiusi ventilati, con pareti lisce e lay-out che sfavoriscano l'accumulo di polveri (altezze elevate, distanze appropriate e minimizzazione spigoli, bordi, sporgenze per recipienti/ contenitori/ scaffali/ apparecchiature/ impianti, ecc.)</li> <li>- sistemi di filtrazione</li> <li>- ....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- n° sufficiente di ricambi / h</li> </ul>
		cabine di veicoli (pale meccaniche, escavatori, camion) / conducenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ispezione quotidiana delle cabine di guida per verificare l'accumulo di polveri;</li> <li>- se necessario utilizzare sistemi di aspirazione (preferibilmente con installato filtro HEPA) o di pulizia ad umido;</li> <li>- in circostanze particolari installazioni di sistemi di filtrazione in cabina di guida</li> <li>- ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verifica periodica dello stato delle guarnizioni delle portiere per la rilevazione precoce di segni di usura o danneggiamento</li> <li>- procedura di lavoro per la verifica e la pulizia delle cabine di guida</li> <li>- ...</li> </ul>
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...

## APPENDICE D: Principali Fattori di Conversione

Per convertire da	a	Moltiplica per (M = Peso Molecolare)
mg/m <sup>3</sup>	μg/m <sup>3</sup>	1000
	μg/l	1
	ppm in volume (20°C)	24,04/M
	ppm in peso	0,8347
μg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	0,001
	μg/l	0,001
	ppm in volume (20°C)	0,02404/M
	ppm in peso	834,7 x 10 <sup>-6</sup>
μg/l	mg/m <sup>3</sup>	1
	μg/m <sup>3</sup>	1000
	ppm in volume (20°C)	24,04/M
	ppm in peso	0,8347
ppm in volume (20°C)	mg/m <sup>3</sup>	M/24,04
	μg/m <sup>3</sup>	M/0,02404
	μg/l	M/24,04
	ppm in peso	M/28,8
ppm in peso	mg/m <sup>3</sup>	1,198
	μg/m <sup>3</sup>	1,198 x 10 <sup>3</sup>
	μg/l	1,198
	ppm in volume (20°C)	28,8/M