

# PROBLEMATICHE RELATIVE AL “VAPOR INTRUSION” E AI RELATIVI MONITORAGGI

**Laura D'Aprile**  
**APAT**

### **3.3 Fattori di trasporto**

Si evidenzia che le equazioni per il **calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor)** rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio; il piano delle indagini e dei monitoraggi dovrà essere concordato con le Autorità di Controllo. Tale approccio risulta in accordo con le più recenti indicazioni tecnico-scientifiche elaborate da organismi di controllo statunitensi sulla base di una consolidata esperienza applicativa. Tra i documenti di riferimento è opportuno citare il riferimento CalEPA (2005).

*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.*

## APPENDICE S (APAT, 2008)

- ✓ S.1 – INTRODUZIONE
- ✓ S.2 - LINEE-GUIDA E DOCUMENTI TECNICI SVILUPPATI NEGLI U.S.A
- ✓ S.3 - VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE PROFESSIONALE
- ✓ S.4 - I TLVs DELL'ACGIH
- ✓ S.5 - UTILIZZO DI VALORI DI TLV/TWA NELL'ANALISI DI RISCHIO SANITARIOAMBIENTALE
- ✓ S.6 - MODALITA' DI MISURA DELLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI NEGLI AMBIENTI INDOOR

APPENDICE S Intrusione di vapori nei luoghi di lavoro.

### APPENDICE S

#### INTRUSIONE DI VAPORI NEI LUOGHI DI LAVORO

##### S.1. INTRODUZIONE

Al paragrafo 3.3 (Fattori di rischio) del presente manuale è riportato:

*"Si evidenzia che le equazioni per il calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e chiusi (indoor) rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio, il piano delle indagini e dei monitoraggi dovrà essere concordato con le Autorità di Controllo. Tale approccio risulta in accordo con le più recenti indicazioni tecnico-scientifiche elaborate da organismi di controllo statutari sulla base di una consolidata esperienza applicativa."*

La presente appendice riporta i principali riferimenti bibliografici internazionali inerenti la valutazione del fenomeno dell'intrusione di vapori nei siti contaminati nei luoghi di lavoro, descrive le modalità di valutazione dell'esposizione professionale in siti industriali interessati da fenomeni di contaminazione e i metodi di misura delle concentrazioni di contaminanti nell'aria indoor e outdoor.

Il fenomeno dell'intrusione di vapori può essere definito come la migrazione di sostanze chimiche volatili dal sottosuolo agli edifici sovrastanti (EUSEPA 2002)

## PROBLEMATICHE RELATIVE AL VAPOR INTRUSION



## Che cos'è il vapor intrusion?

- *Vapor Intrusion* (Intrusione di Vapori) = Migrazione di sostanze chimiche volatili dal sottosuolo agli edifici sovrastanti (USEPA 2002)

### Adulti/Bambini (Residenziale)

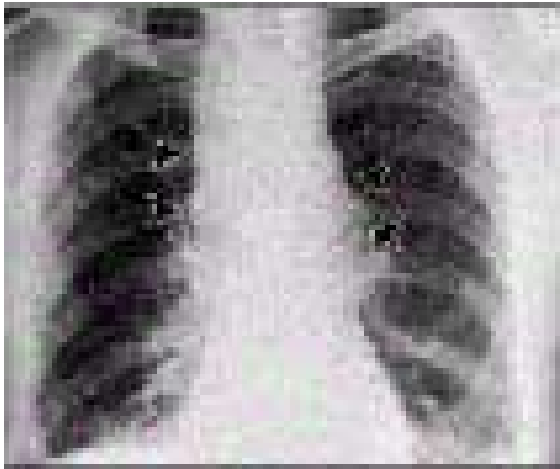
#### Lavoratori (Commerciale/Industriale)

#### Locali interrati

#### Fondazioni

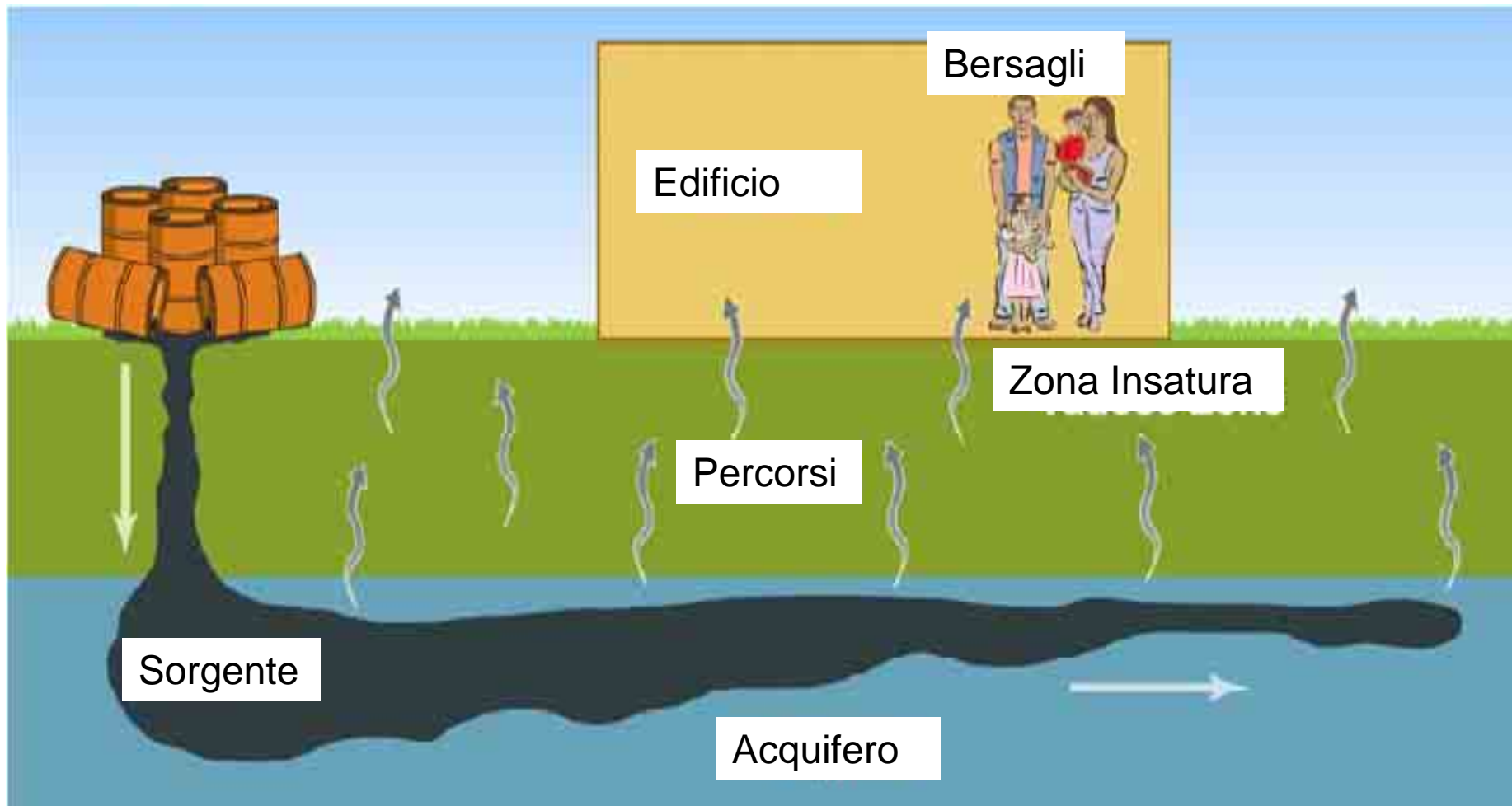


## Perché occuparsi del vapor intrusion?



- ✓ Rischi per la sicurezza (ad es: esplosioni)
- ✓ Rischi per la salute:
  - le persone trascorrono più del 90% del tempo in ambienti chiusi;
  - la presenza di COVs spesso non è avvertita (assenza di tracce visive e/o olfattive)
  - effetti acuti e cronici
- ✓ I rischi legati all'intrusione di vapori possono essere di ordini di grandezza superiori rispetto ai rischi connessi ad altri percorsi di esposizione quali ingestione e contatto dermico.

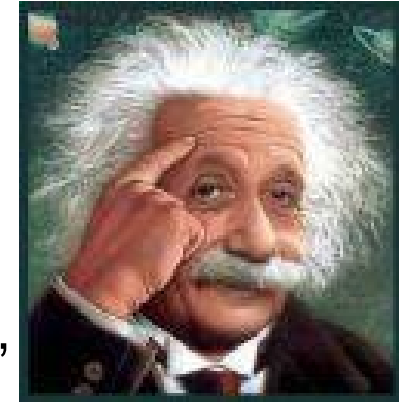
## Modello Concettuale di Base



Modificato da ITRC (Gennaio 2007)

## Come si affronta il vapor intrusion?

- Approccio per fasi:
  - Generico
  - Sito-specifico
- Processo iterativo
- Costruzione del modello concettuale
- Utilizzo di modelli, dati relativi a misure di soil-gas, misure dell'aria indoor, misure di mitigazione;
- Utilizzo di linee di evidenza multiple
- Valutazione dell'esposizione e dell'utilizzo del sit.
- Coinvolgimento di esperti con varie competenze (chimiche, ingegneristiche, sanitarie, ecc.)
- Programmi di comunicazione per la popolazione





## Principali riferimenti tecnici

✓ **2002 US EPA** (Draft Guidance for Evaluating the Vapor Intrusion to Indoor Air Pathway from Groundwater and Soils, Subsurface Vapor Intrusion Guidance).

- utilizzata diffusamente negli U.S.A.

- 3 livelli di intervento (generico, semi sito-specifico, sito-specifico)

✓ **2007 ITRC** (Vapor Intrusion Pathway: A Practical Guideline)

- molto completa: descrive approcci guidati per fasi applicabili per vari scenari, fornisce strumenti pratici

- contiene un capitolo dedicato agli interventi di mitigazione del *vapor intrusion*

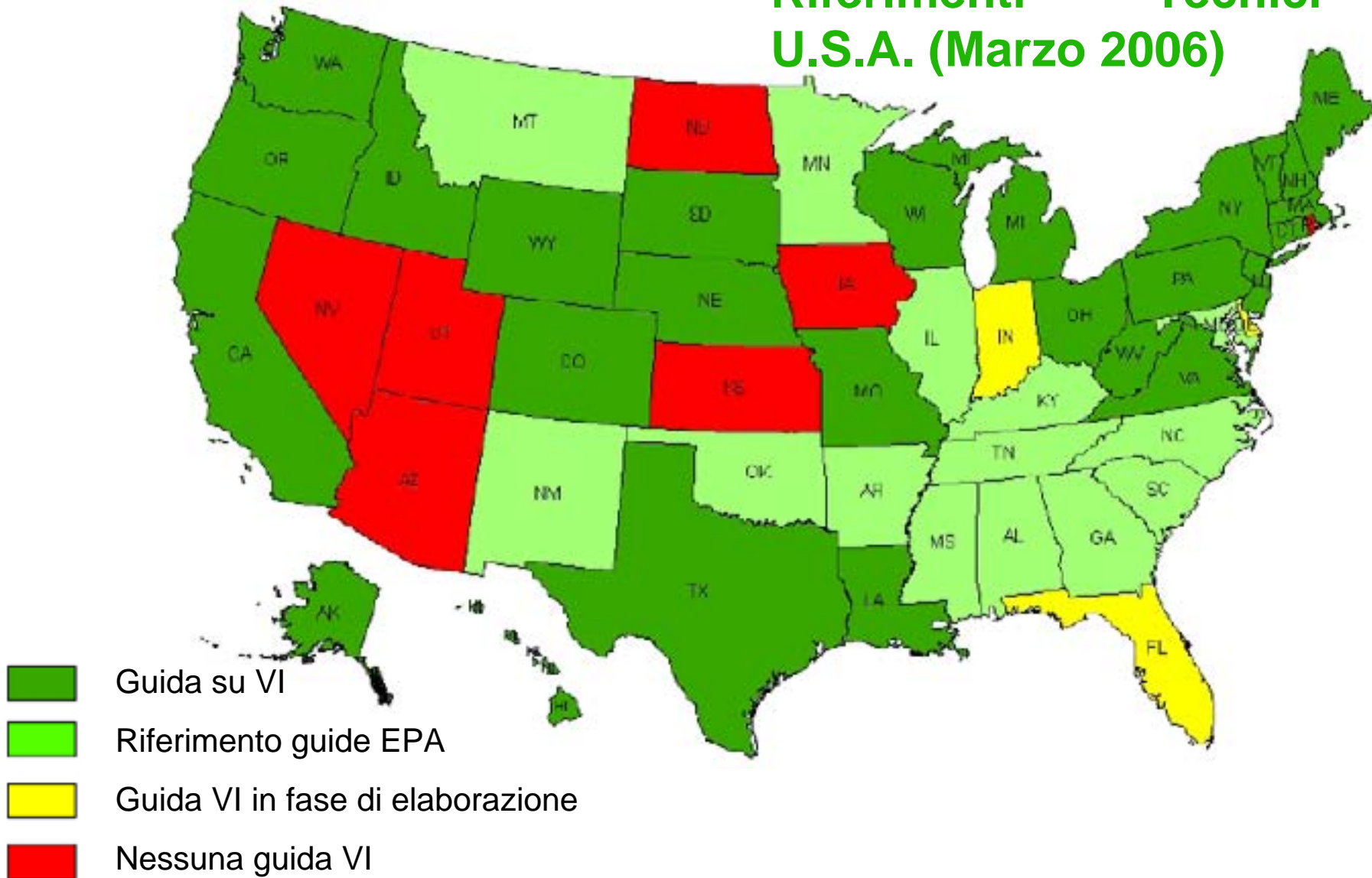
✓ **2008 ASTM** (?)

- riguarda soprattutto le transazioni immobiliari, fornisce un approccio per fasi che consente una certa flessibilità

- utilizzo di criteri non numerici; importanza della distanza dalle sorgenti, vengono trattati sia contaminanti clorurati che petroliferi

✓ **Riferimenti di altri Stati U.S.A.:** 2005 CalEPA (Guidance for the evaluation and mitigation of subsurface vapour intrusion to indoor air, Department of Toxic Substances Control, California Environmental Protection Agency, USA.), 2006 NYDOH (Guidance for Evaluating Soil Vapor Intrusion in the State of New York),.....

## Riferimenti Tecnici U.S.A. (Marzo 2006)



## Problematiche principali

- ✓ Contaminazione di fondo (background)
- ✓ Biodegradazione dei contaminanti
- ✓ Percorsi preferenziali
- ✓ Uso presente e futuro del suolo
- ✓ Gestione e comunicazione del rischio
- ✓ Diverso approccio tra aree residenziali e aree industriali

## Contaminazione di Fondo (Background)

La contaminazione di background può derivare da diverse sorgenti:

- Ovvie:
  - Vernici
  - Uso di sostanze chimiche
  - Adesivi
  - Spray
  - Lavaggio a secco
- Meno Ovvie:
  - Fumo di sigaretta
  - Tappeti
  - Caminetti a legna
  - Deodoranti per ambienti
  - Profumi, Spray per capelli

## Aree Residenziali /Aree Industriali

Contaminante	C / NC	Valori di Screening Generici dell'EPA(ppb)	OSHA PEL TWA (ppb)	ACGIH TLV/TWA (ppb)
Tetracloroetilene	C	12	100,000	25,000
Tricloroetilene	C	0.41	100,000	50,000
Cloruro di Vinile	C	11	100,000	5,000
Benzene	C	9.8	10,000	500
Tetracloruro di Carbonio	C	2.6	10,000	5,000
Cloroformio	C	2.2	--	10,000
1,1,1-Tricloroetano	NC	400	350,000	350,000
1,2-Dicloroetilene (cis)	NC	8.8	200,000	200,000
1,2-Dicloroetilene (trans)	NC	18	200,000	200,000
Naftalene	NC	0.57	10,000	10,000

Da R. De Mott, 2006

## APPENDICE S: Calcolo dei Valori Limite Indoor (IND)

I Valori Limite Indoor Industriali (VLin(IND)) sono stati calcolati applicando la procedura di analisi di rischio riportata nel presente manuale in modalità *backward*, per cui:

per effetti cancerogeni 
$$VL_m(IND) = \frac{IR}{EM \cdot SF}$$

per effetti tossici 
$$VL_m(IND) = \frac{HQ \cdot RfD}{EM}$$

dove:

- TR [adim.] e HQ [adim.] rappresentano rispettivamente i valori di accettabilità del rischio e dell'indice di pericolo individuale e per essi sono stati assunti i valori pari a  $10^{-6}$  e 1 (paragrafo 4.4);
- SF [mg/kg-giorno]<sup>-1</sup> e RfD [mg/kg-giorno] sono rispettivamente i parametri tossicologici delle specie chimiche in esame;
- EM [m<sup>3</sup>/kg-giorno] rappresenta la portata effettiva di esposizione, ossia la quantità di aria inalata in ambienti confinati per unità di peso corporeo al giorno, per il calcolo di EM si è fatto riferimento a quanto contenuto nel paragrafo 3.4.2 del presente documento. Si precisa che il tasso di inalazione assunto è quello proposto come default nel caso di inalazione indoor. ( $B_i = 0,9 \text{ m}^3/\text{ora}$ ).

E' evidente, dalla analisi delle equazioni sopra riportate, che i Valori Limite così identificati sono validi sia nel caso di inalazione di vapori che nel caso di inalazione di polveri.

Tabella 4 (1/3) – AMBIENTI DI LAVORO - Valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004, TLV-TWA dell'ACGIH e valori limite derivati dalla procedura di analisi di rischio

specie chimica	Numero CAS	D.M. 26/02/2004 [mg/mc]	TLV-TWA [mg/mc]	VI (mg) Cancerogeno [mg/mc]	VI (mg) Tossico [mg/mc]
<b>Composti inorganici</b>					
Alumina e composti (serie Al)	7429-90-0	-	2,00E+00	-	2,00E+02
Antimonio e composti (serie Sb)	7440-36-0	-	5,00E-01	-	5,00E-03
Argento metallico	7440-22-4	1,00E-01	1,00E-02	-	7,10E-02
Arsenico e composti inorganici (serie As)	7440-38-2	-	1,00E-02	2,60E-06	4,26E-03
Berillio e composti (serie Be)	7440-41-7	-	2,00E-02	4,70E-06	5,09E-03
Boro	7440-42-0	-	2,00E+00	-	5,11E-02
Cadmio composti (serie Cd)	7440-43-9	-	2,00E-02	6,31E-06	6,69E-04
Ciuri (liberi)	57-12-0	-	-	-	2,84E-01
Cobalto e composti inorganici (serie Co)	7440-48-4	-	2,00E-02	4,00E-06	5,11E-03
Cromo totale	024-017-00-2 <sup>VI</sup>	-	5,00E-04	-	2,13E+01
Cromo VI	10540-29-9 <sup>VI</sup>	-	1,00E-02	9,46E-07	4,26E-04
Ferro	7430-99-6	-	2,30E-01	-	-
Fluoruri (serie F)	-	2,50E+00	1,50E+00	-	-
Manganese elemento e composti inorganici (serie Mn)	7430-96-6	-	1,00E-01	-	2,93E-04
Mercurio (serie Hg)	7430-97-6	-	1,00E-02	-	1,22E-03
Niobio	7440-02-0	-	1,00E-01	4,73E-06	2,84E-01
Piombo elemento e composti inorganici (serie Pb)	7430-02-1	1,50E-01	6,00E-02	-	4,97E-01
Piombo Tetraetilico (serie Pb)	78-30-3	-	1,00E-01	-	1,42E-06
Rame	7440-50-8	-	2,00E-01	-	5,68E-01
Selenio e composti (serie Se)	7782-49-7	-	2,00E-01	-	7,10E-02
Stagno metallico	7422-31-5	-	2,00E+00	-	8,92E+00
Tallio elemento e composti solubili (serie Tl)	7422-38-4	-	1,00E-01	-	1,12E-03
Tantalo	7422-65-0	-	5,00E+00	-	9,91E+00
Zinco	7422-86-6	-	-	-	1,76E+00
Altri:	-	-	-	-	1,82E+00
Carboni	-	-	-	-	-
<b>Azotati</b>					
Paratolueno (paratolo)	71-43-7	-	1,60E+00	1,57E-03	1,21E+01
p-Tolueno	100-61-4	4,00E+00	4,00E+00	-	4,00E+00
Stirene monomero (Vinil benzene)	100-42-0	-	6,00E+01	-	4,00E+00
Toluene (Toluolo)	100-65-3	-	1,60E+02	-	1,62E+00
m-Xilene	100-30-3	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
o-Xilene	95-47-6	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
p-Xilene	100-42-0	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
Xiloli	1330-20-7	2,21E+02	4,34E+02	-	2,84E+00
<b>Aromatici policiclici</b>					
Benz(a)antracene	56-50-3	-	-	6,00E-05	4,00E+00
Benz(a)pirene	56-32-0	-	-	5,43E-06	4,40E+01
Benz(b)fluorantene	206-99-2	-	-	6,62E-06	4,06E+00
Benz(g,h)iperilene	191-04-2	-	-	-	4,26E-01
Benz(k)fluorantene	207-08-0	-	-	1,28E-03	4,06E-01
Crisene	218-01-0	-	-	6,62E-03	4,26E-01
Dibenz(a,h)pirene	192-66-4	-	-	-	-
Dibenz(a,i)pirene	180-84-0	-	-	-	-
Dibenz(a,j)pirene	191-30-0	-	-	-	-
Dibenzopireni	-	-	-	-	-
Dibenz(a,h)fluorantene	53-70-3	-	-	6,44E-06	-
Indanopirene	193-30-8	-	-	6,62E-06	1,46E+01
Prisna	174-29-0	-	-	-	4,39E+01
Idrocarburi policiclici aromatici adsorbiti su particolato (PPAH) - Catrame e pece di carbone prodotti visibili (aromi solubili in Benzene)	65095-93-2	-	2,00E-01	-	-

## APPENDICE S: TLV/TWA e Valori basati su AdR (1)

Tabella 4 (2/3) – AMBIENTI DI LAVORO - Valori limite stabiliti dal D.M. 26/03/2004, TLV-TWA dell'ACGIH e valori limite derivati dalla procedura di analisi di rischio

Specie chimica	Numero CAS	D.M. 26/03/2004 (mg/mc)	TLV-TWA (mg/mc)	VL(TWA) Cancerogeno (mg/mc)	VL(RND) Tossico (mg/mc)
<b>Aromatici saturati cancerogeni</b>					
1,1,2-Tricloroetano	78-34-8		8,00E+00	1,00E-04	2,84E-00
1,1,2-Tricloroetano	78-34-8		8,00E+01	1,00E-04	8,00E-01
1,1-Dicloroetilene (Cloruro di etilene)	75-35-4		8,00E+01	2,27E-04	1,28E-01
1,2-Tricloroetano	96-18-4		8,00E+01	1,66E-01	8,52E-03
1,2-Dicloroetano (Diossido di etilene)	107-06-2		4,00E+01	4,37E-04	4,00E-02
1,2-Dicloroetano (Cloruro di propene)	75-35-4		-	3,52E-04	1,00E-01
Clorometano	74-87-3		-	8,31E-03	8,00E-02
Cloruro di vinile (Cloruro di vinilene)	75-01-4		2,00E+00	1,26E-03	1,00E-01
Diclorometano (Cloruro di metilene)	75-09-2		-	2,34E-02	1,22E-01
Tetracloroetano (PCE)	127-18-4		1,74E+02	1,95E-03	1,42E-01
Tricloroetano	78-34-8		2,00E+02	8,52E-03	8,52E-02
Tricloroetano (Clorotormice)	87-62-7	3,00E+01	8,00E+01	8,88E-04	1,66E-01
Fluoroclorobenzene	87-68-7		3,10E+01	8,10E-04	2,94E-03
<b>Aromatici saturati non cancerogeni</b>					
1,1,1-Tricloroetano (Metilclorofornice)	71-55-6	5,00E+02	1,91E+03	-	4,00E+00
1,1-Dicloroetano (Cloruro di etilene)	78-34-8	4,10E+02	4,00E+02	-	1,10E+00
1,2-Dicloroetilene	75-35-4		1,20E+02	-	1,42E-01
1,1,2-Tricloroetano	96-18-4		1,20E+02	-	2,94E-01
1,2-Dicloroetano	96-18-4		2,93E+01	-	1,42E-01
<b>Aromatici insaturi cancerogeni</b>					
1,2-Diclorobenzene (Cloruro di etilene)	106-43-4		-	8,16E-03	3,88E-02
Benzocloroetano	75-21-4		-	8,11E-04	2,84E-01
Diclorobenzene	122-46-1		-	4,73E-04	2,84E-01
Triclorobenzene (Bromoformice)	75-27-2		8,00E+00	1,55E-02	2,84E-01
<b>Nitrobenzidi</b>					
1,2-Dinitrobenzene	82-69-8		1,00E+00	-	3,88E-02
1,3-Dinitrobenzene	89-85-0		1,00E+00	-	1,62E-02
Clorodinitrobenzidi	100-00-0		-	1,89E-03	-
Nitrobenzene	98-95-3		8,00E+00	-	8,09E-03
<b>Clorobenzidi</b>					
1,2,4-Triclorobenzene	88-96-3		-	-	8,26E-03
1,2,4-Triclorobenzene	120-82-1	1,91E+01	-	-	8,09E-01
1,3-Diclorobenzene (o-Diclorobenzene)	85-85-1	1,23E+03	1,60E+03	-	8,09E-01
1,4-Diclorobenzene (p-Diclorobenzene)	105-46-7	1,23E+03	8,00E+01	1,00E-03	1,00E+00
Clorobenzene	118-74-1		2,00E+01	2,48E-06	1,14E-02
Monoclorobenzene	106-90-7	4,70E+01	4,60E+01	-	8,02E-02
1,2-Diclorobenzene	98-98-9		-	-	1,14E-02
<b>Fenoli non saturati</b>					
Fenolo	105-90-2	7,00E+00	1,80E+01	-	8,09E+00
m-Metilfenolo	108-39-4		-	-	7,10E-01
o-Metilfenolo	95-45-7		-	-	1,10E-01
p-Metilfenolo	106-44-8		-	-	7,10E+03
Metilfenoli	-		-	-	7,10E+03
<b>Fenoli saturati</b>					
2,4,6-Triclorofenolo	88-36-2		-	8,17E-03	-
2,4-Diclorofenolo	120-83-2		-	-	4,26E-02
2-Clorofenolo	88-37-4		-	-	7,10E-02
2,4,6-Triclorofenolo	88-36-2		8,00E+01	8,31E-04	4,38E-01

## APPENDICE S: TLV/TWA e Valori basati su AdR (2)



Tabella 4 (3/3) – AMBIENTI DI LAVORO - Valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004, TLV TWA dell'ACGIH e valori limite derivati dalla procedura di analisi di rischio

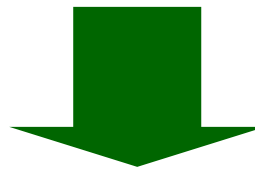
Specie chimiche	Numero CAS	D.M. 26/02/2004 (mg/mc)	TLV TWA (mg/mc)	VLM(BD) Cancerogena (mg/mc)	VLM(BD) Tossico (mg/mc)
<b>Ammine aromatiche</b>					
Anilina	62-52-3	-	7.00E-02	6.97E-03	4.30E-03
Ortoanilina	123-114-2	-	1.00E+01	-	5.00E-01
m,p-Anilina	636-90-3	-	6.00E-01	-	0.04E-02
o-Anilina	90-04-0	-	6.00E-01	2.04E-04	6.32E-04
p-Toluidina	106-71-5	-	6.00E+00	2.00E-01	-
<b>Alcolammidi</b>					
Argilcol	19672-62-8	-	-	4.97E-04	1.42E-01
Alcol	300-00-2	-	2.00E-01	2.92E-02	4.25E-04
Alcolina	1812-34-9	-	3.00E+00	1.21E-04	4.97E-01
Cristallo	81-75-9	-	5.00E-01	1.14E-01	2.91E-03
COO	72-04-5	-	-	1.00E-04	7.10E-03
COF	73-80-8	-	-	1.07E-04	7.10E-03
COI	90-20-3	-	1.00E+00	1.17E-01	7.10E-03
Cloridrato	60-27-1	-	2.00E-01	2.49E-02	7.10E-04
Formil	73-30-5	-	1.00E+01	-	6.36E-01
o-ossidossilano	310-84-6	-	-	6.31E-02	7.10E-03
o-ossidossilano (gamma-ossidossilano (2-ossano))	319-82-7	-	-	2.14E-02	2.64E-02
gamma-ossidossilano (2-ossano)	58-94-2	-	5.00E-01	3.06E-02	2.36E-01
<b>Ossolene</b>					
2,3,7,8-TCDF	1745018	-	-	3.43E-10	-
1,2,3,7,8-PeCDD	40221798	-	-	-	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	30227296	-	-	-	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	67633657	-	-	-	-
1,2,3,7,8-PeCDD	19408743	-	-	-	-
1,2,3,4,6,7,8-HeCDD	30228459	-	-	-	-
OCDD	1296674	-	-	-	-
<b>Forati</b>					
2,3,7,8-TCDF	51207219	-	-	-	-
2,3,7,8-PeCDF	67117318	-	-	-	-
1,2,3,7,8-PeCDF	67117416	-	-	-	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	67117449	-	-	-	-
1,2,3,4,7,8-HpCDF	70918299	-	-	-	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	72018210	-	-	-	-
2,3,4,6,7,8-HpCDF	60661348	-	-	-	-
1,2,3,4,6,7,8,9-HeCDF	67942398	-	-	-	-
1,2,3,4,7,8,9-HeCDF	68573667	-	-	-	-
OCDF	39001020	-	-	-	-
<b>PCBs</b>					
PCB	1326-26-3	-	0.00E-01	1.99E-02	-
<b>idrocarburi</b>					
Idrocarburi leggeri C=12	-	-	-	-	-
Idrocarburi pesanti C=12	-	-	-	-	-
Alcadi C3-C8	-	-	-	-	8.09E-01
Alcadi C9-C10	-	-	-	-	2.02E-01
Alcadi C8-C12	-	-	-	-	8.09E-01
Alcadi C10-C16	-	-	-	-	-
Alcadi C11-C16	-	-	-	-	-
<b>Altre sostanze</b>					
Amianto (Fibra libera)	13001-38-1	-	-	-	-
Asbesto (tutte le forme)	1332-21-4	-	0,1 fibre/mc	-	-
Polveri dell'asbesto: talco (opaco)	-	-	-	-	-
Aspirina (acido acetilsalicilico)	79-06-1	-	3.00E-02	9.83E-06	0.84E-03
Aspirina	130-04-3	-	3.00E+02	-	3.00E-01
Acido para-talico (acido tartraleico)	160-01-0	-	1.00E+01	-	1.42E+01
MSE: Metil ter-butilidene (Etere metil-butilico terziario)	1634-04-4	-	1.80E+02	-	1.22E+01

## APPENDICE S: TLV/TWA e Valori basati su AdR (3)

## APPENDICE S: Valori Limite Indoor (IND)- Osservazioni

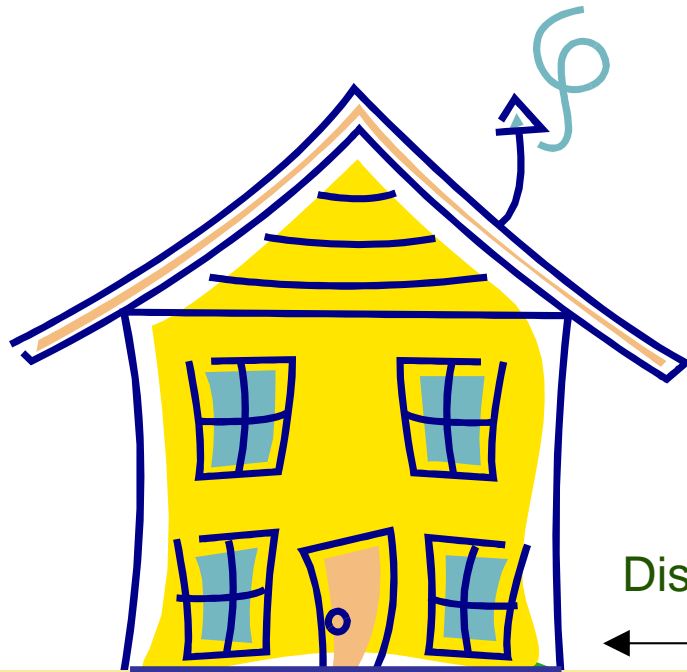
Dalla analisi dei dati riportati in Tabella 4 emerge che:

- i "VLin(IND) Cancerogeno" risultano inferiori ai "VLin(IND) Tossico", anche di cinque ordini di grandezza;
- i "VLin(IND) Tossico" risultano, per la maggioranza dei casi, inferiori ai valori limite stabiliti dal D.M. 26/02/2004 e ai (TLV/TWA) dell'ACGIH mediamente di due, tre ordini di grandezza.



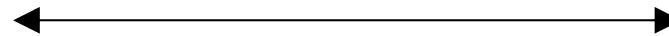
I limiti TLV/TWA non sono, in generale, confrontabili con le concentrazioni derivate dall'applicazione modellistica, sono pertanto necessarie misure dirette (monitoraggi).

## Distanza dalle sorgenti



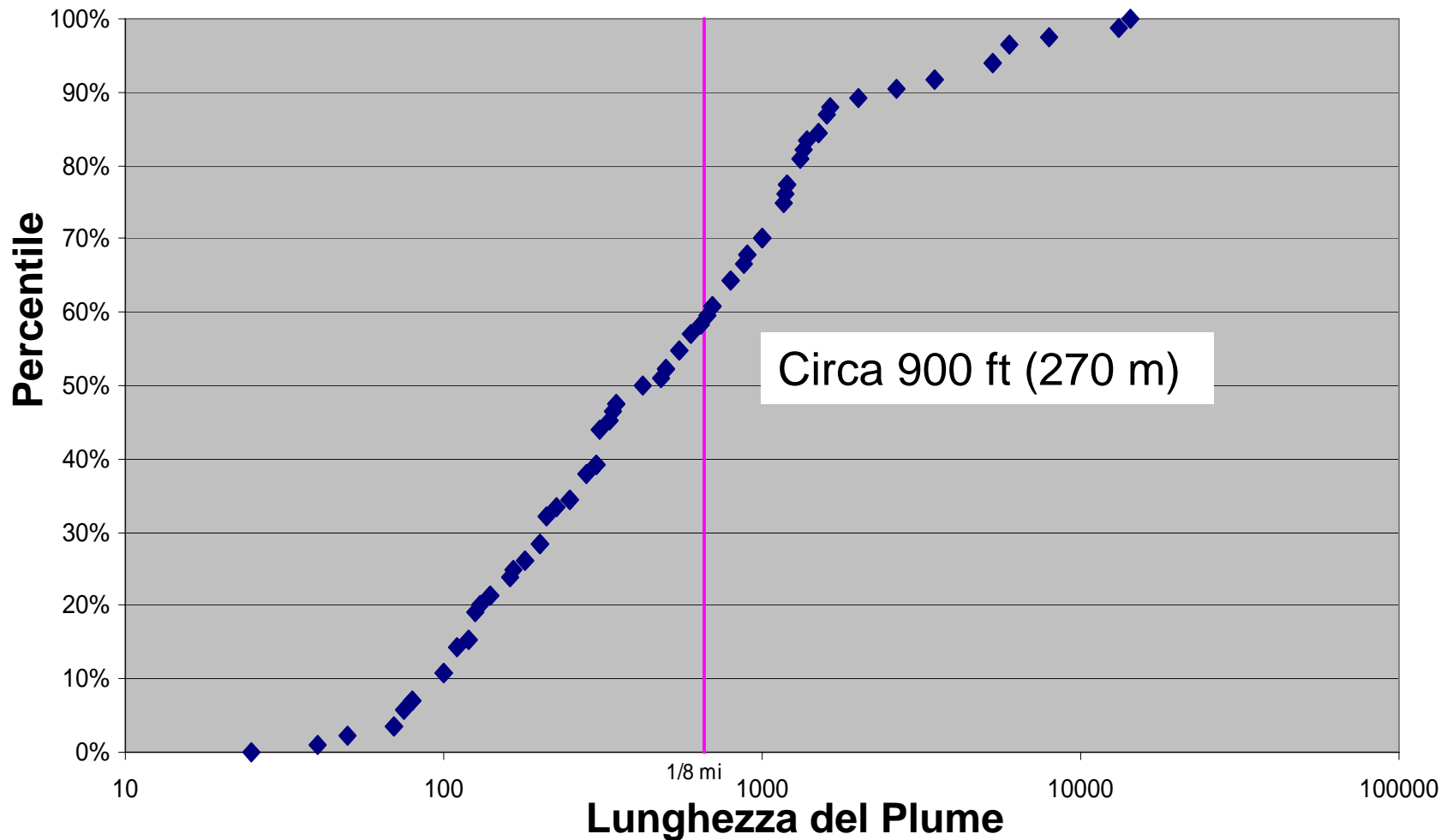
E' corretto considerare solo gli edifici entro 30 m (100 ft) dalla sorgente? (EPA, 2002)

Distanza tra l'edificio e la sorgente



5 ug/l

Dati relativi ad indagini condotte su siti contaminati da lavanderie a secco  
(Envirogroup Limited, 2007)



## Le linee-guida dell'ITRC (2007)

Struttura della linea guida ITRC (2007)



## Verifica Preliminare (Capitolo 2 della guida ITRC)

Step 1: Il sito presenta un pericolo di esposizione acuta?

Step 2: I dati ottenuti dalle indagini effettuate in fase di caratterizzazione sono sufficienti a valutare il percorso di VI?

Step 3: Nel sito sono presenti contaminanti volatili e tossici?

Step 4: Ci sono edifici in prossimità dei punti contaminanti da volatili (suolo, sottosuolo e acque sotterranee)?

Step 5: Identificare gli scenari di esposizione appropriati per gli occupanti degli edifici e i valori di screening per il sito.

Step 6: I dati mostrano il superamento dei valori di screening per lo scenario di esposizione selezionato?

Step 7: Il superamento riscontrato giustifica ulteriori indagini?



## Fase di Indagine (Capitolo 3 della guida ITRC)

Step 8: Scelta della strategia di indagine per VI

Step 9: Progettazione del piano di indagine

Step 10: Attuazione del piano di indagine

Step 11: Valutazione dei dati raccolti

Step 12: Sono necessarie ulteriori indagini?

Step 13: Sono necessarie misure di mitigazione del rischio?

## Elementi importanti in fase di indagine

- ✓ Modello Concettuale Sito-Specifico
- ✓ Sistematizzazione dei dati esistenti e individuazione delle lacune
- ✓ Ubicazione dei punti di campionamento
- ✓ Modalità di campionamento
- ✓ Tipologia degli edifici
- ✓ Livelli di background
- ✓ Comunicazione alla popolazione
- ✓ Scenario del caso peggiore (ad es. sistemi di riscaldamento attivi)
- ✓ Differenze stagionali



## Influenza delle condizioni climatiche

A seguito di eventi meteorici significativi i VOCs, a seguito del riempimento delle porosità del suolo da parte dell'acqua, possono essere spostati al di sotto delle fondazioni/pavimentazioni.

Pertanto i campionamenti di soil-gas (sotto le pavimentazioni o fondazioni) e di aria indoor effettuati nelle 48 ore che seguono un evento meteorico significativo, sono maggiormente rappresentativi.



## Campionamento delle acque sotterranee

- ✓ Verificare i dati disponibili e reperire nuove informazioni
- ✓ Reperire le informazioni sulle caratteristiche dell'acquifero
- ✓ Stabilire in modo esatto ubicazione e modalità costruttive dei pozzi
- ✓ Studiare i profili verticali di contaminazione
- ✓ Delimitare il plume



## Campionamento del suolo

- ✓ I dati relativi ai campioni di suolo sono generalmente poco significativi per la valutazione del percorso di Vapor Intrusion;
- ✓ I dati del suolo costituiscono una linea di evidenza e consentono di evidenziare la necessità di ulteriori indagini, tuttavia non consentono di escludere la presenza di criticità per il percorso VI;
- ✓ I dati relativi al suolo possono essere convertiti in dati di Soil Gas attraverso equazioni di partizione
- ✓ Durante il campionamento devono essere minimizzate le perdite di VOCs



## Campionamento del soil-gas

### Metodi attivi

- ✓ Estrazione di soil-gas attraverso fori ad infissione/rotazione

### Metodi passivi

- ✓ Utilizzo di materiali assorbenti
- ✓ Campionamento per diffusione

### Considerazioni

- ✓ Controllo dei volumi di spurgo e di pompaggio
- ✓ Controllo della velocità di flusso, del volume di vuoto, delle perdite
- ✓ I contenitori dei campioni devono garantire la massima tenuta
- ✓ Il tempo tra campionamento ed analisi deve essere ridotto al minimo



## Campionamento del soil-gas (sub-slab)

- ✓ Consente di misurare le concentrazioni di soil-gas che possono entrare negli edifici
- ✓ Può essere estratto con sistemi attivi e passivi
- ✓ Possono essere realizzati punti di campionamento permanenti o temporanei
- ✓ Fornisce ottime indicazioni se i dati vengono comparati con quelli dell'aria indoor

Campionamento attivo



Campionamento passivo



- ✓ Generalmente viene eseguito dopo il campionamento del gas del suolo
- ✓ Deve essere focalizzato sui contaminanti di interesse
- ✓ Il tempo di campionamento ha una grande influenza sui dati
- ✓ Può essere effettuato con metodi attivi e passivi
- ✓ E' particolarmente importante quando sono presenti spazi chiusi interrati

## Campionamento dell'aria indoor



Canisters per il campionamento dell'aria indoor

## APPENDICE S: Valutazione delle tecniche di campionamento

APPENDICE S		Intrusione di vapori nei luoghi di lavoro			
Tecniche di campionamento	Tecniche analitiche	Sostanze campionabili/analizzabili	Limite di rivelabilità	Vantaggi	Svantaggi
Misure duette	FID	Idrocarburi	ppm	Detector universale, risposta simile per gli idrocarburi con lo stesso numero di atomi di carbonio ed idrogeno	Scarsa risposta per sostanze alogenate; necessità di H <sub>2</sub> come combustibile, risposta non selettiva
Misure duette	FID	Sostanze fotosensibilizzabili	ppm	Elevata sensibilità per specie aromatiche o amature, non necessità di gas per il suo funzionamento	Risposta non selettiva, differente risposta a sostanze differenti, scarsa risposta ad alcune sostanze
Misure duette	microGC, GC portatile	Tutte le sostanze organiche volatili	ppm ppb con preconcentratore	Possibilità di risposta selettiva, uso di differenti detector (più comune TCD). Tempi di risposta di alcuni minuti.	necessità di accurata taratura dello strumento, costi elevati, poca maneggevolezza, necessità di gas per il suo funzionamento. Usualmente considerato metodo di screening se non si usa MS come detector
Fiale Colorimetriche	Analisi colorimetrica su scala graduata		ppm o superiore	Praticità ed economicità, specificità nella risposta	Elevato limite di rivelabilità, necessità di possedere fiale differenti per sostanze diverse
Sacche in tedar	GC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili	Funzione della tecnica analitica anche ppb	Economicità del mezzo di campionamento	Difficile conservazione del campione, presenza di siti attivi di campionamento, possibilità di effetto memoria
Canister	GC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili e semivolatili	Funzione della tecnica analitica ppb o frazione di ppb	Possibilità di conservare il campione per alcune settimane, assenza di effetto memoria	Elevato costo del campionatore, necessità di avere un laboratorio attrezzato per l'analisi e pulizia
Fiale adsorbenti attive	GC/HPLC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili e semivolatili	Funzione della tecnica analitica ppb o frazione di ppb	Possibilità di conservare il campione per alcune settimane, economicità e praticità del campionatore	Specificità del mezzo adsorbente ad alcune classi di sostanze, necessarie differenti tecniche di analisi a seconda del supporto, rischio breakthrough
Campionatori adsorbenti passivi	GC/HPLC	La maggior parte delle sostanze organiche volatili e semivolatili		Economicità del mezzo, possibilità di campionamenti per lunghi periodi	Specificità del mezzo adsorbente ad alcune classi di sostanze, differenti tecniche di analisi, soggette a breakthrough? ed a retrodiffusione, interferenza tra composti e con elevata umidità
Gorgogliatori	GC/HPLC/ colorimetria	Classi specifiche di sostanze	Funzione della tecnica analitica	Economicità del mezzo	Specificità del mezzo adsorbente ad alcune classi di sostanze, differenti tecniche di analisi, poca maneggevolezza

## APPENDICE S: Metodi per COV

Tabella 5 – TECNICHE DI MONITORAGGIO - lista indicativa di metodi che possono essere utilizzati per la ricerca dei COV.

inquinante	Tecnica di campionamento	substrato	Limiti di concentrazione	Metodi
COV Composti organici volatili	Tubi assorbenti	Carbone attivo Tenax Zeolite	>0.5ppb <25 ppb	EPA TO-17 1997
COV Composti organici volatili	Tubi assorbenti con desorbimento termico	Carbone attivo Carbone Grafitato	Metodo di Screening	NIOSH 2549 1996
COV Composti organici volatili	Canister/sacche in tedar	/	>0.5 ppb	EPA TO-15 1999 EPA TO14 A 1997
COV Composti organici volatili	Tubi assorbimento passivo	Carbone attivo- carbone Grafitato	>1000 µg num/mc	Fondazione Maugeri
Idrocarburi clorurati e benzene	Tubi assorbenti con desorbimento termico	Carbone Grafitato	>0.3µg/mc <160µg/mc	M.U.1576-2001
COV da carburanti	Tubi assorbenti con desorbimento termico	Chromosorb 106	> 10 µg/mc	M.U.1386-1999
Idrocarburi aromatici	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.4-1.1µg/campione	NIOSH 1501-2003
MTBE	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.06 mg/campione	NIOSH 1615-1994
Tricloroetilene	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.01 mg/campione	NIOSH 1022-1994
Idrocarburi alogenati	Tubi assorbenti	Carbone attivo	>0.6-6 µg/campione	NIOSH 1003-2003
IPA	Filtro+tubo assorbente	PTFE + XAD2	> 0.002-0.2 µg/campione	NIOSH 5506-1998
Fenoli	Gorgogliamento	NaOH 0.1 M	>0.2 mg/mc	M.U.504-80
Fenoli	Tubi assorbimento passivo	Tenax	>0.4 µg/mc	Fondazione Maugeri
Aldeidi-Chetoni	Tubi assorbimento passivo	Fluorinal attivato con DNPH	>0.1-0.9 µg/mc	Fondazione Maugeri
Aldeidi-chetoni	Gorgogliamento	Soluzione di DNPH		EPA TO5
Ammine Aromatiche	Tubo assorbente	Gel di silice	>0.01 mg/campione	NIOSH 2002-1994
Ammine alifatiche	Tubo assorbente	Gel di silice	>0.02 mg/campione	NIOSH 2010-1994
Mercaptani	Filtro assorbente	Filtro in fibra di vetro attivato con acetato di Hg	>4.7 µg/campione	NIOSH 2542-1994
Mercurio	Fiala	Hopcalite (ossido di Mn e Cu)	>0.03µg/campione	NIOSH 6009 1994
Mercurio	Fiala	Oro, quarzo rivestito in oro		D'LG: 152/2007



### Fattori di Conversione per misure di Soil Gas (in condizioni standard di T e P)

Unità di Misura	Converti in:	Moltiplica per:
$\mu\text{g/L}$	$\text{mg/m}^3$	1
$\mu\text{g/m}^3$	$\text{mg/m}^3$	0.001
ppbv	$\mu\text{g/m}^3$	PM/24
$\mu\text{g/m}^3$	ppbv	24/PM
ppmv	$\text{mg/m}^3$	PM/24
ppbv	$\text{mg/m}^3$	PM/24000
$\mu\text{g/L}$	$\mu\text{g/m}^3$	1000
$\mu\text{g/m}^3$	$\mu\text{g/L}$	0.001
$\mu\text{g/L}$	ppbv	24000/PM
$\mu\text{g/L}$	ppmv	24/PM
ppbv	ppmv	0.001
ppmv	ppbv	1000

#### Simboli:

$\mu\text{g/L}$	microgrammi per litro
$\text{mg/m}^3$	milligrammi per metro cubo
$\mu\text{g/m}^3$	microgrammi per metro cubo
ppbv	parti per miliardo in volume
PM	Peso Molecolare
ppmv	Parti per milione in volume

## Fattori di Conversione per Soil Gas

## Influenza di altri parametri

Nella tabella seguente sono riportati i parametri stagionali che influenzano maggiormente le risultanze dei campionamenti effettuati per la valutazione del percorso Vapor Intrusion.

<b>Parametro</b>	<b>Condizioni Maggiormente Conservative</b>	<b>Condizioni Meno Conservative</b>
Stagione	Tardo inverno/inizio primavera	Estate
Temperatura	Interna 10°F>Esterna	Interna<Esterna
Vento	Stazionario > 8 km/h	Calmo
Suolo	Saturato dalla pioggia	Secco
Porte/Finestre	Chiuse	Aperte
Sistemi di riscaldamento	Attivi	Non Attivi
Sistemi di ventilazione	Non attivi	Attivi

MADEP, 2002

## Valutazione dei dati

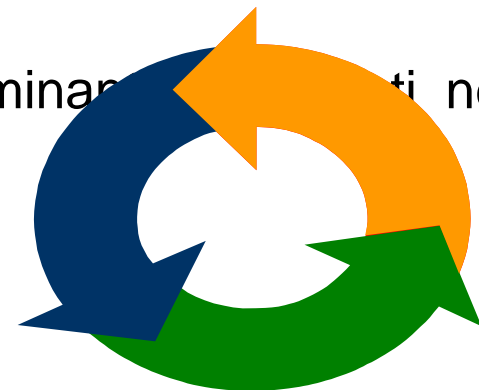
Matrice	Metodo di Valutazione	Limiti
Acqua sotterranea	Mediante fattori di attenuazione o mediante l'applicazione di modelli basati su caratteristiche sito-specifiche possono essere calcolate le concentrazioni nell'aria indoor	Assunzioni molto conservative nei modelli e nei fattori di attenuazione. La legge di Henry's deve essere corretta sulla base della temperatura
Vapore del suolo	Mediante fattori di attenuazione o mediante l'applicazione di modelli basati su caratteristiche sito-specifiche possono essere calcolate le concentrazioni nell'aria indoor	Minori assunzioni rispetto alle acque sotterranee, ma l'accuratezza e la rappresentatività delle misure potrebbe essere un problema
Vapore del suolo (sotto pavimentazioni o fondazioni)	Vengono stimati o misurati (ad es: attraverso il radon) I fattori di attenuazione per calcolare le concentrazioni nell'aria indoor	Maggiore sicurezza nei percorsi indagati, ma I fattori di attenuazione stimati potrebbero risultare ancora troppo conservativi per alcuni edifici
Aria Indoor	Concentrazioni nell'aria indoor misurate direttamente	Intrusione e diffusione di vapori da sorgenti diffuse potrebbero portare ad interpretazioni dei dati sbagliate. Le variazioni stagionali possono rivelarsi un fattore limitante.

## Su cosa basare le decisioni?

Devono essere utilizzate Linee di Evidenza Multiple (Multiple Lines of Evidence, MLoE):

- ✓ Distribuzione spaziale delle concentrazioni nel soil-gas e nelle acque sotterranee;
- ✓ Presenza di sorgenti diffuse (Interne e/o Esterne)
- ✓ Condizioni degli edifici (o caratteristiche costruttive)
- ✓ Dati relativi all'aria indoor e ai campioni di soil-gas presi al di sotto di pavimentazioni e fondazioni;
- ✓ Rapporti di concentrazione tra i vari contaminanti presenti nelle matrici (es: TCE/DCE)

**SI TRATTA DI UN PROCESSO  
PER FASI ITERATIVO**



## Quali misure di mitigazione?

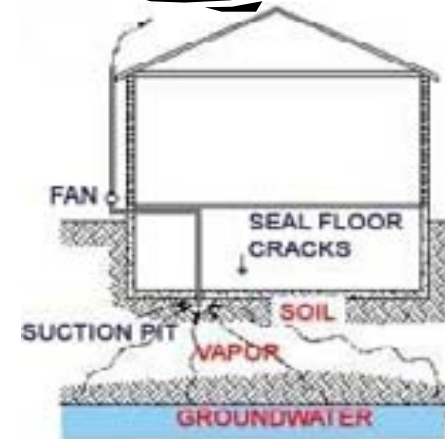
1. Bonifica



2. Controllo istituzionale



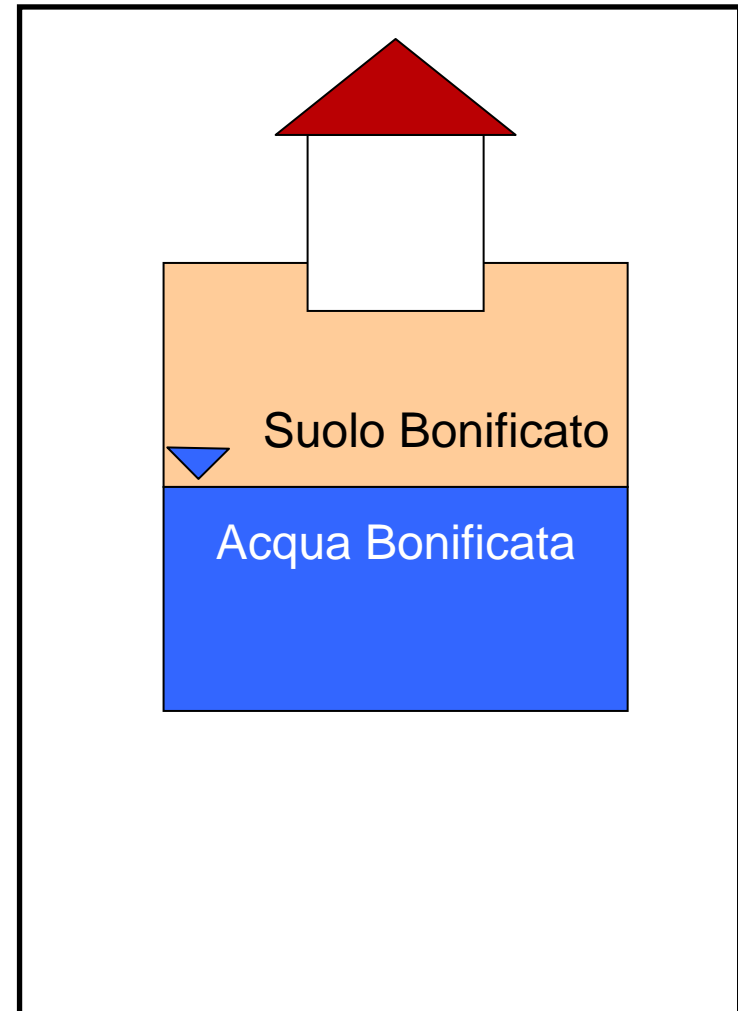
3. Controllo negli edifici



## 1. Bonifica

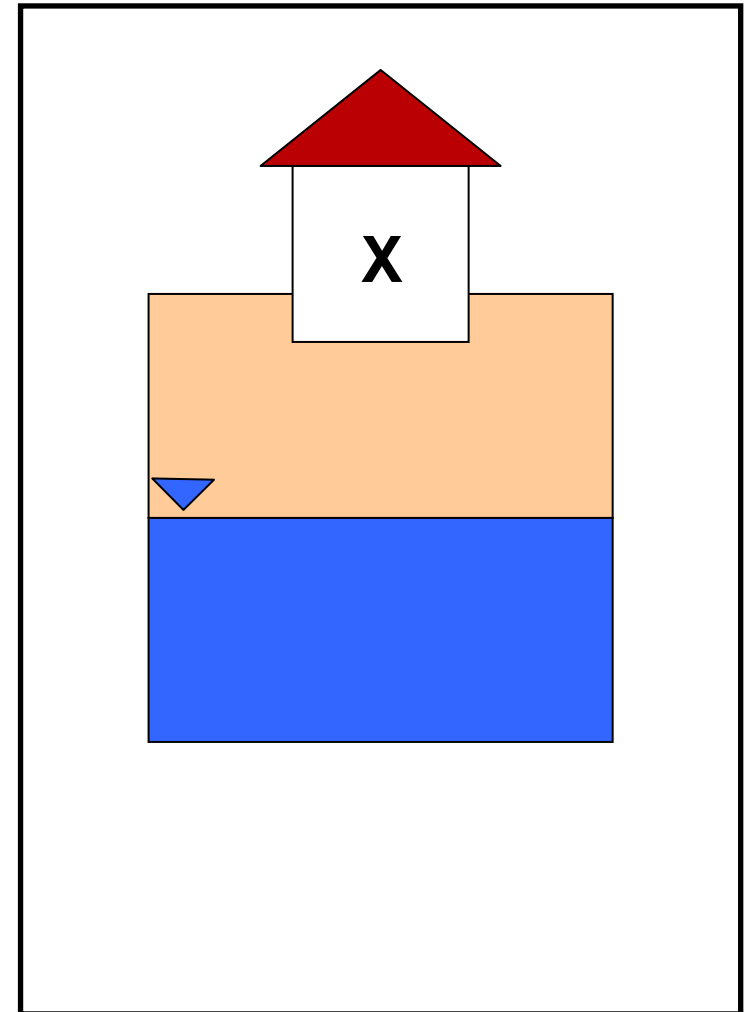
- ✓ Escavazione del suolo
- ✓ Air sparging/soil vapor extraction
- ✓ Ossidazione chimica in situ (ISCO)
- ✓ Barriere idrauliche
- ✓ Barriere passive
- ✓ More...

**ATTENZIONE:** la bonifica (rimozione della sorgente del VI) è l'unica misura definitiva



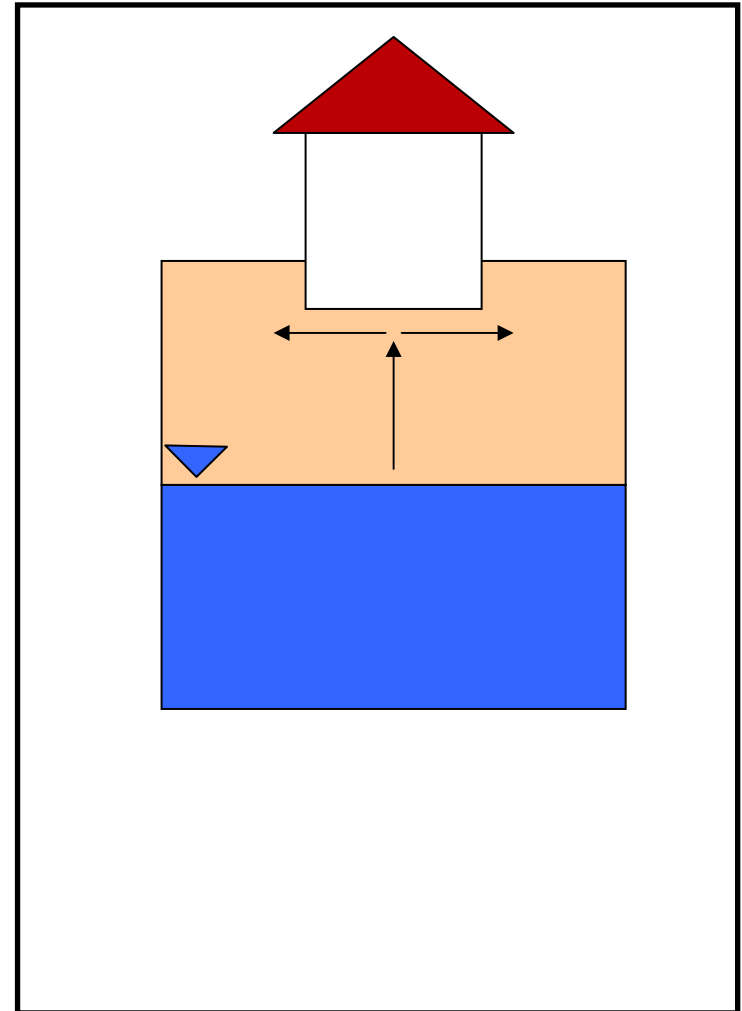
## 2. Controlli Istituzionali

- ✓ Restrizioni d'uso
- ✓ Divieto di uso di edifici
- ✓ Divieto d'uso del suolo (per aree dismesse)



## 2. Controllo negli Edifici

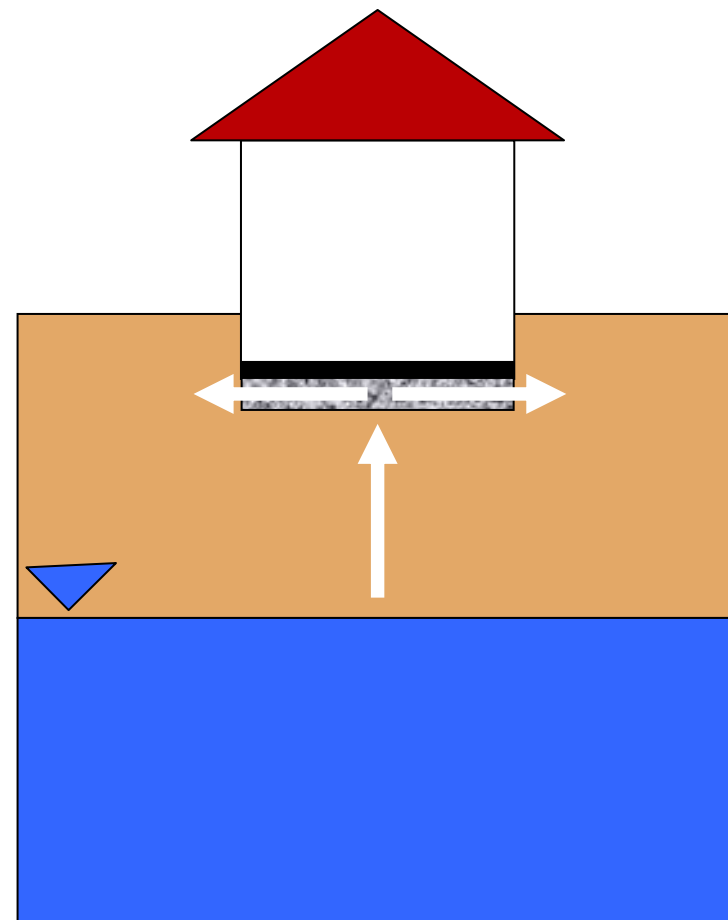
- ✓ Barriere passive
- ✓ Depressurizzazione o pressurizzazione della zona al di sotto delle pavimentazioni o fondazioni
- ✓ Ventilazione forzata
- ✓ Trattamento dell'aria indoor
- ✓ .....





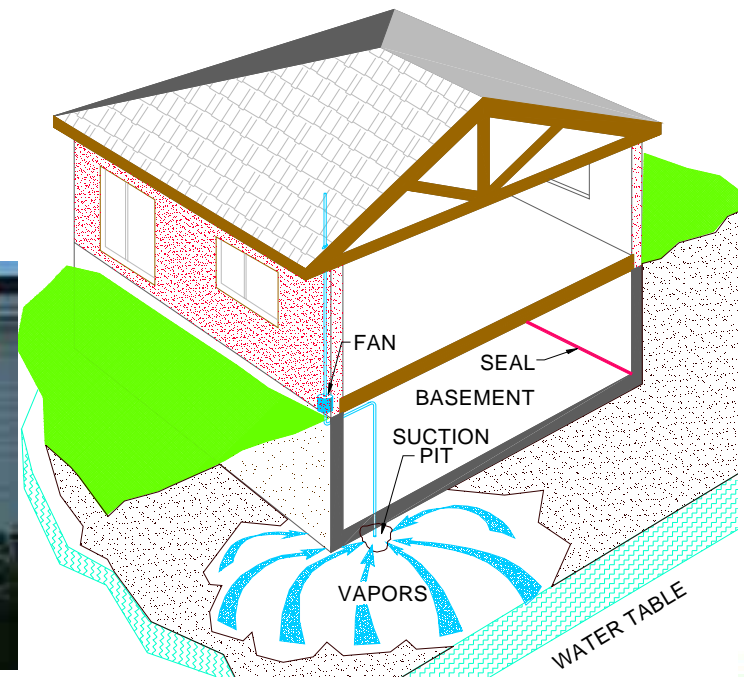
## 2. Controllo negli Edifici: Barriere Passive

- ✓ Non applicabile alle strutture esistenti
- ✓ Esclude la realizzazione di locali interrati
- ✓ Deve essere accompagnata da sistemi di ventilazione passiva
- ✓ L'impermeabilizzazione deve avere uno spessore adeguato
- ✓ L'efficienza/efficacia non è comparabile con quella dei sistemi attivi



## 2. Controllo negli Edifici: Depressurizzazione

- ✓ E' il sistema più applicato ed efficiente (90-99%) per il controllo del VI negli edifici
- ✓ Può essere applicato sia ad edifici esistenti che ad edifici nuovi
- ✓ il sistema è molto flessibile
- ✓ Richiede un mantenimento periodico
- ✓ Le condizioni di umidità del suolo possono ritardare l'afflusso del vapore.



## Vapor Intrusion Pathway: Investigative Approaches for Typical Scenarios (VI-1A, ITRC 2007)

Nel documento sono analizzati gli approcci da utilizzare per i seguenti scenari:

- ✓ Punti vendita in aree residenziali
- ✓ Lavanderie a secco in centri commerciali adiacenti aree residenziali
- ✓ Vaste aree industriali con plume estesi sotto diverse centinaia di edifici
- ✓ Terreni liberi con progetti di urbanizzazione collocati sul plume contaminati
- ✓ Edifici commerciali liberi con spazi interrati e uffici
- ✓ Appartamenti con parcheggi interrati collocati su plume contaminati