

> Prelievo di campioni e analisi dell'aria interstiziale

Un modulo dell'aiuto all'esecuzione «Indagine sui siti inquinati»



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

> **Prelievo di campioni e analisi dell'aria interstiziale**

Un modulo dell'aiuto all'esecuzione «Indagine sui siti inquinati»

Valenza giuridica

La presente pubblicazione è un aiuto all'esecuzione elaborato dall'UFAM in veste di autorità di vigilanza. Destinata in primo luogo alle autorità esecutive, essa concretizza concetti giuridici indeterminati contenuti in leggi e ordinanze, nell'intento di promuovere un'applicazione uniforme della legislazione. Le autorità esecutive che vi si attengono possono legittimamente ritenere che le loro decisioni sono conformi al diritto federale. Sono tuttavia ammesse anche soluzioni alternative, purché siano conformi al diritto in vigore. Gli aiuti all'esecuzione dell'UFAM (definiti finora anche come direttive, istruzioni, raccomandazioni, manuali, aiuti pratici ecc.) sono pubblicati nella serie «Pratica ambientale».

Nota editoriale

Editore

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

L'UFAM è un ufficio del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC).

Autori

Jürgen Abrecht, GEOTEST AG, Zollikofen; Eckard Drewes, UmweltMess GmbH, Lützelflüh; Peter Steffen, SJ GeoTec AG, Wolfwil; Jörg Meyer, NIUTECH AG, Winterthur

Accompagnamento UFAM

Bernhard Hammer, divisione Rifiuti e materie prime; Christiane Wermeille e Monika Schwab-Wyssler, divisione Suolo e biotecnologia

Indicazione bibliografica

UFAM (ed.) 2015: Prelievo di campioni e analisi dell'aria interstiziale. Un modulo dell'aiuto all'esecuzione «Indagine sui siti inquinati». Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Pratica ambientale n. 1521.: 43 p.

Grafica e impaginazione

Karin Nöthiger, Niederrohrdorf

Foto di copertina

BAFU

Link per scaricare il PDF

www.bafu.admin.ch/uv-1521-i

La versione cartacea non può essere ordinata.

La presente pubblicazione è disponibile anche in francese e in tedesco.

> Indice

Abstracts	5
Prefazione	7
Compendio	8

1 Introduzione	9
-----------------------	----------

2 Basi giuridiche	10
--------------------------	-----------

3 Campi d'applicazione e sostanze	12
3.1 Siti di deposito	12
3.2 Siti aziendali	13
3.3 Siti di incidenti	13
3.4 Misurazioni dell'aria nei locali	14

4 Scelta dei punti di prelievo	15
4.1 Siti di deposito	15
4.2 Siti aziendali	16
4.3 Progetti di costruzione	19

5 Prelievo di campioni	20
5.1 Metodo passivo	20
5.2 Metodo attivo	20
5.2.1 Prelievo di campioni con sonde cave	21
5.2.2 Prelievo di campioni con packer	24
5.2.3 Membrane Interface Probe (MIP)	26
5.3 Volume rilevato dal campionamento	26
5.4 Garanzia della qualità	27

6 Analisi	28
6.1 In generale	28
6.2 Metodi di analisi	28
6.2.1 Analisi con il metodo diretto	29
6.2.2 Analisi con il metodo basato sull'arricchimento	29
6.3 Garanzia della qualità	30

7 Interpretazione dei risultati	31
7.1 In generale	31
7.2 Fattori che influenzano la concentrazione nell'aria interstiziale	31
7.3 Carico naturale di fondo da sostanze volatili	32
7.3.1 Idrocarburi clorurati	32
7.3.2 Anidride carbonica, metano e acido solfidrico	33
7.4 Valutazione secondo il diritto sui siti contaminati	33
7.5 Calcolo della stima del tenore di inquinanti nell'acqua d'infiltrazione e del tenore totale di inquinanti in base alle concentrazioni nell'aria interstiziale	33
7.6 Garanzia della qualità	35

Allegato	36
A1 Proprietà fisico-chimiche di sostanze volatili rilevanti per i siti contaminati	36
A2 Volume rilevato mediante il campionamento	38
A3 Documentazione del prelievo di campioni	39
A4 Confronto tra i metodi	40

Bibliografia	42
Indici	43

> Abstracts

The “Sampling and Analysis of Pore Air” module described in the “Examination of polluted Sites” enforcement aid, provides information about the areas of application of pore air measurement and includes instructions for selecting sampling sites. It also describes the sampling methodology and the analysis of pore air studies of contaminated sites. The module reflects the current status of technology, and the report also addresses the evaluation of the findings, as well as the aspect of quality assurance.

Keywords:

Pore air,
Polluted sites,
Contaminated site

Das Modul Probenahme und Analyse von Porenluft der Vollzugshilfe Untersuchung von belasteten Standorten gibt Auskunft über die Einsatzbereiche von Porenluftmessungen und enthält Anleitungen für die Festlegung der Probenahmestellen. Darüber hinaus werden die Probenahmetechnik und die Analytik von Porenluftuntersuchungen im Bereich der Altlasten beschrieben. Dabei gibt das Modul den heutigen Stand der Technik wieder. Zum Schluss wird auf die Auswertung der Resultate und die Qualitätssicherung eingegangen.

Stichwörter:

Porenluft,
Belastete Standorte,
Altlast

Le module Air interstitiel - Prélèvement d'échantillons et analyse qui fait partie de l'aide à l'exécution Investigation de sites pollués fournit des informations sur le domaine d'application des mesures d'air interstitiel et sur le choix des points de prélèvement. Il décrit également les techniques d'échantillonnage et les méthodes d'analyse de l'air interstitiel dans le domaine des sites contaminés, et reflète l'état actuel de la technique. La dernière partie est consacrée à l'interprétation des résultats et à l'assurance de la qualité.

Mots-clés:

air interstitiel,
sites pollués,
sites contaminé

Il modulo Prelievo di campioni e analisi dell'aria interstiziale dell'aiuto all'esecuzione Indagine sui siti inquinati fornisce indicazioni sui campi d'applicazione delle misurazioni dell'aria contenuta nei pori del suolo e istruzioni per scegliere i punti di prelievo. Descrive inoltre la tecnica di campionamento e i metodi di analisi dell'aria interstiziale nell'ambito dei siti inquinati, riflettendo lo stato attuale della tecnica. Il modulo si sofferma infine sull'interpretazione dei risultati e sulla garanzia della qualità.

Parole chiave:

aria interstiziale,
siti inquinati,
siti contaminati

> Prefazione

Lo spettro degli inquinanti nei siti inquinati comprende spesso anche sostanze volatili che entrano con particolare facilità nella fase gassosa del suolo. In presenza di percorsi di diffusione adeguati, gli inquinanti possono effluire dall'aria contenuta nei pori e raggiungere luoghi in cui sono presenti persone, mettendole potenzialmente in pericolo.

Nell'ambito dell'indagine e della valutazione di siti inquinati, le analisi dell'aria interstiziale svolgono quindi un ruolo importante, consentendo di adempiere uno degli obiettivi dell'ordinanza sui siti contaminati (OSiti), ossia la valutazione di siti inquinati nell'ottica della protezione delle persone da aria contaminata.

Formulando requisiti relativi alla scelta dei punti di prelievo, al prelievo di campioni e all'analisi dell'aria interstiziale, il presente aiuto all'esecuzione mira a contribuire all'armonizzazione, alla garanzia della qualità e all'uguaglianza giuridica. Modalità di prelievo e analisi dei campioni corrispondenti allo stato della tecnica sono non da ultimo una condizione per la concessione di indennità secondo l'ordinanza sulla tassa per il risanamento dei siti contaminati (OTaRSi).

Gérard Poffet
Vicedirettore
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

> Compendio

Secondo l'ordinanza sui siti contaminati (OSiti), ai fini della protezione delle persone da aria contaminata un sito inquinato deve essere risanato se l'aria contenuta nei pori del suolo supera un determinato valore di concentrazione e le emissioni provenienti dal sito pervengono in zone nelle quali delle persone possono trattenersi regolarmente per un certo tempo.

Per l'indagine e la valutazione dell'inquinamento dell'aria proveniente da siti inquinati è pertanto necessario misurare l'aria interstiziale. I risultati dovrebbero essere verificati, nei limiti del possibile, mediante altri metodi d'indagine quantitativi nonché una verifica della plausibilità (p. es. indagine storica, idrogeologia, geologia).

Le misurazioni dell'aria interstiziale possono essere impiegate per sostanze facilmente e mediamente volatili con un punto di ebollizione fino a circa 200 °C. Il prelievo dell'aria contenuta nei pori presuppone una permeabilità minima del sottosuolo da campionare. In linea di massima sono adatti strati da ghiaiosi a sabbiosi a grana fine, non saturi.

Per i siti di deposito è utile uno schema di campionamento uniforme, che tenga conto dei potenziali percorsi di diffusione (p. es. le trincee per la posa di condotte). Le analisi dell'aria interstiziale servono in particolare per risalire allo stato di degradazione della discarica. Per i siti aziendali, la priorità va alla rilevazione diretta di contaminazioni da solventi facilmente volatili o carburanti. Tendenzialmente, i punti di misurazione vanno scelti individualmente, tenendo conto dei risultati dell'indagine storica (p. es. stoccaggio, trasbordo, infiltrazione, aria di scarico, acqua di scarico).

Per il prelievo di campioni di aria interstiziale si fa una distinzione tra metodo attivo e metodo passivo. Il metodo passivo consente unicamente conclusioni qualitative e l'impiego di campionatori passivi non si è affermato. Il prelievo attivo di campioni di aria interstiziale sfrutta l'aspirazione mediante una sonda cava o attraverso il packer (in combinazione con il prelievo di carote). Nel metodo attivo si fa inoltre una distinzione tra il metodo diretto e il metodo basato sull'arricchimento. Nel metodo diretto il prelievo di campioni è effettuato direttamente in vial per l'analisi dello spazio di testa (analisi headspace), pipette per gas o sacche per gas. Nel metodo basato sull'arricchimento l'aria interstiziale è fatta passare in un tubicino adsorbente. Le analisi dell'aria interstiziale sono svolte di norma mediante gascromatografia.

Nell'interpretare i valori dell'aria interstiziale occorre tener conto di vari fattori, ad esempio le condizioni meteorologiche, l'impermeabilizzazione della superficie, la geologia, la litologia e il carico naturale di fondo.

Per garantire la qualità è importante che il prelievo di campioni sia pianificato, eseguito e documentato in modo professionale. In relazione all'analisi dell'aria interstiziale è raccomandato l'accredito dei laboratori secondo la norma ISO/IEC 17025.

1 > Introduzione

L'analisi dell'aria interstiziale è un metodo importante e utilizzato di frequente per delimitare gli inquinanti facilmente volatili nel sottosuolo.

Per effettuare analisi rappresentative dell'aria interstiziale sono importanti buone conoscenze della struttura del sottosuolo e una ricostruzione accurata della storia del sito. La strategia di sondaggio è adeguata alle condizioni locali.

Nell'ambito della valutazione di un sito inquinato conformemente al diritto sui siti contaminati, i risultati delle analisi dell'aria interstiziale devono essere verificati, nei limiti del possibile, mediante altri metodi d'indagine quantitativi. Una valutazione del sito limitata all'aria contenuta nei pori è ammessa, a titolo eccezionale, solo se non è possibile campionare le acque sotterranee o l'acqua d'infiltrazione. In ogni caso è necessaria una riflessione sulla plausibilità, tenendo conto dell'indagine storica nonché della geologia e dell'idrogeologia del sito.

Il presente aiuto all'esecuzione mira a:

- > illustrare le possibilità e i limiti entro i quali può essere opportuno e mirato impiegare analisi dell'aria interstiziale,
- > tracciare una breve panoramica sulle tecniche di prelievo di campioni e analisi dell'aria interstiziale,
- > definire standard per l'esecuzione di analisi dell'aria interstiziale e
- > fissare i requisiti minimi relativi alla documentazione dei prelievi e dell'analisi di campioni.

Il presente aiuto all'esecuzione è indirizzato pertanto a:

- > laboratori di misurazione che eseguono sondaggi e analisi dell'aria interstiziale con apparecchiature proprie,
- > studi tecnici responsabili dell'indagine di siti inquinati che incaricano laboratori di misurazione di eseguire analisi dell'aria interstiziale e
- > autorità che valutano l'inquinamento in base ai risultati delle analisi dell'aria interstiziale e, se del caso, ordinano ulteriori misure.

2 > Basi giuridiche

Secondo l'articolo 32c capoverso 1 della legge federale del 7 ottobre 1983 sulla protezione dell'ambiente (legge sulla protezione dell'ambiente, LPAmb; RS 814.01), i Cantoni provvedono affinché le discariche e gli altri siti inquinati da rifiuti vengano risanati se sono all'origine di effetti nocivi o molesti oppure se esiste il pericolo concreto che tali effetti si producano. L'ordinanza del 26 agosto 1998 sul risanamento dei siti inquinati (ordinanza sui siti contaminati, OSiti; RS 814.680) concretizza l'articolo 32c capoverso 1 LPAmb.

Secondo l'articolo 11 OSiti, ai fini della protezione delle persone contro l'inquinamento atmosferico un sito inquinato deve essere risanato se nell'aria contenuta nei pori del suolo si supera uno dei valori di concentrazione secondo l'allegato 2 OSiti e le emissioni provenienti dal sito pervengono in zone nelle quali delle persone possono trattenersi regolarmente per un certo tempo.

Se provoca emissioni per le quali non sono stati definiti valori di concentrazione, segnatamente odori o polveri, un sito deve essere risanato se le emissioni possono portare a immissioni eccessive ai sensi dell'ordinanza del 16 dicembre 1985 contro l'inquinamento atmosferico (OIA; RS 814.318.142.1) (all. 2 cpv. 1 OSiti).

Per quanto riguarda il prelievo di campioni e l'analisi dell'aria contenuta nei pori del suolo, secondo l'allegato 2 capoverso 2 OSiti si applicano i seguenti requisiti:

- a) i campioni devono essere prelevati mediante sonde per i gas del suolo (le cosiddette sonde per l'aria interstiziale) in un numero di luoghi di misurazione rappresentativi dell'inquinamento del sito. Nel prelevare i campioni, occorre evitare di aspirare aria estranea (cosiddetta aria atmosferica);
- b) nell'aria contenuta nei pori del suolo devono essere analizzate soltanto le sostanze che si suppongono presenti nel sito in base all'indagine storica. Se si analizzano semplicemente le somme dei parametri, come criterio di valutazione vale sempre il valore di concentrazione più basso delle singole sostanze.

Si può rinunciare al prelievo di campioni dell'aria contenuta nei pori del suolo quando esiste un'altra prova che il valore di concentrazione dell'aria dei pori non può essere superato, segnatamente sulla base dell'esatta conoscenza della composizione e della provenienza del materiale del sito (all. 2 cpv. 3 OSiti).

I valori di concentrazione nell'aria interstiziale che figurano all'allegato 2 OSiti assumono rilievo per valutare il bisogno di risanamento secondo il diritto sui siti contaminati solo se **al contempo** si può dimostrare che l'aria contenuta nei pori del suolo raggiunge zone nelle quali «delle persone possono trattenersi regolarmente per un certo tempo» (art. 11 OSiti).

Per valutare gli effetti di sostanze facilmente volatili sulle acque, l'acqua d'infiltrazione vale come eluito. Se non è possibile prelevare campioni dell'acqua d'infiltrazione, la concentrazione dell'acqua d'infiltrazione viene calcolata partendo da misurazioni delle concentrazioni dell'aria contenuta nei pori del suolo (cfr. all. 1 cpv. 4 OSiti).

L'Ufficio federale dell'ambiente emana i necessari aiuti all'esecuzione sul prelievo di campioni e sull'analisi dell'aria interstiziale nonché sulla valutazione degli effetti delle sostanze facilmente volatili (cfr. all. 1 cpv. 6 e all. 2 cpv. 4 OSiti).

3 > Campi d'applicazione e sostanze

Le misurazioni dell'aria interstiziale volte a rilevare le contaminazioni da sostanze gassose costituiscono un metodo diffuso e riconosciuto al giorno d'oggi nell'ambito dell'indagine dei siti contaminati. Si tratta di un metodo di misurazione indicativo, che permette di ottenere molto rapidamente e con un onere relativamente contenuto risultati sul genere di contaminazione presente e sulla sua diffusione. Benché in genere contengano indicazioni molto precise sulle concentrazioni, i risultati delle analisi si prestano per valutare in modo vincolante i siti secondo il diritto sui siti contaminati solo entro certi limiti. I motivi sono descritti in dettaglio più avanti.

**Metodo di misurazione indicativo
con un onere contenuto**

Le misurazioni dell'aria interstiziale possono essere impiegate per vari scopi e con vari obiettivi. Il prelievo dell'aria contenuta nei pori presuppone una permeabilità minima del sottosuolo da campionare: in altre parole, in linea di massima si presta per strati da ghiaiosi a sabbiosi a grana fine, non saturi. In strati da limacciosi ad argillosi o in strati di torba molto acquosi, la permeabilità è insufficiente per prelevare campioni. Nei casi in cui non possono essere prelevati campioni di aria interstiziale si raccomanda di prelevare e analizzare campioni solidi.

Le analisi dell'aria interstiziale sono impiegate soprattutto nell'ambito dell'indagine preliminare. Il metodo trova però applicazione anche nell'ambito di indagini dettagliate o per verificare il successo di interventi di risanamento nella zona non satura.

L'analisi dell'aria interstiziale è impiegata per sostanze facilmente e mediamente volatili con un punto di ebollizione fino a circa 200 °C. A seconda del metodo di analisi è possibile rilevare vari gruppi di sostanze con limiti di determinazione variabili.

Il genere di inquinanti, i beni da proteggere come pure gli interrogativi e gli obiettivi delle misurazioni dell'aria interstiziale dipendono dal genere di sito (sito di deposito, sito aziendale ecc.).

3.1 Siti di deposito

In caso di discariche miste e comunali come pure di discariche in cui vi è perlomeno un sospetto di deposito di materiale organico o composti organici facilmente volatili, le misurazioni dell'aria interstiziale rappresentano un metodo di prospezione standard. Servono a rilevare i tipici gas di discarica come pure a cercare sostanze organiche facilmente volatili depositate (p. es. solventi).

**Depositi di rifiuti: soprattutto gas
di discarica**

I due gas di discarica principali, l'anidride carbonica e il metano (gas combustibile, che può essere presente con concentrazioni quasi fino al 100 %), sono tipici prodotti di processi di degradazione biogenica in siti di deposito con frazioni organiche. Nelle discariche possono formarsi anche altri gas. L'acido solfidrico si forma ad esempio in

presenza di rifiuti urbani e gesso. Il monossido di carbonio si forma in caso di auto-combustione nel corpo della discarica. A differenza dei composti organici facilmente volatili, portati nella discarica come rifiuti, questi gas come pure l'idrogeno e l'ammoniaca si formano in loco in seguito a reazioni che dipendono ampiamente dalle condizioni fisico-chimiche. La loro presenza consente quindi anche di risalire allo stato di degradazione della discarica. In linea di massima, il genere e le percentuali dei vari gas di discarica forniscono spesso indicazioni importanti sulle sostanze depositate nonché sullo stato di degradazione delle frazioni organiche.

Un pericolo per l'uomo e gli animali legato ai gas di discarica può provenire sia direttamente da veleni respiratori, come l'anidride carbonica o l'acido solfidrico, sia indirettamente da gas combustibili o esplosivi (metano).

I gas di discarica rappresentano quindi un pericolo solo se raggiungono luoghi in cui sono presenti persone o animali (p. es. cantine, canali e trincee per la posa di condotte, scavi) e se i volumi di gas sono consistenti.

3.2 Siti aziendali

Nell'ambito dell'indagine di siti aziendali, di norma l'obiettivo è la rilevazione diretta di contaminazioni da solventi facilmente volatili e/o carburanti (benzina, petrolio, diesel, olio combustibile).

Siti aziendali: soprattutto solventi facilmente volatili e carburanti

In caso di indagini tecniche di distributori di benzina o cisterne, il metodo è impiegato per misurare i componenti degli oli minerali nei carburanti (composti alifatici, composti aromatici, MTBE).

I composti organici facilmente volatili rappresentano preziosi indicatori di potenziali contaminazioni da idrocarburi già solo per la loro presenza. I volumi di gas sono generalmente piccoli, ma concentrazioni elevate (di norma dell'ordine di ppm) indicano una contaminazione che riguarda – a differenza dei gas di discarica – sia le sostanze solide sia le acque sotterranee. La concentrazione di gas è direttamente proporzionale al potenziale di pericolo.

In caso di indagini dettagliate, misurazioni complementari servono spesso a delimitare il più esattamente possibile i settori contaminati o i focolai di contaminazione.

3.3 Siti di incidenti

In caso di incidenti e avarie in cui sono liberate sostanze facilmente volatili (CHC, benzina, diesel, olio combustibile), misurazioni dell'aria interstiziale possono fornire indicazioni sulla diffusione di queste sostanze nel sottosuolo.

3.4

Misurazioni dell'aria nei locali

I valori di concentrazione nell'aria contenuta nei pori menzionati nell'allegato 2 dell'ordinanza sui siti contaminati assumono rilievo per valutare il bisogno di risanamento secondo il diritto sui siti contaminati solo se al contempo è dimostrabile che l'aria contaminata contenuta nel suolo raggiunge zone nelle quali «delle persone possono trattenersi regolarmente per un certo tempo». In presenza di concentrazioni elevate nell'aria interstiziale, che superano i valori di concentrazione, se non è possibile escludere un'emissione in base alle condizioni geologiche ed edilizie locali, misurazioni dell'aria nei locali sono opportune o addirittura necessarie sia per valutare il bisogno di risanamento sia per chiarire il pericolo diretto per l'uomo in quel luogo. Oltre ai locali chiusi (p. es. cantine) occorre includere anche i locali aperti solo temporaneamente, come le trincee per la posa di condotte e gli scavi (cfr. cap. 4.3).

In questi casi, le misurazioni di sicurezza su gas combustibili (soprattutto metano), monossido di carbonio, anidride carbonica e acido solfidrico possono essere eseguite in loco mediante strumenti di misurazione manuali.

Per le misurazioni dell'aria nei locali, i metodi di prelievo e analisi di campioni valevoli per l'aria interstiziale non sono ideali. I metodi di misurazione impiegati in questo contesto sono disciplinati da direttive e norme separate dell'UFSP e della SUVA e sono eseguite da imprese specializzate.

Presenza regolare di persone per un certo tempo

Misurazioni di sicurezza dei gas

4 > Scelta dei punti di prelievo

In genere, nei siti di deposito e nei siti aziendali il genere di inquinanti, i beni da proteggere nonché gli interrogativi e gli obiettivi delle misurazioni dell'aria interstiziale sono distinti e richiedono una strategia di campionamento corrispondente.

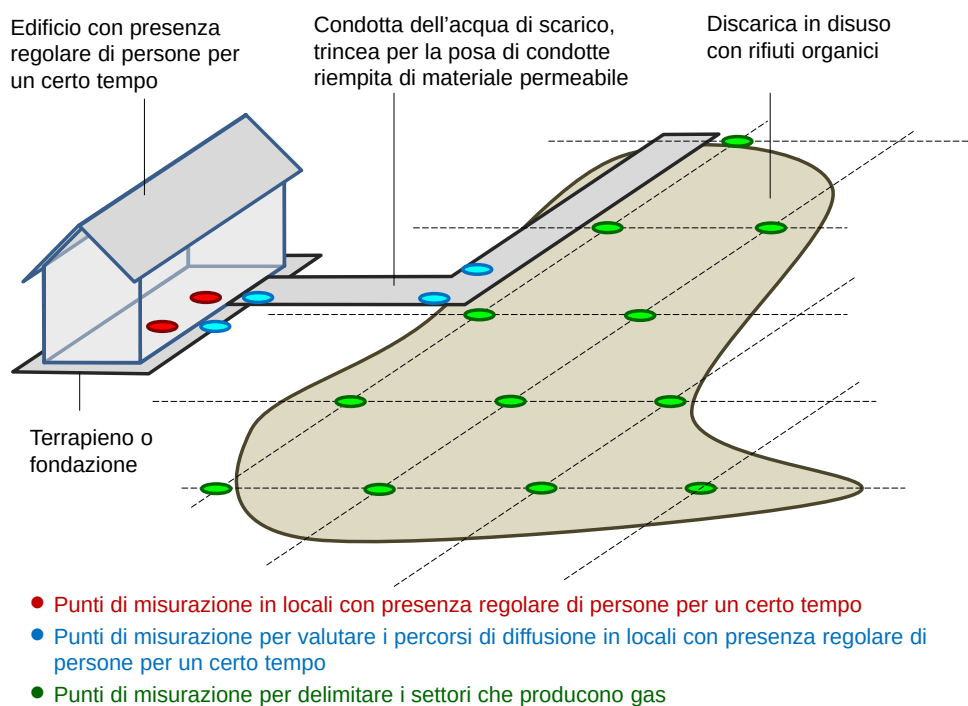
Strategie di campionamento

4.1 Siti di deposito

Se per i motivi enunciati sopra si rivelano necessarie e opportune misurazioni dell'aria interstiziale, occorre elaborare un piano di campionamento corrispondente agli interrogativi da chiarire. In caso di potenziale pericolo per costruzioni esistenti o previste possono essere necessarie misurazioni anche al di fuori del perimetro della discarica.

Nelle discariche in disuso, in genere non si sa quali materiali siano stati depositati dove. Si raccomanda pertanto di definire una griglia di punti di prelievo sulla superficie presumibile della discarica (punti verdi nella fig. 1). Occorre poi definire altri punti di misurazione ai fini della protezione delle persone (punti azzurri e rossi nella fig. 1).

Fig. 1 > Schema per il prelievo di campioni nelle discariche



Se possibile occorre mirare a una rilevazione *sull'intera superficie* del sito sottoposto a indagine. Spesso è opportuno adottare una procedura a tappe, affinando la griglia in settori selezionati del sito in una seconda tappa – in base ai risultati di una prima misurazione nella griglia. La distanza tra i punti va scelta in base alla situazione locale e all'obiettivo delle misurazioni. A seconda della grandezza della griglia è così possibile delimitare, almeno approssimativamente, settori che registrano un'elevata produzione di gas di scarica.

Procedura a tappe

Se si misurano elevate concentrazioni di gas e possono essere delimitate zone molto inquinate, in vista delle misure contro le infiltrazioni di gas negli edifici possono essere opportune prove di pompaggio, che forniscono indicazioni sui volumi di gas prevedibili e sulle misure da adottare.

Le misurazioni con la cosiddetta «sonda a tappeto», volte a rilevare le emissioni di gas che fuoriescono dalla superficie, in passato spesso eseguite sull'intera superficie dei siti di deposito, sono poco rappresentative. I risultati dipendono molto dalle condizioni quadro esterne. Una diluizione per effetto dell'aria atmosferica è praticamente inevitabile. L'impiego di questo metodo è quindi problematico. Nelle regioni agricole, osservazioni della vegetazione (disturbi della crescita) possono consentire conclusioni più chiare su eventuali fughe di gas.

4.2

Siti aziendali

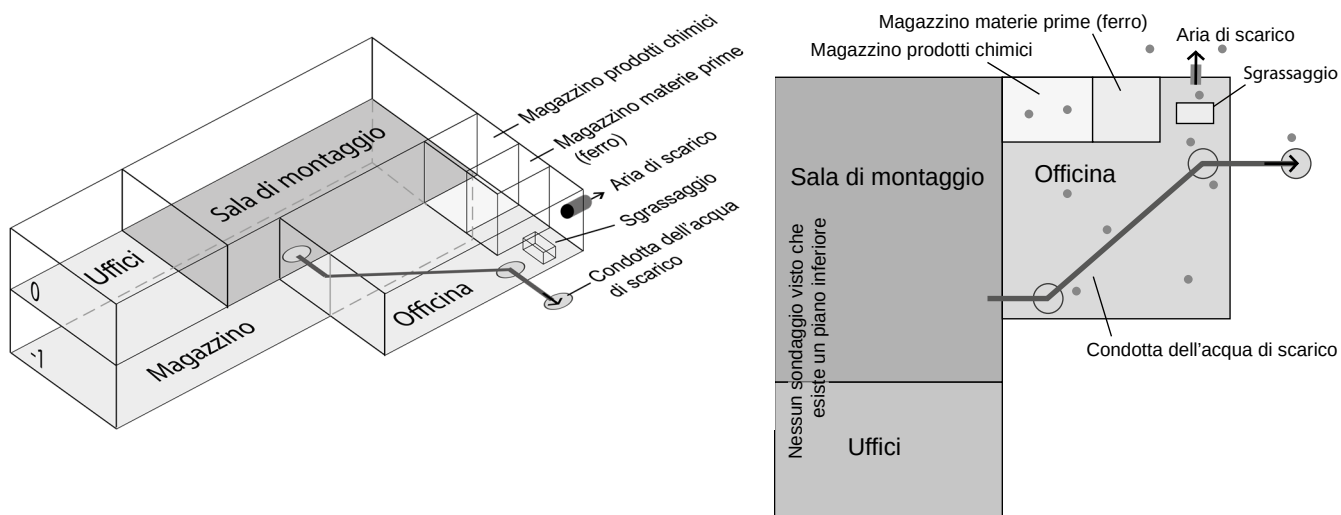
La misurazione di composti organici tossici facilmente volatili serve essenzialmente a rilevare qualitativamente e a delimitare il perimetro di eventuali contaminazioni da sostanze organiche facilmente volatili. Il piano di campionamento per rilevare queste sostanze deve pertanto basarsi sui risultati dell'indagine storica. Il prelievo di campioni si concentrerà sui settori in cui sono state stoccate, impiegate, trasbordate o fatte infiltrare queste sostanze o in cui vi è perlomeno il dubbio che ciò sia avvenuto^[5].

Rilevazione qualitativa,
delimitazione sul territorio

Le condotte di servizio devono essere oggetto di un esame preliminare dettagliato e completo. Per i siti industriali e i distributori di benzina, spesso non esistono nemmeno dei piani aggiornati. Se le condotte non possono essere localizzate in modo sicuro bisogna effettuare un sondaggio alternativo o localizzare le linee mediante uno scavo manuale.

Condotte di servizio

Fig. 2 > Strategia per il prelievo di campioni nei siti aziendali



La procedura è quindi *orientata al sito e agli eventi*. Siccome alcune di queste sostanze (in particolare i solventi alogenati) sono state impiegate, in genere puntualmente, soprattutto in siti industriali e artigianali, di norma le griglie di campionamento uniformi sull'intera superficie sono inopportune e tra l'altro spesso irrealizzabili. Soprattutto nei siti aziendali ancora attivi, le possibilità di campionamento sono spesso limitate. In questi casi occorre prestare attenzione soprattutto al fatto che si rilevino possibilmente tutti i settori potenzialmente contaminati con una densità di campionamento sufficiente. A causa delle caratteristiche del materiale e di diffusione specifiche dei composti organici facilmente volatili, le distanze tra i punti di campionamento vanno tenute piuttosto basse, da 5 a 10 m o meno.

Possibilità di campionamento limitate

Le caratteristiche del materiale e di diffusione degli inquinanti facilmente volatili possono presentare notevoli differenze (cfr. allegato A1). Nel scegliere i siti di misurazione occorre tener presenti in particolare le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche del materiale e di diffusione

- > la mobilità delle sostanze (tendenza all'assorbimento),
- > la tendenza a diffondersi lungo percorsi particolarmente permeabili (condotte, fondazioni ecc.),
- > la densità dei gas (direzione di diffusione preferenziale).

La tendenza di molte sostanze, ad esempio gli idrocarburi alogenati, ad arricchirsi in o su orizzonti meno permeabili si traduce in distribuzioni molto eterogenee e difficilmente prevedibili nel sottosuolo.

Si sono rivelati adeguati metodi che prevedono:

- > una procedura a tappe con riduzione delle distanze di misurazione in un secondo momento oppure
- > l'impiego di un laboratorio di analisi mobile.

Un laboratorio mobile può essere utile in caso di avarie in cui bisogna poter disporre di risultati in breve tempo o nell'ambito della ricerca e della delimitazione di focolai di contaminazione. In questi casi, i punti di prelievo dei campioni possono essere scelti in modo mirato, in funzione dei risultati di misurazione già disponibili. Ciò consente di evitare campagne di misurazione supplementari, un aspetto interessante non da ultimo dal punto di vista dei costi. In alternativa al laboratorio di analisi mobile sono ipotizzabili anche le misurazioni in loco con un rilevatore di fotoionizzazione (PID), che tuttavia indica solo la somma dei composti organici volatili.

Nel fissare le profondità di campionamento occorre tener presenti i seguenti punti:

Profondità di campionamento

- > la struttura del sottosuolo (compatto: poco permeabile, sabbioso-ghiaioso: permeabile),
- > l'impermeabilizzazione della superficie,
- > la profondità di pozzi e condotte,
- > le condizioni edilizie,
- > la posizione in profondità delle acque sotterranee (in caso di scarsa soggiacenza: attenzione con i sondaggi da piani interrati!).

In condizioni favorevoli (scarsa soggiacenza, zona non satura abbastanza permeabile), per rilevare e delimitare i pennacchi di inquinamento nelle acque sotterranee, ad esempio di solventi alogenati, sono possibili misurazioni reticolari sull'intera superficie, dato che nella corrente discendente del focolaio di contaminazione tali sostanze si diffondono di nuovo nell'aria interstiziale («degassificazione»).

Delimitazione di pennacchi di inquinamento

Per acquisire informazioni sulla distribuzione verticale di composti organici facilmente volatili (p. es. se è noto che il sottosuolo ha una struttura eterogenea) può essere previsto un campionamento a zone in funzione della profondità. Per realizzarlo vi sono varie possibilità:

Distribuzione verticale degli inquinanti

- > il prelievo di campioni di gas dalla profondità prevista e successivamente infissione di un'altra sonda cava in acciaio nelle immediate vicinanze a una profondità superiore e prelievo di un campione di gas. In caso di impiego di punte a perdere non è possibile spingere più in profondità la sonda cava dopo il primo prelievo di campioni,
- > in caso di perforazioni di sondaggio, il prelievo di campioni dalla profondità prevista nel settore non tubato (p. es. il ritiro del tubo di rivestimento). Il tubo deve essere reso impermeabile all'aria atmosferica mediante packer,
- > la creazione di punti di misurazione multipli impermeabili tra di loro, che raggiungono varie profondità (le cosiddette «cascate»),
- > l'impiego della tecnica Membrane Interface Probe (MIP).

4.3

Progetti di costruzione

Secondo l'articolo 3 OSiti, in linea di massima nei siti inquinati sono ammessi progetti di costruzione a condizione che:

- > gli stessi non causino effetti dannosi o molesti,
- > il sito venga al contempo risanato, o
- > il progetto di costruzione non renda sostanzialmente più difficile l'attuazione di future misure di risanamento.

Per stabilire se un progetto di costruzione su un sito inquinato possa determinare un bisogno di risanamento al momento della sua realizzazione o successivamente, occorre effettuare una stima del pericolo. Di norma, tale stima è effettuata nell'ambito di un'indagine del sito durante la fase di pianificazione del progetto di costruzione. La necessità di misure edilizie preventive a causa del pericolo legato all'aria interstiziale presuppone che siano già state eseguite misurazioni dei gas. A sua volta ciò richiede, da parte del perito, un'informazione aperta e mirata del committente e il coinvolgimento del perito nella pianificazione del progetto.

I progetti di costruzione sono spesso associati anche a un cambiamento dell'uso. Su un terreno non edificato o utilizzato fino a quel momento ad esempio solo come deposito, un progetto di costruzione può prevedere la realizzazione di locali in cui delle persone si trattengono regolarmente per un certo tempo.

Occorre valutare anche l'ambiente che circonda il terreno edificabile. Può sorgere un pericolo ad esempio, se una trincea per la posa di condotte o una fondazione influenza una contaminazione che produce gas nell'ambiente circostante, creando nuove vie di diffusione per l'aria interstiziale contaminata tra la contaminazione e la nuova opera di costruzione (cfr. fig. 1).

Per il prelievo di campioni occorre tener conto della profondità del prelievo in relazione all'opera di costruzione prevista. È possibile che in un secondo tempo, durante la fase di costruzione, occorreranno altre misurazioni effettuate partendo dal fondo dello scavo.

In caso di progetti di costruzione sull'area di discariche in disuso occorre prestare particolare attenzione ai pericoli rappresentati dai gas di discarica (asfissia, intossicazione, esplosione ecc.) durante i lavori di costruzione: i gas di discarica possono accumularsi nello scavo, nelle fondazioni o nelle trincee per la posa di condotte (cfr. cap. 3.1 e 4.1). In caso di progetti di costruzione con possibili fughe di gas sono pertanto necessarie misurazioni di sicurezza dei gas. La sicurezza sul lavoro sul cantiere va valutata in modo particolare (OIA^[17], ^[18]).

**Progetti di costruzioni con
cambiamento dell'uso**

**Ambiente circostante il terreno
edificabile**

Nuove vie di diffusione

5 > Prelievo di campioni

Per i metodi di prelievo di campioni adatti esclusivamente per analisi dell'aria interstiziale si distingue essenzialmente tra metodo *passivo* e metodo *attivo* (cfr. confronto tra i metodi nell'all. 5).

5.1 Metodo passivo

Il metodo *passivo*, che prevede che campionatori («sampler») con un rivestimento/carica assorbente (tenax, carbone attivo o simili) siano interrati e lasciati nel suolo per un certo periodo, consente unicamente conclusioni qualitative su un'eventuale contaminazione. L'impiego di campionatori passivi non si è affermato nell'ambito dell'indagine dell'aria contenuta nei pori.

Campionatori passivi

5.2 Metodo attivo

Per i metodi attivi si fa una distinzione tra metodo diretto e metodo basato sull'arricchimento (cfr. all. A4). Un altro metodo attivo è la tecnica MIP, descritta al capitolo 5.2.3.

Nel metodo *diretto*, il prelievo di campioni dell'aria interstiziale è effettuato direttamente in vial per l'analisi dello spazio di testa, pipette per gas o sacche per gas. Il metodo diretto è adatto per tutte le sostanze facilmente volatili (punto di ebollizione <80 °C) dell'OSiti, ossia il metano, le benzine e gli additivi nonché i gruppi di sostanze «idrocarburi alogenati» e «idrocarburi monociclici aromatici». L'anidride carbonica e l'acido solfidrico possono essere misurati direttamente sul posto.

Metodo diretto

Nel metodo *basato sull'arricchimento* un determinato volume di aria interstiziale è aspirato mediante una fase di campionamento adeguata e gli analiti sono adsorbiti (tubicini adsorbenti). Questo metodo si presta anche per determinare gli idrocarburi policiclici aromatici (PAH, compresi la naftalina e il benzo(a)pirene) come pure il mercurio.

Metodo basato sull'arricchimento

Delle varie tecniche per il prelievo di campioni di aria interstiziale (DIN [7], VDI ISO [17], ITVA [11], vari strumenti di lavoro di *Länder* tedeschi^{[1], [2], [13]}) si è affermato il metodo attivo – adattato alle condizioni del sottosuolo svizzero.

Si fa ricorso all'aspirazione attraverso:

- > una sonda cava, o
- > un packer (in combinazione con il prelievo di carote)

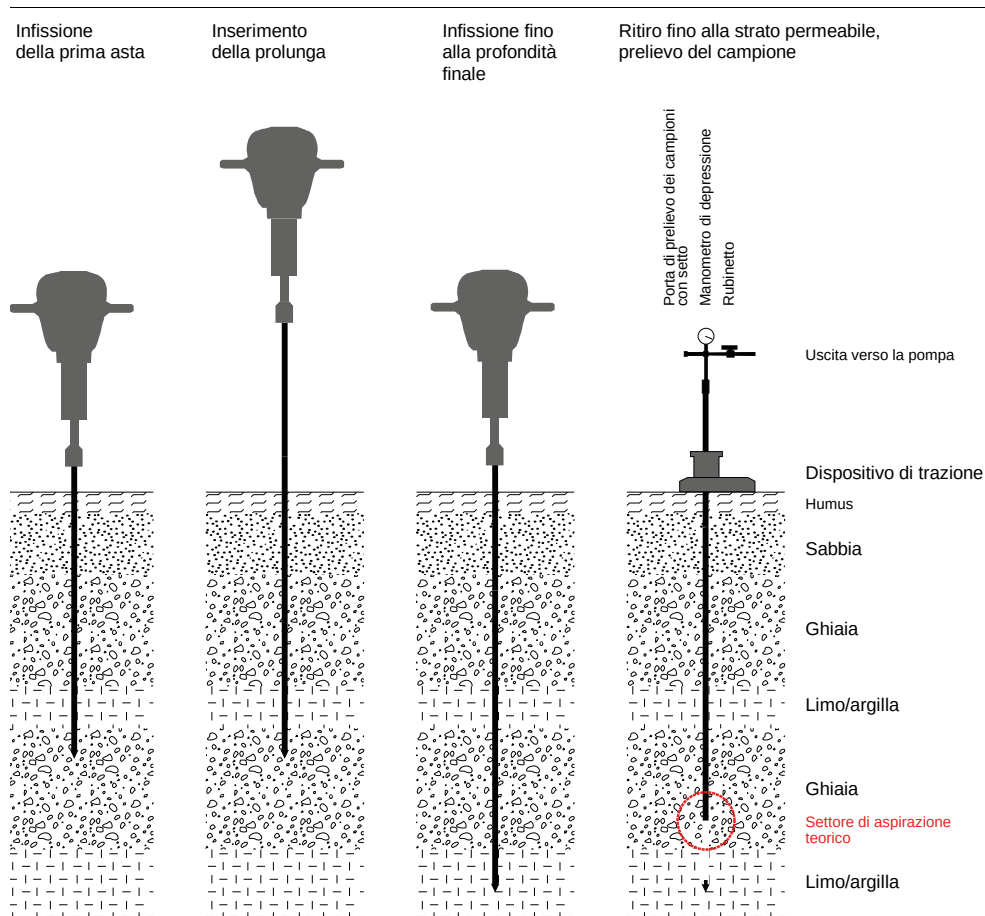
5.2.1 Prelievo di campioni con sonde cave

Nell'ambito del metodo attivo, che attualmente è il metodo corrente in Svizzera, sonde cave in acciaio dotate di punta a perdere sono infisse nel sottosuolo con un martello elettrico. Di norma, la profondità d'infissione è compresa tra 1,5 m e 2,5 m (fig. 3), ma se necessario può essere aumentata. I limiti sono posti dalle caratteristiche materiali del sottosuolo (tenacità). In caso di ricorso a prolunghe occorre assicurarsi che i raccordi a vite siano impermeabili per evitare l'assorbimento di aria interstiziale in questi punti. Profondità d'infissione superiori sono possibili, ma i raccordi delle prolunghe rappresentano un punto debole meccanico: con l'aumento delle profondità, in particolare in caso di pietrisco grossolano compatto, aumenta il pericolo di rottura della sonda. Inoltre, se si utilizza una punta a perdere non è possibile spingere la sonda più in basso dopo il prelievo di campioni. Bisogna quindi infiggere una sonda separata per ogni profondità di prelievo. Per questo motivo, per registrare un profilo di profondità della distribuzione degli inquinanti è preferibile l'impiego della tecnica «Membrane Interface Probe» (MIP) (cfr. cap. 5.2.3).

Sondaggi penetrometrici

Fig. 3 > Sondaggi penetrometrici per il prelievo di campioni di aria interstiziale

Sonde cave in acciaio.



Le superfici impermeabilizzate con calcestruzzo o asfalto sono dapprima da aprire, quelle con il calcestruzzo preferibilmente mediante carotaggi. Occorre scegliere un diametro di perforazione sufficiente (circa 100 mm) in modo da poter estrarre manualmente pietre di fondazione eventualmente presenti sotto il calcestruzzo. Se il punto di prelievo del campione è situato in un edificio bisogna assicurarsi che sopra di esso sia disponibile un'altezza libera sufficiente per l'attrezzatura penetrometrica (martello elettrico + sonda $\approx 2,5$ m). Dopo l'infissione, la sonda cava è sollevata di 10–20 cm con il dispositivo di trazione, in modo tale che la punta a perdere liberi il foro. Ciò è verificato mediante un'asta di controllo. Successivamente sulla sonda cava è avvitata la testa di prelievo, munita di un setto, un manometro di depressione e un'uscita munita di rubinetto. Tutte le parti che entrano in contatto con l'aria interstiziale devono essere di un materiale inerte. Per prevenire trasferimenti di contaminazioni, per ogni punto di prelievo di campioni è impiegata una sonda cava pulita.

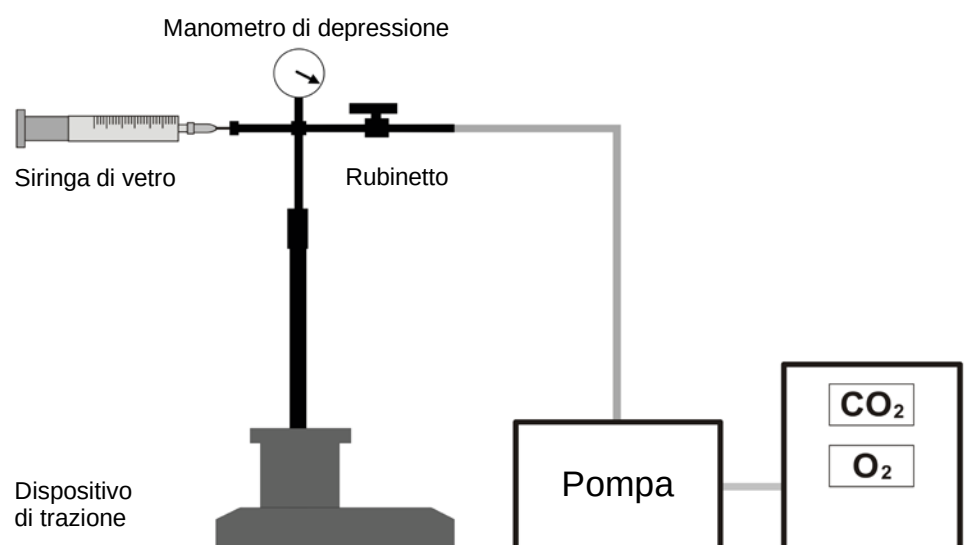
Il manometro di depressione serve a controllare se il settore aperto è abbastanza permeabile ai gas per un prelievo di campioni. In caso contrario (argilla, limo, acque sotterranee o simili), la sonda cava è sollevata finché diventa possibile prelevare campioni. All'uscita della testa di prelievo viene poi prelevato, mediante una pompa, un volume predefinito di aria interstiziale a velocità il più possibile costante e a un flusso in volume basso, che non dovrebbe superare 2 l/min in modo da evitare una depressione. Prima di prelevare campioni occorre ricambiare almeno tre volte il volume morto della sonda. La tenuta del sistema all'aria atmosferica è verificata misurando il tenore di ossigeno e anidride carbonica dell'aria interstiziale aspirata durante il prelievo di campioni (fig. 4).

Superfici consolidate

Trasferimento di contaminazioni

Ricambio del volume morto della sonda

Fig. 4 > Rappresentazione schematica del sistema di prelievo dei campioni



Nel metodo diretto con prelievo di campioni in vial per l'analisi dello spazio di testa, dopo l'aspirazione di 5–10 l di aria interstiziale il rubinetto all'uscita verso la pompa è chiuso. Attraverso il setto sulla testa il campione viene poi estratto, mediante una siringa di vetro a tenuta di gas, e travasato nella vial precedentemente evacuata per l'analisi dello spazio di testa (fig. 4 e fig. 5). In alternativa è possibile riempire e svuotare di aria interstiziale, attraverso due cannule, una vial per l'analisi dello spazio di testa chiusa ermeticamente. Prima di riempirla bisogna ricambiare il contenuto con aria interstiziale almeno cinque volte (fig. 6). Per ogni campione si utilizza una siringa di vetro pulita. Le siringhe di plastica (siringhe monouso) non sono adatte perché possono assorbire sostanze da analizzare o cedere a loro volta sostanze. Le sacche per il gas sono riempite all'uscita della pompa. **Si prestano unicamente per prelevare campioni di gas di scarica o di isotopi, ma non per prelevare campioni di CFC.**

Prelievo di campioni in vial per l'analisi dello spazio di testa o sacche per gas

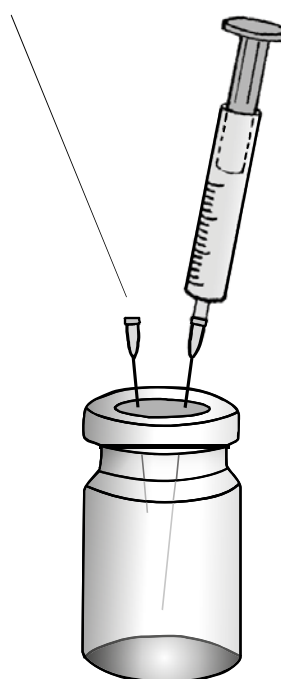
Fig. 5 > Travaso del campione di aria interstiziale in una vial evacuata per l'analisi dello spazio di testa

Controllo del volume



Fig. 6 > Travaso del campione di aria interstiziale nel contenitore dopo aver ricambiato cinque volte il contenuto con aria interstiziale

Seconda cannula



Per il metodo basato sull'arricchimento il tubicino adsorbente è inserito tra l'uscita della testa di prelievo e la pompa ed è aspirato il volume di aria interstiziale previsto per caricare il materiale adsorbente. Tale volume può variare tra 0,5 l e 150 l, a seconda del materiale. Per riempire pipette per gas si procede in modo analogo. Il tubo che collega la testa di prelievo con il tubicino adsorbente o la pipetta per gas deve essere di materiale inerte (silicone, teflon), in altre parole non deve né assorbire né cedere sostanze da analizzare.

Prelievo di campioni con tubicini adsorbenti

I campioni di aria interstiziale per l'analisi dello spazio di testa devono essere stoccati al buio. I tubicini adsorbenti devono essere conservati inoltre al fresco, per prevenire un desorbimento termico. I campioni vanno analizzati entro 24 o al massimo 48 ore.

Stoccaggio dei campioni

Per ogni prelievo di campioni è stilato un adeguato verbale, in modo da consentire di documentare e ricostruire l'intera procedura. Nell'allegato A3 sono elencati i punti essenziali che devono figurare nel verbale.

Verbale di prelievo dei campioni

5.2.2 Prelievo di campioni con packer

In caso di prelievo di campioni su superfici impermeabilizzate con calcestruzzo o asfalto, l'accesso per la sonda è aperto mediante un carotaggio e il foro è isolato con un packer (fig. 7). Il campione di aria interstiziale può essere prelevato attraverso il packer. Questo metodo si presta soprattutto nei casi in cui nel foro di sondaggio è inserito un carotiere e non può quindi essere impiegato una sonda cava. In questo caso permane tuttavia un'incertezza sulla provenienza esatta dell'aria interstiziale, dato che la maggior parte dell'afflusso di aria interstiziale aspirata proverrà dallo strato con la permeabilità relativamente maggiore.

Prelievo di campioni su superfici consolidate

Prelievo di campioni da tubi

Possono essere impiegati packer anche per prelevare campioni da tubi perforati di punti di misurazione del gas o delle acque sotterranee (fig. 8). In questi casi è importante conoscere il volume morto, poiché prima del prelievo di campioni occorre aspirarne il doppio o il triplo.

Fig. 7 > Prelievo di campioni di aria interstiziale sotto superfici consolidate (isolate con packer).

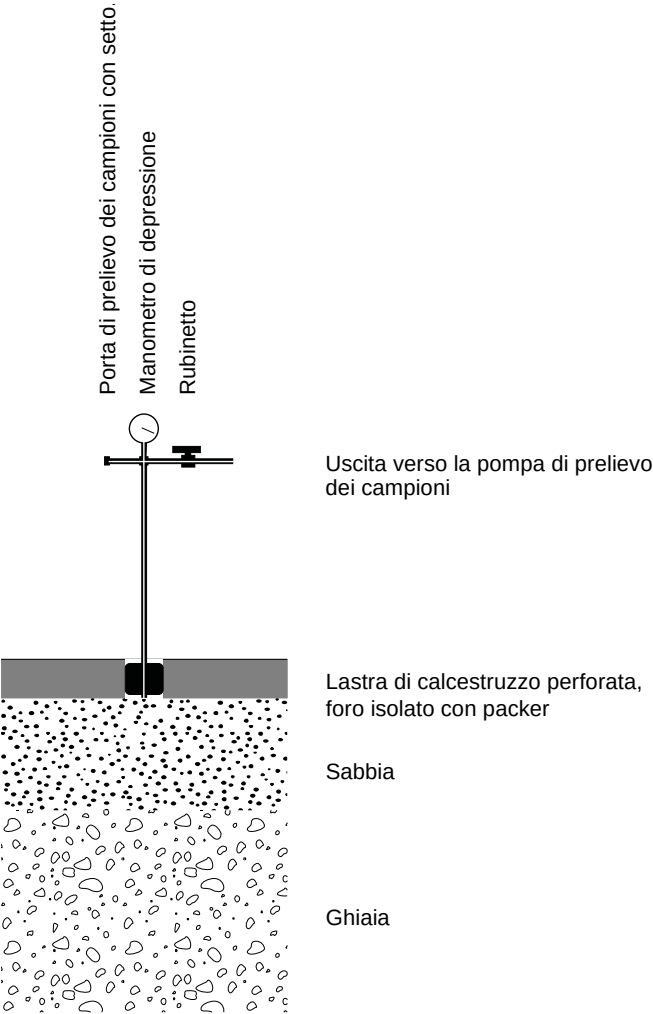
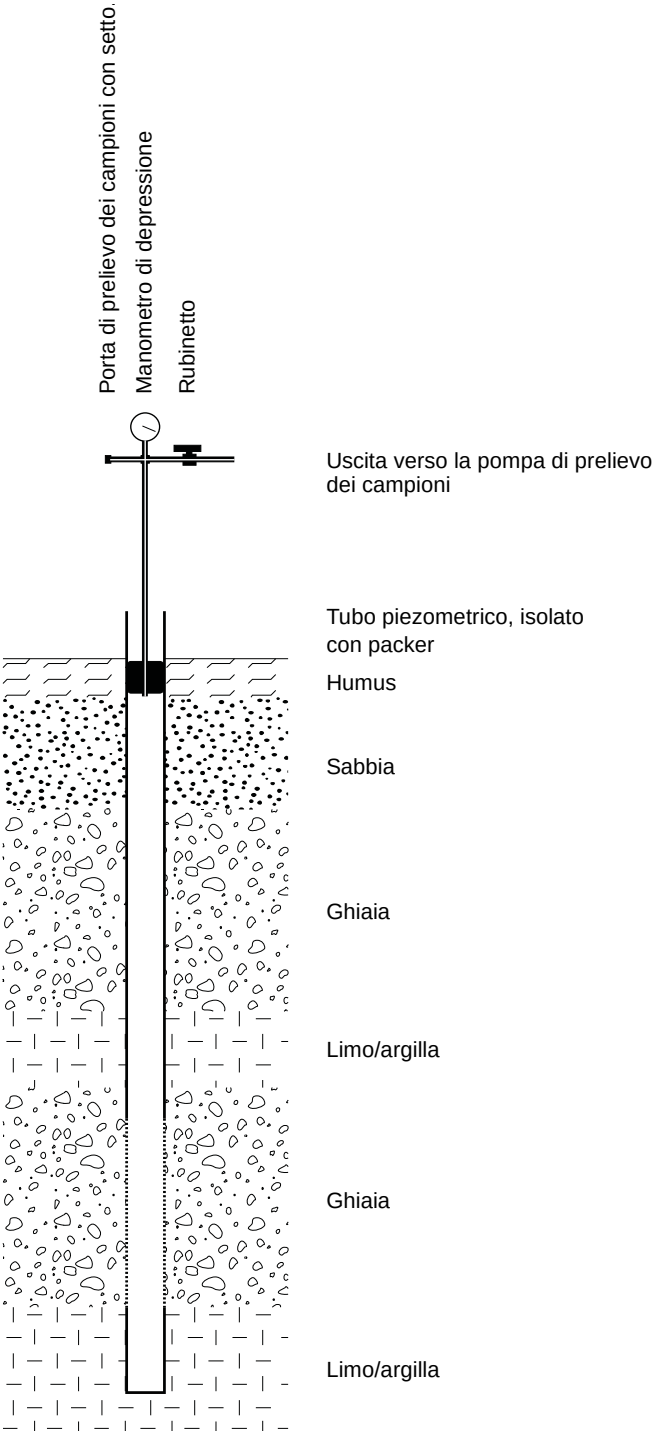


Fig. 8 > Prelievo di campioni di aria interstiziale da punti di misurazione del gas o delle acque sotterranee (isolati con packer).



5.2.3 Membrane Interface Probe (MIP)

Una tecnica di prelievo di campioni e analisi collaudata da alcuni anni anche in Svizzera è la Membrane Interface Probe (MIP). Questa tecnica, appartenente ai metodi *direct-push*, permette uno screening il cui principale vantaggio sta nella rilevazione di dati spaziali sulla distribuzione delle sostanze facilmente volatili nel sottosuolo.

Sondaggi MIP

A differenza dei metodi basati esclusivamente sull'aria interstiziale descritti sopra, la tecnica MIP permette anche indagini nella zona satura. Nel quadro della tecnica MIP, una sonda è spinta nel sottosuolo all'estremità di un'asta di perforazione. Riscaldando la sonda (a circa 120 °C) gli inquinanti sono volatilizzati integralmente e successivamente trasportati, attraverso una membrana in un capillare riempito di un gas vettore, verso l'apparecchiatura di analisi (PID, FID, DELCD). Tutte le sostanze rilevabili con questi rilevatori e con punti di ebollizione al di sotto dei 120 °C sono soggette a un'analisi semiquantitativa.

Questo metodo molto flessibile fornisce profili degli inquinanti ad alta risoluzione in funzione della profondità. Oltre a indicazioni sulla distribuzione degli inquinanti, attraverso misurazioni della conduttività sono ricavate anche informazioni sulla struttura litologica. Se sono disponibili abbastanza sondaggi è possibile elaborare un'immagine tridimensionale della distribuzione degli inquinanti.

A differenza delle altre misurazioni attive dell'aria interstiziale, non è possibile misurare singole sostanze, ma solo la somma di gruppi di sostanze (CHC, BTEX). Come tutti i metodi penetrometrici, in sottosuoli molto duri e generalmente difficili da penetrare (p. es. pietrisco grossolano, morena dura) raggiunge i suoi limiti. La sonda è infissa con un macchinario cingolato. A causa della grandezza di quest'ultima, l'impiego in edifici, in particolare in cantine, è possibile solo parzialmente.

5.3 Volume rilevato dal campionamento

Il volume campionato nel sottosuolo attorno all'estremità della sonda dipende dal volume dei pori e dalla permeabilità del settore considerato. Nell'ipotesi idealizzata di un settore d'influenza sferico con pori omogenei riempiti di aria secca, nell'allegato A2 sono rappresentati graficamente i diametri di tale sfera per vari volumi dei pori e quantità aspirate.

5.4

Garanzia della qualità

Per esperienza, le maggiori incertezze riguardano il prelievo di campioni stesso. Esso pone infatti requisiti elevati ai campionatori e va pertanto pianificato ed eseguito in modo professionale.

Per garantire la qualità sono importanti i seguenti punti, che devono essere rispettati dall'addetto al campionamento e dal laboratorio di misurazione e documentati in un rapporto di misurazione:

- > la descrizione dello svolgimento del prelievo di campioni nonché delle apparecchiature utilizzate per il prelievo e dei mezzi ausiliari necessari per determinare i parametri di campo,
- > l'etichettatura inequivocabile dei contenitori con i campioni,
- > la compilazione di un elenco di tutti i campioni prelevati,
- > il prelievo, il trasporto e lo stoccaggio di campioni in modo da prevenire, nei limiti del possibile, un'influenza sul materiale campionato,
- > la pulizia di tutte le apparecchiature utilizzate o la sostituzione delle apparecchiature tra un prelievo e l'altro in modo da prevenire il trasferimento di contaminazioni.

6 > Analisi

6.1 In generale

Le analisi dell'aria interstiziale devono essere effettuate secondo metodi standard (DIN ^{[6], [7]}, VDI^[20]). Di norma, i campioni di aria interstiziale sono analizzati in laboratorio, ma possono essere analizzati anche con un laboratorio mobile sul luogo di prelievo. Oltre ai risultati con i limiti di determinazione, il rapporto di analisi deve contenere anche indicazioni sui metodi applicati.

Rapporto di analisi

Limiti di determinazione

Nella gamma dei valori di concentrazione dell'OSiti, l'incertezza della misurazione per le sostanze menzionate nell'allegato 2 dell'OSiti è compreso tra il 7 e il 15 per cento circa. In generale, minore è il valore misurato, maggiore è l'incertezza della misurazione.

Incetezza della misurazione

Il valore dell'allegato 2 dell'OSiti per la *benzina esente da composti aromatici* corrisponde alla somma degli idrocarburi nell'intervallo di ebollizione tra 80 e 200 °C senza i composti aromatici benzene, toluolo, etilbenzene e gli xileni.

Il valore per la *benzina leggera (composti aromatici 0–10 %)* è pari alla somma degli idrocarburi e dei composti aromatici nell'intervallo di ebollizione tra 70 e 90 °C.

6.2 Metodi di analisi

Di norma l'analisi dei composti organici facilmente volatili nell'aria interstiziale è effettuata mediante gascromatografia. Le componenti organiche raccolte sono separate nella colonna di separazione e successivamente quantificate mediante opportuni rilevatori.

I metodi più utilizzati sono la tecnica GC-ECD/FID, che abbina la separazione gascromatografica a una combinazione del rilevatore ECD (rilevatore a cattura di elettroni) specifico per il gruppo e di un rilevatore non specifico FID (rilevatore a ionizzazione di fiamma), o la tecnica GC-MS, che abbina la separazione gascromatografica a un rilevatore MSD (rilevatore selettivo di massa) specifico per le molecole.

Le concentrazioni di metano, anidride carbonica, ossigeno e acido solfidrico possono essere determinate mediante strumenti di misura dei gas durante il prelievo di campioni (online).

Vi sono anche altri metodi di misurazione, come tubi di campionamento a lettura diretta o l'indagine con il rilevatore di fotoionizzazione (PID), che forniscono indica-

zioni su eventuali contaminazioni. Essi consentono una stima qualitativa della contaminazione presente, ma non si prestano per conclusioni quantitative.

6.2.1 **Analisi con il metodo diretto**

Si tratta di un metodo adatto per tutte le sostanze menzionate nell'allegato 2 dell'OSiti ad eccezione degli idrocarburi policiclici aromatici (PAH). L'allegato A1 riporta l'elenco delle sostanze per le quali l'allegato 2 OSiti prevede dei valori di concentrazione.

La determinazione analitica mediante gascromatografia è effettuata sotto forma di misurazione diretta dei gas nella vial per l'analisi dello spazio di testa. La scelta del materiale della colonna e del rilevatore dipende dall'esperienza e dall'infrastruttura del laboratorio. Il limite di rilevazione, la selettività nonché il numero di sostanze rilevabili sono determinati dalla tecnica impiegata. I vantaggi della GC-MS sono la rilevazione specifica per la sostanza nonché l'ampia gamma di sostanze. Il vantaggio dell'accoppiata GC-ECD/FID sta invece nel costo contenuto dell'apparecchiatura e di esercizio.

6.2.2 **Analisi con il metodo basato sull'arricchimento**

Questo metodo è adatto per il mercurio e gli idrocarburi policiclici aromatici (PAH) menzionati nell'allegato 2 dell'OSiti.

La determinazione dei PAH è effettuata in base a desorbimento con solvente dall'adsorbente mediante gascromatografia o cromatografia liquida oppure in base a desorbimento termico dall'adsorbente mediante gascromatografia.

L'analisi del mercurio è effettuata in base a desorbimento liquido mediante spettrometria di assorbimento atomico a vapori freddi (CV-AAS).

Il metodo basato sull'arricchimento consente inoltre di analizzare la maggior parte delle sostanze menzionate nell'allegato 2 dell'OSiti con un limite di rilevazione migliore. Il limite di rilevazione migliora proporzionalmente al fattore di arricchimento nel tubicino adsorbente. Difficilmente, però, tutte le sostanze organiche dell'allegato A1 possono essere determinate contemporaneamente partendo dallo stesso tubicino adsorbente con lo stesso desorbente.

L'onere per il prelievo e l'analisi dei campioni nonché i numerosi fattori che influenzano il risultato rendono il metodo basato sull'arricchimento complicato e costoso. Di norma, con il metodo diretto sono raggiunti limiti di determinazione che soddisfano i requisiti dell'OSiti.

6.4

Garanzia della qualità

I laboratori che eseguono analisi in ambito ambientale dovrebbero lavorare secondo la norma SN EN ISO/IEC 17025^[24]. Per i lavori legati alle analisi dell'aria interstiziale si raccomanda un accreditamento secondo la norma ISO/IEC 17025.

Ai fini della garanzia della qualità assumono rilievo i seguenti punti, che devono essere rispettati dal laboratorio e documentati in un rapporto di misurazione:

- > i metodi devono essere convalidati in ogni laboratorio,
- > per ogni metodo devono essere note almeno le seguenti grandezze:
 - il campo d'applicazione,
 - la capacità di rilevazione per esempio come limite di determinazione,
 - la precisione e la correttezza,
 - l'incertezza della misurazione,
 - la specificità e la selettività,
- > i metodi non menzionati nel campo d'applicazione dell'accREDITAMENTO secondo la norma SN EN ISO/IEC 17025 vanno contrassegnati nel rapporto di analisi.

La riproducibilità dei risultati delle analisi deve essere dimostrata mediante l'impiego di standard certificati e per gli strumenti di misura e di verifica impiegati deve essere effettuata e documentata una calibratura interna.

7 > Interpretazione dei risultati

7.1 In generale

Nei capitoli precedenti è già stata attirata l'attenzione su vari punti di cui si deve tenere conto nel rendiconto sulle misurazioni dell'aria interstiziale: la descrizione della situazione edilizia e dell'ambiente circostante, la struttura geologica del sottosuolo, le condizioni delle acque sotterranee. Di norma, l'analisi dell'aria interstiziale rappresenta solo una parte dell'indagine di un sito.

Rendicontazione sulle
misurazioni dell'aria interstiziale

L'interpretazione dei risultati parte dagli interrogativi formulati. Occorre indicare se il programma di misurazione previsto è stato realizzato e si raccomanda di documentare e motivare le modifiche apportate al programma nonché di illustrare eventuali conseguenze.

Occorre inoltre discutere la rappresentatività dei risultati di misurazione dal momento che essa rappresenta una base decisionale importante per l'autorità specializzata competente. Sia le esperienze maturate con misurazioni dell'aria interstiziale sia le considerazioni teoriche mostrano che occorre rispettare in particolare i seguenti punti:

Rappresentatività delle
misurazioni

- > le misurazioni dell'aria interstiziale di norma non possono essere ripetute alle stesse condizioni, come è invece normalmente possibile per le indagini delle acque sotterranee,
- > le misurazioni dell'aria interstiziale sono rappresentative per un volume relativamente piccolo, nette variazioni a livello di microscala sono la norma più che l'eccezione,
- > le concentrazioni dell'aria interstiziale dipendono anche da fattori esterni,
- > le concentrazioni dell'aria interstiziale non forniscono direttamente indicazioni sui volumi di gas presenti (aspetto importante per i gas di scarica).

7.2 Fattori che influenzano la concentrazione nell'aria interstiziale

Per fattori esterni s'intendono in particolare le condizioni meteorologiche, l'impermeabilizzazione della superficie nonché la permeabilità e la composizione della roccia serbatoio (quota di particelle assorbenti, soprattutto di carbonio organico).

Un altro aspetto da considerare nel valutare i valori misurati per le sostanze volatili, in particolare per i CHC, è l'influsso sulle concentrazioni delle infiltrazioni di acqua piovana, che portano a un'impregnazione del sottosuolo. La riproducibilità delle misurazioni dell'aria interstiziale risulta pertanto notevolmente compromessa. Soprattutto i campioni prelevati in condizioni di tempo umido mostrano forti fluttuazioni. In suoli

umidi può verificarsi sia un aumento sia un abbassamento delle concentrazioni. Le fluttuazioni possono raggiungere un fattore 5.

Questo fatto va tenuto presente nell'interpretare i valori misurati, in particolare quando si paragonano valori rilevati in momenti differenti.

Nell'interpretare le concentrazioni dell'aria interstiziale in vista della rilevazione di una contaminazione in una falda acquifera, in particolare da CHC, a causa del trasferimento sciolto → fase gassosa bisogna tener conto anche delle seguenti limitazioni:

- > in presenza di due o più strati acquiferi sovrapposti con contaminazioni distinte delle acque sotterranee, nell'aria interstiziale può essere identificato unicamente lo strato superiore,
- > le falde acquifere sospese ostacolano lo scambio gassoso con il vero e proprio acquifero, impedendo il riconoscimento di un'eventuale contaminazione.

In linea di massima, la conoscenza della struttura litologica del sottosuolo rilevato con il prelievo di campioni di aria interstiziale è molto importante. Per questo motivo occorrono sondaggi paralleli se non preliminari, volti a descrivere geologicamente il settore campionato. Spesso, a tal fine sono eseguiti sondaggi penetrometrici o piccole perforazioni. Si possono quindi trarre perlomeno conclusioni qualitative sull'omogeneità, sulla granulosità e sulla porosità, sul tenore di umidità e (con analisi supplementari) anche sul tenore di carbonio organico.

Struttura litologica del sottosuolo

7.3 Carico naturale di fondo da sostanze volatili

7.3.1 Idrocarburi clorurati

In particolare in vista dell'interpretazione e della valutazione di carichi di idrocarburi clorurati molto bassi nell'aria interstiziale è utile conoscere anche il carico naturale di fondo. I dati in proposito sono scarsi. Secondo una sintesi compilata in Germania^[14] sono possibili i seguenti carichi di fondo:

Carico di fondo CHC

Tab. 1 > Carico di fondo CHC

Carico naturale di fondo	Zone utilizzate per scopi forestali e agricoli	Zone forestali, precipitazioni annue elevate	Zone urbane
Tetracloroetilene	<0.001–0.002 ml/m ³	0.001–0.007 ml/m ³	0.001–0.004 ml/m ³
Tricloroetilene	<0.001–0.002 ml/m ³	0.001–0.006 ml/m ³	0.001–0.004 ml/m ³
1,1,1-tricloroetano	<0.001–0.002 ml/m ³	<0.001–0.001 ml/m ³	<0.001 ml/m ³

Dai dati emerge che i carichi naturali di fondo massimi prevedibili sono molto bassi e vicini al limite di determinazione e, di conseguenza, non possono falsare la valutazione nell'ambito dell'accertamento di siti inquinati. I valori mostrano però che la presenza di tenori di CHC molto bassi nell'aria interstiziale non indica necessariamente un impiego di tali sostanze nel sito.

7.3.2 Anidride carbonica, metano e acido solfidrico

L'aria interstiziale contiene quote variabili di **anidride carbonica**. Le fluttuazioni sono dovute a condizioni di ventilazione distinte, ma anche al tenore di umidità (in condizioni secche è prodotta meno anidride carbonica biogenica) nonché ad altre caratteristiche locali specifiche (temperatura, equilibrio calcare-acqua-aria, anidride carbonica tellurica), cui si aggiungono fluttuazioni stagionali. In un sottosuolo ben ventilato, tenori di anidride carbonica fino al 2 per cento non sono una rarità, mentre in un sottosuolo mal ventilato sono possibili valori nettamente superiori.

Il valore di concentrazione dell'anidride carbonica secondo l'allegato 2 dell'OSiti è dello 0,5 per cento. Concentrazioni del genere possono benissimo essere di origine naturale. Nel valutare concentrazioni superiori di anidride carbonica nell'aria interstiziale captata bisogna quindi sempre tener conto delle condizioni locali, ad esempio mediante misurazioni di fondo al di fuori del settore influenzato dai depositi.

In settori con quote elevate di sostanze organiche naturali degradabili, in condizioni anaerobiche la degradazione batterica può produrre metano. In condizioni fortemente anossiche anche l'acido solfidrico può generare un carico naturale nel sottosuolo.

Queste condizioni vanno tenute presenti nel valutare basse concentrazioni di questi gas nell'aria interstiziale, se la classificazione quale sito inquinato si basa anche su misurazioni dell'aria interstiziale.

7.4 Valutazione secondo il diritto sui siti contaminati

La base per valutare contaminazioni misurate quantitativamente nell'aria interstiziale è costituita dall'allegato 2 OSiti. I valori di concentrazione menzionati corrispondono alle concentrazioni massime consentite sul posto di lavoro (MAK) della Suva (Istituto svizzero di assicurazione contro gli infortuni), che in^[17] disciplina la concentrazione massima ammessa sul posto di lavoro di sostanze pericolose per la salute. Si evince quindi già chiaramente che il bisogno di risanamento **non** scatta quando nell'aria interstiziale è superato un valore di concentrazione, bensì solo se tale aria interstiziale contaminata va a finire **inoltre** in zone «nelle quali delle persone possono trattenerci **regolarmente per un certo tempo**» (art. 11 OSiti).

Bisogno di risanamento nelle zone nelle quali persone si trattengono regolarmente per un certo tempo

7.5 Calcolo della stima del tenore di inquinanti nell'acqua d'infiltrazione e del tenore totale di inquinanti in base alle concentrazioni nell'aria interstiziale

Secondo l'allegato 1 capoverso 4 dell'OSiti, la concentrazione dell'acqua d'infiltrazione viene calcolata partendo da misurazioni delle concentrazioni nell'aria contenuta nei pori del suolo quando non si possono prelevare campioni dell'acqua d'infiltrazione. L'elemento essenziale in questa disposizione è che fa espressamente riferimento all'acqua d'infiltrazione: il metodo descritto qui di seguito non si presta quindi per calcolare il carico di composti organici volatili nelle acque sotterranee in base alla contaminazione dell'aria interstiziale. Una sua applicazione presuppone pertanto che si

esaminino in dettaglio le condizioni fisico-chimico e idrologiche specifiche del sito e se ne tenga conto.

La rilevazione degli inquinanti organici volatili nel sottosuolo non saturo d'acqua si basa sul fatto che queste sostanze sono presenti in quote variabili:

- > assorbite dal materiale solido e
- > sciolte nell'acqua contenuta nei pori e
- > in forma gassosa nell'aria interstiziale.

Se si dispone di abbastanza tempo, secondo le leggi della termodinamica tra i tenori della sostanza nelle tre fasi suolo, acqua e aria si crea un equilibrio. Il tempo necessario dipende dai percorsi e dalle velocità di diffusione. Per quanto riguarda i percorsi di diffusione con una pellicola d'acqua sulla superficie dei granelli (=acqua d'infiltrazione) le distanze sono brevi, mentre le velocità di diffusione nell'aria interstiziale sono elevate. Di conseguenza, tra l'acqua d'infiltrazione e l'aria interstiziale s'istaura abbastanza in fretta un equilibrio, soprattutto se i percorsi d'infiltrazione e di conseguenza i tempi di permanenza nella zona non satura del sottosuolo sono lunghi.

Le leggi della distribuzione di fase in equilibrio consentono di calcolare la concentrazione della sostanza nell'acqua d'infiltrazione e nello spazio capillare delle acque sotterranee in base alla concentrazione nella fase gassosa. Il calcolo si basa sulla costante di Henry H specifica per ogni sostanza, che descrive la distribuzione della sostanza tra l'aria e l'acqua^[4]:

Distribuzione di fase in equilibrio

Costante di Henry

$$H = \frac{\text{concentrazione di equilibrio nella fase gassosa [mol/l]}}{\text{concentrazione di equilibrio nella fase liquida [mol/l]}} \quad [-]$$

Per le sostanze parzialmente idrosolubili (solubilità in acqua <10 000 mg/l) si ha inoltre:

$$H = \frac{\text{pressione di vapore [Pa]}}{\text{solubilità in acqua [mol/m}^3\text{]}} \times \frac{1}{RT} \quad [-]$$

H : costante di Henry

R : costante universale dei gas [$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$]

T : temperatura assoluta [K]

La costante di Henry dipende dalla temperatura e bisognerebbe apportare una correzione del valore di H impiegato. Approssimativamente è tuttavia possibile utilizzare i valori riportati nell'allegato A2 per 10 °C. Questa procedura corrisponde al calcolo secondo l'allegato A1 capoverso 4 dell'OSiti nel caso in cui non possono essere prelevati campioni di acqua d'infiltrazione come equivalente dell'eluito.

Se tra le tre fasi è raggiunto uno stato di equilibrio, in base alle relazioni di equilibrio termodinamico assieme alla distribuzione della sostanza tra le tre fasi in base alle leggi è possibile calcolare anche la concentrazione totale dell'inquinante.

Nella pratica il metodo, di per sé corretto, ha però alcuni svantaggi, che consistono nel fatto che:

- > spesso, lo stato di equilibrio non è raggiunto o è raggiunto a livello molto locale,
- > per una stima affidabile devono essere noti altri parametri, ossia la porosità, la frazione di sostanza organica, la percentuale di acqua e l'assorbimento delle sostanze organiche nella matrice del suolo.

Se queste condizioni non sono soddisfatte, nella migliore delle ipotesi il metodo rappresenta una stima approssimativa. Consente perlomeno di calcolare, partendo da una stima conservativa dei parametri, la concentrazione massima degli inquinanti. Anche in questo caso, i risultati vanno però valutati con spirito critico, poiché in genere non possono essere considerati rappresentativi del sito. Nella migliore delle ipotesi è raggiunto solo un equilibrio locale.

Una valutazione secondo il diritto sui siti contaminati non può basarsi unicamente su questo calcolo.

7.6

Garanzia della qualità

Per principio, i risultati delle misurazioni dell'aria interstiziale e le interpretazioni basate su di essi devono essere illustrati in modo trasparente e rintracciabile. Per soddisfare questo requisito devono essere disponibili le seguenti indicazioni:

- > *la rintracciabilità del piano di misurazione*: siccome il capitolato d'oneri è sottoposto per parere all'autorità, la rintracciabilità del piano di misurazione dovrebbe essere illustrata già in questa fase della procedura o nella pianificazione dell'indagine in caso di indagine dettagliata;
- > *la definizione univoca dei punti di misurazione*: la posizione del punto di misurazione, la profondità o i settori di prelievo dei campioni di gas;
- > le condizioni del suolo e del sottosuolo osservate o presunte, la posizione osservata o presunta del livello delle acque sotterranee;
- > *la documentazione del prelievo di campioni*: il rapporto di misurazione o comunicazione dei risultati del laboratorio di misurazione secondo l'allegato A3;
- > le indicazioni sulla riproducibilità dei risultati, le possibilità di interpolazione e di estrapolazione con la relative incertezze;
- > la rappresentazione grafica dei risultati, compresa la raffigurazione su una carta della distribuzione territoriale della concentrazione delle sostanze misurate;
- > la motivazione di eventuali modifiche rispetto al programma di misurazione previsto;
- > *in caso di gas di discarica*: la stima del pericolo per l'uomo e la raccomandazione di eventuali misure necessarie.

> Allegato

A1 Proprietà fisico-chimiche di sostanze volatili rilevanti per i siti contaminati

Tab. 2 > Proprietà fisico-chimiche di sostanze volatili rilevanti per i siti contaminati

Sostanza	Formula	Massa molare g/mol	Punto di ebollizio-ne °C	Coeffi-ciente di distribuzione di carbonio organico/acqua K_{oc} (l/kg)	Costante di Henry ^a K_H (10 °C)	Coeffi-ciente di distribu-zione di ottanolo-acqua log f_{ow}	Pressione di vapore Pa (25 °C)	Solubilità g/l (25 °C)
Composti inorganici								
Mercurio	Hg	200.59	356.58				160 ^a	0.00 006 ^a
Anidride carbonica	CO ₂	44	-78.5					
Acido solfidrico	H ₂ S	34.08	-60.7					
Composti organici								
Benzina (esente da composti aromatici)								
Benzina leggera (composti aromatici 0–10 vol%)								
Metano	CH ₄	16.04	-164					
HC monociclici aromatici								
Benzene	C ₆ H ₆	78.12	80.1	92	0.115	2.1	10 200 ^a	1.77 ^a
Etilbenzene	C ₈ H ₁₀	106.17	136		0.135		933–1 990 ^a	0.866 ^a
Toluolo	C ₇ H ₈	92.15	111	250	0.124	2.4	2 910 ^a	0.5 ^a
m-xilene	C ₈ H ₁₀	106.17	139.1	166	0.125		800 ^a	0.16 ^a
o-xilene	C ₈ H ₁₀	106.17	144.4	48–68	0.087		667 ^a	0.19 ^a
p-xilene	C ₈ H ₁₀	106.17	138.7	204	0.130		880 ^a	0.18 ^a
HC alogenati facilmente volatili								
Clorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	112.56	132	77	0.065		1 310 ^a	0.46 ^a
1,1-dicloroetano	C ₂ H ₄ Cl ₂	98.96	57	38	0.123		30 900	5.06 ^a
1,2-dicloroetano (EDC)	C ₂ H ₄ Cl ₂	98.96	83	31	0.019		11 200	8.65 ^a
1,1-dicloroetilene	C ₂ H ₂ Cl ₂	96.94		47	0.634		79 400	2.49
cis-1,2-dicloroetilene	C ₂ H ₂ Cl ₂	96.94	60	38	0.087		28 100	5.09
trans-1,2-dicloroetilene	C ₂ H ₂ Cl ₂	96.94	60	48	0.212		40 700	6.26
Diclorometano (DCM)	CH ₂ Cl ₂	84.93	40	17	0.05	1.25	57 500	16.9
1,2-dicloropropano	C ₃ H ₆ Cl ₂	112.99	96	92	0.055	2.28	6900	2.8
1,1,2,2-tetracloroetano	C ₂ H ₂ Cl ₄	167.86	146	225	0.0056	2.72	794	3.27
Tetracloroetilene (PER)	C ₂ Cl ₄	165.83	121	374	0.331	2.76	2 500	0.141
Tetraclorometano	CCl ₄	153.82	76.7	238	0.642		14 500	0.826
1,1,1-tricloroetano	C ₂ H ₃ Cl ₃	133.42	74	119	0.362		16 600	1.3
Tricloroetilene (TRI)	C ₂ HCl ₃	131.39	87	185	0.204	3.07	10 800	1.09

Sostanza	Formula	Massa molare g/mol	Punto di ebollizio-ne °C	Coeffi-ciente di distribuzione di carbonio organico/acqua K _{oc} (l/kg)	Costante di Henry ^a K _H (10 °C)	Coeffi-ciente di distribu- zione di ottanolo-acqua log f _{ow}	Pressione di vapore Pa (25 °C)	Solubilità g/l (25 °C)
Triclorometano	CHCl ₃	119.38	61.7	71	0.0794	1.97	25 100	8.45
Cloruro di vinile	C ₂ H ₃ Cl	62.50	-13.37	5	0.750		400 000	2.8

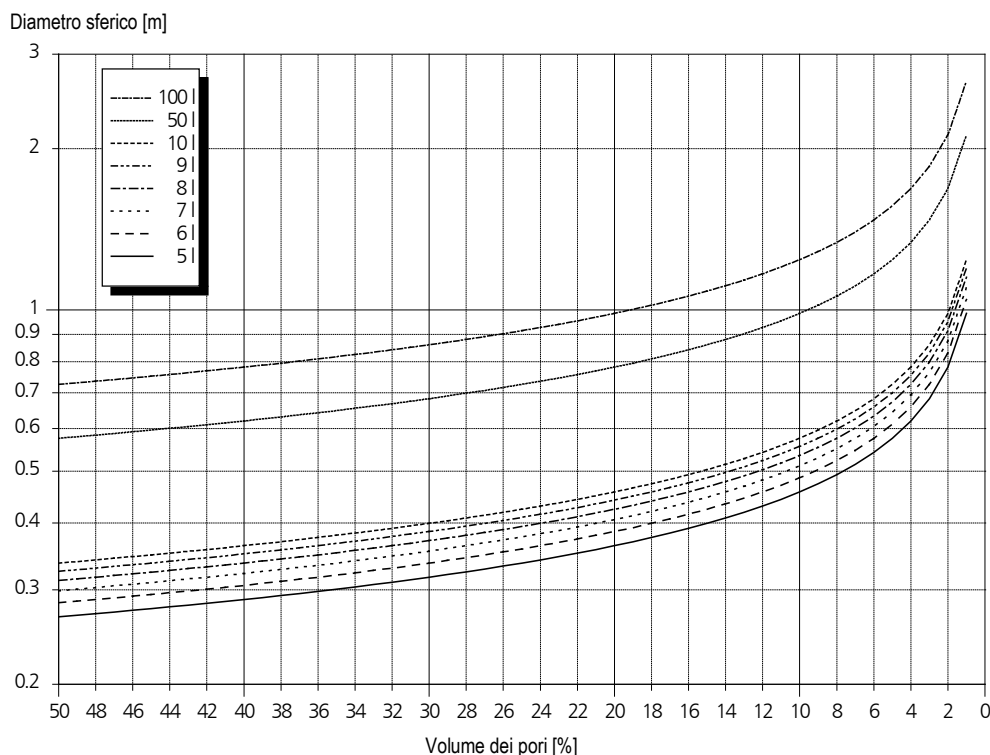
HC policiclici aromatici

Benzo(a)pirene	C ₂₀ H ₁₂	252.3	496	4 500 000		6.6–6.78	0.7*10 ^{–6} ^a	4.5µg/l ^a
Naftalina	C ₁₀ H ₈	128.19	218	790		3.37	7.2 ^a	0.025 ^a

^a Secondo^[23]

A2 Volume rilevato mediante il campionamento

Fig. 9 > Diametro sferico in funzione del volume dei pori e di aspirazione



SJ GeoTec AG, 2010

L'ipotesi formulata che la geometria del volume per il calcolo delle curve è di forma sferica non corrisponde alla realtà poiché è molto raro che il sottosuolo sia omogeneo. In realtà la geometria del volume di aspirazione è molto più irregolare e difficilmente prevedibile.

In condizioni naturali bisogna pertanto piuttosto presumere che sia la porosità e la permeabilità attorno all'estremità della sonda siano soggette a variazioni a livello di microscala. Inoltre, di norma, non è noto il tenore di acqua dei pori nel settore non saturo che influenza la permeabilità. Bisogna pure supporre che l'aria interstiziale si muova lungo percorsi preferenziali, analogamente alle acque sotterranee. In queste condizioni è praticamente impossibile quantificare il volume di materiale interessato dal prelievo di campioni con una certezza sufficiente. Il diagramma fornisce tuttavia indicazioni sull'ordine di grandezza prevedibile del settore d'influenza, che possono essere utili per interpretare i risultati.

A3 Documentazione del prelievo di campioni

Tab. 3 > Documentazione del prelievo di campioni

Identificazione del campione	Progetto	
	Designazione esatta del campione (in base al piano della situazione)	
	Data e ora del prelievo del campione	
	Terreno	• non edificato • edificato • coltivato • boschivo • impermeabilizzato
	Contaminazione	• diretta • indiretta
Condizioni meteorologiche durante il prelievo del campione	Temperatura dell'aria	• esterna/interna
	Pressione atmosferica	
	Tempo	• secco • umido
Tecnica utilizzata	Perforazione	• asfalto, • calcestruzzo, • carotaggio, • perforazione • elicoidale, • profondità
	Sonda per l'aria interstiziale	• sonda cava • packer
	Profondità d'infissione	
	Profondità di aspirazione	
	Velocità di pompaggio	
	Volume totale aspirato	
	Eventuale depressione durante il prelievo del campione	
	Concentrazione di anidride carbonica durante il prelievo del campione	
	Tenore di ossigeno durante il prelievo del campione	
Osservazioni sul sottosuolo	• Materiale trascinato dalla sonda, • strato non permeabile, • blocchi, • acqua e simili, • odore dell'aria interstiziale estratta ecc.	

A4 Confronto tra i metodi

Tab. 4 > Confronto tra i metodi I

	Metodo diretto			Metodo basato sull'arricchimento	
	Vial per l'analisi dello spazio di testa (headspace)	Pipetta/sacca per prelievi di gas	Membrane Interface Probe	Desorbimento termico	Eluizione con solventi
Procedura	• Prelievo del campione di gas da una sonda di misurazione con una siringa di vetro a tenuta di gas • Iniezione diretta nella vial evacuata	• Prelievo del campione di gas dalla sonda di misurazione mediante collegamento diretto della pompa alla sacca/pipetta	• Trasporto dei campioni di gas dalla punta riscaldata della sonda al dispositivo di misurazione in superficie attraverso una membrana mediante un gas vettore che circola in un capillare	• Aspirazione dell'aria interstiziale attraverso un tubicino montato sopra il livello del suolo o sulla punta della sonda • Il volume aspirato dipende dalle indicazioni del laboratorio/fabbricante	• Aspirazione dell'aria interstiziale attraverso un tubicino montato sopra il livello del suolo o sulla punta della sonda • Il volume aspirato dipende dalle indicazioni del laboratorio/fabbricante
Onere	• Trasferimento del campione di gas dalla vial al GC • Calibratura con gli standard dei gas fabbricati in laboratorio	• Prelievo del campione di aria interstiziale dalla sacca/pipetta con una siringa di vetro • Calibratura con gli standard dei gas fabbricati in laboratorio		• Eluizione dell'adsorbente caricato mediante desorbimento termico • Immissione diretta nel GC • Calibratura con gli standard dei gas fabbricati in laboratorio	• Eluizione dell'adsorbente caricato con solventi • Iniezione del liquido nel GC • Calibratura con gli standard dei gas fabbricati in laboratorio
Fonti di errori	• Difetto di tenuta del setto • Spurgo dal setto • Perdite per adsorbimento e diffusione sul/nel setto	• Difetto di tenuta della sacca/chiusura • Perdite per adsorbimento e diffusione sulla/dalla sacca	• Trasferimento di contaminazioni verso il basso	• Adsorbente inadatto • Equilibrio adsorbimento/desorbimento • Proprietà influenzate dall'umidità • Rottura	• Adsorbente inadatto • Equilibrio adsorbimento/desorbimento • Proprietà influenzate dall'umidità • Rottura
Vantaggi	• Automatizzabile • Economico • Analisi di singole sostanze • Possibilità di uso in edifici	• Più analisi possibili grazie alla maggior quantità del campione • Analisi di singole sostanze	• Possibilità di tracciare profili di profondità degli inquinanti	• Misurazione automatizzabile, limiti di rilevazione bassi grazie all'arricchimento	• Misurazione automatizzabile, possibilità di misurazioni multiple, limiti di rilevazione bassi grazie all'arricchimento
Svantaggi	• Generazione di standard gassosi, variazione della composizione del gas per adsorbimento e condensazione, tempi di stoccaggio brevi, infiltrazione di aria esterna • Possibilità limitata di tracciare profili di profondità	• Generazione di standard gassosi, variazione della composizione del gas per adsorbimento e condensazione, tempi di stoccaggio brevi; non automatizzabile • Non adatto per analizzare CHC	• Fornisce solo somme dei parametri di gruppi di sostanze • Uso in edifici escluso (ad eccezione di capannoni)	• Possibilità di eseguire una sola misurazione • Desorbimento incompleto, le concentrazioni possono essere troppo alte • Costo dell'apparecchiatura	• Rischio di adsorbimento e desorbimento incompleto per singoli composti • Picco di solvente nel GC

Tab. 5 > Confronto tra i metodi II

	Sonde in acciaio		Packer associato a carotaggio (carotiere)	
Sondaggio (Fig. 3)	Infissione di sonde cave in acciaio nel sottosuolo con un martello elettrico. Raccordo dei singoli elementi a tenuta. Profondità di prelievo almeno 1 m.		In caso di superfici impermeabilizzate, l'aria interstiziale può essere aspirata attraverso un packer, in particolare se in precedenza è stato inserito un carotiere	
Aspirazione (Fig. 4)	Aspirazione dell'aria interstiziale con un flusso in volume non oltre 4 l/min. Prima del campionamento ricambiare il volume morto della sonda o del foro del carotiere almeno 2–3 volte. Verifica della tenuta rispetto all'atmosfera mediante la misurazione del tenore di ossigeno e anidride carbonica.			
	Metodo diretto		Metodo basato sull'arricchimento	
Campionamento	Vial per l'analisi dello spazio di testa adatta per composti organici facilmente volatili		Pipetta/sacca per prelievi di gas adatta per gas di scarica	Tubicino adsorbente adatto per composti organici facilmente volatili
	Prelievo di aria interstiziale dal flusso aspirato con una siringa di vetro a tenuta di gas		Riempimento di campionatori di gas sul lato di aspirazione prima della pompa	Collocamento di un tubicino sul lato di aspirazione prima della pompa e aspirazione del volume di aria interstiziale previsto
	e trasferimento in vial evacuate (controllo del volume) (fig. 5)	o, nella procedura di spurgo con una seconda cannula, • ricambio, mediante una seconda cannula, del contenuto della vial chiusa ermeticamente con aria interstiziale per 5 volte o • aspirazione con una pompa a un flusso di volume basso attraverso la vial chiusa ermeticamente per un certo periodo		
Stoccaggio, trasporto	Conservazione dei campioni al buio			Conservazione dei tubicini con i campioni in un luogo fresco e buio
Osservazione	Analisi dei campioni entro 24 o al massimo 48 ore			
	Analisi			
Metodo	Gascromatografia; rilevatori: p. es. rilevatore a ionizzazione di fiamma (FID), rilevatore a cattura di elettroni (ECD), spettrometro di massa (MS) o rilevatore a conducibilità termica (TCD)			

> Bibliografia

- [1] Bayrisches Landesamt für Umwelt 2010: Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer. Merkblatt Nr. 3.8/4, Stand: 15. Februar 2010.
- [2] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg 2001: Entnahme von Bodenluftproben. Merkblatt Nr. 9 Juli 2001.
- [3] Ufficio federale dell'ambiente UFAM 2011: Analysemethoden im Abfall- und Altlastenbereich (Stand 2013). Vollzug Umwelt, Altlasten/Abfall, 1334, 80 S.
- [4] ChloroNet 2009: Leitfaden Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW). Stoffeigenschaften. September 2009.
- [5] ChloroNet 2011: Untersuchung von CKW-Belastungen. Praxis-hilfe. Version November 2013.
- [6] DIN 38407 Teil 5: Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F). Nov 1991. Bestimmung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen LHKW durch gaschromatographische Dampfzuganalyse (F5).
- [7] DIN 38407 Teil 9: Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F). Mai 1991. Bestimmung von Benzol und einigen Derivaten mittels Gaschromatographie (F9).
- [8] DIN ISO 10381-7: Bodenbeschaffenheit – Probenahme. Okt 2007. Teil 7: Anleitung zur Entnahme von Bodenluftproben (ISO 10381-7:2005).
- [9] Grathwohl P. 1989: Verteilung unpolarer Verbindungen in der wasserungesättigten Bodenzone am Beispiel leichtflüchtiger aliphatischer Chlorkohlenwasserstoffe (Modelversuche). Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten Reihe C Nr. 1, 1989.
- [10] Grathwohl P. 1998: Bodengasanomalien zur Schadenherderkennung. Eberhard-Karls-Universität Tübingen Altlastenforum Fortbildung Karlsruhe, November 1998.
- [11] Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. ITVA 2002: Richtlinie Bodenluftabsaugversuch, Stand März 2002, Richtlinie H1–1/02. Berlin 2002, 28 S. und Anhang.
- [12] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU 1985: Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasser- verunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. Stuttgart, 1985.
- [13] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU 2002: MTBE (Methyl-tertiär-butylether) als Kraftstoffzusatz – Fachgespräch am 21.2.2002 in Karlsruhe, Tagungsband Umweltbelastung durch die Nutzung von MTBE.
- [14] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU 2006: Handlungsempfehlung Entnahme von Bodenluftproben. März 2006.
- [15] Reisinger C., Grathwohl P. 1996: Formulierung einer Verfahrensempfehlung zur Bestimmung der Emission leichtflüchtiger organischer Schadstoffe (LCKW, BTEX etc.) aus kontaminierten Böden (Berechnungsverfahren und Methoden); Im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg LfU. Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geologisches Institut, Lehrstuhl für angewandte Geologie.
- [16] Schwille F. 1984: Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe in porösen und klüftigen Medien, Modelversuche. Bundesamt für Gewässerkunde, Koblenz, 1984.
- [17] Suva 2013: Grenzwerte am Arbeitsplatz 2013. Richtlinie 1903.d, Suva-Publikation 1903.d, www.suva.ch/waswo/1903.
- [18] Suva 2013: Prevenzione e protezione contro le esplosioni – Principi generali, Prescrizioni minime, Zone. Bollettino 2153.i, 7a edizione con aggiornamenti luglio 2014, www.suva.ch/waswo/2153.
- [19] VDI 3865 Blatt 2: Messen organischer Bodenverunreinigungen Jan 1998. Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben.
- [20] VDI 3865 Blatt 4: Messen organischer Bodenverunreinigungen. Dez 2000. Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung.
- [21] Ufficio federale dell'ambiente UFAM 2013: Emissionsmessung bei stationären Anlagen (Stand 2013). Umwelt Vollzug Nr. 1320, 155 S.
- [22] Ordinanza del 26 agosto 1998 sul risanamento dei siti inquinati (ordinanza sui siti contaminati, OSiti) (stato 1° agosto 2012).
- [23] EPA United States Environmental Protection Agency. EPA On-line Tools for Site Assessment Calculation: www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/esthenry.html
- [24] SN EN ISO/IEC 17025, Ausgabe: 2005–07; Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005).
- [25] VDI 3865 Blatt 1: Messen organischer Bodenverunreinigungen. Okt. 1992. Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen.
- [26] Lewitz H. 2004: Bodenluftbeprobung: Ausbreitungsmechanismen gasförmiger Stoffe im Boden. Fachzeitschrift wlb Wasser, Luft und Boden Nr.3/4.
- [27] Hers I., Li L., Hannam S. 2004: Evaluation of Soil Gas Sampling and Analysis Techniques At a Former Petrochemical Plant Site. Environmental Technology, 25:7.

[28] United States Environmental Protection Agency EPA 2006: Comparison of Geoprobe® PRT and AMS GVP Soil-Gas Sampling Systems with Dedicated Vapor Probes in Sandy Soils at the Raymark Superfund Site. November 2006.

> Indici

Figure

Fig. 1 Schema per il prelievo di campioni nelle discariche	15
Fig. 2 Strategia per il prelievo di campioni nei siti aziendali	17
Fig. 3 Sondaggi penetrometrici per il prelievo di campioni di aria interstiziale	21
Fig. 4 Rappresentazione schematica del sistema di prelievo dei campioni	22
Fig. 5 Travaso del campione di aria interstiziale in una vial evacuata per l'analisi dello spazio di testa	23
Fig. 6 Travaso del campione di aria interstiziale nel contenitore dopo aver ricambiato cinque volte il contenuto con aria interstiziale	23
Fig. 7 Prelievo di campioni di aria interstiziale sotto superfici consolidate (isolate con packer).	25
Fig. 8 Prelievo di campioni di aria interstiziale da punti di misurazione del gas o delle acque sotterranee (isolati con packer).	25
Fig. 9 Diametro sferico in funzione del volume dei pori e di aspirazione	38

Tabelle

Tab. 1 Carico di fondo CHC	32
Tab. 2 Proprietà fisico-chimiche di sostanze volatili rilevanti per i siti contaminati	36
Tab. 3 Documentazione del prelievo di campioni	39
Tab. 4 Confronto tra i metodi I	40
Tab. 5 Confronto tra i metodi II	41