



Provincia
di Milano

Linea Guida 10

*Linee Guida per l'utilizzo di
strumenti e la selezione di strategie di
campionamento delle matrici ambientali*





**Provincia
di Milano**

**Presidente:
Assessora all'Ambiente e Parco Sud:**

Filippo Luigi Penati
Bruna Brembilla

**A cura della:
Direttore Centrale:**

Direzione centrale risorse ambientali
Cristina Melchiorri

**Coordinamento:
Supporto tecnico e redazionale:**

Luca Raffaelli
Paolo Paoltroni, Andrea Zelioli



**Università degli Studi
di Milano
Dipartimento di
Scienze della Terra 'A. Desio'**

Giovanni Pietro Beretta, Marco Masetti, Roberta Pellegrini

Questa pubblicazione è frutto della convenzione in atto tra la
Provincia di Milano e l'Università degli Studi di Milano

LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DI STRUMENTI E LA SELEZIONE DI STRATEGIE DI CAMPIONAMENTO DELLE MATRICI AMBIENTALI

INDICE

1	PREMESSA	3
2	SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DEI SUOLI	4
2.1	CAMPIONAMENTI SUPERFICIALI E A BASSA PROFONDITA'	4
2.1.1	<i>Cucchiari e pale</i>	4
2.1.2	<i>Trivelle</i>	5
2.1.3	<i>Tubi campionatori</i>	6
2.2	CAMPIONATORI PER TERRENI CON ATTREZZATURA DI PERFORAZIONE	8
2.2.1	<i>Campionatore a pareti scomponibili</i>	8
2.2.2	<i>Campionatore a rotazione</i>	9
2.2.3	<i>Campionatore a pareti sottili</i>	10
2.2.4	<i>Campionatore a pareti sottili con pistone</i>	12
2.3	CAMPIONAMENTO DI TERRENI PER L'ANALISI DEI COMPONENTI ORGANICI VOLATILI	13
2.3.1	<i>Fase di campionamento</i>	14
2.3.2	<i>Fase di conservazione per il trasporto al laboratorio</i>	15
2.4	CAMPIONAMENTO DI TERRENI PER L'ANALISI GRANULOMETRICA.....	16
3	SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DEI GAS INTERSTIZIALI	19
3.1	OSSIGENO ED ANIDRIDE CARBONICA.....	19
3.2	IDROCARBURI E ALTRI COMPOSTI ORGANICI IN FASE VAPORE	20
3.3	RACCOLTA ED ANALISI DEI CAMPIONI DI GAS	20
3.3.1	<i>Metodi attivi</i>	23
3.3.2	<i>Metodi passivi</i>	27
3.3.3	<i>Campionatori per aria</i>	30
4	SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE	32
4.1	CAMPIONATORI/SENSORI PORTATILI PER ACQUE SOTTERRANEE	32
4.1.1	<i>Campionatori a infissione</i>	32
4.1.2	<i>Campionatori passivi multistrato</i>	33
4.2	CAMPIONATORI PER STAZIONI FISSE.....	34
4.2.1	<i>Campionatori a capsule multilivello</i>	34
4.2.2	<i>Colonne a filtri multipli (multiporta)</i>	35
4.2.3	<i>Campionatori passivi multilivello</i>	36
4.3	METODI DI CAMPIONAMENTO DISTRUTTIVI	36
4.3.1	<i>Carotaggio ed estrazione</i>	36
4.3.2	<i>Installazioni temporanee</i>	37
4.4	POMPE PORTATILI	38
4.4.1	<i>Pompa a membrana (Bladder pump)</i>	38
4.4.2	<i>Pompa a gas</i>	39
4.4.3	<i>Pompa a gas e pistone</i>	41
4.5	ALTRE POMPE PORTATILI PER CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	43
4.5.1	<i>Pompe aspiranti, peristaltiche, centrifughe</i>	43
4.5.2	<i>Pompa centrifuga sommersa</i>	44
4.5.3	<i>Pompa inerziale</i>	46
4.6	CAMPIONAMENTO LOW-FLOW PER ACQUE SOTTERRANEE	47
4.6.1	<i>Protocollo di campionamento Low-Flow</i>	48
4.6.2	<i>Utilizzo in condizioni idrogeologiche particolari</i>	51
4.7	CAMPIONATORI PER ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI	54
4.7.1	<i>Campionatore "Bailer"</i>	54
4.7.2	<i>Campionatore pneumatico</i>	56
4.7.3	<i>Campionatore meccanico di profondità</i>	57
4.8	METODI DI CAMPIONAMENTO AD ESTRAZIONE	59
4.8.1	<i>Campionamento dell'acqua interstiziale</i>	59
4.8.2	<i>Assorbenti</i>	61
4.8.3	<i>Analisi di dettaglio dei metodi di prelievo di campioni di acqua interstiziale</i>	62

4.9	ALTRI METODI	72
4.9.1	<i>Estrazione con solventi</i>	72
4.9.2	<i>Digestione termica</i>	73
4.9.3	<i>Estrazione termica/desorbimento</i>	73
4.9.4	<i>Tecnica "Purge and Trap"</i>	74
4.9.5	<i>Tecnica dello spazio di testa ("headspace")</i>	75
4.9.6	<i>Estrazione con assorbenti</i>	76
4.9.7	<i>Indicatori biologici</i>	77
4.9.8	<i>Misure di contenuto idrico</i>	78
5	SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DI SEDIMENTI.....	80
5.1	OBIETTIVI DEL CAMPIONAMENTO	80
5.2	CRITERI DI CAMPIONAMENTO	80
5.3	METODI DI CAMPIONAMENTO	81
5.3.1	<i>Campionatore Veihmeyer</i>	81
5.3.2	<i>Draga di Ekman</i>	81
5.3.3	<i>Draga Ponar</i>	82
5.3.4	<i>Campionatore PACS</i>	83
5.3.5	<i>Campionatore manuale</i>	83
5.3.6	<i>Campionatore a gravità</i>	84
6	SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DEI RIFIUTI.....	85
6.1	INDICAZIONI GENERALI	85
6.2	STRUMENTI DI CAMPIONAMENTO	85
6.2.1	<i>Pompe e Sifoni</i>	86
6.2.2	<i>Draghe</i>	86
6.2.3	<i>Campionatori di profondità</i>	86
6.2.4	<i>Campionatori a pressione</i>	87
6.2.5	<i>Campionatori a rotazione</i>	87
6.2.6	<i>Campionatori per il profilo verticale di liquidi</i>	87
6.2.7	<i>Campionatori di superficie</i>	88
6.2.8	<i>Campionatore automatico</i>	88
6.2.9	<i>Campionatore Bacon</i>	89
6.2.10	<i>Campionatore a serbatoio per acqua e fanghi</i>	90
6.2.11	<i>Campionatore a livelli distinti</i>	90
6.2.12	<i>Carotiere con valvola</i>	92
6.2.13	<i>Microcarotiere monouso</i>	92
6.2.14	<i>Campionatore a siringa modificato</i>	93
6.2.15	<i>Campionatore con valvola di fondo</i>	94
6.2.16	<i>Campionatore di solidi in sospensione</i>	95
6.2.17	<i>Campionatore manuale a serbatoio</i>	96
6.2.18	<i>Campionatore manuale a valvola</i>	97
6.3	CAMPIONAMENTO DI RIFIUTI PER L'ANALISI DEI COMPONENTI ORGANICI VOLATILI	97
	BIBLIOGRAFIA.....	105

1 PREMESSA

Nelle diverse fasi della bonifica di un sito contaminato si ha la necessità di conoscere lo stato delle matrici ambientali.

Nel corso della caratterizzazione del sito si fornisce il quadro ambientale indicativo della necessità di eventuali interventi di bonifica.

Per la predisposizione del progetto preliminare si valutano gli effetti degli interventi proponibili mediante prove in laboratorio ed in situ che consentono anche la determinazione dei valori parametrici da utilizzare nell'analisi di rischio per la determinazione delle CSR (concentrazioni soglia di rischio).

Selezionata quindi la migliore tecnica di intervento (a costi sopportabili), si sviluppano le opere da realizzare nel corso della progettazione definitiva.

In fase operativa, le ulteriori misure consentono di sorvegliare l'andamento dell'intervento e di verificare la necessità di attuare anche altri interventi integrativi.

A conclusione dell'intervento si ha la necessità di verificare i risultati raggiunti e la possibilità di riutilizzo del sito.

Infine il periodico monitoraggio consente di ritenere conclusa la bonifica dell'area e verificare l'eventuale presenza di concentrazioni residue di contaminanti o il loro apporto da monte.

Da quanto illustrato appare importante la selezione delle strumentazioni e delle strategie di campionamento delle diverse matrici ambientali presenti in un sito.

Verranno quindi considerate le modalità di prelievo di campioni rappresentativi di suolo, acque ed aria interstiziale; saranno considerate anche altre matrici ambientali quali i sedimenti.

Sarà trattato inoltre il campionamento di rifiuti, presenti in modo diffuso nelle zone da bonificare e spesso sorgente di contaminazione delle matrici ambientali.

Completa il testo una definizione delle strategie di campionamento, sinteticamente raggruppabili sotto il criterio ragionato o probabilistico; per l'applicazione di quest'ultimo sono fornite alcune metodologie statistiche di approccio.

2 SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DEI SUOLI

2.1 CAMPIONAMENTI SUPERFICIALI E A BASSA PROFONDITA'

2.1.1 Cucchiari e pale

Uso Campionamento di terreni e suoli in superficie.

Descrizione La rappresentatività dei campioni dipende dalla cura e dall'attenzione nella fase di campionamento. Quando è richiesto un profilo indisturbato può essere utile tagliare un blocco di terreno utilizzando una cazzuola. Per il campionamento di suoli si può seguire la seguente procedura:

- 1) Rimuovere attentamente lo strato superficiale fino alla profondità desiderata utilizzando una attrezzatura pulita (vanga).
- 2) Rimuovere con una cazzuola la porzione di suolo venuta a contatto con la vanga.
- 3) Prelevare il campione utilizzando un cucchiaino da laboratorio e metterlo in un barattolo porta-campioni chiuso ermeticamente.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

Profondità massima	Fino a 1.5 m
Tasso di produzione	I campioni sono disponibili velocemente
Produttività	Piccolo
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Basso

Limitazioni Profondità molto modeste
Possibile perdita di composti volatili durante le operazioni di campionamento

Standard ASTM D5633 – 94
D6232

2.1.2 Trivelle

Uso Campionamento di terreni e suoli in superficie e, se utilizzate in concomitanza di tubi campionatori, permettono il recupero di campioni indisturbati.

Descrizione L'attrezzo, di cui esistono diversi tipi, è sostanzialmente composto da una punta, un'asta d'acciaio di forma tubolare e un manico a "T". La trivella viene fatta ruotare e avanzare nel terreno fino a che si riempie, dopo di che viene estratta per essere svuotata.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

Profondità massima Fino a 1.5 m

Produttività I campioni sono disponibili velocemente. In molti terreni queste trivelle hanno una velocità di avanzamento più rapida delle sonde bucket.

Volume di residui prodotti Limitato

Stato tecnologia Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione/ verifica Nessuno

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni Difficoltà nel produrre profili indisturbati
Profondità limitata

Non applicabili in terreni consolidati

Standard ASTM: D1452 – 80

D4700 – 91

2.1.3 Tubi campionatori

Uso Campionamento di terreni e suoli. Rispetto alle trivelle, sono più adatte per campionamenti destinati all'analisi dei composti volatili.

Descrizione A differenza delle trivelle, vengono infissi a pressione. Spesso vengono utilizzati contemporaneamente alle trivelle: queste ultime servono per la perforazione mentre i tubi campionatori, di cui esistono varie tipologie, vengono utilizzati per i campioni di terreno.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati IPA Composti inorganici

SVOCs non alogenati Pesticidi/erbicidi Esplosivi

VOCs alogenati Metalli Idrocarburi totali

SVOCs alogenati Radionuclidi

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

Profondità massima Fino a 5 m

Produttività I campioni sono disponibili velocemente

Volume di residui prodotti Piccolo

Stato tecnologia Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione/ verifica Nessuno

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni Non utilizzabili in rocce, terreni secchi o suoli molto umidi.

Standard ASTM D4700 – 91

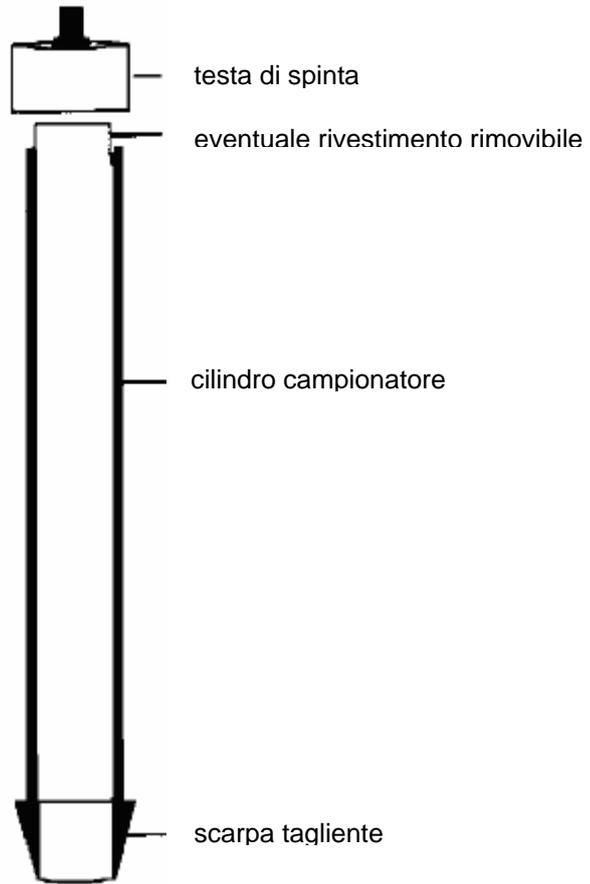


Figura 2.1.: Tubo campionatore

2.2 CAMPIONATORI PER TERRENI CON ATTREZZATURA DI PERFORAZIONE

2.2.1 Campionatore a pareti scomponibili

Uso I campionatori a pareti scomponibili vengono utilizzati in terreno coesivi; i campionatori di tipo barrel possono essere utilizzati anche in sabbie.

Descrizione Il campionatore a pareti scomponibili è costituito da un tubo vuoto guidato da un peso di circa 60 kg che viene infisso nel terreno; una volta riportato in superficie, il campione viene estratto aprendo il campionatore. Il campionatore tipo barrel è simile ai campionatori a pareti scomponibili, eccetto che non possono essere aperti. Per la rimozione della carota si deve quindi utilizzare uno strumento apposito.

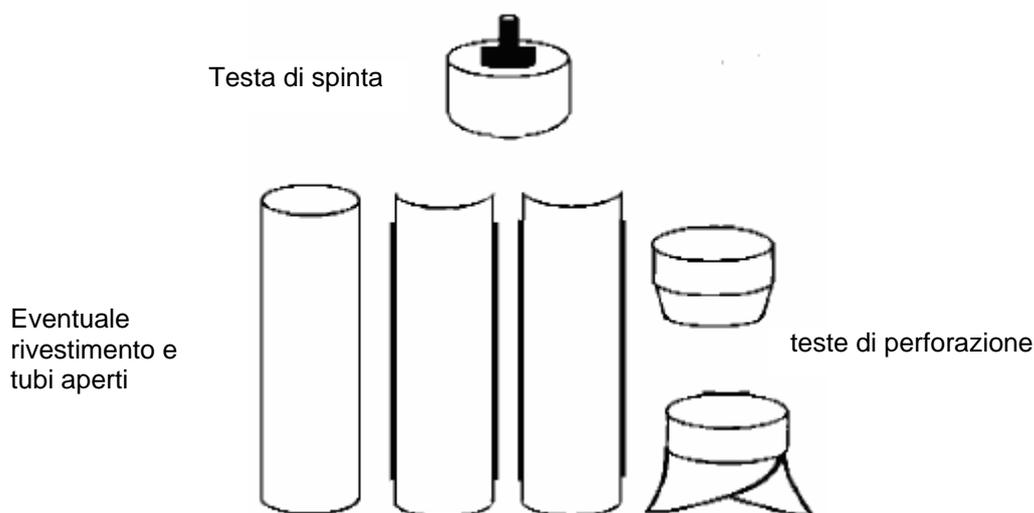


Figura 2.2.: Campionatore a pareti scomponibili

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

Profondità massima Fino a 8 m

Produttività	I campioni sono disponibili velocemente
Volume di rifiuti prodotti	Piccolo
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Non utilizzabili in terreni consolidati. I campionatori a pareti scomponibili non possono essere utilizzati in terreni non coesivi.
Standard ASTM	D1586 – 84 D3550 – 84 D4700 – 91 D6169

2.2.2 Campionatore a rotazione

Uso	Vengono utilizzati nella perforazione a carotaggio continuo.
Descrizione	Questo metodo può utilizzare due differenti strumenti: 1) Il carotiere a parete singola è utilizzato in terreni non consolidati o consolidati, di buona densità. 2) Il carotiere a parete doppia è più adatto per terreni friabili o fortemente fratturati.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

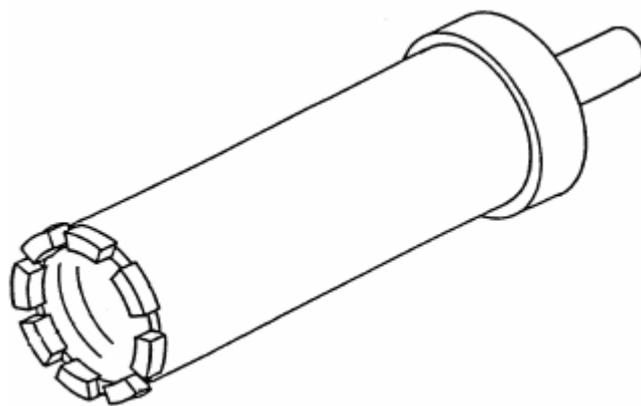


Figura 2.3.: Campionatore a rotazione

Profondità massima	Superiore a 300 m.
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Medio
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Medio
Limitazioni	Il campionatore a parete singola non è adatto in terreni non coesivi a causa dall'erosione prodotta dai fanghi di perforazione.
Standard ASTM	D2113 – 83 D6169

2.2.3 Campionatore a pareti sottili

Uso	È utilizzato per campionare carote indisturbate di terreni coesivi, siltosi e sabbiosi nella zona insatura.
Descrizione	La procedura per il campionamento è simile a quella che si utilizza con il campionatore a pareti scomponibili; la penetrazione avviene però sotto la spinta del peso delle aste sovrastanti ed eventualmente con una lieve spinta. I tipi più comuni sono: - tipo Shelby

- a tubo continuo

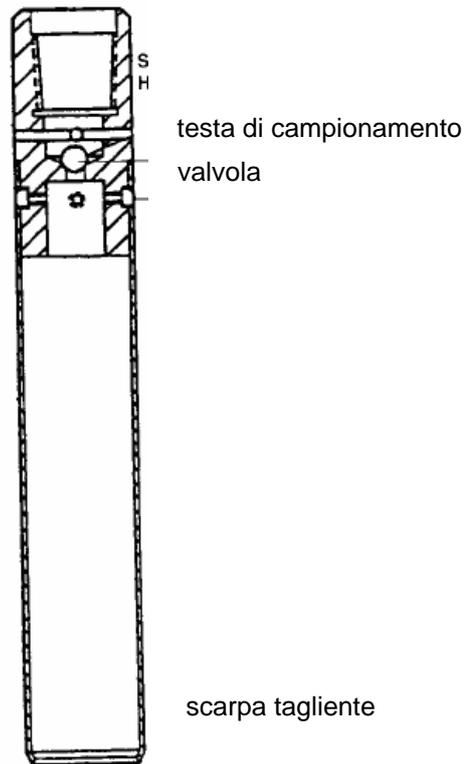


Figura 2.4.: Campionatore a pareti sottili

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

Profondità massima	Fino a 8 m. Per profondità superiori è necessario un perforo d'accesso approntato in precedenza.	
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente.	
Volume di residui prodotti	Piccolo	
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo	
Certificazione/ verifica	Nessuno	
Costo unitario relativo	Medio	
Limitazioni	Si possono registrare difficoltà nel penetrare in sedimenti compatti.	

Standard ASTM D1587 – 94
D4700 – 91
D6169

2.2.4 Campionatore a pareti sottili con pistone

Uso Viene utilizzato per il campionamento di terreni in cui non è possibile l'utilizzo di un campionatore a pareti sottili convenzionale.

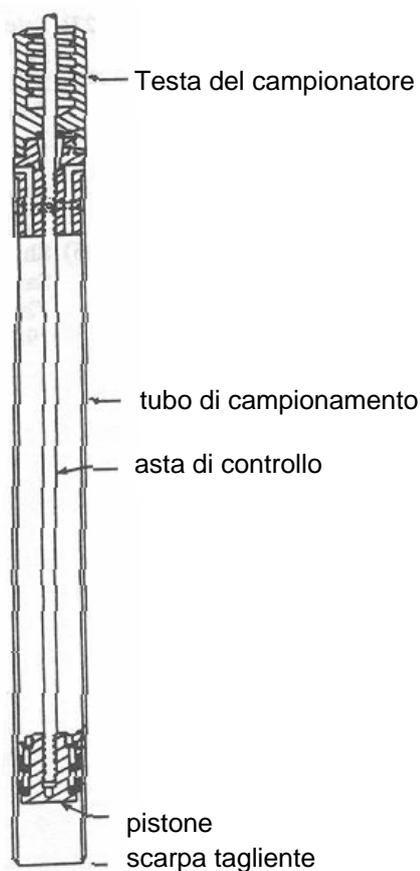


Figura 2.5.: Campionatore a pareti sottili con pistone

Descrizione I campionatori a pistone sono simili a quelli a pareti sottili ad eccezione del fatto che sono dotati di un pistone interno che permette di prelevare campioni sottovuoto.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi

VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici terreno: MINIMO

Profondità massima	Fino a 8 m. Per profondità superiori è necessario un perforo d'accesso approntato in precedenza.
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente.
Volume di residui prodotti	Piccolo.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Medio
Limitazioni	Rispetto al campionatore a pareti sottili tradizionali sono più delicati e meno disponibili sul mercato.
Standard ASTM	D2937 – 94 D4700 – 91 D6169

2.3 CAMPIONAMENTO DI TERRENI PER L'ANALISI DEI COMPONENTI ORGANICI VOLATILI

Il campionamento di terreni per l'analisi dei composti volatili necessita di alcune precauzioni, in quanto la loro perdita può alterare notevolmente i risultati analitici. La perdita di tali componenti (VOC) può avvenire in diverse fasi delle operazioni di campionamento, conservazione e trasporto dei terreni. Il confronto tra i risultati che si ottengono tramite prove in situ e le successive prove di laboratorio sui campioni prelevati suggerisce che la perdita dei volatili può essere ingente e non è attribuibile necessariamente ad una specifica fase del processo di campionamento e analisi. I principali meccanismi di perdita sono la volatilizzazione dei composti e la biodegradazione e agiscono in maniera più o meno intensa in funzione del composto. Questi processi hanno come risultato analisi che sono poco rappresentative delle condizioni esistenti nel sito di indagine e creano ambiguità nell'interpretazione del loro significato.

2.3.1 Fase di campionamento

2.3.1.1 Metodi generali

La procedura di campionamento deve essere completata nel minor tempo possibile, con la minor esposizione possibile del campione prima che venga posto in un contenitore sigillato.

Nei casi in cui si presume possa esserci una contaminazione incrociata della superficie del campione dal materiale adiacente è necessario provvedere già in sito ad un pre-taglio della porzione di interesse con suo conseguente isolamento dal resto del campione.

Se possibile, il campione dovrebbe essere sempre ispezionato visivamente prendendo nota delle sue caratteristiche fisiche e organolettiche (aspetto generale, colore, presenza di oli o altri segni visibili di contaminazione, distribuzione granulometrica ed eterogeneità).

2.3.1.2 Materiale granulare o non cementato

Il materiale granulare può essere campionato dalla superficie del terreno, dalle pareti di pozzetti di ispezione, da cumuli di rifiuti o di terreno o usando campionatori di vario tipo durante l'esecuzione si sondaggi geognostici.

Nei primi tre casi la superficie del campione dovrebbe sempre essere asportata per rimuovere contaminazioni provenienti da fonti esterne e/o per togliere lo strato superficiale che potrebbe già avere perso i componenti volatili. Questa rimozione può comodamente essere fatta con una spatola o con un coltello.

I campioni prelevati da campionatori a pressione o simili possono essere raccolti in anelli metallici inseriti all'interno del campionatore. Le superfici esposte possono essere usate per fare una rapida descrizione del campione prima di venire coperte e sigillate con materiale inerte. L'estrusione di un sottocampione per l'analisi viene fatta nel laboratorio di analisi e non permette descrizioni e prove sui livelli interni del campione da parte del personale in situ. Questo metodo non può essere utilizzato per l'analisi dei componenti volatili quando si ottengono basse percentuali di recupero (cioè quando il campionatore non viene completamente riempito dal materiale) a causa della potenziale perdita di volatili nello spazio di testa dell'anello di raccolta.

I campioni presi dalla superficie del terreno, da pozzetti, da cumuli o derivanti dalla rimozione dai campionatori, devono essere subcampionati tramite piccoli campionatori metallici a rotazione o pressione. La rimozione del sottocampione da spedire in laboratorio viene fatto usando un cilindro metallico pulito, aperto alle basi, che viene inserito nel materiale. Questo metodo permette al personale in situ di ispezionare il materiale restante, effettuandone la descrizione delle proprietà fisiche ed organolettiche, oltre ad eventuali prove. Il campionatore deve essere dotato di apposita scarpa tagliente che faciliti la sua immissione nel materiale. Il diametro ottimale del cilindro dipende essenzialmente da: dimensione del campione originale, diametro delle particelle componenti il campione e volume di sottocampione richiesto per le analisi. Per tale motivo un certo numero di cilindri

campionatori deve essere disponibile in situ in modo da selezionare quello ottimale in funzione delle caratteristiche del campione raccolto.

Il cilindro campionatore che contiene il sottocampione può essere rimosso tramite un piccolo scavo o ripulendo la parte in eccesso con una spatola. Il materiale solido attorno al cilindro viene usato per: 1) descrivere il campione; 2) valutare se il sottocampione prelevato sia rappresentativo dell'orizzonte di interesse; 3) effettuare prove aggiuntive (analisi granulometrica, analisi di campo dei volatili totali, gascromatografia di campo).

Se il sottocampione non viene immediatamente estruso dal cilindro, deve essere sigillato con materiale inerte e mantenuto al fresco.

Il sottocampione va estruso direttamente nel contenitore finale del campione. Se deve essere messo in un vial da 40 ml, è preferibile che la lunghezza del sottocampione sia maggiore di quella del vial in modo che questo venga riempito in una sola operazione. L'estrusione dovrebbe essere effettuata rapidamente e appena dopo l'operazione di campionamento in modo da ridurre la volatilizzazione e la ridistribuzione dei volatili.

2.3.1.3 Materiale cementato

I campioni di materiale cementato possono essere troppo consistenti per essere perforati con i campionatori in metallo. In questo caso dei sottocampioni di materiale possono essere prelevati dal campione iniziale di dimensioni maggiori, mediante la sagomazione del materiale con attrezzi puliti fino ad ottenere le dimensioni richieste dal contenitore che verrà utilizzato per il trasporto e l'analisi. Sebbene si debba tenere in considerazione che questa operazione comporta una certa perdita di volatili, tale perdita dovrebbe essere minore rispetto ai materiali non cementati a causa della maggiore capacità di trattenere tali composti che hanno i materiali cementati. Le operazioni di raccolta, sagomazione e posa negli opportuni contenitori del sottocampione dovrebbe essere effettuata nel minore tempo possibile.

2.3.2 Fase di conservazione per il trasporto al laboratorio

2.3.2.1 Regole generali

Nel caso non si effettui il subcampionamento in situ il campione viene conservato nell'anello di metallo con cui è stato campionato, opportunamente sigillato come visto nel paragrafo 2.3.1. Il campione viene così trasportato al laboratorio dove viene estruso il sottocampione per l'analisi.

In caso di subcampionamento del materiale in situ, si deve prevedere per la conservazione ed il trasporto l'utilizzo di contenitori in vetro sigillati con inerte posti in ambiente refrigerato. Di seguito si descrivono due metodi con differenti applicazioni, vantaggi e svantaggi.

2.3.2.2 *Contenitore con metanolo*

Può essere usato in una grande varietà di casi ma è particolarmente utile nelle situazioni in cui 1) si desiderano campioni di grandi dimensioni per ottenere una rappresentazione composita della concentrazione e della composizione dei volatili, 2) possono essere tollerati limiti di rilevabilità elevati, 3) esistono problemi di biodegradazione.

I contenitori sono bottiglie di vetro con tappi in materiale inerte, all'interno delle quali vengono posti 100 ml di metanolo. Il materiale da analizzare viene posto nella bottiglia in una quantità che corrisponde approssimativamente a 100 gr. La quantità effettiva viene poi calcolata in laboratorio al momento dell'analisi.

I composti volatili sono maggiormente solubili nel metanolo rispetto all'acqua e questo porta ad una maggiore efficienza nell'estrazione di questi composti dal campione solido. Il metanolo riduce inoltre le eventuali perdite per biodegradazione e la volatilizzazione durante le ripetute operazioni di apertura e chiusura della bottiglia e ciò permette quindi anche di effettuare analisi ripetute sullo stesso campione.

I principali svantaggi sono dati da: 1) la necessità di avere una cooperazione da parte del laboratorio di analisi per la preparazione delle bottiglie precedentemente al campionamento, 2) possibili restrizioni nel trasporto nel caso il metanolo sia in quantità tali da classificare il materiale trasportato come infiammabile, 3) la riduzione di sensibilità del gas cromatografo/rilevatore di Hall.

2.3.2.3 *Contenitore a secco*

Questo metodo comporta che il subcampione venga messo in un contenitore in vetro di 40 ml (o comunque compatibile con la strumentazione analitica prevista per l'utilizzo) per il trasporto in laboratorio. Il contenitore viene modificato tramite l'aggiunta di un tappo che permette la connessione diretta con lo strumento di aspirazione e cattura dei gas in laboratorio, in modo che il subcampione non debba essere rimosso dal contenitore per l'analisi. Il peso del materiale viene determinato in laboratorio.

I principali svantaggi del metodo sono rappresentati da: 1) necessità di avere contenitori specifici, 2) impossibilità di effettuare analisi ripetute sullo stesso campione, 3) piccole dimensioni del campione che potrebbero ridurre la rappresentatività.

2.4 CAMPIONAMENTO DI TERRENI PER L'ANALISI GRANULOMETRICA

Il campionamento di terreno per l'analisi granulometrica deve essere effettuato su campioni raccolti appositamente allo scopo ed in quantità adeguata. Affinché l'analisi granulometrica dia risultati attendibili è necessario infatti che sia effettuata su una idonea quantità di materiale ed in laboratori attrezzati per questo tipo di analisi. La quantità di terreno deve essere valutata in funzione del tipo di terreno da analizzare. Pertanto prima di procedere al prelievo del campione è necessario eseguire una descrizione qualitativa del tipo di terreno. Non è necessario che il campione sia indisturbato in quanto la

distribuzione granulometrica non dipende dalla struttura e dalle condizioni in situ del terreno. In genere per la determinazione della quantità di terreno da prelevare, si utilizzano i valori indicativi riportati in Tabella 2.1.

Tabella 2.1 – Determinazione della quantità di terreno da prelevare per l’analisi granulometrica

Tipo di terreno	Quantità di campione per analisi granulometrica (kg)
Argille, limi, sabbie	1
Ghiaia fine e media	5
Ghiaia grossa	30

Il terreno viene classificato sulla base delle sue caratteristiche granulometriche, seguendo i sistemi di classificazione ufficiali proposti da ASTM (American Society for Testing and Materials), cioè l’USCS (Unified Soil Classification System) e da AGI (Associazione Geotecnica Italiana). In Figura 2.6 vengono confrontati i diversi sistemi di classificazione.

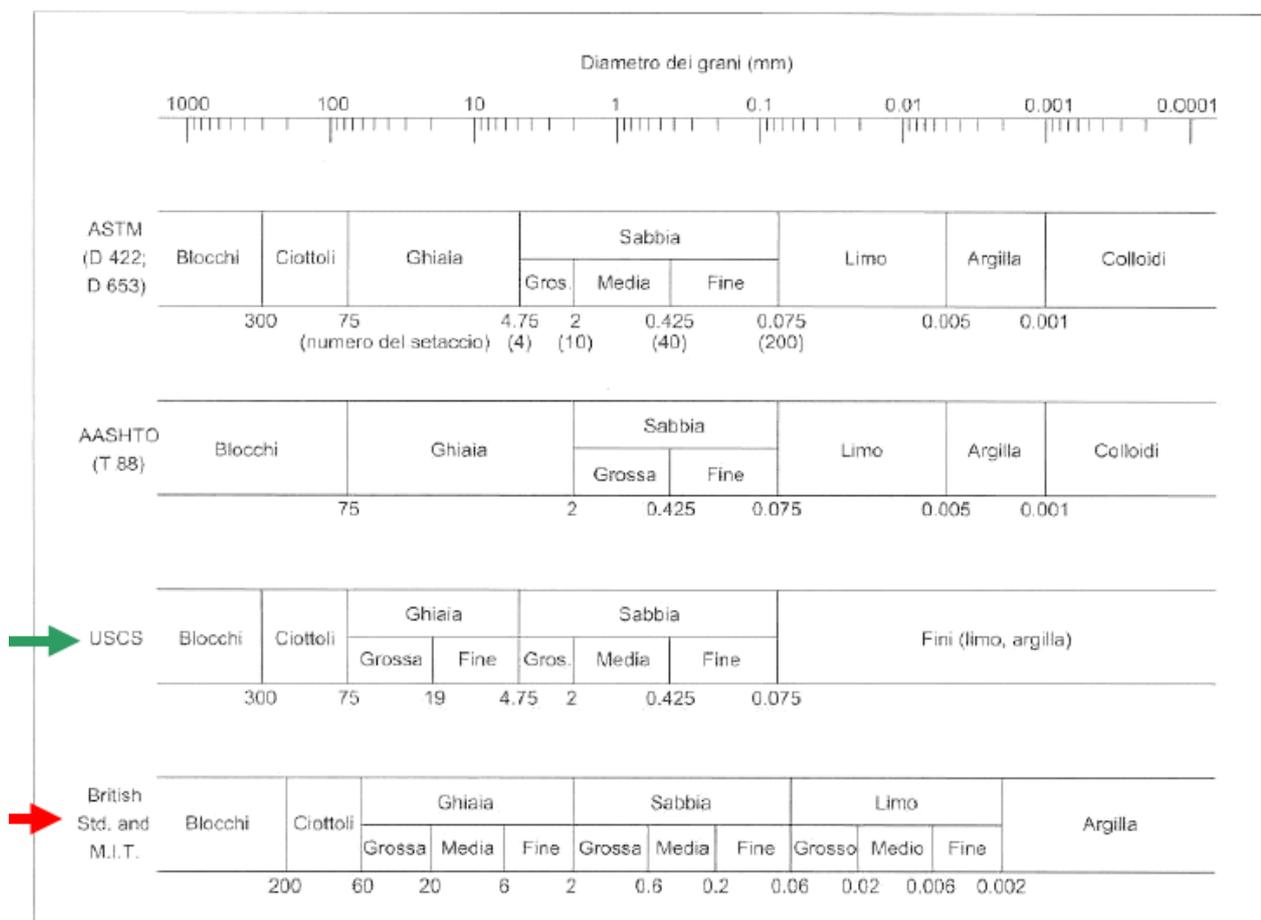


Figura 2.6 – Confronto tra i diversi sistemi di classificazione granulometrica. La freccia lunga indica il sistema ASTM, quella corta il sistema AGI.

L'analisi granulometrica viene effettuata per setacciatura, con un sistema di setacci a cascata a diversa apertura. Viene determinata la percentuale in peso di ciascuna frazione granulometrica ed infine i valori ottenuti vengono plottati in grafici semilogaritmici chiamati "curve granulometriche", o curve delle frequenze cumulate. In Figura 2.7 sono riportati alcuni esempi di curve granulometriche di diversi tipi di terreno: con i triangoli è riportata la curva tipica di un deposito glaciale, mentre le altre tre curve rappresentano, da sinistra verso destra, rispettivamente un terreno ghiaioso, uno sabbioso ed uno limoso.

A.S.T.M	BLOCCHI	CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO		ARGILLA
A.G.I.	BLOCCHI	CIOTTOLI	GHIAIA			SABBIA			LIMO		ARGILLA
			grossa	media	fine	grossa	media	fine	grossa	media	fine

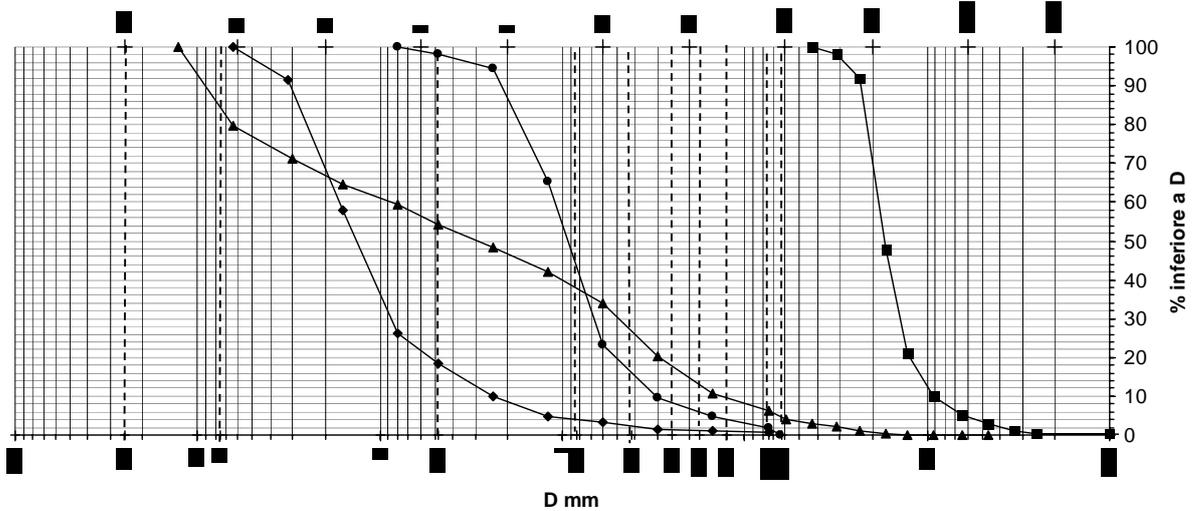


Figura 2.7 – Esempi di curve granulometriche.

3 SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DEI GAS INTERSTIZIALI

Il campionamento dei gas interstiziali può essere utilizzato come *“tecnica indiretta di indagine”* ... *“al fine di determinare una migliore ubicazione dei punti di indagine diretta ed ottenere una maggiore copertura areale delle informazioni”* (D. L.vo 3 aprile 2006 n. 152, Allegato 2 al Titolo V), oltre che come mezzo di monitoraggio della biodegradazione in caso si faccia ricorso a metodi di bonifica che utilizzino tecniche biologiche di degradazione dei contaminanti. Prima di trattare in dettaglio i sistemi di campionamento dei gas interstiziali sono necessarie alcune premesse relative ad alcune loro caratteristiche.

La composizione chimica dei gas interstiziali può variare notevolmente rispetto a quella dei gas atmosferici, in funzione di diverse reazioni minerali e chimiche che avvengono nel sottosuolo. Le concentrazioni sono influenzate dalla dissoluzione, dall'adsorbimento e dalla partizione in fasi. Quest'ultima si riferisce al rapporto tra la concentrazione di un composto che si ha in forma di vapore saturo al di sopra di una soluzione e la concentrazione in soluzione. I contaminanti possono anche essere adsorbiti dai componenti inorganici o dissolti nei componenti organici. Questi fattori possono abbassare il coefficiente di partizione.

I composti ed elementi principali che interessano particolarmente i siti contaminati sono: i gas indicatori della respirazione microbica (O_2 e CO_2) e gli idrocarburi in fase vapore. La concentrazione di questi gas, se confrontata con quella dei gas atmosferici o dei gas in aree non contaminate, fornisce indicazioni sia sul grado ed estensione della contaminazione, sia sull'eventuale biodegradazione naturale in atto.

Di seguito verranno fornite alcune indicazioni relative alla presenza di tali gas nel sottosuolo.

3.1 OSSIGENO ED ANIDRIDE CARBONICA

Generalmente la concentrazione di O_2 interstiziale in aree non contaminate è molto simile a quella dell'Ossigeno nell'ambiente e la concentrazione di CO_2 è molto bassa (< 0.5%).

In un area contaminata da Idrocarburi, se nel terreno sono presenti popolazioni microbiche, le concentrazioni di Ossigeno sono generalmente basse (inferiori al 5%), mentre le concentrazioni di Anidride carbonica sono alte (maggiori del 10%).

Le concentrazioni di Ossigeno sono generalmente più basse in prossimità dell'area contaminata, rispetto a quelle nei terreni puliti adiacenti, in quanto la biodegradazione consuma Ossigeno. Con la crescita della popolazione di microrganismi degradatori si impoverisce la scorta di Ossigeno nel terreno e si crea un volume di terreno contaminato povero di Ossigeno. In terreni ben areati l'avvezione di Ossigeno è sufficiente a coprire le necessità biologiche, quindi le concentrazioni di contaminanti subiscono un'attenuazione naturale.

L'anidride carbonica è un sottoprodotto della biodegradazione aerobica completa degli idrocarburi e può essere prodotta o tamponata dal ciclo del carbonio nel terreno. Le concentrazioni di CO₂ nei terreni contaminati sono generalmente più elevate che nei terreni puliti. Normalmente, alte concentrazioni di CO₂ corrispondono a basse concentrazioni di O₂, anche se non è sempre vero. Ad esempio i suoli alcalini hanno una forte azione tampone, pertanto in tali terreni la concentrazione di CO₂ non è un buon indicatore di attività microbica. Infatti in suoli alcalini e con pH superiori a 7.5 la CO₂ può contribuire alla formazione di carbonati invece di restare in fase gassosa. In suoli acidi invece la produzione di anidride carbonica è direttamente proporzionale al consumo di Ossigeno.

In ogni caso i risultati di un'indagine sui gas interstiziali in un'area contaminata devono essere confrontati con quelli di un'area non contaminata con caratteristiche ambientali analoghe.

3.2 IDROCARBURI E ALTRI COMPOSTI ORGANICI IN FASE VAPORE

Gli idrocarburi presenti nei gas interstiziali possono fornire indicazioni sull'estensione ed entità della contaminazione. Alcuni carburanti come la benzina, che contiene una frazione significativa di C6 e di composti più leggeri, vengono facilmente individuati tramite le tecniche di soil gas survey; carburanti più pesanti contengono meno volatili e quindi sono più difficili da individuare con queste tecniche. Il metano costituisce spesso un sottoprodotto della degradazione aerobica e, come l'impoverimento in Ossigeno, viene quindi utilizzato per localizzare i terreni contaminati in un sito.

Anche per altri composti organici volatili e semivolatili è possibile adottare il soil gas survey.

In Tabella 3.1 sono riportate le caratteristiche principali dei contaminanti in funzione delle indagini sui gas interstiziali.

3.3 RACCOLTA ED ANALISI DEI CAMPIONI DI GAS

Vengono di seguito descritte le procedure e gli strumenti per effettuare indagini sui gas interstiziali, per monitorare i gas interstiziali nei sistemi di bonifica in situ e per installare punti di monitoraggio dei gas. Le procedure e la strumentazione qui descritte sono solo indicative, in quanto si deve tener conto dell'alta variabilità delle condizioni locali e del tipo di applicazioni sito-specifiche.

In caso di campionamento finalizzato alla realizzazione di sistemi di bonifica in situ (SVE, bioventing, ecc.), le indagini sui gas interstiziali dovrebbero essere condotte prima di ubicare i pozzi per i test pilota ed i punti di monitoraggio.

I punti di indagine dei gas dovrebbero essere disposti secondo una griglia centrata nell'area che si suppone contaminata. Le sonde vengono quindi posizionate ai nodi della

griglia, mentre l'indagine dovrebbe iniziare dal centro della zona contaminata spostandosi progressivamente verso l'esterno, fino al raggiungimento della zona non contaminata. È possibile effettuare più misure per ogni punto, a diverse profondità, per determinare la distribuzione verticale dei contaminanti e la disponibilità di Ossigeno.

Tabella 3.1 – Caratteristiche dei contaminanti in funzione del soil gas survey (SGS) (adattato da Marrin, 1987)

Gruppo di contaminanti	Composti	Applicabilità del SGS
Gruppo A: metani alogenati, etani ed eteni	Cloroformio, cloruro di vinile, tetracloruro di carbonio	Rilevabili nei gas interstiziali in diverse condizioni ambientali. I DNAPL vanno a fondo nell'acquifero.
Gruppo B: propani alogenati, propeni e benzeni	Clorobenzene, triclorobenzene, 1,2-dicloropropano	Limitata; rilevabili solo con sonde che possono campionare vicino al suolo o all'acqua contaminata. DNAPL.
Gruppo C: policiclici aromatici alogenati	Aldrin, DDT, PBC	Non partizionano in fase gassosa abbastanza da essere rilevati nei gas interstiziali in circostanze normali. DNAPL.
Gruppo D: idrocarburi C1 ÷ C8	BTEX, metano, cicloesano, benzine, JP-4	Sono più facilmente rilevabili negli acquiferi poco profondi o vicino a serbatoi dove possono essere spinte sonde vicino alla sorgente di contaminazione. Gli LNAPL galleggiano sulla falda; possono fungere da solventi per i DNAPL mantenendoli più vicini alla superficie. Soprattutto LNAPL.
Gruppo E: idrocarburi C9 ÷ C12	DNAPL, Trimetilbenzene, naftaline, decano, benzine avio	Limitata; rilevabili solo con sonde che possono campionare vicino al suolo o all'acqua contaminata. DNAPL.
Gruppo F: idrocarburi policiclici aromatici	Antracene, benzopirene, fluorantene, crisene, oli motore, DNAPL	Non partizionano in fase gassosa abbastanza da essere rilevati nei gas interstiziali in circostanze normali. DNAPL.
Gruppo G: composti ossigenati a basso peso molecolare	Acetone, etanolo, formaldeide, metiletilchetone	LNAPL, ma si dissolvono rapidamente in acqua. Possono essere rilevati nei gas interstiziali se la contaminazione è in terreni asciutti.

Per la determinazione del numero di campioni da prelevare in profondità per ogni punto di indagine si può fare riferimento alla Tabella 3.2. Inoltre la raccolta di più campioni lungo la verticale di indagine può essere necessaria anche in presenza di terreni stratificati, per verificare lo stato di contaminazione di ciascun livello.

Tabella 3.2 – Numero di campioni da prelevare a diverse profondità in funzione dell'estensione verticale del non saturo

Spessore del non saturo	Numero di campioni / m
< 5 m	1
5 ÷ 10 m	0.5
> 10 m	0.5 nei primi 10 m + 2 campioni di cui uno a metà dell'orizzonte tra 10 m e la superficie di falda e uno appena sopra la superficie di falda

Tabella 3.3 – Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di sistemi attivi e passivi di soil gas survey

Metodo	Vantaggi	Svantaggi
Attivo	I campioni sono analizzati on site e si può disporre di una mappatura in "tempo reale"	Non efficiente per individuare SVOC o composti poco volatili
	Si possono prelevare ed analizzare da 8 a 30 campioni/giorno	Esigenza di procedure di assicurazione di qualità/controllo qualità
	Si può individuare e delimitare la sorgente e il pennacchio di VOC	Non applicabile in terreni poco permeabili o saturi
	SVOC e prodotti pesanti possono essere individuati indirettamente misurandone i prodotti di biodegradazione	L'equipaggiamento analitico può non essere in grado di individuare tutti i costituenti presenti
Passivo	Possono essere individuati una gran parte di VOC, SVOC e composti poco volatili	I dati non possono essere utilizzati per stimare la massa dei contaminanti
	Maggiore possibilità di applicazione in terreni poco permeabili o con elevato contenuto idrico	Non si può identificare la distribuzione sulla verticale dei contaminanti
	Possono essere installati da 40 a 100 dispositivi/giorno	Il tempo per raccogliere ed analizzare un campione varia da 3 a 6 settimane
	Minimo disturbo alle caratteristiche del sottosuolo e alle operazioni in sito	Il desorbimento dei composti può distruggere alcuni componenti
	Facile da installare	Le misure sono dipendenti dal tempo e non sono comparabili con i metodi di laboratorio per le acque sotterranee ed i suoli

		La distribuzione e la geometria degli orizzonti poco permeabili possono causare erronee informazioni
--	--	--

Per quanto riguarda le metodologie di campionamento si possono utilizzare sistemi attivi e passivi, successivamente descritti, i cui vantaggi e svantaggi di applicazione sono riassunti in Tabella 3.3.

3.3.1 Metodi attivi

Un'indagine sui gas interstiziali può essere condotta utilizzando sonde di acciaio di piccolo diametro (da 5/8 a 1"). Una tipica sonda è composta da una punta forata avvitata su una serie di aste di prolungamento. In Figura 3.1 è illustrato un tipico impianto per la misura dei gas interstiziali.

L'installazione temporanea delle sonde viene effettuata tramite martello elettrico (profondità massima raggiunta: 3 ÷ 4.5 m) o una testa idraulica (profondità oltre i 9 m). Se tali metodi non sono sufficienti si può utilizzare una sonda tipo GeoProbe®, che consente anche la raccolta di campioni di terreno. In siti con contaminazioni più profonde, dove la tessitura del terreno non consente l'uso di martelli o di teste idrauliche, o dove è richiesto un sistema di monitoraggio permanente, i punti di monitoraggio possono essere installati tramite perforazione con sonde.

Le concentrazioni di CO₂ ed O₂ possono essere analizzate tramite rilevatori portatili a batteria, con un intervallo di rilevabilità da 0 a 25% per entrambi i gas. Il rilevatore deve essere calibrato ogni giorno con i gas atmosferici (20.9% di Ossigeno e 0.05% di anidride carbonica) e con uno standard contenente lo 0.0% di Ossigeno, il 5% di anidride carbonica ed il 95% di azoto.

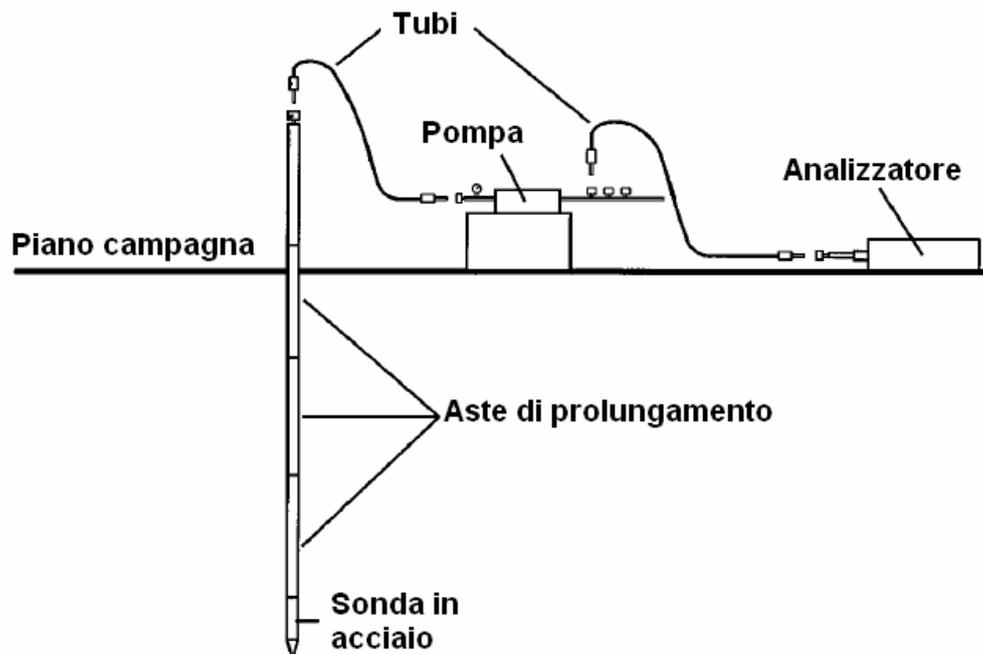


Figura 3.1.: Schema di sistema di misura dei gas interstiziali

Esistono molti strumenti utilizzabili per le misure sul terreno. Il requisito fondamentale dello strumento scelto è che deve poter misurare concentrazioni di idrocarburi comprese tra 1 e 10000 ppm_v e deve essere in grado di distinguere tra idrocarburi del metano e non. I FID (Flame Ionization Detector) sono uno dei metodi migliori per la misura degli idrocarburi sul terreno. I PID (Photoionization Detector), essendo in grado di rilevare solo concentrazioni abbastanza basse, sono meno idonei a causa delle alte concentrazioni di idrocarburi volatili presenti in molti siti (cfr. Appendice 1 di “Linee guida per il controllo ed il monitoraggio di interventi di bonifica in situ”).

Qualsiasi strumento si decida di utilizzare, è comunque sempre necessario calibrarlo con un gas di esano per essere sicuri dell’esattezza delle misure. L’analizzatore scelto deve anche avere la possibilità di escludere il contributo del metano alla lettura della concentrazione di idrocarburi. Infatti il metano è un gas molto comune nel terreno, in presenza di materia organica, pertanto la sua presenza può causare una sovrastima delle concentrazioni di idrocarburi. Il contenuto naturale di metano può essere stimato posizionando una trappola al carbonio davanti al rilevatore di idrocarburi. Il carbonio intrappola gli idrocarburi più pesanti, mentre il metano e gli altri idrocarburi passano nel rilevatore.

Per lo spurgo dei pozzetti di monitoraggio e dei pozzi e per la raccolta di campioni, si utilizzano delle pompe a motore. Queste devono avere una portata di circa 28 l/min di aria con un vuoto massimo di 6.7×10^4 Pa. Devono avere dei filtri per eliminare le particelle dal flusso di aria e non devono avere parti lubrificate a olio. In terreni a bassa permeabilità si possono utilizzare pompe a basso flusso anche a batteria per ridurre i rischi di corto circuiti. Degli indicatori vengono utilizzati per tenere sotto controllo il vuoto durante lo spurgo e come indicatori della permeabilità relativa del terreno. Valori tipici di vuoto sono da 0 a 1.2×10^4 Pa (terreni sabbiosi) e da 0 a 6.2×10^4 Pa (terreni argillosi). Il valore di pressione misurato durante il pompaggio è inversamente proporzionale alla permeabilità

del terreno. Lo spurgo viene protratto fino alla stabilizzazione dei valori di Ossigeno e anidride carbonica.

In caso si misurino valori di vuoto inferiori a 2.5×10^3 Pa si devono utilizzare metodi di campionamento per terreni ad alta permeabilità. Il campionamento e l'analisi dei gas richiedono la stessa strumentazione dello spurgo, a parte l'indicatore di vuoto. La valvola di campionamento viene aperta e successivamente i gas estratti vengono analizzati per concentrazioni stabili di O_2/CO_2 e idrocarburi.

Per il campionamento in terreni a bassa permeabilità si utilizza una procedura diversa. Infatti l'alto vuoto necessario al campionamento incrementa il rischio di corto circuiti nel sistema, con l'introduzione di aria pulita e la diluizione dei gas interstiziali. Per questi terreni, dopo lo spurgo del pozzetto di campionamento, prima dell'analisi si raccoglie un campione di gas in una borsa Tedlar. Il sistema è illustrato in Figura 3.2. La borsa viene posizionata in una camera a tenuta d'aria, collegata al punto di campionamento tramite un tubicino. La camera viene chiusa e sigillata ed in seguito collegata alla pompa. Per raccogliere il campione si apre la valvola di campionamento, si accende la pompa e, per il vuoto creato, la borsa Tedlar si riempie di gas. Quando la borsa è quasi piena si chiude la valvola di campionamento e si spegne la pompa. Successivamente si apre la camera e si preleva la borsa Tedlar. Il campione viene poi analizzato collegando il rilevatore direttamente alla borsa Tedlar.

I principali problemi che si possono incontrare durante il campionamento dei gas sono i seguenti:

- difficoltà nell'estrazione dei gas dai punti di campionamento: questo problema si riscontra particolarmente nei terreni a bassa permeabilità e può essere risolto diminuendo il tasso di estrazione del gas. In alcuni casi può essere dovuto ad un intasamento dei filtri del pozzetto di monitoraggio da parte di particolato e di residui di idrocarburi pesanti; in questo caso i filtri vanno puliti o sostituiti.
- ingresso di acqua durante il campionamento: può essere dovuto al posizionamento del punto di monitoraggio nella zona satura o, nel caso di punti di monitoraggio permanenti, alla saturazione dei filtri con acqua durante la costruzione. Nel primo caso è sufficiente spostare la sonda a profondità minori; nel secondo caso è necessario rimandare il campionamento finché la superficie di falda non sia tornata a livelli più bassi per variazioni naturali o per interventi di pompaggio. È inoltre possibile che l'acqua entri nel sistema di campionamento se la pressione applicata dalla pompa supera la pressione capillare. In questo caso si dovrà posizionare prima del campionatore un separatore per poter comunque campionare il gas.
- concentrazioni elevate di Ossigeno in aree contaminate: può essere dovuto a perdite nel sistema di campionamento o di spurgo. Questo problema è più frequente in terreni a bassa permeabilità, dove è necessario applicare pressioni maggiori. È necessario ispezionare tutte le giunture per verificare che non vi siano perdite.

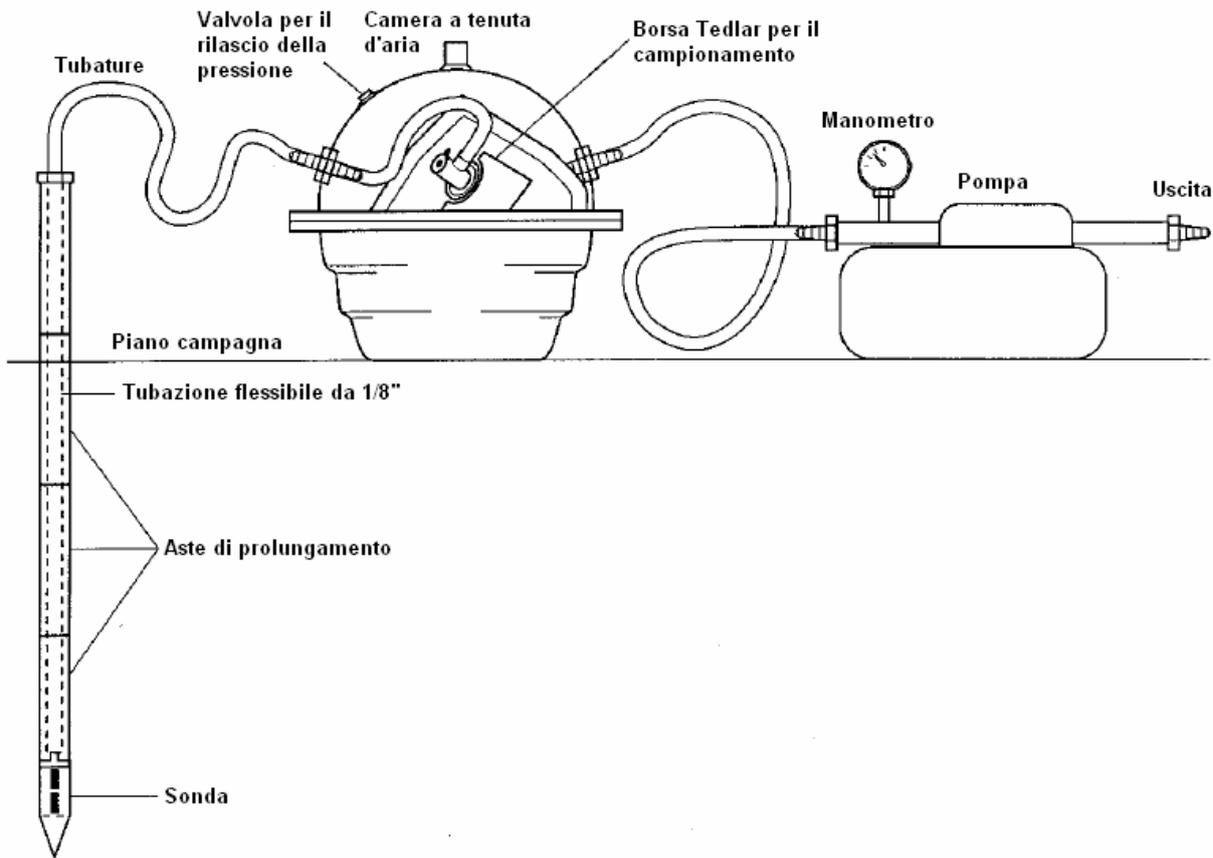


Figura 3.2: Schema di un sistema di campionamento per la raccolta di gas in terreni a bassa permeabilità

Uso

Determinazione dei composti volatili nel mezzo non saturo.

Descrizione

Le sonde per il campionamento del gas interstiziale, manuali o motorizzate, sono dei mezzi non distruttivi per ottenere campioni da un flusso continuo di gas oppure possono essere installati permanentemente in perforazioni. Viene perforato un pozzo di diametro pari da 1 a 4" e con profondità fino a 1.5 m utilizzando una sistema di infissione. Nel perforo viene inserita una sonda in acciaio inossidabile di diametro compatibile e il pozzo viene sigillato nello spazio tra le pareti del perforo e la sonda.

Il gas interstiziale viene aspirato nella sonda utilizzando un sistema di pompaggio; il campione può così essere immagazzinato per essere analizzato in laboratorio o direttamente in sito. Nel caso il campionamento manuale risulti difficoltoso si possono utilizzare sonde motorizzate. Le sonde per il gas interstiziale possono essere infisse fino alla profondità desiderata utilizzando un sistema di perforazione motorizzato, che risulta indispensabile qualora si debbano perforare pavimentazioni, suoli gelati, terreni sovraconsolidati, etc.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati

VOCs alogenati

Impatto sulla matrice gas interstiziale: MINIMO

Devono essere adottate delle cautele per essere sicuri della profondità di campionamento a causa di fattori specifici del sito, come le condizioni di umidità, porosità, soggiacenza della falda, e di fattori specifici degli analiti, come volatilità, solubilità e degradabilità. L'azione di pompaggio può influenzare la significatività del campionamento dei VOCs.

Profondità massima	Fino a 30 m; dipende dalla densità del terreno e dal metodo di perforazione.
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Limitato
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Impossibilità di campionare sostanze non volatili. Difficoltà di utilizzo in suoli umidi. Problemi di intasamento della sonda (per determinare se la sonda è intasata si può utilizzare un vacuometro oppure verificare il rumore di funzionamento della sonda; per l'eventuale pulizia si può utilizzare un filo metallico).
Standard ASTM	D5314 – 92

3.3.2 Metodi passivi

I metodi passivi prevedono di lasciare in sito un campionatore che adsorbe i composti volatili presenti nel mezzo insaturo.

Si tratta di metodi di misura meno diffusi rispetto a quelli attivi, ma che possono rivestire un interesse in particolari condizioni geologiche (ridotta permeabilità) e a conclusione degli interventi.

Viene messo in posto un apposito materiale (carbone attivo) all'interno di un campionatore fino a quando i composti organici presenti nel non saturo sono adsorbiti selettivamente.

Il campionatore con il materiale adsorbente viene prelevato dopo qualche giorno o meglio settimana di permanenza in situ e i composti sono analizzati in laboratorio.

I due tipi di campionatori più utilizzati in Italia sono rappresentati dal sistema PETREX® (Figura 3.3) e dal sistema GORE-SORBER® (Figura 3.4).

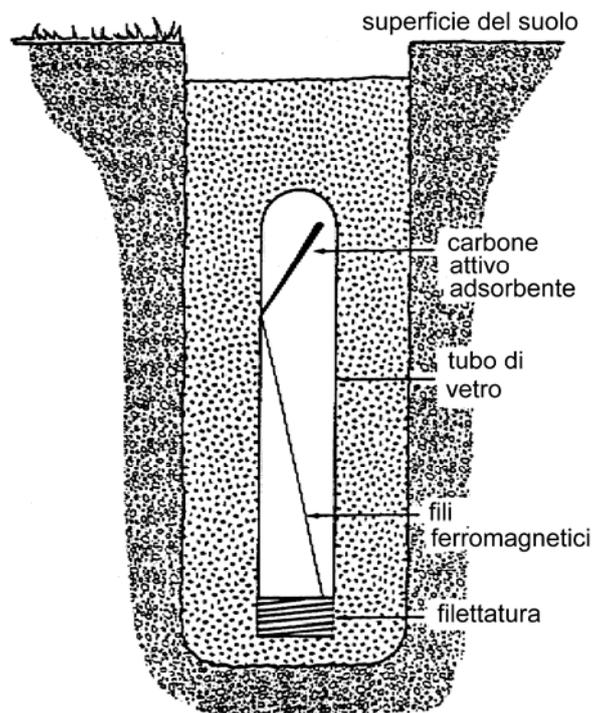


Figura 3.3: Metodo passivo di campionamento dei gas interstiziali: sistema Petrex®

La sonda PETREX® (NERI), che ha dimensioni di una decina di cm di lunghezza e diametro di circa 2 cm, viene posta all'interno di uno scavo o perforazione ed è costituita da una fiala di vetro all'interno della quale è posto un filamento metallico rivestito di carbone attivo sul quale vengono adsorbiti i composti volatili presenti nel sottosuolo.

La sonda GORE-SORBER®, (W.L.Gore & Associates, Inc.) è costituita da granuli di carbone attivo, che adsorbono i composti volatili, racchiusi all'interno di una membrana in ePTFE di GORE-TEX®; la sonda, che ha una lunghezza superiore al metro, può essere posta nel sottosuolo, mediante una apposita attrezzatura di diametro inferiore ai 2 cm, ma a profondità limitata a qualche metro.

Uso Determinazione dei composti volatili nel mezzo non saturo.

Descrizione Il campionamento dei gas interstiziali (composti volatili come il metano, l'anidride carbonica, che sono indicatori dell'aumento dell'attività microbica a causa della presenza di inquinanti organici) è generalmente utilizzato come un metodo per la mappatura preliminare della contaminazione nelle acque sotterranee e per il monitoraggio di serbatoi sotterranei.

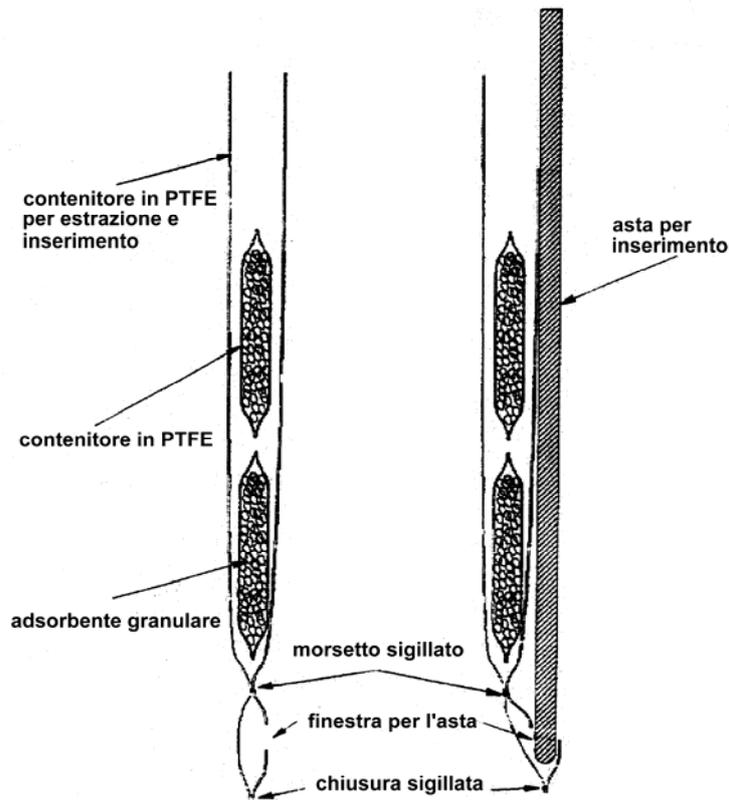


Figura 3.4: Metodo passivo di campionamento dei gas interstiziali: sistema Gore Sorber®

Il campionamento passivo può essere effettuato in due modalità:

- 1) campionatori adsorbenti (generalmente dotati di cartuccia a carbone attivo): vengono posizionati e lasciati nel sottosuolo per un periodo dell'ordine di qualche giorno fino a settimana. Passato questo periodo il campionatore viene recuperato e portato in laboratorio attrezzato per le analisi dei composti volatili.
- 2) i campioni sono raccolti in appositi contenitori posti a bassa profondità e analizzati in situ utilizzando strumenti portatili.

La compattazione del suolo o la quantità di vuoti nella matrice condiziona il tasso di ricarica di gas interstiziale nei pozzi di monitoraggio. La presenza di una falda poco profonda, di falde sospese o di orizzonti e lenti di materiale poco permeabile influenzano il campionamento dei gas interstiziali. E' quindi richiesta la conoscenza della struttura geologica del sito in esame.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati

VOCs alogenati

Impatto sulla matrice gas interstiziale: MINIMO

Profondità massima

Fino a 8 m.

Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Limitato.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	<p>Periodi limitati di esposizione al gas interstiziale possono produrre valori sottostimati.</p> <p>Periodi troppo prolungati di esposizione al gas interstiziale possono mascherare differenze di concentrazione tra due o più punti di campionamento.</p> <p>E' difficile ricostruire un gradiente di concentrazione verticale delle concentrazioni del gas.</p> <p>Impossibilità di rilevare sostanze che non hanno una fase di vapore, come ad esempio i metalli pesanti.</p> <p>Ridotta possibilità di definire la presenza di composti fortemente adsorbiti quali PBD e pesticidi.</p>
Standard ASTM	D5314-92

3.3.3 Campionatori per aria

Uso	Determinazione dei composti volatili nell'aria.
Descrizione	Uno strumento di controllo è utilizzato per mantenere un flusso costante d'aria verso un contenitore con filtro per tutta la durata del campionamento. Strumenti più sofisticati utilizzano sensori per identificare il momento in cui la direzione del vento proviene dall'area sospetta di contaminazione.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati VOCs alogenati

Impatto sulla matrice aria: MINIMO

Profondità massima	Non applicabile
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi
Volume di residui prodotti	Limitato

Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Non applicabile
Limitazioni	L'umidità e la condensazione possono influenzare la pressione dell'aria all'interno del contenitore.
standard ASTM	D1356 – 95a D1357 – 95 D1704M – 95 D3686 - 95 D5466 – 93

4 SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE

4.1 CAMPIONATORI/SENSORI PORTATILI PER ACQUE SOTTERRANEE

4.1.1 Campionatori a infissione

Uso Monitoraggio delle acque sotterranee a bassa profondità.

Descrizione

Piezometri singoli Sono costituiti da una colonna di rivestimento con un unico tratto filtrante grazie al quale è possibile prelevare campioni (pozzo di monitoraggio).

Piezometro multifiltro Sono costituiti da una colonna di rivestimento con più tratti filtranti la cui separazione deve essere garantita da tratti cementati. È possibile prelevare campioni d'acqua da più acquiferi.

DMLS Consiste in colonna di rivestimento d'acciaio di diametro pari a 4.4 cm, al cui interno sono posizionati dei tubi campionatori innestati in corrispondenza di una sequenza di tratti filtranti (porte), posizionati ad intervalli di 25 – 38 cm. È installata trivellando fino alla sommità della profondità desiderata e infiggendola poi fino a raggiungere la profondità operativa. Durante questa operazione viene pompata acqua nei tubi campionatori per prevenire l'intasamento dei tratti filtranti. Una volta che il DMSL è installato il perforo trivellato viene richiuso fino in superficie.

Campionatore a sonda idraulica Una sonda viene spinta fino ad una profondità di circa 2 m al di sotto del livello della falda. I campioni vengono prelevati utilizzando una pompa peristaltica.

Sonda per la misura dello spessore della fase surnatante. Viene infissa nel terreno una fustella d'acciaio con un circuito sulla punta per rilevare il livello della falda; una volta che essa sia stata raggiunta, viene calato nella fustella un nastro con un indicatore chimico che reagendo con gli idrocarburi in fase surnatante permette di calcolarne lo spessore.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi

VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima	Fino a 30 m.
Produttività	I campioni sono disponibili in breve tempo.
Volume di residui prodotti	Il volume di materiale di risulta è modesto.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Molti tra questo tipo di campionatori operano a profondità limitata. Prelievo di quantità d'acqua modeste.
Standard ASTM	D 6001

4.1.2 Campionatori passivi multistrato

Uso Campionamento a diverse profondità dei composti volatili presenti nelle acque sotterranee.

Descrizione Il campionamento avviene passivamente attraverso la diffusione naturale delle acque sotterranee. Non si esige una operazione di spurgo.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	VOCs alogenati
--------------------	----------------

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima	Fino a 100 m.
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Minimo.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione/ verifica	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Si utilizza solo per VOC.

4.2 CAMPIONATORI PER STAZIONI FISSE

4.2.1 Campionatori a capsule multilivello

Uso Vengono utilizzati per installazioni permanenti in pozzi singoli per permettere il campionamento su più livelli di profondità.

Descrizione Prima del campionamento è richiesta un'operazione di spurgo per evitare di prelevare acqua stagnante. I campioni di acqua sono portati in superficie tramite tubazioni collegate ai campionatori.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima	Fino a 30 m.
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Medio.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuna
Costo unitario relativo	Medio
Limitazioni	Le installazioni fisse hanno lo svantaggio che i campionatori installati non possono essere riparati.

4.2.2 Colonne a filtri multipli (multiporta)

Uso Campionamento a differenti profondità.

Descrizione Il modello più semplice di colonna a filtri multipli è costituita da un tubo in PVC con una serie di tratti filtranti isolati da tappi in gomma. In alcuni casi per l'isolamento si possono utilizzare packers gonfiabili.

Per il prelievo dei campioni si possono utilizzare pompe aspiranti nel caso di profondità modeste, mentre per prelievi a profondità maggiori si utilizza una pompa a gas e pistone.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima Fino a 30 m.

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi.

Volume di residui prodotti Medio.

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione/ verifica Nessuna

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni L'installazione può essere difficoltosa.

Il numero di punti di campionamento è limitato dal diametro del perforo.

Le installazioni fisse hanno lo svantaggio che i campionatori non possono essere riparati.

4.2.3 Campionatori passivi multilivello

Uso Campionamento, a diversi intervalli di profondità, dei composti volatili presenti nelle acque sotterranee.

Descrizione Il campionamento avviene passivamente attraverso la diffusione naturale delle acque sotterranee.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati VOCs alogenati

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima Superiore a 30 m

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume di residui prodotti Minimo

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione/ verifica Nessuna

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni Si utilizza solo per i VOC.

4.3 METODI DI CAMPIONAMENTO DISTRUTTIVI

4.3.1 Carotaggio ed estrazione

Uso Questi metodi forniscono informazioni per la scelta della posizione del perforo e per l'installazione di pozzi di monitoraggio permanenti.

Descrizione Le carote sono generalmente raccolte da un campionatore (a parete sottile, scomponibile, ecc). Esistono diversi metodi per l'estrazione di campioni d'acqua dalle carote.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati IPA Composti inorganici

SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima	Superiore a 30 m.
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Medio.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	I campioni d'acqua estratti dalle carote sono di volume molto limitato.
Standard ASTM:	D2113
	D5079
	D6169

4.3.2 Installazioni temporanee

Uso Campionamento delle acque sotterranee.

Descrizione I campioni d'acqua possono essere raccolti durante la perforazione utilizzando una trivella da asta cava dotata di tratti filtranti. Diversi tipi di filtri possono essere utilizzati e i campioni possono essere raccolti utilizzando un campionatore portatile che viene calato nell'asta cava.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima	Superiore a 30 m.
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Medio.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Il campionamento rallenta le operazioni di perforazione.

4.4 POMPE PORTATILI

4.4.1 Pompa a membrana (Bladder pump)

Uso È la pompa più comune per la raccolta di campioni d'acqua da pozzi semplici. È molto adatta per il campionamento di elementi inorganici in traccia e VOC.

Descrizione È costituita da una camera d'aria flessibile interna all'apparecchio con valvole alle due estremità. Dalla superficie viene pompato gas tra la membrana e la parete del campionatore permettendo all'acqua di fluire nella membrana e di essere spinta fino ad un tubo di uscita.

La portata può essere controllata per permettere sia l'utilizzazione nelle fasi di sviluppo di un pozzo sia, a valori bassi, per il campionamento rivolto alla determinazione delle concentrazioni dei VOC.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

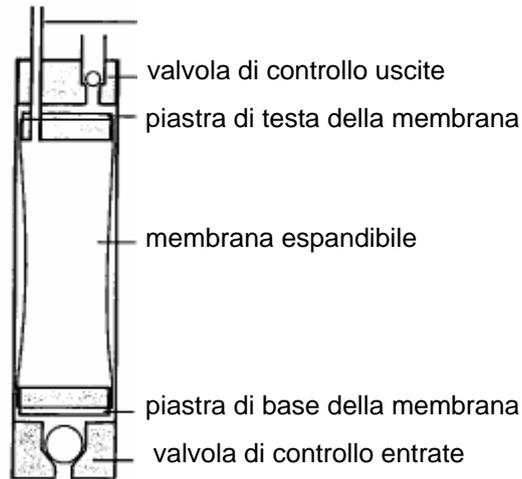


Figura 4.1: Pompa a membrana

Profondità massima	Oltre 30 m. Il diametro minimo è 1.5 pollici.
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è di circa 12 l/minuto.
Volume di residui prodotti	Medio
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione/ verifica	Nessuno
Costo unitario relativo	Medio
Limitazioni	Rispetto a campionatori a parete sottile tradizionali sono più delicati e meno disponibili sul mercato.
Standard ASTM:	D4448 – 85a D6232

4.4.2 Pompa a gas

Uso	Queste pompe permettono il campionamento a portata costante e a profondità definite; tuttavia sono più utilizzate nella fase di sviluppo di un pozzo (spurgo) piuttosto che per operazioni di campionamento.
Descrizione	Nella camera di campionamento, il gas applica una pressione positiva all'acqua forzandola verso l'alto attraverso un tubo. Queste pompe possono anche essere installate in modo permanente in perfori privi di

colonna di rivestimento; è possibile inoltre installare più pompe all'interno di un singolo pozzo.

Le pompe a gas forniscono campioni d'acqua con una portata controllata quasi costante. L'utilizzo di gas inerti minimizza l'ossidazione del campione ed eventuali altre reazioni chimiche prodotte dal contatto acqua – gas.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

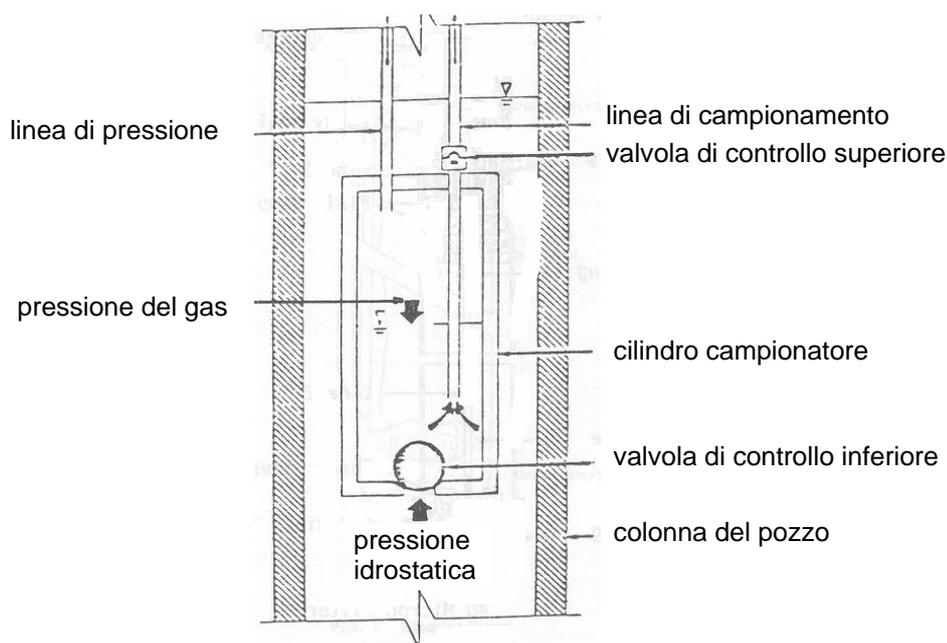


Figura 4.2: Pompa a gas

Profondità massima

Oltre 30 m. Per profondità superiori è necessario utilizzare un compressore o serbatoi di gas compresso di grandi dimensioni. Il diametro minimo del pozzo è pari a 1 pollice.

Produttività

I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è di circa 40 l/minuto.

Volume di residui prodotti

Medio

Stato tecnologia

Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione/ verifica Nessuno

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni Nelle installazioni permanenti risulta difficoltoso il recupero della pompa per la manutenzione oltre ad una certa difficoltà di installazione e di manovra.

Una pressione del gas eccessiva può produrre danneggiamenti del dispositivo.

Standard ASTM: D4448 – 85a

D6232

4.4.3 Pompa a gas e pistone

Uso Specifico per il campionamento delle acque sotterranee.

Descrizione La pompa consiste in uno o più pistoni mobili inseriti in un cilindro sommerso; quando la pressione del gas spinge il pistone alternativamente verso l'alto e il basso, valvole unidirezionali spingono l'acqua verso l'alto. La facilità di controllo delle portate variando la pressione del gas e valori di portata relativamente elevati anche per grandi profondità permettono il campionamento di grandi quantità d'acqua in tempi brevi. Le pompe a pistone garantiscono un campionamento continuo per tempi prolungati. Non c'è aerazione del campione.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati IPA Composti inorganici

SVOCs non alogenati Pesticidi/erbicidi Esplosivi

VOCs alogenati Metalli Idrocarburi totali

SVOCs alogenati Radionuclidi

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima Oltre 30 m. Per profondità superiori è necessario utilizzare un compressore o serbatoi di gas compresso di grandi dimensioni. Il diametro minimo del pozzo è pari a 1.5 pollici.

Produttività I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è di circa 6 l/minuto.

Volume di residui prodotti	Medio
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuno
Costo unitario relativo	Alto

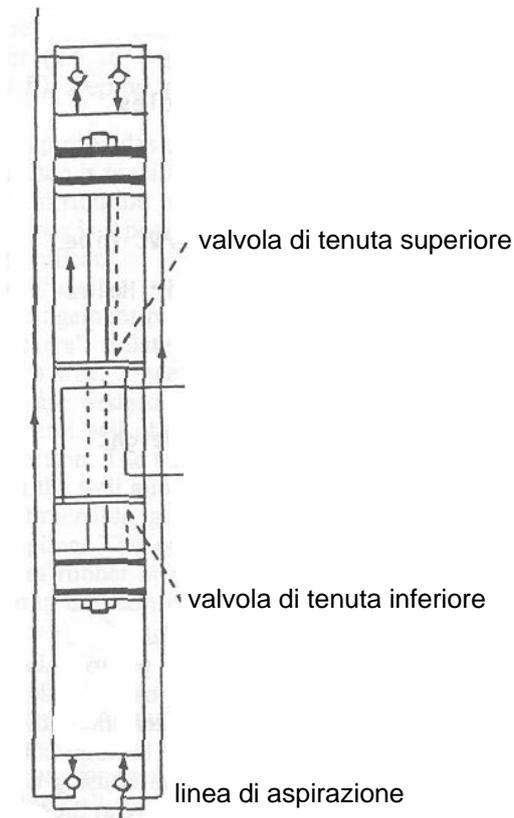


Figura 4.3: Pompa a gas e pistone

Limitazioni Se la torbidità dell'acqua è elevata, si possono avere danneggiamenti e guasti al complesso sistema della valvole.

L'apparecchiatura deve essere montata su un veicolo a motore.

Il meccanismo delle valvole può provocare continue cadute di pressione nel campionamento che portano alla degassazione del campione e a cambiamenti di pH.

Standard ASTM: D4448 – 85

4.5 ALTRE POMPE PORTATILI PER CAMPIONAMENTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

4.5.1 Pompe aspiranti, peristaltiche, centrifughe

Uso Adatte al campionamento delle acque sotterranee a bassa profondità, essendo installate in superficie.

Descrizione La pompa aspirante applica un vuoto o alla colonna di rivestimento del pozzo o a un tubo che si spinge fino alla profondità di campionamento desiderata. Per creare la depressione si utilizza una pompa autoadescante o a vuoto.

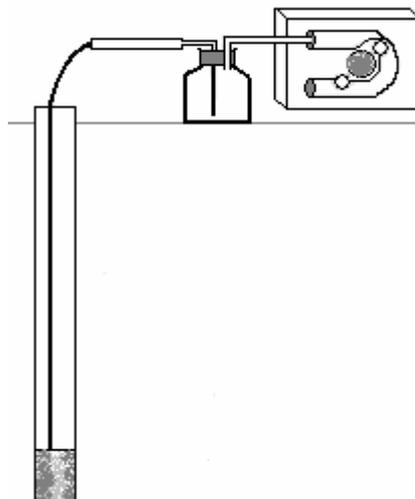


Figura 4.4: Pompa peristaltica

La pompa centrifuga consiste in una girante inserita in un corpo metallico. L'aria viene aspirata all'interno della pompa dalla depressione creata dalla girante in rotazione e si emulsiona con il liquido contenuto nel corpo della pompa. L'emulsione aria-liquido viene spinta nella camera d'innescamento dove l'aria si separa e fluisce dal tubo di mandata; il liquido, più pesante, ricade e ritorna in circolazione. Quando tutta l'aria sarà tolta dal condotto di aspirazione, la pompa sarà innescata e potrà funzionare anche con miscela di aria e liquido.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali

SVOCs alogenati

Radionuclidi

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Per il campionamento di acque contenenti composti volatili sono necessari particolari accorgimenti per evitarne la perdita.

Profondità massima	Fino a 8 m. il diametro minimo del pozzo è di circa 1 pollice.
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è di circa 30 l/minuto per le aspiranti e di 100 l/minuto per quelle centrifughe.
Volume di residui prodotti	Medio
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuno
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Le portate ridotte delle pompe aspiranti rendono difficile lo spurgo. Profondità limitata di prelievo. Possono alterare le proprietà del campione a causa di fenomeni di degassazione
Standard ASTM:	D6232

4.5.2 Pompa centrifuga sommersa

Uso	Spurgo di pozzi e campionamento delle acque sotterranee
Descrizione	Questo tipo di elettropompa è dotata di una girante che accelera l'acqua nel corpo della pompa innalzando la pressione e spingendo l'acqua in superficie. Comunemente sono costruite in acciaio inossidabile, teflon o gomma. La maggior parte operano sia a portata costante che variabile. Pompe centrifughe sommerse di piccolo diametro possono essere installate in pozzi anche di 2 pollici di diametro e possono funzionare sia a portate elevate per lo spurgo sia a portate basse per il campionamento.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati

IPA

Composti inorganici

SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

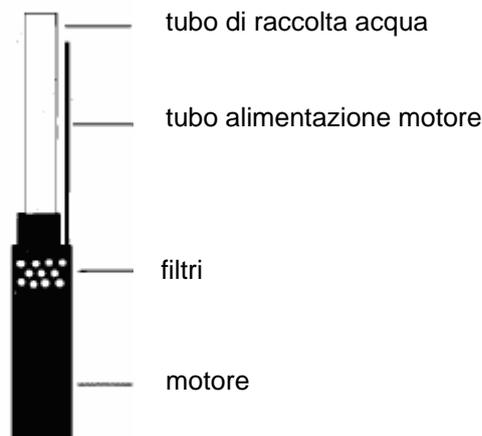


Figura 4.5: Pompa centrifuga sommersa

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima	Oltre 60 m. Le pompe a portata variabile sono limitate a 90 m circa.
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente. Le portate sono comprese tra 20 e 500 l/minuto.
Volume di residui prodotti	Medio
Stato tecnologia	Metodo commerciale di grande esperienza applicativa
Certificazione	Nessuno
Costo unitario relativo	Molto elevato
Limitazioni	Non sono efficienti con fluidi ad alta viscosità. Sono sensibili alla corrosione. Richiedono alimentazione elettrica. Può non essere utilizzabile in presenza di componenti volatili.
Standard ASTM:	D6232

4.5.3 Pompa inerziale

Uso Spurgo di pozzi e campionamento delle acque sotterranee

Descrizione La pompa consiste in una valvola di fondo all'estremità inferiore del tubo di prelievo collegato alla superficie. All'inizio del pompaggio la colonna d'acqua all'interno del tubo è uguale a quella nel pozzo. Un sistema di manovra manuale o a motore alza e abbassa il tubo in modo tale che al termine dello strappo verso l'alto iniziale la colonna d'acqua tende a muoversi verso l'alto per inerzia mentre riabbassando il tubo si riempie nuovamente grazie all'apertura della valvola.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima Fino a 30 m. Diametro minimo del pozzo pari a 1.5 pollici.

Produttività I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è pari a 8 l/minuto.

Volume di residui prodotti Medio

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni Pompa manuale difficile da utilizzare per operare in pozzi profondi di grande diametro.

Non può funzionare manualmente e il gruppo elettrogeno è ingombrante nel trasporto.

Le valvole di fondo in plastica sono delicate.

L'attrezzatura è scomoda da trasportare.

4.6 CAMPIONAMENTO LOW-FLOW PER ACQUE SOTTERRANEE

Considerata la sostanziale novità del sistema, oltre a riportare i caratteri principali in maniera sintetica, si fornisce successivamente una descrizione del metodo e delle sue modalità di applicazione in forma più estesa.

Uso Spurgo di pozzi e campionamento delle acque sotterranee

Descrizione La denominazione di “low-flow purging” è riferita alla velocità con la quale l’acqua entra nella pompa in aspirazione, e quindi riguarda acqua proveniente dalle immediate vicinanze del filtro del pozzo; si può anche definire la tecnica con il termine italiano di “microspurgo”.

L’obiettivo è di estrarre l’acqua in modo tale da minimizzare lo stress impartito al sistema (individuabile mediante il parametro abbassamento di livello piezometrico).

Viene utilizzata una portata di 0.1 – 0.5 l/minuto, anche se tale valore è legato alle condizioni idrogeologiche caratteristiche del sito, in quanto in acquiferi a granulometria grossolana possono essere utilizzate anche portate di 1 l/minuto.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Profondità massima Fino a 30 m. Diametro minimo del pozzo pari a 1.5 pollici.

Produttività I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è pari a circa 1l/minuto.

Volume di residui prodotti Minimo

Stato tecnologia Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Medio

Vantaggi

- campioni che sono rappresentativi del cosiddetto carico mobile di contaminanti presenti, costituito da elementi e composti disciolti e associati ai colloidali;

- minimo disturbo del punto di campionamento e come conseguenza semplificazione nelle apparecchiature di campionamento;
- minore variabilità dovuta all'operatore;
- migliore controllo da parte dell'operatore;
- riduzione dei fattori di stress sulla formazione (minimo abbassamento del livello piezometrico);
- minore miscelazione tra l'acqua stagnante del pozzo e l'acqua di formazione;
- minore necessità di filtrazione e conseguentemente tempi minori di campionamento;
- volumi di spurgo ridotti che diminuiscono i costi di smaltimento e i tempi di campionamento;
- migliore consistenza del campione.

Svantaggi

- costi di investimento iniziale più elevato;
- tempi iniziali (di set-up del sistema) più lunghi;
- necessità di trasportare delle apparecchiature addizionali al sito e dal sito;
- tempi di addestramento più lunghi;
- resistenze al cambio di metodo da parte degli addetti ai lavori;
- la paura che i nuovi dati portino a risultati differenti e tali da innescare nuovi processi / azioni.

4.6.1 Protocollo di campionamento Low-Flow

Le seguenti raccomandazioni sono da tenere in considerazione prima, durante e dopo le attività di campionamento:

- utilizzare basse portate (< 0,5 l/min) durante lo spurgo e il successivo campionamento, in modo da ottenere il minimo abbassamento del livello piezometrico nel pozzo;
- massimizzare lo spessore dei tubi e minimizzarne la lunghezza;
- posizionare l'aspirazione della pompa nel punto di campionamento desiderato;

- minimizzare i fattori di disturbo sulla colonna d'acqua stagnante al di sopra dell'intervallo fenestrato durante le operazioni di misura del livello e l'inserimento del mezzo campionante;
- effettuare gli aggiustamenti per stabilizzare la portata il più velocemente possibile;
- monitorare gli indicatori della qualità delle acque durante lo spurgo;
- raccogliere campioni non filtrati per valutare il carico di contaminanti e il potenziale di trasporto nel sistema sotterraneo.

4.6.1.1 Operazioni preliminari all'effettivo campionamento

Prima del campionamento, tutta la strumentazione deve essere calibrata in accordo alle raccomandazioni dei produttori, del Piano di Controllo ed Assicurazione di Qualità.

La calibrazione del pH deve essere effettuata con almeno due soluzioni buffer che includano l'intervallo previsto. La calibrazione per l'ossigeno disciolto deve essere corretta in funzione della pressione barometrica e del livello altimetrico.

Si procede alla misura della soggiacenza della falda, rispetto ad un riferimento topografico noto, minimizzando il disturbo all'acqua contenuta nel pozzo.

4.6.1.2 Attrezzatura per il campionamento delle acque

L'utilizzo di pompe a bassa portata (0.1 – 0.5 l/min) è consigliato per lo spurgo ed il campionamento di tutti i tipi di analiti. L'elemento di maggiore importanza è costituito dal minimo disturbo al sistema nell'intervallo di portate tipiche di questa tecnica.

E' disponibile una varietà di strumenti per lo spurgo e campionamento low-flow, quali le pompe peristaltiche, le pompe "bladder", le elettriche sommergibili e le pompe a gas. Le apparecchiature che meglio si prestano sia ad essere strumenti dedicati (a posizionamento fisso) che a funzionare in modo consistente alle basse portate utilizzate nel low-flow sono da preferirsi.

Ogni strumento portatile deve essere calato lentamente e con attenzione fino al centro della zona fenestrata o leggermente più in alto. Ciò per minimizzare la miscelazione con la colonna di acqua stagnante superiore e, nello stesso tempo, ridurre al minimo gli effetti di una risospensione del particolato decantato sul fondo del pozzo.

4.6.1.3 Controllo del livello piezometrico e dei parametri indicatori di qualità

Durante il campionamento è opportuno controllare periodicamente la soggiacenza della falda, in modo tale che si possa calcolare l'abbassamento rispetto al livello statico iniziale.

Ciò permette di correggere eventualmente per mantenere un abbassamento minimo del livello durante lo spurgo (< 0.1 m).

I parametri indicatori della qualità dell'acqua devono essere continuamente monitorati in linea durante lo spurgo. Tali indicatori possono includere pH, potenziale redox, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto e torbidità; i primi due hanno minore sensibilità, mentre gli ultimi tre sono spesso i più sensibili.

I valori di portata, abbassamento di livello, tempo e volume di spurgo possono servire come linee guida per i successivi spurghi e campionamenti. I valori misurati devono essere registrati ogni 3 – 5 minuti quando vengono utilizzati i valori di portata suggeriti nei precedenti paragrafi. La stabilizzazione si può considerare raggiunta quando tutti i parametri sono stabili per tre misure successive.

Per consentire il prelievo, in tre letture consecutive si devono avere i seguenti scostamenti massimi:

± 0.1 unità di pH per il pH;

± 3% per la conducibilità elettrica;

± 10 mV per il potenziale redox;

± 10% per ossigeno disciolto o 0.2 mg/l se i valori sono elevati;

± 10% la torbidità o ± 1 NTU se la torbidità è elevata.

Al posto della misura di tutti e cinque i parametri citati precedentemente, un set minimo deve includere pH, conducibilità elettrica e torbidità o ossigeno disciolto.

Le tendenze alla stabilizzazione di questi indicatori sono generalmente esponenziali o asintotiche.

4.6.1.4 Campionamento delle acque

Una volta raggiunta la stabilizzazione dei parametri indicatori, il campionamento può avere inizio. Se viene utilizzato uno strumento di analisi in linea, questo deve essere disconnesso o by-passato durante il prelievo del campione.

Durante la raccolta del campione la portata deve rimanere la stessa utilizzata durante lo spurgo o può essere leggermente modificata in caso si debba minimizzare l'aerazione, la formazione di bolle, il riempimento troppo turbolento del contenitore o la perdita di volatili dovuti a lunghi tempi di residenza nelle tubazioni.

La stessa apparecchiatura utilizzata per lo spurgo deve essere utilizzata per il campionamento. La campagna di campionamenti deve avvenire partendo dal pozzo meno contaminato e passare man mano a quelli con livelli di contaminazione superiori. Generalmente, volatili (ad esempio solventi e componenti di carburanti) e parametri sensibili ai gas (per es. Fe^{2+} , CH_4 , $\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-$, alcalinità) devono essere campionati per primi.

La sequenza con cui vengono raccolti i campioni per la maggior parte dei parametri inorganici non è importante, a meno che si desiderino campioni filtrati (sostanze in soluzione). La filtrazione, se necessaria, deve avvenire alla fine.

Il campione d'acqua deve essere versato direttamente nel contenitore dal tubo di mandata della pompa.

4.6.1.5 Filtrazione

L'opportunità di filtrazione di un campione deve essere dettata dagli obiettivi della campagna di campionamenti piuttosto che essere un'operazione di routine dovuta ad una scarsa tecnica di campionamento e la filtrazione in campo non può essere un intervento deciso a priori (Danielsson L.G., 1982, Horowitz A.J. et al., 1992, Laxen D.P.H., Chandler I.M., 1982).

Per valutare le concentrazioni di elementi quali metalli in tracce realmente disciolti in acqua (in opposizione a quelli considerati dal punto di vista operativo disciolti tramite per es. filtrazione a 0.45 μm) sono raccomandati filtri da 0.1 μm , anche se gran parte dei regolamenti prevedono quelli da 0.45 μm . I campioni alcalini devono anch'essi essere filtrati se si sospetta la presenza di particolato di carbonato di calcio, visto che questa sostanza ha un impatto sui risultati della titolazione (anche se la stessa filtrazione può alterare la composizione della CO₂ e, di conseguenza, falsare i risultati).

La filtrazione in linea è raccomandata perché porta ad una maggiore consistenza tramite una minor manipolazione del campione, oltre a minimizzare l'esposizione dello stesso all'atmosfera. I filtri in linea sono disponibili sia in formato usa e getta che riutilizzabile, oltre che in vari formati e dimensioni (0.1 – 5 μm). Quelli usa e getta hanno il vantaggio di avere una capacità superiore sui sedimenti rispetto ai tradizionali filtri a membrana. I filtri devono essere prelevati in accordo alle prescrizioni del produttore. Se la risciacquatura non è prevista, far scorrere un litro d'acqua di falda tra la raccolta del campione e la fine dello spurgo. Una volta iniziata la filtrazione, la massa filtrata può ostruire i passaggi a valori inferiori di quelli nominali del filtro e naturalmente diversi da quelli desiderati. Azioni correttive possono essere la prefiltrazione con filtri a maggior luce di passaggio o la riduzione del volume da campionare.

4.6.2 Utilizzo in condizioni idrogeologiche particolari

Le situazioni idrogeologiche possono determinare l'esigenza di procedere ad un campionamento con procedure specifiche; in questa sede sono considerati gli acquiferi in rocce a bassa conducibilità idraulica e in rocce fessurate.

4.6.2.1 Acquiferi con bassa conducibilità idraulica (ricarica < 0.1 l/min)

I pozzi di monitoraggio sono talvolta installati in acquiferi a bassa permeabilità, e richiedono operazioni di spurgo con portata molto bassa (< 0.1 l/minuto).

Dove non possano essere utilizzate apparecchiature che permettono di prelevare acqua a portate così basse, il requisito è comunque quello di cercare di evitare lo svuotamento

dell'area fenestrata del pozzo e ciò può richiedere ripetute fermate durante lo spurgo, per permettere al pozzo di ricaricarsi, lasciando la pompa immersa.

L'uso delle tecniche low-flow può risultare poco pratico in queste condizioni, a seconda del tempo di ricarica.

Si ha un'alta probabilità di sottostima delle concentrazioni di VOC, dei potenziali falsi negativi per i metalli dopo filtrazione e falsi positivi dei campioni non filtrati e viene perciò suggerita la comparazione tra i valori ottenuti tramite tecniche low-flow e campionamenti passivi.

La raccolta tramite campionamento passivo prevede l'acquisizione del campione senza effettuare, o effettuando in quantità modeste, lo spurgo del pozzo utilizzando un sistema di campionamento dedicato (fisso nel pozzo) o un sistema passivo di raccolta.

In presenza quindi di acquiferi a bassa conducibilità idraulica sono suggerite le seguenti procedure:

Spurgo e campionamento low-flow tramite pompe

1) "Modalità con apparecchiatura portatile o non dedicata" – Si utilizza una pompa in grado di erogare portate < 0.1 l/minuto posta nella posizione centrale (o leggermente più in alto) della sezione fenestrata e la si lascia posizionata per un minimo di 48 ore (per ridurre il volume di spurgo). Passate le 48 ore, si utilizzano le procedure che prevedono il prelievo di acque e la stabilizzazione dei parametri idrochimici, ma senza svuotare la parte fenestrata. Se l'abbassamento del livello piezometrico risulta eccessivo o la ricarica lenta costituisce un problema, è meglio seguire gli approcci di seguito descritti.

2) "Modalità dedicata" – La pompa deve essere installata con le modalità precedentemente descritte almeno una settimana prima del campionamento; ciò significa in pratica lavorare con un'apparecchiatura dedicata al pozzo. Con questo approccio i parametri indicatori dovrebbero stabilizzarsi molto più rapidamente, a causa del minor disturbo causato alla zona di campionamento.

Campionamento passivo

La procedura prevede l'inserimento del campionatore nell'intervallo fenestrato per un tempo tale da permettere di ottenere un certo equilibrio tra flusso sotterraneo e campione prima dell'estrazione e successiva analisi. Concettualmente, l'estrazione di acqua da un pozzo a bassa permeabilità si avvicina di più alla raccolta d'acqua da zone insature e le tecniche di campionamento passivo possono risultare più appropriate in termini di ottenimento di un campione "rappresentativo". Riuscire ad ottenere i volumi di campione richiesti è normalmente un problema con questo tipo di approccio.

4.6.2.2 Acquiferi in rocce fessurate

In questo tipo di acquiferi è suggerito un approccio di tipo low-flow tendente a zero in fase di spurgo con l'utilizzo di packer.

Anche sistemi passivi multistrato portano ad avere campioni "rappresentativi".

Prima del campionamento è comunque indispensabile identificare i percorsi dell'acqua o le fratture che erogano acqua utilizzando un'adeguata strumentazione. Dopo aver identificato le fratture dalle quali fluisce l'acqua, vengono installati i packer e la pompa con i suoi accessori e si utilizza il metodo low-flow in modalità dedicata.

In alternativa è possibile utilizzare un equipaggiamento per il campionamento passivo che può isolare la frattura che eroga acqua.

4.7 CAMPIONATORI PER ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

In aggiunta alle pompe descritte nei paragrafi 4.4 e 4.5 che, seppure di uso più comune nelle acque sotterranee, possono essere utilizzate con le stesse indicazioni e limitazioni anche per le acque superficiali, vengono di seguito segnalati altri tipi di campionatori.

4.7.1 Campionatore "Bailer"

Uso È il tipo di campionatore per acque sotterranee più comunemente usato per il suo basso costo anche se non garantisce l'integrità dei campioni contenenti VOC.

Descrizione Il "bailer" è un campionatore, di solito monouso, per il prelevamento da pozzi di piccolo diametro: è formato da un lungo cilindro in polipropilene o teflon con una valvola a sfera, che viene calato nel pozzo sospeso ad un cavo e sollevato quando è raggiunta la profondità desiderata. Al momento del sollevamento la valvola si richiude permettendo la raccolta dell'acqua che viene poi scaricata in un recipiente premendo con la mano la valvola.

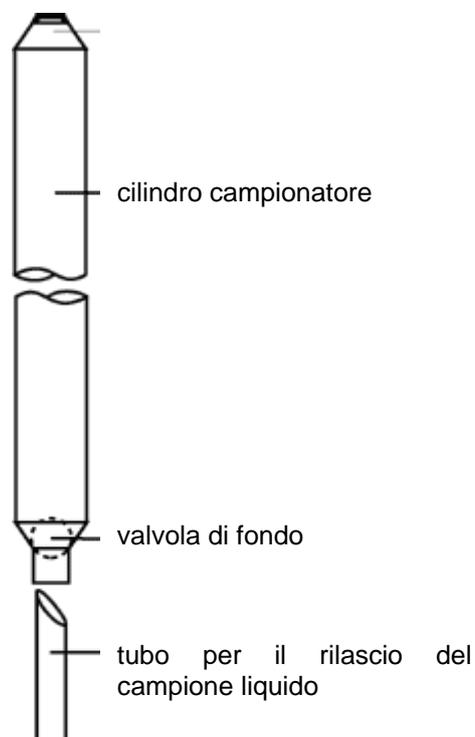


Figura 4.6: Campionatore bailer

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee e superficiali: MINIMO

Può causare alterazioni del campione a causa dell'aerazione, degassazione, volatilizzazione o turbolenza durante l'abbassamento del bailer nella colonna d'acqua.

Profondità massima	Fino a 60 m. Diametro minimo del pozzo pari a 0.5 pollici.
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente. La portata massima è pari a 8 l/minuto.
Volume di residui prodotti	Elevato
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso

Limitazioni	L'utilizzatore può entrare in contatto con acqua contaminata. Durata delle operazioni se utilizzato per lo spurgo. Difficoltà di pulizia delle linee di collegamento. L'uso di bailer aperti non consente di determinare il punto di effettivo campionamento. Temperature molto basse o acque molto torbide possono alterare il funzionamento delle valvole. Le operazioni possono causare aerazione dell'acqua nel pozzo e nel campione, aumento di torpidità del campione e miscelazione dell'acqua nel pozzo. Possibile perdita di VOC o alterazione di campioni redox-sensibili. Inadatto per profondità elevate.
--------------------	--

Standard ASTM:	D4448 – 85a D6232
-----------------------	--------------------------

4.7.2 Campionatore pneumatico

Uso I campionatori pneumatici (comunemente chiamati siringhe) vengono utilizzati per il campionamento delle acque sotterranee a intervalli di profondità discreti.

Descrizione È un tubo con all'interno un pistone, fornito inferiormente di un ago ipodermico o una valvola. Il campionatore viene pressurizzato ad una pressione superiore a quella idrostatica della profondità di prelievo; una volta raggiunta la profondità desiderata, il campionatore viene depressurizzato permettendo all'acqua di fluire all'interno.

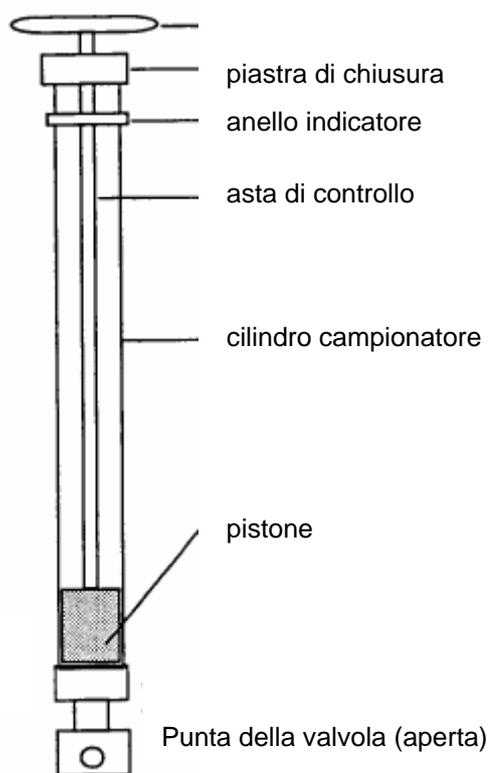


Figura 4.7: Campionatore pneumatico

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Il campione d'acqua non viene a contatto con l'atmosfera.

Profondità massima	Superiore a 60 m. Diametro minimo del pozzo pari a 1.5 pollici.
Produttività	I campioni sono disponibili velocemente. La capacità è compresa tra 0.3 e 0.8 litri circa.
Volume di residui prodotti	Moderato
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Medio
Limitazioni	<p>Non efficiente nel campionare grandi quantitativi d'acqua.</p> <p>L'utilizzo è limitato ad acque che non presentano una grande quantità di solidi sospesi, per problemi di danneggiamento dell'attrezzatura.</p> <p>Possibile perdita di sostanze volatili durante le operazioni di campionamento nel caso di inefficienza della sigillatura tra siringa e pistone.</p>
Standard ASTM:	D4448 – 85a D6232

4.7.3 Campionatore meccanico di profondità

Uso	I campionatori tipo "Kemmerer" e "Van Dorn" sono comunemente utilizzati per il campionamento delle acque superficiali. I campionatori tipo Coliwasa sono più utilizzati per il campionamento di acqua all'interno di fusti.
Descrizione	<p>I campionatori tipo "Kemmerer" e "Van Dorn" consistono in tubi la cui chiusura è azionata tramite un cavo.</p> <p>Il campionatore tipo Coliwasa è un tubo con due sistemi di ritenuta su entrambe le estremità controllati da una asta che attraversa il tubo e da un meccanismo di chiusura.</p>

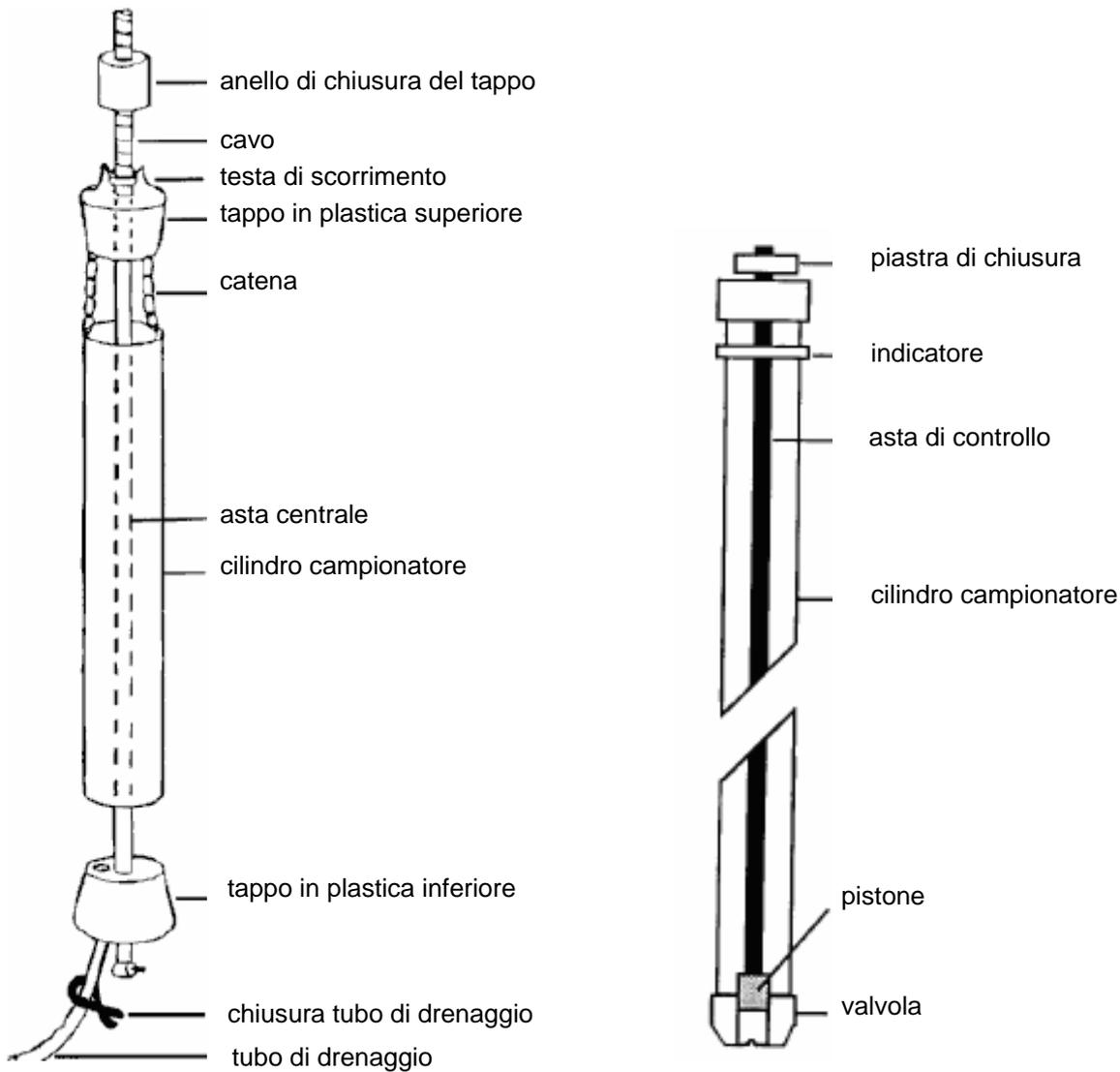


Figura 4.8: Campionatori Kemmerer e Coliwasa

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque sotterranee: MINIMO

Possono causare l'alterazione del campione in seguito a fenomeni di degassazione, volatilizzazione o turbolenza quando i campionatori vengono calati nella colonna d'acqua.

Profondità massima 60 m circa. Diametro minimo dei pozzi: 1 pollice (tipo "Van Dorn" e "Kemmerer"); 2 pollici (tipo "Coliwasa")

Produttività	I campioni sono disponibili velocemente.
Volume di residui prodotti	Elevato
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	<p>Le difficoltà operative sono direttamente proporzionali alla profondità del campionamento.</p> <p>I meccanismi di chiusura dei campionatori sono delicati.</p> <p>Può essere difficile trasferire il campione in un contenitore di raccolta.</p> <p>Lisciviazione dei costituenti dalle guarnizioni in neoprene o gomma.</p> <p>Alcuni campionatori rimangono aperti durante la discesa nella colonna d'acqua.</p> <p>Possibilità di contaminazione del campione durante la discesa fino al punto di campionamento.</p> <p>I campionatori possono essere costruiti con materiali non adatti al campionamento.</p> <p>Difficoltà nella decontaminazione dell'attrezzatura.</p>
Standard ASTM:	<p>D4136 – 82 (1993)</p> <p>D5495 – 94</p> <p>D6232</p>

4.8 METODI DI CAMPIONAMENTO AD ESTRAZIONE

4.8.1 Campionamento dell'acqua interstiziale

Uso	Campionamento dell'acqua interstiziale nella zona non satura.
Descrizione	Vengono descritti i più comuni strumenti di campionamento dell'acqua interstiziale nei suoli:

Lisimetri a vuoto È costituito da una coppa porosa posta all'estremità inferiore di una tubazione tappata che si estende fino alla superficie.

Il funzionamento è basato sull'applicazione di una pressione negativa all'interno del campionatore, che instaura un gradiente di potenziale tra l'interno del lisimetro e il terreno. L'acqua interstiziale viene raccolta all'interno della tubazione e quindi recuperata in superficie per mezzo di un tubo di raccolta.

Lisimetro a pressione e vuoto È costituito da un corpo cilindrico di diametro pari a 2 pollici e lunghezza pari a 30 cm circa. Due tubi collegano il lisimetro alla superficie: il primo, la linea di scarico, raggiunge il fondo del lisimetro, mentre il secondo, la linea pressione – vuoto, si ferma nella parte superiore. Tramite quest'ultima viene applicata una pressione negativa per favorire il flusso di acqua interstiziale all'interno del lisimetro e, tramite la linea di scarico, si raccoglie il campione in superficie.

Lisimetro a vuoto piatto È simile al lisimetro a vuoto; al posto della coppa porosa è presente un piatto di diametro compreso tra 4.3 e 25.4 cm

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque interstiziali: MASSIMO

Nella valutazione della qualità del campione bisogna tenere in considerazione le relazioni tra i tratti porosi, la qualità dell'acqua e le portate estratte.

Profondità massima Fino 30 m circa. Per profondità superiori a 1.8 m si deve utilizzare il lisimetro a pressione.

Produttività I campioni sono disponibili in tempi lunghi.

Volume di residui prodotti Limitato.

Stato tecnologia Metodo commerciale di moderata esperienza applicativa

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Medio

Limitazioni	<p>Non adatto in suoli molto secchi o ghiacciati.</p> <p>Permettono esclusivamente il campionamento dell'acqua interstiziale e non di quella che circola nelle fratture.</p> <p>La suzione può interferire con le modalità di flusso idrico nei suoli cosicché è necessario installare dei tensiometri per determinare il valore corretto della depressione da applicare.</p> <p>Possibile assorbimento di metalli pesanti da parte della coppa porosa.</p>
Standard ASTM:	<p>D2325 – 68</p> <p>D4696 – 92</p>

4.8.2 Assorbenti

Uso	Campionamento di liquidi interstiziali nella zona non satura.
Descrizione	Utilizzano un mezzo poroso per assorbire i liquidi interstiziali con le seguenti modalità:

Spugna di cellulosa	La spugna viene posta in una buca posizionata al tetto di un tunnel orizzontale. Quando ha assorbito i fluidi interstiziali la buca viene aperta e la spugna viene recuperata e messa in contenitore stagno.
Asticelle di ceramica	Le asticelle di ceramica vengono pesate prima di essere infisse nel suolo. Quando vengono recuperate si effettua una nuova pesatura e si determina il volume di acqua assorbita. Per la determinazione analitica della composizione dell'acqua assorbita vengono fatte bollire in un volume noto d'acqua distillata dopodiché la soluzione viene analizzata e l'originale concentrazione nell'acqua interstiziale viene determinata dal rapporto tra l'acqua assorbita dalla ceramica e il volume dell'acqua fatta bollire.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici acque interstiziali: MASSIMO

Profondità massima	Non applicabile
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi brevi.
Volume di residui prodotti	Limitato.
Stato tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	Possibile chiusura dei perfori in terreni con argille rigonfianti. Necessità di valutare le prestazioni con prove in campo (perdita di efficienza nel tempo, tenuta della sigillatura, rimovibilità del riempimento con sabbia).
Standard ASTM:	D4696 – 92

4.8.3 Analisi di dettaglio dei metodi di prelievo di campioni di acqua interstiziale

4.8.3.1 Lisimetri attivi

Lo strumento consiste in un tubo di lunghezza variabile con un tratto di materiale poroso in punta o nella sua parte mediana grazie al quale, una volta posizionato alla profondità desiderata, risulta idraulicamente collegato con i pori del terreno.

Con questo strumento, producendo il vuoto all'interno del tubo, è possibile creare una suzione nel terreno circostante superiore alle forze di tensione dell'acqua presente nei pori e quindi un gradiente di pressione che richiama il fluido interstiziale dal terreno all'interno del tubo. Da qui può essere infine estratto con semplici procedimenti.

L'utilizzo di un lisimetro attivo consente di campionare essenzialmente le sole soluzioni acquose del terreno. I campioni ottenuti con questo metodo rispecchiano la composizione chimica dell'acqua presente nei pori intercomunicanti, per cui i valori di concentrazione ottenuti dai campioni idrici sono variabili in funzione del grado di saturazione del terreno, dell'intensità della tensione capillare ed infine del valore di suzione applicata al terreno mediante la coppa porosa.

Il volume di acqua che può essere ottenuto mediante campionamento con lisimetri attivi è comunque generalmente limitato.

Sono disponibili diversi tipi di lisimetri attivi, le cui caratteristiche sono sinteticamente descritte nella Tabella 4.1, tuttavia i modelli principali sono sostanzialmente di tre tipi.

- Lisimetro attivo a depressione

Lo strumento, illustrato in Figura 1, è completato con un singolo tubo, generalmente del diametro di 1/8", che ne raggiunge il fondo e che viene collegato in superficie ad una bottiglia campionatrice. Il vuoto applicato alla bottiglia campionatrice, si trasmette al lisimetro attivo richiamando l'acqua dal terreno attraverso le pareti porose e da qui in superficie nella bottiglia campionatrice. Il limite operativo dello strumento sono i 6 m di profondità.

- Lisimetro attivo a depressione-pressione

Lo strumento, illustrato in Figura 2, è collegato in superficie mediante due tubi, generalmente del diametro di 1/4", uno per creare alternativamente una depressione od una pressione nel tubo, l'altro per il campionamento; quest'ultimo raggiunge il fondo del tubo.

L'operazione di campionamento avviene aprendo una valvola posta presso la pompa sulla linea depressione/pressione e applicando il vuoto al lisimetro attivo. La valvola viene quindi chiusa e l'apparecchio lasciato in depressione per il periodo necessario affinché si raccolga acqua nella coppa porosa. Il campione viene portato in superficie applicando, con la medesima linea, una pressione al lisimetro attivo che spinge l'acqua nella seconda linea, una volta aperta la valvola su di essa installata, fino alla bottiglia campionatrice.

Qualora lo strumento sia posizionato ad elevate profondità si ha la necessità di applicare una pressione nella fase di recupero che può forzare parte del campione fuori dalla coppa porosa o, in casi estremi, danneggiando la stessa coppa porosa o comprometterne il contatto idraulico col terreno; anche una applicazione troppo rapida della pressione comporta effetti analoghi.

Per tale ragione l'impiego di questo tipo di lisimetro è utile fino alla profondità massima di 15 m.

Esistono anche versioni modificate di tale tipo di lisimetro attivo le quali permettono di limitare il tempo di contatto del campione con la coppa porosa, oppure che, avendo il setto poroso a metà dello strumento anziché in punta, limitano la possibilità di perdere parte del campione attraverso la coppa porosa in fase di recupero.

- Lisimetro attivo a depressione-alta pressione

Come nel lisimetro a depressione-pressione lo strumento comunica con la superficie mediante due tubi, generalmente del diametro di 1/4": uno per operare la depressione/pressione, l'altro per il campionamento, come illustrato in Figura 3.

Se ne differenzia in quanto la parte terminale del lisimetro attivo dotata di coppa porosa è separata dal resto dello strumento mediante un setto che, attraversato da un tubo munito di valvola, permette al fluido il solo movimento di risalita alla camera superiore. All'intero di tale camera arrivano le due linee rispettivamente di depressione/pressione e di campionamento, la prima alla parte superiore, la seconda sul fondo.

L'operazione di campionamento avviene con le medesime modalità illustrate nel modello a vuoto-pressione, ma in questo strumento la depressione applicata richiama

l'acqua nella coppa porosa e da qui direttamente alla camera superiore, dove si raccoglie.

Tabella 4.1 - Campionatori a suzione (ASTM, 1992)

Tipologia dei campionatori	Materiale della sezione porosa	Dimensione massima dei pori (μm)	Pressione d'ingresso dell'aria (cbar)	Campo operativo di suzione (cbar)	Profondità massima d'utilizzo (m)
Lisimetri a depressione	Ceramica	da 1.2 a 3.0	> 100	< 60 a 80	< 7.5
	PTFE	da 15 a 30	da 10 a 21	< 10 a 21	< 7.5
	Acciaio inossidabile	Non disponibile	da 49 a 5	da 49 a 5	< 7.5
Lisimetri a pressione – depressione	Ceramica	da 1.2 a 3.0	> 100	< 60 a 80	< 15
	PTFE	da 15 a 30	da 10 a 21	< 10 a 21	< 15
Lisimetri ad alta pressione – depressione	Ceramica	da 1.2 a 3.0	> 100	< 60 a 80	< 91
	PTFE	da 15 a 30	da 10 a 21	< 10 a 21	< 91
Campionatori con punta a filtro	Polietilene	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	Nessuno
	Ceramica	da 2 a 3	> 100	< 60 a 80	< 7.5
	Acciaio inossidabile	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	Nessuno
Campionatori a fibra cava in acetato di cellulosa	Cellulosa	< 2.8	> 100	< 60 a 80	< 7.5
	Acetato	—	—	—	—
	Non cellulosico	—	—	—	—
	Polimero	< 2.8	> 100	< 60 a 80	< 7.5
Campionatore con filtro membrana	Cellulosa	< 2.8	> 100	< 60 a 80	< 7.5
	Acetato	—	—	—	—
	PTFE	da 2 a 5	Non disponibile	Non disponibile	< 7.5
Campionatore con disco a depressione	Alundum	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile	< 7.5
	Ceramica	da 1.2 a 3.0	> 100	< 60 a 80	< 7.5
	Vetro poroso	da 4 a 5.5	Non disponibile	Non disponibile	< 7.5
	Acciaio inossidabile	Non disponibile	da 49 a 5	da 49 a 5	< 7.5

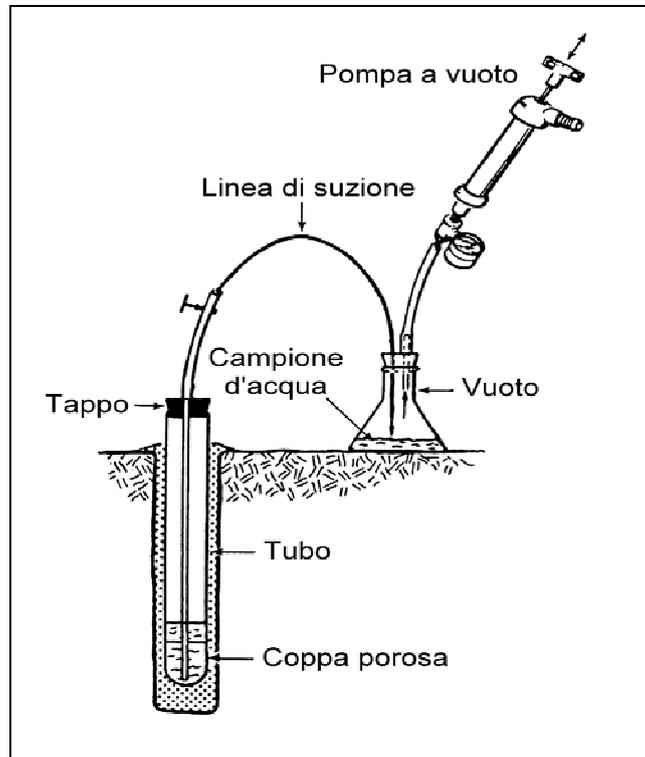


Figura 4.9: Lisimetro a vuoto

Il campione viene quindi portato in superficie applicando una pressione che spinge l'acqua dalla camera nella seconda linea fino alla bottiglia campionatrice.

Questo apparecchio permette di applicare pressioni anche elevate per far risalire il campione evitando possibili perdite di fluido o danneggiamenti della coppa porosa e/o del dreno circostante.

Viene consigliato il suo utilizzo fino a profondità di 46 m, ma in letteratura sono descritte installazioni fino a 91 m.

Per quanto riguarda i materiali utilizzati, il tubo può essere in PVC, PTFE (Teflon), nylon o altro materiale e la coppa porosa è generalmente in ceramica, in PTFE (Teflon), ossido di alluminio od altri materiali.

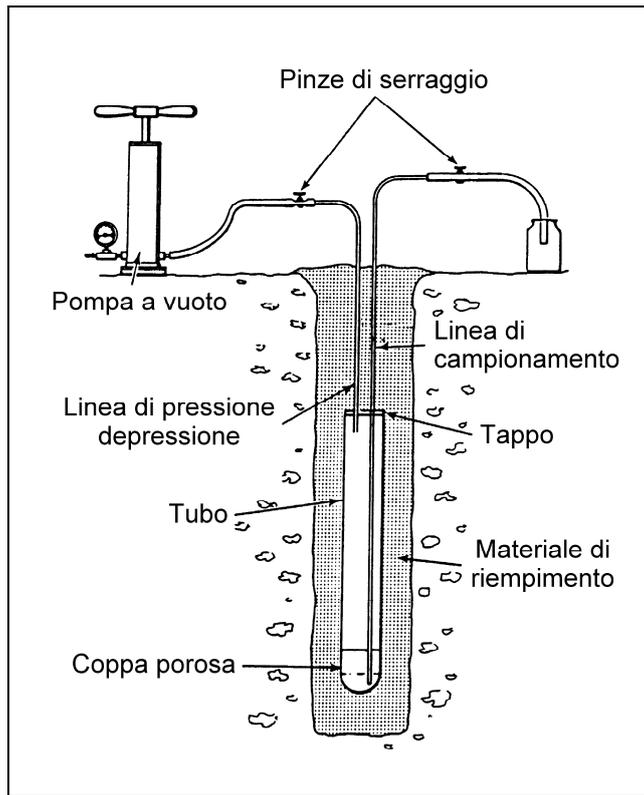


Figura 4.10: Lisimetro a vuoto e pressione

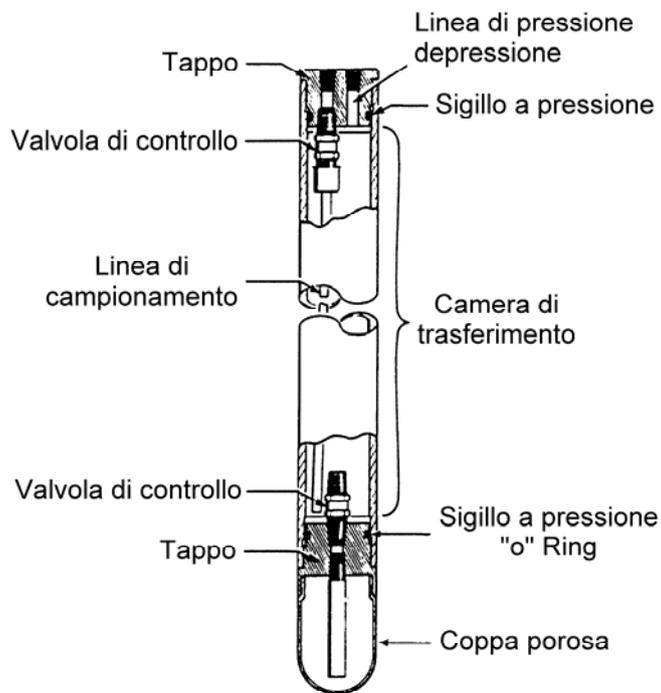


Figura 4.11: Lisimetro a vuoto per alte pressioni

4.8.3.2 Limiti di funzionamento dei lisimetri attivi

La capacità dei menischi capillari di sopportare la suzione decresce all'aumento delle dimensioni dei pori e della idrofobicità della coppa porosa; tale capacità viene indicata mediante una grandezza caratteristica denominata pressione d'ingresso dell'aria che traduce il comportamento della coppa porosa.

Coppe porose con basse pressioni d'ingresso dell'aria possono essere utilizzate solo per campionare in terreni con basse tensioni capillari, quindi prossimi alla saturazione.

Per i lisimetri in cui la pressione d'ingresso dell'aria raggiunge i 600 mbar, la tessitura del terreno e le tensioni capillari controllano sia la quantità di fluido che può essere rimossa sia il raggio d'influenza dello strumento.

In terreni umidi una sabbia presenta una maggior pendenza della curva di ritenzione rispetto all'argilla per cui, a parità di variazione di pressione, la prima rilascia maggiori quantità di acqua. Per contro il fatto che al crescere delle tensioni capillari la curva dell'argilla mantenga una certa pendenza, mentre quella della sabbia tenda all'orizzontale, indica che l'argilla rilascia maggiori quantità di liquido e che ad elevate tensioni capillari non è possibile ottenere campioni da una sabbia.

In pratica al di sopra di 600 mbar di depressione per terreni grossolani e di 800 mbar per terreni fini le velocità dell'acqua nel terreno sono nulle e non è possibile effettuare campionamenti.

Qualora invece si utilizzi un materiale con bassa pressione d'ingresso dell'aria, inferiore a 600 mbar di depressione, lo stesso lisimetro attivo diventa il fattore limitante del campionamento al prosciugarsi del terreno, in quanto l'alta suzione necessaria per rimuovere il campione comporta la rottura dei menischi capillari del setto poroso e l'ingresso di aria nel lisimetro.

La velocità con la quale si raccoglie la soluzione nei lisimetri attivi dipende quindi dallo stato idrico del terreno, dalla sua conducibilità idraulica, dall'entità della ricarica e dal valore di suzione creato.

A titolo d'esempio, in terreni limosi e limoso-argillosi con ghiaia sono stati campionati in circa 24 ore, con 600 mbar di depressione, 200-300 ml o soli pochi millilitri rispettivamente in prossimità della capacità di campo e immediatamente al di sotto di essa.

Invece in terreni sabbiosi soggetti ad irrigazione sono stati ottenuti 50-400 ml in 8 ore.

Al termine di operazioni di irrigazione e di spagliamento su terreni sabbiosi e limoso-argillosi sono stati ottenuti fino a 1500 ml in 24 ore.

Il raggio d'influenza di un lisimetro attivo, rappresentato dal volume all'interno del quale risulta alterato il normale flusso idrico, viene determinato dalla depressione operata, dalle caratteristiche del terreno e dalla sezione della coppa porosa. A tal proposito sono stati misurati valori di circa 10 cm in terreni grossolani e di 92 cm in terreni fini.

Si osserva che i fluidi che costituiscono i campioni provengono dai macropori o dai micropori rispettivamente in condizioni di bassa od alta suzione; inoltre la composizione del liquido contenuto nei macropori e nelle fratture è diversa da quella del liquido

contenuto nei micropori in quanto il flusso inquinante può fluire attraverso i primi senza interessare i secondi. In particolare nei periodi asciutti i campionatori hanno un raggio di misura superiore e drenano i micropori raccogliendo basse quantità di liquido, mentre in periodi umidi vengono drenati i macropori in un raggio d'influenza più ristretto.

Poichè i campionamenti avvengono con suzioni decrescenti nel tempo, la composizione del campione è quella media dei liquidi rilasciati dal terreno nel range di suzione applicata. Tale media deve però essere pesata rispetto alle porzioni di fluido raccolte in quanto al decrescere della suzione diminuisce il flusso idrico.

Per quanto riguarda l'aspetto temporale, i campioni raccolti rappresentano la media temporale del flusso chimico che ha attraversato il terreno durante il periodo di campionamento e che presenta spesso ampie escursioni.

L'effetto del campionamento sulla composizione dei campioni può essere minimizzata anche avendo cura di adottare lisimetri attivi di larghe dimensioni e di posizionare la coppa porosa in corrispondenza di un'interfaccia tra materiale grossolano, in quanto ciò facilita le procedure sopra descritte.

Anche la scelta del tipo di campionatore può influenzare il chimismo delle acque campionate in funzione delle caratteristiche dei materiali che lo costituiscono, della possibilità di intasamento della coppa porosa e del tempo necessario per il campionamento.

Per esempio qualora le concentrazioni del fluido campionato siano basse è possibile osservare azioni di adsorbimento o di repulsione operate dalla ceramica nei confronti soprattutto di sostanze con carica negativa o di sostanze organiche.

Nelle medesime condizioni sono stati osservati fenomeni di rilascio di elementi in traccia da parte delle coppe porose in ceramica, ossido di alluminio, PTFE, che possono alterare le concentrazioni dei metalli.

Un incremento dei fenomeni di adsorbimento può essere dovuto al prolungarsi dei tempi di campionamento e di contatto con il materiale della coppa porosa in seguito all'intasamento della stessa da parte di particelle del terreno. Qualora tale evento si verifichi, lo strumento deve essere rimosso e pulito mediante lavaggio con HCl.

Sono stati anche osservati fenomeni di precipitazione chimica di ioni metallici in condizioni ambientali particolari (ad esempio la precipitazione dello ione ferro in condizioni anaerobiche). La pulizia dello strumento in tali casi si presenta più complessa.

Ulteriori variazioni chimiche possono essere legate alla depressione che viene applicata ai lisimetri attivi, la quale determina un degassamento della soluzione, che comporta un perdita di CO₂ e la conseguente modificazione del valore di pH di circa 0.3-0.4 unità.

La depressione influisce ovviamente anche sulla concentrazione di eventuali sostanze volatili presenti, tuttavia tale inconveniente può essere evitato utilizzando il modello di lisimetro con punta a filtro.

4.8.3.3 Lisimetri passivi

Il lisimetro passivo consiste in una sorta di camera campionatrice sepolta nel terreno (Figura 5). Esso interessa superfici estese e può quindi essere rappresentativo dell'influenza esercitata sui campioni dalla eterogeneità del terreno qualora si abbia cura di metterlo in opera senza alterare le caratteristiche del terreno stesso.

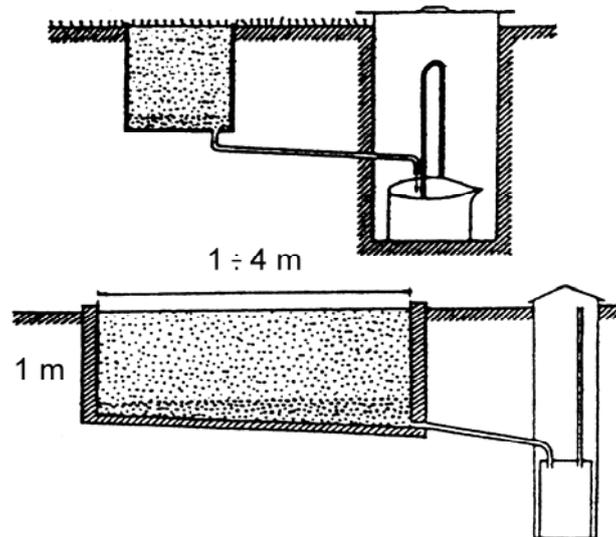


Figura 4.12: Schema di scatola lisimetrica superficiale: 1. terreno; 2. strato drenante di ciottolini; 3. recipiente di raccolta e misura delle acque di infiltrazione

A tal fine questi strumenti vengono installati nel terreno lateralmente alle pareti di una trincea che, per non drenare il flusso superficiale, deve essere coperta o nuovamente riempita una volta terminata l'installazione.

Tra le tipologie di lisimetri passivi può essere classificato anche il lisimetro a tubo filtrante consistente in un tubo fenestrato che, posizionato orizzontalmente nel terreno, campiona l'acqua gravifica. In esso viene quindi applicata una depressione per il recupero del campione.

Sempre in quei casi in cui l'intento si limiti al campionamento dell'acqua gravifica, è stato sperimentato anche l'utilizzo di dreni in sabbia, di attraversamenti in acciaio, di blocchi di vetro concavi e di pannelli campionatori capaci di operare una suzione di circa 60 mbar.

L'utilizzo di un lisimetro passivo si presenta particolarmente efficace in presenza di acque libere e di terreni dotati di struttura, nei quali i lisimetri attivi presentano l'inconveniente di avere un ridotto rapporto tra le dimensioni della coppa e quello delle macroporosità.

Ulteriori vantaggi presentati dal lisimetro passivo sono quelli di non deformare il flusso idrico, di campionare anche batteri e sostanze colloidali e di fornire infine dati più validi per la stesura di bilanci chimici quantitativi in quanto interessano superfici estese.

Per contro utilizzando i lisimetri passivi i campioni possono essere ottenuti solo a contenuti idrici superiori alla capacità di campo e le concentrazioni rilevate sono anche funzione del

tempo di contatto con i granuli del terreno e quindi del grado di saturazione e della velocità del flusso idrico relativi all'intervallo temporale di campionamento.

Considerate le modalità di funzionamento dei lisimetri passivi, si osserva che i campioni ottenuti non sono confrontabili con campioni corrispondenti prelevati mediante lisimetri attivi.

Infine, per quanto concerne le falde sospese, queste possono essere campionate utilizzando semplici piezometri oppure, considerate le caratteristiche effimere di tali acque, utilizzando particolari modelli di campionatori adatti ad ambienti saturi ed insaturi.

Il campionamento delle falde sospese presenta un discreto interesse in quando queste sono costituite da acque infiltratesi attraverso superfici estese e fornisce quindi valori rappresentativi.

In esse infatti si raccolgono acque e contaminanti che invece potrebbero aver oltrepassato il lisimetro attivo e forniscono inoltre campioni di maggiore entità.

4.8.3.4 Significatività dei campioni di acque interstiziali

Un importante elemento di valutazione riguarda le possibili reazioni che si possono manifestare al passaggio dell'acqua all'interno dei lisimetri, rendendo poco significativo il risultato di una successiva analisi chimica.

Numerosi sono i motivi che portano a queste condizioni, tra cui:

- l'eterogeneità del mezzo, anche in termini di composizione chimica, che porta a differenze locali nelle caratteristiche dei fluidi interstiziali;
- differenze di mobilità delle acque nei micropori rispetto ai macropori, laddove si ha anche un maggiore scambio di Ossigeno durante gli eventi meteorici che portano ad una rapida infiltrazione;
- interazione tra il materiale poroso dei lisimetri e i liquidi che circolano nel mezzo insaturo, in quanto si possono manifestare adsorbimento, desorbimento, selezione, etc. che, in caso di precipitazione di ferro, possono portare ad occludere i pori;
- variazioni di pH conseguenti al degassamento dell'anidride carbonica durante il campionamento;
- perdita di composti volatili in seguito a volatilizzazione.

Nella Tabella 4.2 sono riportati alcuni dati, derivati da AA.VV. (in ASTM, 1992), circa le possibili interazioni tra il materiale dei dispositivi che si utilizzano per raccogliere le acque nel mezzo insaturo e gli elementi e composti disciolti in acqua.

Le condizioni riscontrate possono avere un valore locale (anche con il concorso di altri fattori) e quindi l'uso della tabella deve essere solo a livello orientativo.

Anche l'assenza di indicazioni (caselle vuote della Tabella 4.2) non deve essere considerata come assenza di interazione.

Tabella 4.2 – Possibili interazioni tra il materiale dei dispositivi di campionamento delle acque interstiziali (C – materiale in ceramica, PTFE – materiale in PTFE, A – alundum poroso, CAF - fibre di acetato di cellulosa, FG-vetro, SF-farina silicea) e diversi elementi e composti disciolti

Elemento o composto	Materiale adsorbente	Materiale desorbente	Materiale selezionato	Interazione non significativa	Assenza di interazione
Al		C – A		C-A-SF	
Alcalinità					
Ca		C-CAF-A		C-PTFE-A-FG-CAF	PTFE
C		FG			
CO ₃		C			
HCO ₃		C			
Cd	C			C-PTFE-A	
Cl				C-SF	PTFE
Cr	C	C-PTFE-A			
Cu	C	C-PTFE		A	
Fe	C	PTFE-A		C-A	PTFE
H				SF	
K	C	C-A		C-CAF-FG	
Mg	C	C-A-CAF		C-PTFE-CAF-FG	PTFE
Mn	C	A		C-PTFE-A	PTFE
Na	C	C-A-CAF		C	PTFE
NH ₄	C			PTFE	
N		FG			
NO ₂				C-PTFE	
NO ₃			CAF	C-PTFE	
N-NO ₃			C-CAF		
(NO ₃ + NO ₂)-N				C	
P	C			CAF-FG	
PO ₄	C			PTFE-CAF	
PO ₄ -P				C-CAF	
Pb					PTFE
SiO ₂		C			
Si				C-PTFE	
SO ₄				C	
Sr		C			
Zn		C			PTFE
Composti ad alto peso molecolare			C-CAF		
4-nitrofenolo	PTFE				

Composti clorurati	PTFE				
Dietilftalato	PTFE			PTFE	
Naftalene	PTFE				
Acenaftene					

4.9 ALTRI METODI

4.9.1 Estrazione con solventi

Uso Estrazione di analiti da campioni di terreno e acque sotterranee. Per la determinazione rapida delle concentrazioni di PCB, IPA e pesticidi esistono procedure di campo semplificate.

Descrizione Questa procedura di estrazione prevede l'utilizzo di solventi organici, acidi e altre sostanze chimiche e di misure, come centrifugazione e filtrazione del campione, al fine di separare la sostanza che si vuole determinare.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati	IPA	Composti inorganici
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
VOCs alogenati	Metalli	Idrocarburi totali
SVOCs alogenati	Radionuclidi	

Impatto sulle matrici campionate

Terreno	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas interstiziale
MINIMO	MODERATO	MODERATO	NON APPLICABILE

Profondità massima Non applicabile

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume di residui prodotti Elevato

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Medio

Limitazioni La procedura può essere complessa e richiedere un grande impiego di tempo.

4.9.2 Digestione termica

Uso Preparazione di campioni di terreno e acque per strumentazioni che richiedono analisi in fase gassosa.

Descrizione Il termine digestione è comunemente usato quando viene utilizzato calore nelle procedure di analisi chimica ad umido. I test colorimetrici di campo richiedono spesso una fase iniziale di digestione.

Sostanze analizzabili

Metalli Radionuclidi Composti inorganici

Impatto sulle matrici campionate

Terreno	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas interstiziale
MINIMO	MINIMO	MINIMO	NON APPLICABILE

Profondità massima Non applicabile

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume di residui prodotti Medio

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Medio

Limitazioni Non applicabile per composti organici.

4.9.3 Estrazione termica/desorbimento

Uso Preparazione di campioni di terreno e acque per strumentazioni che richiedono analisi in fase gassosa. L'uso dell'estrazione

termica/desorbimento abbinata alla gascromatografia e alla spettrometria di massa sta diventando frequente.

Descrizione L'estrazione termica utilizza il calore per preparare il campione per le successive fasi di analisi. Questa procedura può essere molto semplice ad esempio utilizzando un fornello elettrico o a microonde per seccare il campione oppure più complessa usando apparecchiature più sofisticate per vaporizzare i campioni.

Sostanze analizzabili

SVOCs non alogenati SVOCs alogenati IPA

Impatto sulle matrici campionate

Terreno	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas interstiziale
MINIMO	MINIMO	MINIMO	NON APPLICABILE

Profondità massima Non applicabile

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume di residui prodotti Medio

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Medio

Limitazioni Non frequentemente utilizzato nelle applicazioni con gascromatografia e spettrometria di massa.

4.9.4 Tecnica “Purge and Trap”

Uso Estrazione di VOCs da acque sotterranee e terreni.

Descrizione La tecnica “Purge and Trap” consiste nel forzare il passaggio di un gas (generalmente Elio) attraverso terreni e acqua per trascinare i VOCs sia verso la strumentazione d’analisi sia verso trappole assorbenti per estrazioni termiche successive.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati VOCs alogenati

Impatto sulle matrici campionate

Terreno	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas interstiziale
MINIMO	MINIMO	MINIMO	NON APPLICABILE

Profondità massima Non applicabile

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume di residui prodotti Medio

Stato tecnologia Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Medio

Limitazioni Questo metodo permette un recupero migliore rispetto all'estrazione a vuoto o con spazio di testa; tuttavia è richiesta una migliore esperienza operativa e uno speciale equipaggiamento.

4.9.5 Tecnica dello spazio di testa ("headspace")

Uso La tecnica di estrazione con spazio di testa ("headspace") è estremamente semplice per campionare i VOCs.

Descrizione La tecnica consiste nel prelievo con una siringa del gas sovrastante un campione di suolo o acqua all'interno di un contenitore stagno. Nel caso i vapori non si liberino rapidamente si usa effettuare diverse estrazioni.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati VOCs alogenati

Impatto sulle matrici campionate

Terreno	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas interstiziale
MODERATO	MODERATO	MODERATO	NON APPLICABILE

Profondità massima Non applicabile

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume di residui prodotti	Medio
Stato della tecnologia	Metodo disponibile di utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Basso
Limitazioni	L'efficienza varia in relazione del mezzo campionato.
Standard ASTM:	D3871 – 84

4.9.6 Estrazione con assorbenti

Uso Tecnica semplice e poco costosa per estrarre contaminanti da gas o acqua; può essere usata anche quando è richiesta una preconcentrazione dei campioni prima dell'analisi.

Descrizione La tecnica consiste nel mettere il campione a contatto con materiale assorbente come resine, carbone attivo e poliuretani che intrappolano i composti organici mediante filtrazione e adsorbimento. Cartucce di resina possono essere usate per concentrare le sostanze volatili estratti con la tecnica "purge and trap"

Sostanze analizzabili

VOCs alogenati	IPA	Radionuclidi
SVOCs non alogenati	Pesticidi/erbicidi	Esplosivi
SVOCs alogenati	Metalli	

Impatto sulle matrici campionate

Terreno	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas interstiziale
NON APPLICABILE	MINIMO	MINIMO	MINIMO

Profondità massima Non applicabile

Produttività I campioni sono disponibili in tempi brevi

Volume residui prodotti Piccolo

Stato tecnologia Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo

Certificazione Nessuna

Costo unitario relativo Basso

Limitazioni Se l'assorbimento non è completo o se l'assorbente è esausto si possono avere concentrazioni sottostimate.

Una seconda fase di estrazione è richiesta per l'analisi strumentale.

4.9.7 Indicatori biologici

Uso Valutazione dell'impatto biologico potenziale o attuale di una contaminazione.

Descrizione Sono organismi sensibili alla presenza di sostanze inquinanti e ad altre variazioni dell'ambiente in cui vivono e forniscono indicazioni su fenomeni in atto.

Variazioni genetiche, nelle cellule, nei tessuti, nei processi biochimici e nelle funzioni vitali appaiono prima che si presentino disturbi più gravi nelle popolazioni e negli ecosistemi. Questi effetti molecolari e biochimici possono essere scoperti attraverso l'insorgere di variazioni nei livelli degli enzimi, nella struttura delle membrane cellulari e nel materiale genetico (DNA).

Gli indicatori biologici offrono informazioni uniche che non si possono ottenere con altri metodi: (1) sono il primo indizio di pericolo ambientale; (2) forniscono l'effetto integrato di una varietà di stress ambientali sulla salute di un organismo, di una popolazione, di una comunità e dell'ecosistema; (3) relazioni tra la salute di un individuo e il resto della popolazione; (4) primi indizi sul pericolo potenziale per la salute umana; (5) indizi oggettivi sul funzionamento effettivo delle tecniche di bonifica.

Sostanze analizzabili

VOCs non alogenati IPA Composti inorganici

SVOCs non alogenati Pesticidi/erbicidi Esplosivi

VOCs alogenati Metalli Idrocarburi totali

SVOCs alogenati Radionuclidi

Impatto sulle matrici campionate

Terreno Acque sotterranee Acque superficiali Gas interstiziale

MINIMO

MINIMO

MINIMO

MINIMO

Profondità massima	Non applicabile
Produttività	I campioni sono disponibili in tempi lunghi
Volume di residui prodotti	Medio
Stato tecnologia	Metodo disponibile di moderato utilizzo sperimentato sul campo
Certificazione	Nessuna
Costo unitario relativo	Medio
Limitazioni	<p>Richiedono le prestazioni di tecnici specializzati in grado di interpretare accuratamente l'impatto ambientale.</p> <p>In alcuni interventi di bonifica risulta opportuno controllare anche la complessa migrazione delle acque e dei soluti nel mezzo insaturo.</p> <p>Possono essere utilizzati strumenti ed apparecchiature che dal punto di vista quantitativo indicano il contenuto idrico del terreno e dal punto di vista qualitativo consentono il prelievo di acque per le successive determinazioni analitiche.</p>

4.9.8 Misure di contenuto idrico

Esistono diversi sistemi che consentono di determinare l'umidità del terreno, misurando alcune proprietà collegate al suo contenuto idrico.

Essi sono costituiti da:

- Blocchetti di gesso. Sono blocchetti di gesso poroso assorbente che si mantiene in equilibrio con l'umidità del terreno circostante. All'interno del blocchetto sono localizzati due elettrodi mediante i quali si misura la resistività (mediante corrente alternata ad alta frequenza) che è in relazione all'umidità del gesso, in equilibrio con quella del terreno.
- Celle in vetroresina. Sono costituite da un corpo poroso in vetroresina, da una coppia di elettrodi in lega anticorrosiva e da un termistore. Viene effettuata una misura della resistività che risulta proporzionale all'umidità della vetroresina e del terreno limitrofo con cui risulta in equilibrio; si può effettuare la correzione per le condizioni termiche del terreno sulla base della temperatura letta al termistore.

- Psicrometri a termocoppia. Ne esistono di diversi tipi, misurano mediante dei sensori l'umidità del terreno entro un campo di variazione di 0.5 - 80 bar (lo psicrometro a specchio fino ad un massimo di 2500 bar).
- Sensori dielettrici. Lo strumento è costituito da una coppia di sensori elettrici che sono posti a contatto con il terreno e mediante i quali si determina la costante dielettrica dello stesso; la matrice solida ha una costante dielettrica 20-40 volte inferiore a quella dell'acqua.
- Sensori a dissipazione di calore. Viene prodotto calore all'interno di un corpo poroso di un apposito strumento, di conduttività termica analoga a quella del mezzo insaturo e si misura la sua dissipazione mediante sensori; il corpo poroso rimane in equilibrio con il terreno da cui assorbe l'umidità.
- Tensiometri. Sono gli strumenti tradizionali più diffusi e sono costituiti da una coppa porosa e da un circuito idraulico di saturazione e di spurgo nel campo di variazione di 0-0.9 bar; viene misurata la suzione (o potenziale matriciale) e mediante calibrazione si può determinare l'umidità del terreno.

5 SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DI SEDIMENTI

5.1 OBIETTIVI DEL CAMPIONAMENTO

Gli scopi principali del campionamento di sedimenti da un corpo idrico sono:

- determinare l'impatto dei punti di scarico sui sedimenti;
- determinare la concentrazione dei contaminanti a monte e a valle di flussi di alimentazione del corpo idrico non puntuali;
- determinare la complessità dei percorsi di esposizione sulla vita acquatica e terrestre (incluso la complessità delle fonti di rilascio della contaminazione e dei mezzi di trasporto del contaminante).

5.2 CRITERI DI CAMPIONAMENTO

La valutazione del reticolato idrico e delle direzioni di flusso e drenaggio dell'area da indagare costituisce il requisito fondamentale per il posizionamento ottimale dei campioni di sedimenti da prelevare. Un campione dovrebbe essere prelevato nelle zone dove il deflusso superficiale accumula i sedimenti e altri campioni presso le zone di alimentazione del corpo idrico principale. Ulteriori campioni possono essere richiesti per la valutazione degli effetti delle variazioni di apporti idrici stagionali o per gli effetti delle maree. In ogni caso l'analisi completa necessita della valutazione di uno o più campioni di fondo da prelevare a monte della zona di indagine.

Tabella 5.1 - Considerazioni generali sul campionamento dei sedimenti

Corpo Idrico	Posizionamento campioni	Considerazioni
Fiumi	A monte; presso il sito in esame; a valle	Minimo tre campioni per sito; i siti di campionamento devono essere distanti mediamente almeno 1 km
Torrenti	Solamente nell'area impattata	Tre campioni a disposizione casuale
Laghi	Nella zona più profonda; nelle aree degli immissari; nelle aree degli emissari; nelle baie più significative; in ogni altro punto ad alto impatto potenziale	Il numero di campioni dipende dalla grandezza relativa delle aree; minimo un campione per area
Stagni, Piccoli laghi	Nella zona più profonda; nelle aree degli immissari; nelle aree degli emissari; nelle baie più significative; in ogni altro punto ad alto impatto potenziale	Un campione per area

In tabella 5.1. sono raccolte alcune considerazioni di base relativamente alla posizione dei campionamenti ed al loro numero in funzione della natura del corpo idrico.

5.3 METODI DI CAMPIONAMENTO

5.3.1 Campionatore Veihmeyer

Uso	Campionamento di sedimenti sciolti, non adatto a sedimenti compatti.
Descrizione	Campionatore manuale cilindrico raccomandato per prelievi in profondità.
Impatto sulle matrici terreno: MEDIO	
Vantaggi	Può raggiungere elevate profondità. Sono disponibili diverse teste di perforazione in funzione della tipologia di sedimento.
Svantaggi	Molto difficile da pulire. Le parti di cui è composto il campionatore non sono adatte per alcune analisi.

5.3.2 Draga di Ekman

Uso	Campionamento di sedimenti sciolti fini
Descrizione	La draga consiste in una scatola a base quadrata di acciaio inossidabile di 20 x 20 cm, dotata di ganasce che prelevano il campione e lo trattengono poi nella scatola
Impatto sulle matrici terreno: MEDIO	
Vantaggi	Peso molto leggero Facilità di uso e di recupero del campione
Svantaggi	Profondità di campionamento limitata a 15 cm Le ganasce tendono a non chiudersi in sedimenti sabbioso ghiaiosi o compatti.

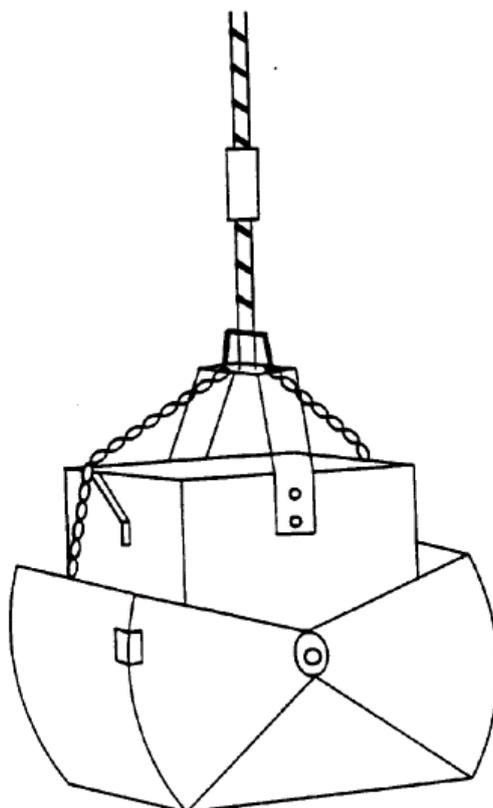


Figura 5.1: Draga Ekman

5.3.3 Draga Ponar

Uso Campionamento di sedimenti

Descrizione La draga consiste in una struttura a conchiglia che si richiude per il campionamento dei sedimenti ed il loro trattenimento all'interno della struttura

Impatto sulle matrici terreno: MEDIO

Vantaggi Peso leggero

Possibilità di campionare sia sedimenti fini sia grossolani

Svantaggi Profondità di campionamento limitata

Impossibilità di recuperare campioni indisturbati

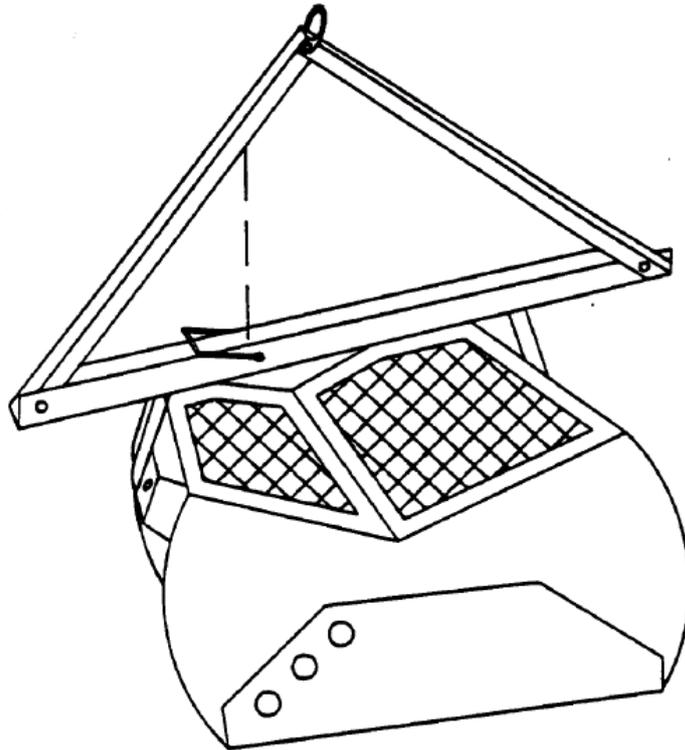


Figura 5.2: Draga Ponar

5.3.4 Campionatore PACS

Uso	Campionamento di sedimenti fangosi.
Descrizione	Campionatore cilindrico pesante a fondo conico per sedimenti fangosi anche viscosi.
Impatto sulle matrice terreno:	MEDIO.
Vantaggi	<p>Può essere utilizzato per fanghi resistenti.</p> <p>Possibilità di campionare a intervalli di profondità diversi.</p> <p>Facilmente decontaminabile.</p>
Svantaggi	Molto pesante.

5.3.5 Campionatore manuale

Uso	Campionamento di sedimenti fini in acque basse.
------------	---

Descrizione Campionatore a pareti sottili cilindrico dotato di valvola superiore per il controllo dell'acqua durante la perforazione.

Impatto sulle matrici terreno: MEDIO

Vantaggi Facilità di uso.
Minimo rischio di contaminazione.

Svantaggi Difficoltà nel recuperare campioni indisturbati.
Non adatto a sedimenti sabbiosi.

5.3.6 Campionatore a gravità

Uso Campionamento di sedimenti.

Descrizione Campionatore con scarpa tagliente sostituibile al fondo e dotato di valvola superiore per il controllo dell'acqua nelle fasi di perforazione.

Impatto sulle matrici terreno: BASSO

Vantaggi Possibilità di recuperare campioni indisturbati.

Svantaggi Può perforare il rivestimento impermeabile di fondo in corpi idrici artificiali.

6 SISTEMI DI CAMPIONAMENTO DEI RIFIUTI

6.1 INDICAZIONI GENERALI

Nella scelta dell'apparecchiatura di campionamento vanno prese in considerazione alcune informazioni di base, come:

- la pericolosità del rifiuto e la relativa procedura di sicurezza da adottare;
- lo stato fisico del rifiuto;
- dove e come il rifiuto è conservato;
- l'accessibilità dei punti di campionamento;
- la dimensione del campione di laboratorio da prelevare.

In genere, nel caso di rifiuti liquidi e semiliquidi, può essere utilizzata l'apparecchiatura normalmente dedicata alla raccolta dei campioni di acque.

In caso di rifiuti solidi vengono generalmente utilizzate trivelle, pale, perforatori, campionatori.

Le apparecchiature utilizzate per tutta la catena di campionamento stabilita nel piano, devono essere realizzate in materiali chimicamente inerti nei confronti del rifiuto che deve essere campionato e/o non produrre contaminazioni accidentali dei campioni raccolti.

Ogni apparecchiatura di campionamento deve essere:

- adatta allo scopo;
- non di utilizzo pericoloso;
- in grado di prelevare campioni significativi dal punto di campionamento prescelto;
- facilmente pulibile;
- di utilizzo semplice.

6.2 STRUMENTI DI CAMPIONAMENTO

Di seguito si riportano le differenti categorie in cui possono essere raggruppati gli strumenti di campionamento. Degli strumenti di cui è già stata fornita descrizione nei capitoli precedenti si riporta il relativo riferimento da consultare nella parte precedente del presente testo. Degli altri si fornisce una breve spiegazione, riportando il riferimento del

paragrafo a seguire che la contiene. Il campo di applicabilità di ciascun campionatore in funzione dello stato fisico del rifiuto e della tipologia del punto in cui esso si trova sono riportati nella Tabella 6.1. In Tabella 6.2 sono invece sinteticamente riportate le caratteristiche principali degli strumenti di campionamento.

6.2.1 Pompe e Sifoni

Possono essere utilizzati per ottenere campioni di rifiuti allo stato liquido e comprendono:

Campionatore Automatico	(par. 6.2.1)
Pompa peristaltica	(par. 4.5.1)
Pompa centrifuga sommersa	(par. 4.5.2)
Pompa inerziale	(par. 4.5.3)
Pompa a membrana	(par. 4.4.1)

6.2.2 Draghe

Includono le apparecchiature che vengono usate prevalentemente per il campionamento del materiale di fondo da corpi idrici a bassa energia e includono:

draga di Ekman	(par. 5.3.2)
draga Ponar	(par. 5.3.3)

6.2.3 Campionatori di profondità

Includono le apparecchiature che permettono di raccogliere campioni a profondità stabilite; vengono perlopiù utilizzati per liquidi stratificati in serbatoi o in accumuli superficiali di rifiuti liquidi di varie dimensioni. Fra questi si hanno:

Campionatore Bacon	(par. 6.2.2)
Campionatore Kemmerer	(par. 4.7.3)
Campionatore pneumatico (a siringa)	(par. 4.7.2)
Campionatore a serbatoio per acqua e fanghi	(par. 6.2.3)

Campionatore a livelli distinti (par. 6.2.4)

6.2.4 Campionatori a pressione

Includono le apparecchiature che effettuano il campionamento di colonne di campioni solidi in profondità tramite l'infissione a pressione, fra le quali si ha:

Carotiere a pressione (par. 2.1.3)

Campionatore a pareti scomponibili (par. 2.2.1)

Campionatore a pareti sottili (par. 2.2.3)

Carotiere con valvola (par. 6.2.5)

Microcarotiere monouso (par. 6.2.6)

Campionatore a siringa modificato (par. 6.2.7)

6.2.5 Campionatori a rotazione

Includono le apparecchiature che effettuano il campionamento di colonne di campioni solidi in profondità tramite l'infissione a rotazione, fra le quali si hanno:

Trivelle (par. 2.1.2)

Carotiere a rotazione (par. 2.2.2)

6.2.6 Campionatori per il profilo verticale di liquidi

Includono le apparecchiature che effettuano il campionamento di colonne di campioni liquidi o fangosi, fra le quali si ha:

Campionatore composito di rifiuti liquidi (Coliwasa) (par. 4.7.3)

Campionatore a due valvole (par. 6.2.8)

Campionatore con valvola di fondo (par. 6.2.9)

Campionatore di solidi in sospensione (par. 6.2.10)

6.2.7 Campionatori di superficie

Includono le apparecchiature che effettuano il campionamento da superficie generalmente a basse profondità, fra le quali si ha:

Bailer	(par. 4.7.1)
Campionatore manuale a serbatoio	(par. 6.2.11)
Campionatore manuale a valvola	(par. 6.2.12)
Pale, cucchiai	(par. 2.1.1)

6.2.8 Campionatore automatico

Il campionatore automatico viene utilizzato solitamente con una pompa peristaltica e permette l'effettuazione di campionamenti periodici. Può essere programmato per ottenere campioni a intervalli specifici, campioni continui, o campioni miscela su più intervalli di tempo. E' disponibile anche un campionatore automatico specifico per l'analisi dei composti organici volatili.



Figura 6.1: Campionatore automatico

Vantaggi	<p>Può fornire campioni a intervalli di tempo prefissati o campioni compositi;</p> <p>Non necessita la presenza dell'operatore e può essere programmato per prelevare campioni di volume variabile nel tempo.</p>
Limitazioni	<p>Richiede energia elettrica;</p> <p>Può essere difficile da decontaminare;</p>

Può non operare correttamente quando il campione contiene un'elevata percentuale di solidi;

Campioni molto contaminati possono intaccare alcune componenti del campionatore.

6.2.9 Campionatore Bacon

E' un tipo di campionatore che fornisce campioni di liquido a profondità specifiche. Il volume del campione prelevato varia tra 100 e 500 ml. Il campionatore Bacon, costituito da un corpo cilindrico prevalentemente in acciaio inossidabile, viene calato nel liquido con una linea primaria di sostegno a cui è collegata una valvola che permette l'ingresso del liquido. Una linea secondaria collegata alla testa della valvola regola la sua apertura e chiusura che viene mantenuta fino a che il campione raccolto non viene direttamente trasferito nell'apposito contenitore per l'analisi.



Figura 6.2: Campionatore Bacon

Vantaggi

Permette il campionamento a profondità prefissate;

Facile da utilizzare.

Limitazioni

Può essere difficile da decontaminare;

Il volume massimo del campione prelevato è di 500 ml;

Il materiale di cui è composto può essere non compatibile con i contaminanti ricercati.

6.2.10 Campionatore a serbatoio per acqua e fanghi

E' uno strumento che fornisce campioni prelevati a profondità specifiche, utilizzabile per liquidi, rifiuti liquidi stratificati, e rifiuti a fase mista liquido-solidi. Il volume tipico del campione è 1L. Il campionatore viene immerso nel materiale da campionare e aperto alla profondità di interesse, e poi chiuso con un coperchio prima dell'estrazione dal materiale.

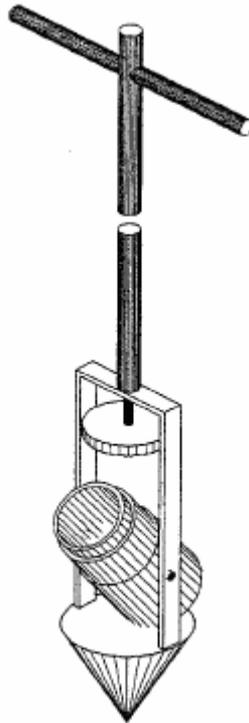


Figura 6.3: Campionatore a serbatoio per acqua e fanghi

Vantaggi

Il serbatoio nell'apparecchiatura serve anche come contenitore del campione riducendo il rischio di contaminazioni incrociate;

Gli elementi per il campionamento sono utilizzati per un solo campione e non è richiesta la loro pulizia per usi successivi.

Limitazioni

Apparecchiatura pesante e campione di volume limitato;

Fanghi molto densi sono difficili da campionare.

6.2.11 Campionatore a livelli distinti

E' costituito da un campionatore cilindrico smontabile dotato di una valvola comandata manualmente. Adatto per acque superficiali e sotterranee, scarichi puntuali, liquidi

stratificati e non, permette il prelievo di campioni tra 0.2 e 0.5 l. Il campionatore, in PTFE o in acciaio inossidabile, ha una versione standard, con una valvola superiore a comando manuale e una molla di ritenuta inferiore, e una versione a valvola doppia.

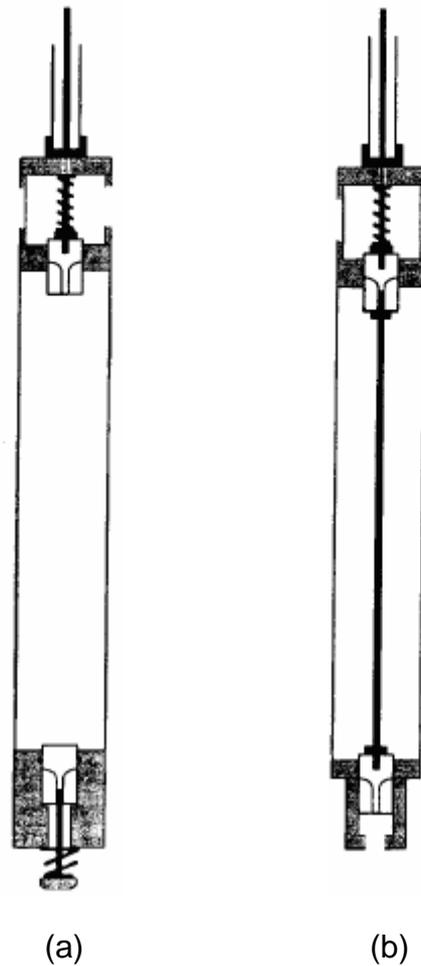


Figura 6.4: Campionatore a livelli distinti standard (a) e a doppia valvola (b)

Vantaggi

Relativamente facile da decontaminare e riutilizzare;

Può essere utilizzato per campionare liquidi in diverse condizioni ambientali;

La rappresentatività del campione non è influenzata dal liquido al di sopra dell'orizzonte di campionamento;

Il cilindro campionatore può essere utilizzato per lo stoccaggio ed il trasporto al laboratorio di analisi.

Limitazioni

Volume del campione limitato;

Può essere incompatibile con liquidi contenenti elevate percentuali di solido.

6.2.12 Carotiere con valvola

Il carotiere con valvola, che viene infisso a spinta, è raccomandato per materiali coesivi ma può essere utilizzato anche per rifiuti solidi non consolidati e rifiuti a fase mista solido/liquida. Il volume del campione prelevabile va da 0.2 a 1.5 l. Il carotiere è composto da un tubo campionatore cilindrico in acciaio dotato di tappo superiore, utensile di perforazione, e di una valvola di non ritorno inferiore, a tergo dell'utensile, che funziona da elemento di ritenuta del campione.

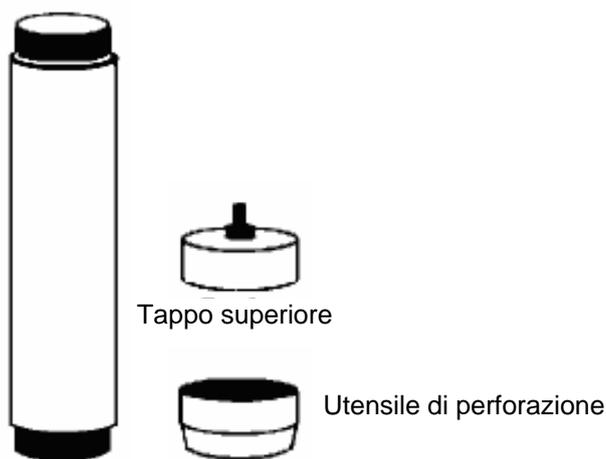


Figura 6.5: Carotiere con valvola di fondo

Vantaggi

- Riutilizzabile e facilmente decontaminabile;
- Fornisce un campione relativamente indisturbato;
- Può essere utilizzato manualmente.

Limitazioni

- Non utilizzabile per campionare materiali contenenti elementi grossolani;
- Quando viene utilizzato per campioni contenenti componenti volatili, deve essere utilizzato con un rivestimento interno e sigillato per minimizzare la perdita di questi componenti.

6.2.13 Microcarotiere monouso

Può essere utilizzato per campionare rifiuti o terreni contaminati contenenti volatili organici. E' uno strumento a infissione monouso che può anche essere utilizzato come contenitore di campioni ermetico per la conservazione ed il trasporto al laboratorio di analisi. Raccomandato per il prelievo di campioni appena al di sotto della superficie topografica, a fondo scavo o sulle pareti di trincee. Non utilizzabile in materiale cementato

o contenente componenti grossolane. Il microcarotiere viene fornito in due dimensioni diverse per campioni di 5 e 25 grammi.

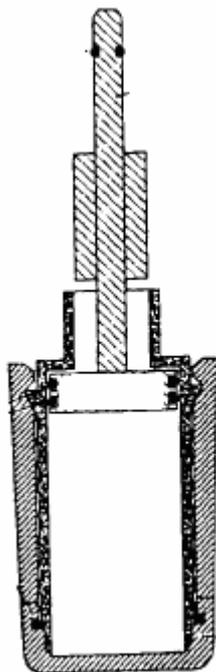


Figura 6.6: Microcarotiere monouso

Vantaggi

Utilizzabile anche per la conservazione ed il trasporto del campione;

Raccomandato per campioni che contengono composti organici volatili;

Nessuna significativa limitazione fisica per l'uso;

Nessun problema di contaminazione incrociata legata al monouso.

Limitazioni

Non utilizzabile per materiali compatti o grossolani;

Pratiche di campionamento non strettamente rigorose causano facilmente l'intrappolamento di aria nel campione e la non tenuta del campionatore.

6.2.14 Campionatore a siringa modificato

E' uno strumento a infissione utilizzato per fornire sottocampioni di terreni, sedimenti e rifiuti solidi non consolidati. Non raccomandato per materiali compatti o grossolani. Può essere utilizzato per i componenti organici volatili se viene effettuata una rapida estrusione del campione in appositi contenitori a tenuta. Il volume del campione va da 0.01 a 0.05 l.

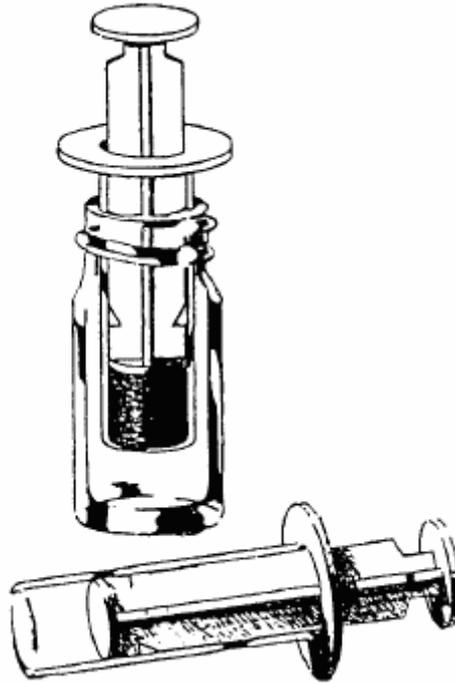


Figura 6.7: Campionatore a siringa modificato

Vantaggi

- Si ottiene un campione poco disturbato;
- Utilizzabile per l'analisi di composti organici volatili;
- Campionatore monouso a basso costo.

Limitazioni

- Non utilizzabile per materiale consolidato o grossolano;
- Il materiale di costruzione può essere incompatibile con materiali molto contaminati;
- Non utilizzabile per la conservazione ed il trasporto del campione.

6.2.15 Campionatore con valvola di fondo

E' uno strumento per campionare liquidi mantenendone inalterato il profilo verticale. E' raccomandato per liquidi, rifiuti liquidi stratificati, e rifiuti a fase mista solido/liquida. Il volume tipico del campione è compreso tra 0.3 e 1.6 l. Può essere fatto in PTFE per il riutilizzo o in polipropilene per monouso, e comprende un tubo dotato di una piastra superiore e una valvola di fondo. Un indicatore galleggiante ad anello permette di identificare livelli specifici o interfacce tra livelli di fluidi differenti.



Figura 6.8: Campionatore con valvola di fondo

- Vantaggi**
- Facile da utilizzare e poco costoso;
 - Ottiene campioni fino alla profondità di 2.5 m;
 - Esistente in versione monouso o multiuso.
- Limitazioni**
- Talvolta difficile da decontaminare
 - Difficoltà a campionare liquidi molto viscosi

6.2.16 Campionatore di solidi in sospensione

Il campionatore per solidi in sospensione, costituito da PVC, ha una valvola di chiusura di fondo e una corda superiore e viene assemblato con elementi connettabili fra loro graduati fino a raggiungere la profondità di campionamento desiderata. Il volume del campione va da 1.3 a 4.0 l. L'apertura e la chiusura della valvola vengono comandate dalla corda superiore.

- Vantaggi**
- Permette la misura del solido in sospensione in un liquido alla profondità desiderata;
 - Facile da montare e utilizzare.
- Limitazioni**
- Difficoltà a campionare liquidi ad elevate viscosità.

6.2.17 Campionatore manuale a serbatoio

E' un campionatore di superficie per prelievi a profondità limitate (< 50 cm) di campioni con volume tra 0.5 e 1.0 l. E' costituito da un contenitore in vetro, metallo o plastica attaccato ad un asta telescopica a tre pezzi.

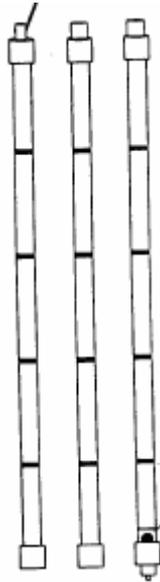


Figura 6.9: Campionatore di solidi in sospensione

Vantaggi

Poco costoso e facile da costruire.

Limitazioni

Utilizzabile solo per campioni a bassa profondità in liquidi non stratificati

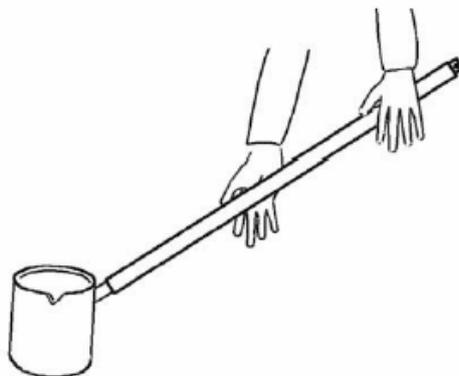


Figura 6.10: Campionatore manuale a serbatoio

6.2.18 Campionatore manuale a valvola

E' un campionatore di superficie adatto al prelievo a profondità prefissate di campioni con volume compreso tra 0.5 e 1.0 l. E' generalmente in polipropilene o PTFE con manico in alluminio o acciaio inossidabile e cilindro campionario in vetro o plastica. Entrata e trattenimento del liquido sono regolati da una valvola a controllo manuale

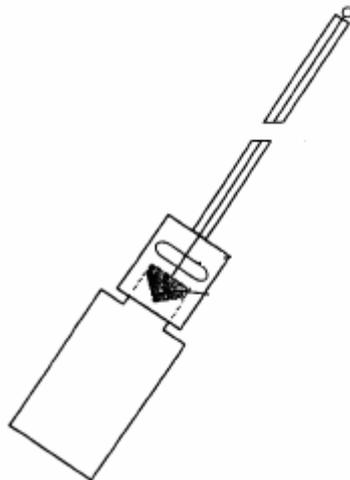


Figura 6.11: Campionatore manuale a valvola

Vantaggi

Facile da utilizzare

Il cilindro campionario può essere sigillato per il trasporto del campione in laboratorio

Il meccanismo a valvola impedisce l'ingresso di contaminanti durante l'immissione prima che si raggiunga la profondità desiderata

Limitazioni

Il cilindro in vetro può essere facilmente rotto.

Il materiale di costruzione deve essere compatibile con il mezzo campionato

6.3 CAMPIONAMENTO DI RIFIUTI PER L'ANALISI DEI COMPONENTI ORGANICI VOLATILI

Per quanto riguarda il campionamento dei rifiuti per l'analisi dei VOC, si rimanda a quanto specificato per i terreni nel Capitolo 2.3.

Tabella 6.1 – Campo di applicabilità degli strumenti di campionamento in funzione dello stato fisico del rifiuto e della tipologia del punto in cui si trova.

Mezzo	Sito o punto di campionamento	Apparecchiatura
Fanghi e sospensioni solido-liquido	Fusti	COLIWASA Campionatore manuale a serbatoio Campionatore manuale a valvola Campionatore a valvola di fondo Campionatore di solidi in sospensione Campionatore a siringa
	Serbatoi	COLIWASA Campionatore manuale a serbatoio Campionatore manuale a valvola Campionatore a valvola di fondo Campionatore di solidi in sospensione Campionatore a siringa Campionatore a serbatoio per acqua e fango Draga Ponar
	Accumuli superficiali in depressioni	Campionatore manuale a serbatoio Campionatore a serbatoio per acqua e fango Campionatore manuale a valvola Pompa peristaltica Campionatore a valvola di fondo Draga Ponar Campionatore di solidi in sospensione
Solidi granulari sciolti	Fusti	Trivelle Carotiere con valvola Microcarotiere monouso Campionatore a siringa modificato Campionatore a pareti scomponibili Pale, cucchiai
	Sacchi e big bags	Campionatore a tubo concentrico Microcarotiere monouso Campionatore a siringa modificato Campionatore a pareti scomponibili Pale, cucchiai

Tabella 6.1 (continua)

Solidi granulari sciolti (continua)	Contenitori aperti	Trivelle Carotiere con valvola Microcarotiere monouso Campionatore a siringa modificato Campionatore a pareti scomponibili Pale, cucchiai Campionatore a tubo concentrico
	Pile di rifiuti	Trivelle Carotiere con valvola Microcarotiere monouso Campionatore a siringa modificato Campionatore a pareti scomponibili Pale, cucchiai Campionatore a tubo concentrico
Altri solidi sciolti	Fusti	Trivelle Pale, cucchiai
	Sacchi e big bags	Trivelle Pale, cucchiai
	Contenitori aperti	Trivelle Pale, cucchiai
	Pile di rifiuti	Trivelle Pale, cucchiai Campionatore a tubo sottile
Solidi compatti	Contenitori aperti	Carotiere a pressione Carotiere a rotazione
	Pile di rifiuti	Carotiere a pressione Carotiere a rotazione
	Strutture	Carotiere a rotazione
Liquidi, senza strati singoli di interesse	Fusti	COLIWASA Campionatore manuale a serbatoio Campionatore manuale a valvola Pompa peristaltica Campionatore a valvola di fondo Campionatore di solidi in sospensione Campionatore a siringa

Tabella 6.1 (continua)

Liquidi, senza strati singoli di interesse (continua)	Accumuli superficiali in depressioni	<p>Campionatore automatico</p> <p>Campionatore Bacon</p> <p>Bailer</p> <p>Pompe sommerse</p> <p>Campionatore manuale a serbatoio</p> <p>Campionatore Kemmerer</p> <p>Campionatore manuale a valvola</p> <p>Pompa peristaltica</p> <p>Campionatore a valvola di fondo</p> <p>Campionatore di solidi in sospensione</p> <p>Campionatore a siringa</p>
	Serbatoi	<p>Campionatore Bacon</p> <p>Bailer</p> <p>COLIWASA</p> <p>Campionatore manuale a serbatoio</p> <p>Campionatore Kemmerer</p> <p>Campionatore manuale a valvola</p> <p>Pompa peristaltica</p> <p>Campionatore a valvola di fondo</p> <p>Campionatore di solidi in sospensione</p> <p>Pompe sommerse</p> <p>Campionatore a siringa</p>
	Scarichi	<p>Campionatore automatico</p> <p>Pompa a membrana</p> <p>Pompe sommerse</p> <p>Campionatore manuale a serbatoio</p> <p>Campionatore manuale a valvola</p> <p>Campionatore a valvola di fondo</p>
Liquidi stratificati	Fusti	<p>COLIWASA</p> <p>Campionatore a livelli distinti</p> <p>Campionatore manuale a serbatoio</p> <p>Campionatore a valvola di fondo</p> <p>Campionatore di solidi in sospensione</p> <p>Campionatore a siringa</p>

Tabella 6.1 (continua)

<p>Liquidi stratificati (continua)</p>	<p>Accumuli superficiali in depressioni</p>	<p>Campionatore automatico Campionatore Bacon Pompa a membrana Pompa sommersa Campionatore a livelli distinti Pompa peristaltica Pompa inerziale Campionatore manuale a serbatoio Campionatore di solidi in sospensione Campionatore a siringa</p>
	<p>Serbatoi</p>	<p>COLIWASA Pompa sommersa Campionatore Bacon Bailer Campionatore a livelli distinti Pompa peristaltica Campionatore manuale a serbatoio Campionatore a valvola di fondo Campionatore di solidi in sospensione Campionatore a siringa</p>

Tabella 6.2 - caratteristiche principali di ogni strumento di campionamento

Strumento	Tipo di campione	Volume (litri per campionamento)	Commenti
Campionatore automatico	Poco profondo (1 m), composito o discreto	senza limite	Possono essere utilizzati per campioni contenenti composti volatili. Richiede alimentazione elettrica. Comunemente usato per gli impianti di trattamento acque.
Campionatore Bacon	Profondo, discreto	da 0.1 a 0.5	Per parametri che non richiedono un campionatore in tetrafluoroetilene. Può essere difficile da decontaminare.
Bailer	Profondo, discreto	da 0.5 a 2.0	Non raccomandato per campionamenti di acque che richiedono analisi di composti in tracce. Non adatto per raccogliere campioni a profondità specifiche.
Pompa a membrana	Profondo, discreto	senza limite	Le parti di contatto sono in PTFE, PVC e acciaio inossidabile. Richiede alimentazione elettrica e gas compresso. Adatto per organo-alogenati. Difficile da decontaminare.
Trivelle	Superficiali o profonde, disturbato	da 0.2 a 1.0	Facile e rapido per campioni superficiali. Non adatto per organo-alogenati.
Pompa sommersa	Profondo, discreto	senza limite	Le parti di contatto sono in PTFE, PVC e acciaio inossidabile. Richiede alimentazione elettrica. Non compatibile con liquidi contenenti alte percentuali di solido. Facile da decontaminare.
COLIWASA	superficiali, composito	da 0.5 a 3.0	Disponibile anche monouso, poco costoso. Per mezzi misti solido-liquidi, campiona prevalentemente la fase liquida. Non adatto per liquidi ad elevata viscosità.
Campionatore a tubo concentrico	superficiale, relativamente indisturbato, selettivo	da 0.5 a 1.0	Adatto per materiali granulari sciolti secchi, non adatto per campioni a granulometria grossolana.

Tabella 6.2 (continua)

Strumento	Tipo di campione	Volume (litri per campionamento)	Commenti
Carotiere a pressione	superficiale o profondo, disturbato	da 0.2 a 1.5	Utilizzabile per terreni umidi e fanghi. Utilizzabile per organo-alogenati. Riutilizzabile e facile da decontaminare.
Campionatore manuale a serbatoio	superficiale, composito	da 0.5 a 1.0	Poco costoso. Non adatto a campionamenti in liquidi stratificati.
Campionatore a livelli distinti	profondi, discreti	da 0.2 a 0.5	Facile da decontaminare. Limitato dal basso volume del campione e dalla presenza di alte concentrazioni di solido nel liquido.
Campionatore Kemmerer	profondi, discreti	da 1.0 a 2.0	Può essere difficile da decontaminare, il contenitore del campione è esposto nel mezzo indagato a diverse profondità mentre viene calato al punto di campionamento.
Campionatore a serbatoio per acqua e fanghi	discreto o composito	1.0	Può campionare a differenti profondità e campioni fino al 40% in solido. Pesante.
Campionatore manuale a valvola	superficiale, discreto, solo composito per le frazioni solide sospese	da 0.5 a 1.0	Facile da usare. Può essere sigillato e utilizzato per il trasporto del campione. Può campionare a profondità prestabilite.
Microcarotiere monouso	discreto	da 0.01 a 0.5	Solo per materiali fini non compattati. Con l'utilizzo di anelli a tenuta può minimizzare la perdita di volatili o essere utilizzato anche per il trasporto del campione.
Campionatore a siringa modificato	discreto	da 0.01 a 0.5	Poco costoso. Il campione deve essere trasferito in un vial per il trasporto. Usato per prendere un campione dal materiale di superficie o un sotto-campione da una carota.
Campionatore a pressione	discreto, indisturbato	da 0.2 a 2.0	Versatile, utilizzabile in presenza di volatili, rende i campioni disponibili anche per analisi in sito. Limitato dalla ridotta volumetria

			del campione e dalla natura del materiale sub superficiale.
--	--	--	---

Tabella 6.2 (continua)

Strumento	Tipo di campione	Volume (litri per campionamento)	Commenti
Pompa peristaltica	superficiale, discreto, solo composito per le frazioni solide sospese	senza limiti	Possibilità di campionare a profondità multiple fino a circa 8 m. La decontaminazione della pompa non è richiesta e i tubi sono facili da sostituire.
Campionatore a valvola di fondo	superficiale o profondo, discreto	da 0.2 a senza limite	Usato per campionare colonne verticali di liquido. Anche monouso.
Draga Ponar	superficiale in ambienti sommersi, rimaneggiato	da 0.5 a 3.0	Utilizzabile su un ampia gamma di substrati sommersi. Può essere pesante.
Carotiere a rotazione	superficiale o profondo indisturbato	da 0.5 a 1.0	Adatto a qualsiasi tipo di materiale. Costoso.
Campionatore per solidi sospesi	profondo, composito	da 1.3 a 4.0	Facile da assemblare, riutilizzabile e resistente. Non raccomandato per materiali molto viscosi.
Campionatore a siringa	superficiale, discreto, rimaneggiato	da 0.2 a 0.5	Adatto anche per liquidi viscosi. Facile da decontaminare. Ottiene campioni a profondità stabilite ma di limitato volume.
Tubo a pareti sottili	superficiale o profondo, indisturbato	da 0.5 a 5.0	Poco costoso, facile da decontaminare.
Campionatore a pareti scomponibili	superficiale, relativamente indisturbato, selettivo	da 0.1 a 0.5	Adatto per materiale fine umido.

BIBLIOGRAFIA

AGI (Associazione Geotecnica Italiana) (1994) – "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio".

ARPA Lombardia (2003) – "Linee Guida Serbatoi Interrati". Documento definitivo concordato con i dipartimenti ARPA il 26/03/2003, Milano

ASTM (American Society for Testing and Materials) – D422-63 "Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils". ASTM International, 10 Nov 2002.

Gilbert R.O., LeGore T., O'Brien R.F. (1996) – "An Overview of Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards for Soils, Solid Media and Groundwater". For U.S. EPA, EPA Volumes 1, 2, 3

Backhus, D.A., J.N. Ryan, D.M. Groher, J.K. McFarlane, and P.M. Gschwend. 1993. Sampling Colloids and Colloid-Associated Contaminants in Ground Water. *Ground Water*, 31(3):466-479.

Barcelona, M.J., J.A. Helfrich, E.E. Garske, and J.P. Gibb. 1984. A laboratory evaluation of groundwater sampling mechanisms. *Ground Water Monitoring Review*. 4(2):32-41.

Barcelona, M.J. and J.A. Helfrich. 1986. Well construction and purging effects on groundwater samples. *Environ. Sci. Technol.* 20(11):1179-1184.

Barcelona, M.J., H.A. Wehrmann, and M.D. Varljen. 1994. Reproducible well purging procedures and VOC stabilization criteria for ground-water sampling. *Ground Water*. 32(1):12- 22.

Buddemeier, R.W. and J.R. Hunt. 1988. Transport of Colloidal Contaminants in Ground Water: Radionuclide Migration at the Nevada Test Site. *Applied Geochemistry*, 3, 535-548.

Danielsson, L.G. 1982. On the Use of Filters for Distinguishing Between Dissolved and Particulate Fractions in Natural Waters. *Water Research*, 16:179.

Department of Environmental Quality, State of Michigan (1994) – "Guidance Document – Verification of Soil Remediation". Environmental Response Division, Waste Management Division, April 1994, Rev. 1.

Enfield, C.G. and G. Bengtsson. 1988. Macromolecular Transport of Hydrophobic Contaminants in Aqueous Environments. *Ground Water* 26(1): 64-70.

Gschwend, P.M. and M.D. Reynolds. 1987. Monodisperse Ferrous Phosphate Colloids in an Anoxic Groundwater Plume, *J. of Contaminant Hydrol.* 1, 309-327.

Herzog, B., J. Pennino, and G. Nielsen. 1991. Ground-Water Sampling, in D.M. Nielsen, ed. *Practical Handbook of Ground-Water Monitoring*. Lewis Publishers, Chelsea, MI, pp. 449-499.

Horowitz, A.J., K.A. Elrick, and M.R. Colberg. 1992. The effect of membrane filtration artifacts on dissolved trace element concentrations. *Water Res.* 26(6):753-763.

ISO 5667-1:1980: Water quality -- Sampling -- Part 1: Guidance on the design of sampling programmes

ISO 5667-2:1991: Water quality -- Sampling -- Part 2: Guidance on sampling techniques

ISO 5667-3:2003: Water quality -- Sampling -- Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples

ISO 5667-10:1992: Water quality -- Sampling -- Part 10: Guidance on sampling of waste waters

ISO 5667-11:1993: Water quality -- Sampling -- Part 11: Guidance on sampling of groundwaters

ISO 5667-12:1995: Water quality -- Sampling -- Part 12: Guidance on sampling of bottom sediments

ISO 5667-13:1997: Water quality -- Sampling -- Part 13: Guidance on sampling of sludges from sewage and water-treatment works

ISO 5667-14:1998: Water quality -- Sampling -- Part 14: Guidance on quality assurance of environmental water sampling and handling

ISO 5667-17:2000: Water quality -- Sampling -- Part 17: Guidance on sampling of suspended sediments

Laxen, D.P.H. and I.M. Chandler. 1982. Comparison of Filtration Techniques for Size Distribution in Freshwaters. *Analytical Chemistry*, 54(8):1350.

McCarthy, J.F. and J.M. Zachara. 1989. Subsurface Transport of Contaminants, *Environ. Sci. Technol.*, 5(23):496-502.

McCarthy, J.F. and C. Degueldre. 1993. Sampling and Characterization of Colloids and Particles in Ground Water for Studying Their Role in Contaminant Transport. In: *Environmental Particles* (eds. Buffle, J. and van Leeuwen H.P.), Lewis Publ., pp 247-315.

Parker, L.V. 1994. The Effects of Ground Water Sampling Devices on Water Quality: A Literature Review. *Ground Water Monitoring and Remediation*, 14(2):130-141.

Penrose, W.R., W.L. Polzer, E.H. Essington, D.M. Nelson, and K.A. Orlandini. 1990. Mobility of Plutonium and Americium through a Shallow Aquifer in a Semiarid Region, *Environ. Sci. Technol.*, 24:228-234.

Provincia di Milano (1999) – “Linee Guida N.1 – Perimetrazione e Caratterizzazione di un Sito Contaminato”. Settore Ecologia – U.O. Tecnica Progetti Speciali – Ufficio Bonifiche Suolo e Sottosuolo, 12 febbraio 1999, Milano

Puls, R.W. and M.J. Barcelona. 1989. Filtration of Ground Water Samples for Metals Analyses. *Hazardous Waste and Hazardous Materials* 6(4):385-393.

Puls, R.W., J.H. Eychaner, and R.M. Powell. 1990. Colloidal-Facilitated Transport of Inorganic Contaminants in Ground Water: Part I. Sampling Considerations. U.S. Environmental Protection Agency Environmental Research Brief, EPA/600/M-90/023.

Puls, R.W. 1990. Colloidal Considerations in Groundwater Sampling and Contaminant Transport Predictions. *Nuclear Safety*, 31(1):58-65.

Puls, R.W. and R.M. Powell. 1992. Acquisition of Representative Ground Water Quality Samples for Metals. *Ground Water Monitoring Review*, 12(3), 167-176.

Puls, R.W., D.A. Clark, B.Bledsoe, R.M. Powell, and C.J. Paul. 1992. Metals in Ground Water: Sampling Artifacts and Reproducibility. *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 9(2).

Puls, R.W. and C.J. Paul. 1995. Low-Flow Purging and Sampling of Ground-Water Monitoring Wells with Dedicated Systems. *Ground Water Monitoring and Remediation*, 15(1):116-123.

Raimondi P., Grossrubatscher D. (2000) – “Protocollo definitivo di monitoraggio ed analisi relativo all'intervento di bonifica (autorizzazione n.14 del 29/01/99 del Comune di Milano)”. Provincia di Milano, prot.55180/2063/97, Milano

Repubblica Italiana (1997) – “Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi fisica dei suoli””. D.M. Ministero per le Politiche Agricole del 1 agosto 1997, G.U. N.173 del 2 settembre 1997, Roma

Repubblica Italiana (1999) – “Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo””. D.M. Ministro per le Politiche Agricole del 13/09/1999, G.U. N.248 del 21 ottobre 1999, Roma

Repubblica Italiana (1999b) – “Regolamento recante criteri, procedure e modalità di messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22 e successive modificazioni e integrazioni”. D.M. del 25 ottobre 1999, n. 471, Ministero dell'Ambiente, G.U. del 15 dicembre 1999, n. 293 Serie generale, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma

Repubblica Italiana (2003) – “Procedure da applicarsi alla caratterizzazione, alla movimentazione ed alla destinazione dei terreni inquinati provenienti da aree oggetto di interventi di bonifica, ai sensi e per gli effetti dell'art. 17 del d.lgs. 5 febbraio 1997, n.22”. D.g.r. 20 giugno 2003, n.7/13410. Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia. Estratto dalla Serie Ordinaria – N.28 – 7 luglio 2003, Milano

Repubblica Italiana (2006) – “Norme in materia ambientale” D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, Ministero dell'Ambiente, Suppl. Ord. G.U. N.88 del 14 aprile 2006, Roma.

Ryan, J.N. and P.M. Gschwend. 1990. Colloid Mobilization in Two Atlantic Coastal Plain Aquifers, *Water Resour. Res.*, 26, 307-322.

Sesana G., Brunetti F., Dellavedova P. (2003) – “Criteri e modalità di validazione dei dati analitici da parte dei laboratori ARPA”. Provincia di Milano – Atti del convegno: La bonifica dei siti contaminati: dall'esperienza in campo esempi di soluzioni alle problematiche – 15 novembre 2002, Milano

Thurnblad, T.. 1994. *Ground Water Sampling Guidance: Development of Sampling Plans, Sampling Protocols, and Sampling Reports*. Minnesota Pollution Control Agency.

UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 1988: Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e

fanghi. Campionamento manuale e preparazione ed analisi degli elusati. Norma UNI10802

USEPA. 1992. RCRA Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance, Office of Solid Waste, EPA/530-R-93-001, PB93-139-350, Washington, DC.

USEPA. 1995. Ground Water Sampling Workshop -- A Workshop Summary, Dallas, TX, November 30 - December 2, 1993. EPA/600/R-94/205, 126 pp.

USEPA. 1982. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, EPA SW-846. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington D.C.

USEPA. 1994a. Waste Analysis at Facilities That Generate, Treat, Store, and Dispose of Hazardous Wastes, a Guidance Manual. OSWER 9938.4-03. Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, DC.

<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/ldr/wap330.pdf>

USEPA. 1994b. "Drum Sampling." Environmental Response Team SOP #2009, Revision #0.0. Edison, NJ. <http://www.ert.org/>

USEPA. 1994c. "Tank Sampling." Environmental Response Team SOP #2010, Revision #0.0. Edison, NJ. <http://www.ert.org/>

USEPA. 1994d. "Waste Pile Sampling." Environmental Response Team SOP #2017, Revision #0.0. Edison, NJ. <http://www.ert.org/>

USEPA. 1994e. "Sediment Sampling." Environmental Response Team SOP #2016, Revision #0.0. Edison, NJ. <http://www.ert.org/>

USEPA. 1994f. "Sampling Equipment Decontamination." Environmental Response Team SOP #2006, Revision #0.0. Edison, NJ. <http://www.ert.org/>

USEPA. 2001a. Data Quality Objectives Decision Error Feasibility Trials Software (DEFT) User's Guide. EPA/240/B-01/007. (User's guide and software) Office of Environmental Information. Washington, DC. http://www.epa.gov/quality/qa_docs.html

USEPA. 2001b. EPA Requirements for Quality Assurance Project Plans, EPA QA/R-5. EPA/240/B-01/003. Office of Environmental Information. Washington, DC. http://www.epa.gov/quality/qa_docs.html

USEPA. 2001c. Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation EPA QA/G-8. Quality Staff, Office of Environmental Information, United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C. PEER REVIEW DRAFT. June 2001.

USEPA. 2001d. Land Disposal Restrictions: Summary of Requirements. EPA530-R-01-007. Office of Solid Waste and Emergency Response and Enforcement and Compliance Assurance. Revised August 2001.

USEPA. 2001e. Guidance on Data Quality Indicators EPA QA/G-5i. PEER REVIEW DRAFT. Office of Environmental Information, Washington, D.C. September 2001.

USEPA. 2001f. EPA Requirements for Quality Management Plans, EPA QA/R-2. EPA/240/B- 01/002. Office of Environmental Information. Washington, DC. March. http://www.epa.gov/quality/qa_docs.html

USEPA. 2001g. Contract Laboratory Program (CLP) Guidance for Field Samplers - Draft Final. OSWER 9240.0-35. EPA540-R-00-003. Office of Solid Waste and Emergency Response. June. <http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/clp/guidance.htm>

U.S. Environmental Protection Agency (1989) – “Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards – Volume 1: Soils and Solid Media”. EPA 230/02-89-042 Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (1994) – “Statistical Methods For Evaluating The Attainment Of Cleanup Standards – Volume 3: Reference-Based Standards For Soils And Solid Media” EPA 230-R-94-004, Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington D.C.

U.S. Environmental Protection Agency (1995) – “EPA Observational Economy Series – Volume 1: Composite Sampling”. EPA-230-R-95-005, Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington D.C.