



Università degli Studi di Catania
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Tecniche di indagine e metodologie di campionamento per la caratterizzazione dei siti contaminati

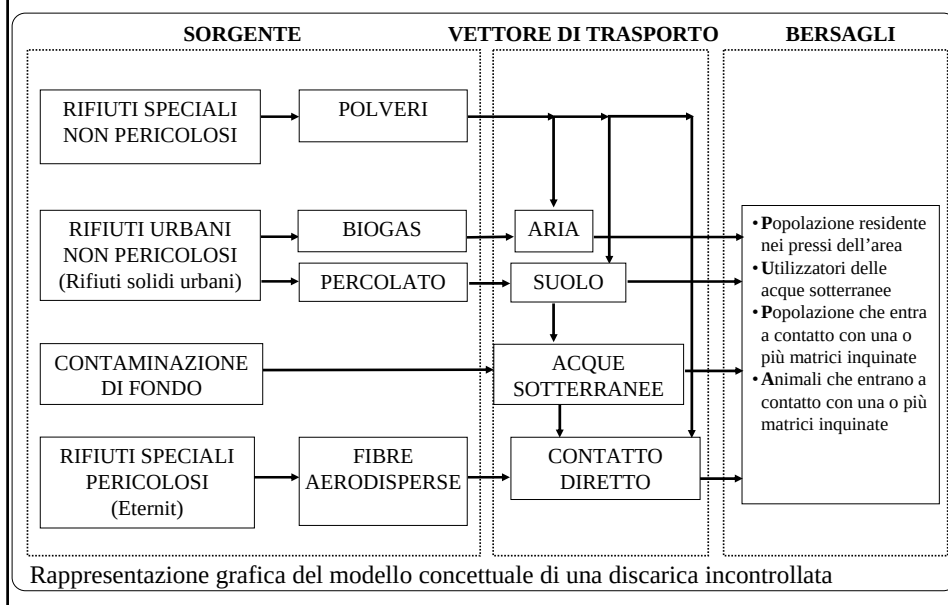
Caratterizzazione di un Sito Contaminato (1)

- La caratterizzazione di un sito contaminato costituisce la prima fase di un progetto di bonifica e risulta di fondamentale importanza per il buon esito dell'intervento di bonifica.
- La fase di raccolta e sistemazione dei dati esistenti si pone principalmente i seguenti obiettivi:
 - Individuare, mediante l'analisi della storia produttiva pregressa ed attuale del sito, la presenza di eventuali punti critici (zone oggetto di scarico, deposito, stoccaggio, rinterro di rifiuti, serbatoi interrati, etc.) dal punto di vista ambientale;
 - Individuare preliminarmente le sostanze che possano aver interagito con le matrici ambientali, su cui focalizzare l'attenzione;
 - Inquadrare dal punto di vista geologico e idrogeologico, sulla base di indagini e di studi condotti in passato, il sito in esame (per individuare i rapporti esistenti tra le sostanze contaminanti e le varie matrici ambientali).

Caratterizzazione di un Sito Contaminato (2)

- L'analisi e la sistematizzazione dei dati esistenti congiuntamente ai sopralluoghi permettono la definizione del modello concettuale preliminare del sito, nel quale vengono definiti:
 - Le caratteristiche specifiche del sito;
 - Le fonti di contaminazione o di potenziale contaminazione;
 - La tipologia e l'estensione della contaminazione;
 - I percorsi di migrazione ed i bersagli raggiungibili.
- Il modello concettuale, che in questa fase ha un livello di dettaglio e di attendibilità preliminare (in quanto fondato solo sui dati raccolti e sui sopralluoghi effettuati), dovrà infine essere verificato ed eventualmente modificato dopo l'esecuzione del piano di investigazione iniziale.
- Il piano di investigazione iniziale è finalizzato a:
 - Rinvenire le fonti di contaminazione non emerse nel corso delle fasi precedenti;
 - Individuare le matrici ambientali interessate e definirne quantitativamente il grado di contaminazione;
 - Accertare la presenza di eventuali punti critici (precedentemente definiti);
 - Confermare o correggere la definizione del modello concettuale del sito.

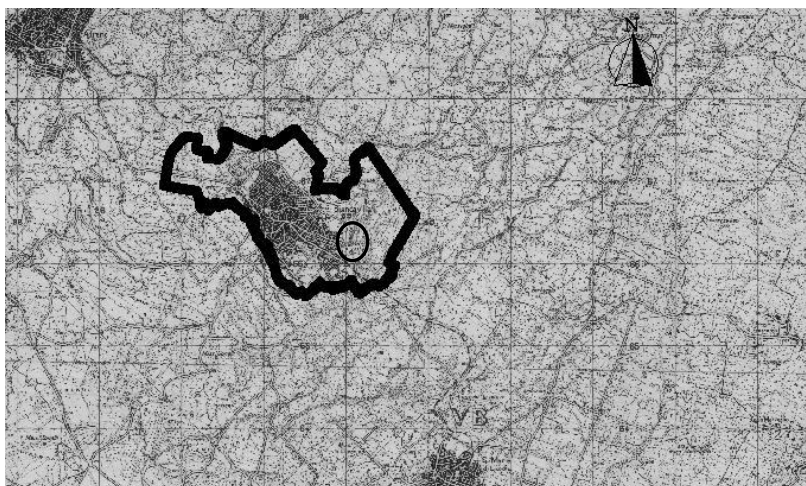
Caratterizzazione di un Sito Contaminato (3)



Caratterizzazione di un Sito Contaminato (4)

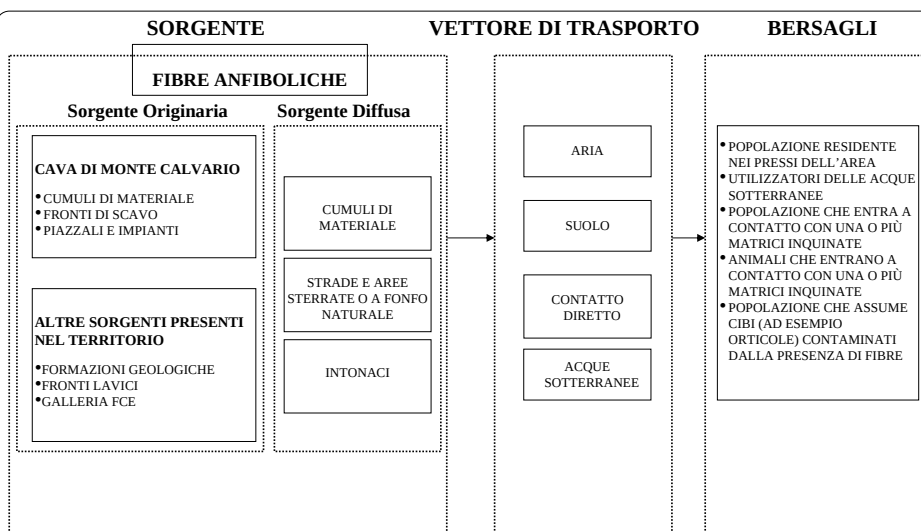
— Delimitazione area di interesse nazionale

○ Area di cava



Corografia sito di interesse nazionale di Biancavilla

Caratterizzazione di un Sito Contaminato (5)



Rappresentazione grafica del modello concettuale di una discarica incontrollata

Caratterizzazione di un Sito Contaminato (6)

- La caratterizzazione implica la necessità di condurre un elevato numero di indagini, con un rilevante impegno in termini economici (operazioni di bonifica condotte in Germania ed in Olanda hanno fatto registrare importi, per le fasi di indagini preliminari e di pianificazione degli interventi, pari al 5-10% del costo totale dell'intervento), ragion per cui risulta importante pianificare con cura tali operazioni. La strategia ideale per formulare un piano di investigazione iniziale prevede due seguenti livelli di analisi:
 - facendo ricorso a tecniche di indagine indiretta si effettua uno screening iniziale del sito. In tal modo è possibile ottenere un quadro globale qualitativo (sufficientemente approssimato) della situazione del sito, in termini di sostanze contaminanti, fonti di contaminazione e matrici ambientali interessate;
 - un piano di indagini (indagini dirette), programmato e mirato sulla base dei risultati ottenuti nella fase di screening iniziale, permette infine di definire quantitativamente la contaminazione dei comparti ambientali.

Caratterizzazione di un Sito Contaminato (7)

- Questo doppio livello di analisi consente di ottimizzare le risorse economiche ed i tempi necessari per un intervento di bonifica, grazie alla possibilità di individuare preliminarmente le informazioni necessarie per procedere in maniera ragionata alle successive indagini (limitandole anche nel numero).
- Un notevole risparmio in termini di tempo ed economici, si ottiene infine restringendo il campo delle sostanze da ricercare durante le analisi di laboratorio o di campo. A tal fine risulta necessario un'analisi accurata delle attività svolte sul sito al fine di individuare preliminarmente le tipologie di sostanze utilizzate che possano aver intergito con le matrici ambientali.

Caratterizzazione di un Sito Contaminato (8)

ATTIVITÀ	CONTAMINANTI
Estrazione carbone	ammoniaca, antracene, arsenico, benzo(a)pirene
Cokerie	benzene, piombo, cromo, cianuri, etilbenzene
Gasometri	fluoruri, cresolo, oli minerali, naftalene, IPA, fenoli, acidi/basi, tiocianati, toluene, xilene, bitumi
Trasformazione e stoccaggio oli	antracene, arsenico, benzina, benzene, cromo, dibromometano, dicloroetano, dicloropropano, etilbenzene, rame, oli minerali, naftalene, nichel, IPA, PCB, fenoli, pentaclorofenolo, acidi/basi, selenio, TCDD, tetracloroetano, bitumi, piombo tetraetile, toluene, zinco, tricloroetano, tricloroetilene, vanadio, xilene
Trattamento metalli	cloroformio, cianuri, oli minerali, tetracloroetilene, tricloroetilene, tricloroetano
Estrazione metalli non ferrosi	piombo, cadmio, cromo, cianuri, cresoli, rame, fenoli, mercurio, acidi/basi, zinco

Indagini sulle Matrici Ambientali (1)

Per ogni matrice ambientale investigata (suolo, sottosuolo, materiali di riporto, acque sotterranee, acque superficiali, atmosfera del suolo) e per gli ammassi di rifiuti stoccati, si possono presentare due principali strategie per selezionare l'ubicazione dei punti di sondaggio e prelievo:

1. la scelta è basata sulla caratterizzazione del sito e sul modello concettuale fornito e può essere mirata a verificare le ipotesi formulate sulla presenza di contaminanti o sulle caratteristiche ambientali del sito;
2. la scelta della localizzazione dei punti è effettuata sulla base di un criterio di tipo casuale o statistico, ad esempio campionamento sulla base di una griglia predefinita o casuale; questa scelta è da preferirsi ogni volta che le dimensioni dell'area o la scarsità di informazioni storiche e impiantistiche sul sito non permettano di ottenere una caratterizzazione soddisfacente e di prevedere la localizzazione delle più probabili fonti di contaminazione.

Indagini sulle Matrici Ambientali (2)

- EPA 2000
 - **Campionamento soggettivo basato sul modello concettuale preliminare** (judgmental sampling);
 - **Campionamento sistematico o su griglia regolare** (systematic and regular grid sampling);
 - **Campionamento casuale semplice** (simple random sampling);
 - **Campionamento stratificato** (stratified sampling);
 - **Campionamento combinato** (Ranked set sampling);
 - **Campionamento a cluster adattativo** (adaptive cluster sampling);
 - **Campionamento composito** (composite sampling).

Indagini sulle Matrici Ambientale (3)

- **Campionamento soggettivo basato sul modello concettuale preliminare** (judgemental sampling): La scelta del numero e della localizzazione dei campioni è basata sul modello concettuale preliminare del sito formulato sulla base della *raccolta e sistematizzazione dei dati*, nonché sul giudizio professionale. Il criterio può essere utilizzato sia come tecnica di campionamento vera e propria, sia come primo step in un piano di campionamento più complesso. **L'efficacia del metodo dipende dalla validità dei dati raccolti e dal giudizio professionale (livello di conoscenza sul sito in esame).** Presenta, invece, difficoltà quando applicato in situazioni complesse, o dove esistono scarse informazioni storiche su fatti pregressi.

Indagini sulle Matrici Ambientale (4)

- La scelta di un **Campionamento soggettivo basato sul modello concettuale preliminare** per investigare la matrice solida (suolo e sottosuolo) necessita della conoscenza di molti fattori fra i quali:
 - Proprietà del suolo interessato dalla migrazione dei contaminanti (tessitura, stratigrafia, contenuto di umidità);
 - Natura chimico-fisica dei contaminanti investigati (solubilità, volatilità, reattività);
 - Modalità di rilascio dei contaminanti (sversamenti superficiali, percolato generato attraverso cumuli di rifiuto o rifiuti sepolti, perdite nel sottosuolo da serbatoi o tubazioni);
 - Tempo e durata del rilascio;
 - Quantità di contaminante che è stata rilasciata.

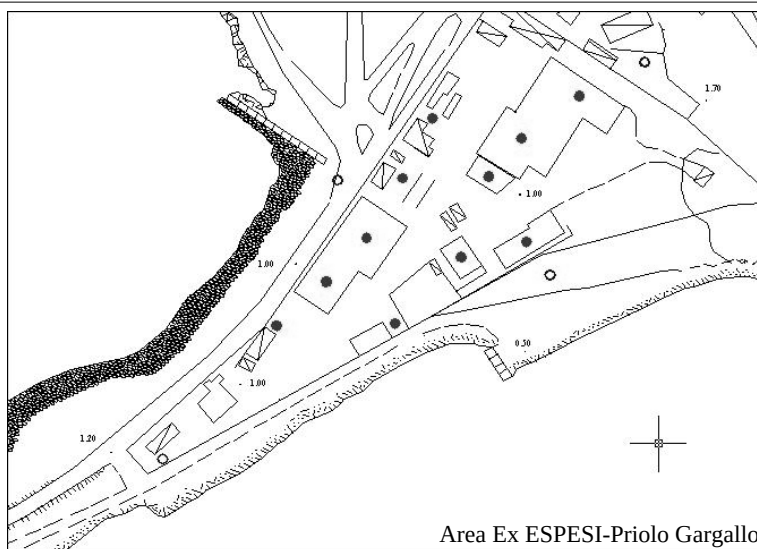
Indagini sulle Matrici Ambientale (5)

- Il **Campionamento soggettivo basato sul modello concettuale preliminare** per investigare la matrice solida (suolo e sottosuolo) risulta appropriato nei seguenti casi:
 - La scala di applicazione relativamente ridotta (matrice solida da investigare non molto estesa);
 - Il numero di campioni da analizzare e caratterizzare è ridotto (inferiore a 20);
 - Si ha una conoscenza accurata della storia del sito e delle caratteristiche del suolo da investigare;
 - L'obiettivo dell'investigazione è quello di verificare la presenza di livelli di contaminazione di interesse nonché il rischio connesso a tali livelli;
 - Le risorse economiche sono limitate e precludono quindi la possibilità di applicare un campionamento di tipo statistico.

Indagini sulle Matrici Ambientale (6)

- Alcuni dei fattori da considerare nella scelta di **Campionamento soggettivo basato sul modello concettuale preliminare** per investigare la matrice liquida sono i seguenti:
 - Natura chimico-fisica dei contaminanti investigati (solubilità, volatilità, reattività, densità);
 - Possibile effetto di migrazione dei contaminanti attraverso la zona non satura e quando e dove i contaminanti entrano nell'acquifero;
 - I possibili percorsi di migrazione dei contaminanti attraverso la zona non satura potrebbero cambiare la natura chimica dei contaminanti prima del loro ingresso nell'acquifero;
 - Profondità e spessori degli acquiferi presenti sotto il sito;
 - La direzione ed il flusso dell'acqua all'interno di ciascun acquifero;
 - Le proprietà dell'acquifero che causano la dispersione laterale e verticale dei contaminanti;
 - I processi di attenuazione naturale dei contaminanti durante la loro migrazione verso le acque sotterranee.

Indagini sulle Matrici Ambientale (7)



Indagini sulle Matrici Ambientale (8)

- **Campionamento sistematico o su griglia regolare** (systematic and regular grid sampling)

- **Campionamento spaziale:** i campioni possono essere selezionati in una, due o tre dimensioni a seconda delle caratteristiche della popolazione di interesse. Un campionamento lungo una linea rappresenta un campionamento in una dimensione. Un campionamento effettuato in ogni nodo di una griglia situata in una determinata area è un campionamento in due dimensioni. Un campionamento effettuato per intervalli spaziali regolari è un campionamento in tre dimensioni.

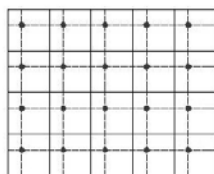
- **Campionamento temporale e/o periodico:** quando i campioni vengono prelevati per rappresentare un inquinamento che varia nel tempo. Si procede prelevando un campione ogni 10 minuti.

Viene usualmente utilizzato per il prelievo delle acque sotterranee (da pozzi) per i seguenti motivi:

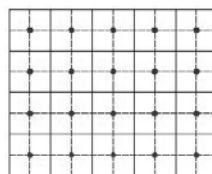
- I cicli stagionali possono essere facilmente identificati e rappresentati per l'analisi dei dati ;
 - È di facile applicazione in quanto il campionamento temporale avverrà secondo un programma predefinito;

Indagini sulle Matrici Ambientale (9)

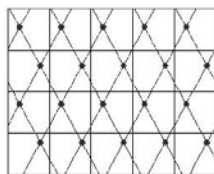
- Campionamento spaziale in due dimensioni: fissando in maniera casuale la posizione del primo campionamento, si procede mediante una maglia regolarmente distribuita.



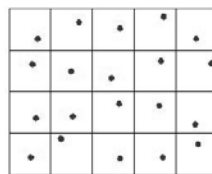
(a)



(b)



(c)



(d)

Griglia quadrata allineata (a); griglia quadrata centrata (b); griglia triangolare (c); griglia non allineata (d).

Indagini sulle Matrici Ambientale (10)

▪ Vantaggi del **campionamento sistematico o su griglia**

- Completa ed uniforme copertura spaziale (o temporale) della popolazione indagata (matrice solida, liquida etc.);
- La disposizione a griglia fornisce la massima copertura spaziale di un'area per un dato numero di campioni;
- Semplice e veloce disposizione dei punti di campionamento. Localizzato infatti il primo punto di campionamento, e scelto il tipo e l'ampiezza della griglia, risulta immediata la disposizione degli altri punti di campionamento;
- È possibile scegliere fra diverse opzioni di modelli a griglia. Spesso il piano di indagini è eseguito per fasi successive. In una prima fase si utilizza una griglia ad ampia scala e sulla base delle relative risultanze si vengono utilizzate delle griglie a piccola scala allo scopo di affinare l'indagine. Alternativamente durante ogni singola fase l'area può essere suddivisa in sub-aree per ognuna delle quali può essere utilizzato un tipo di griglia;
- Non occorrono informazioni prioritarie sul sito da indagare. L'unico input richiesto è l'area totale da indagare e il numero di campionamenti (o alternativamente le dimensioni della griglia da utilizzare).

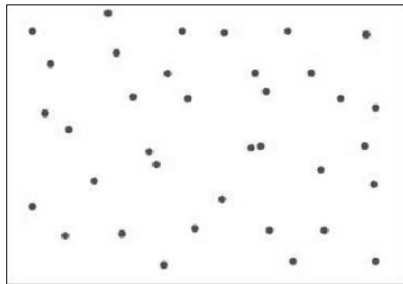
Indagini sulle Matrici Ambientale (11)

▪ Svantaggi del **campionamento sistematico o su griglia**

- Se esistono delle informazioni di base sull'area da indagare il metodo non ha la stessa efficienza del *Campionamento soggettivo basato sul modello concettuale preliminare*;
- Se le proprietà della popolazione di interesse sono allineate con la griglia un **campionamento sistematico** aumenta la possibilità di una sovrastima o sottostima delle caratteristiche della popolazione indagata.

Indagini sulle Matrici Ambientale (12)

- **Campionamento casuale semplice** (simple random sampling): un campionamento casuale semplice di n misure è definito come un campione selezionato da una popolazione tale che tutti i possibili campioni hanno la stessa probabilità di essere selezionati. L'ubicazione dei punti di campionamento viene determinata per es. mediante l'estrazione casuale di numeri da una lista. Tale metodo si rivela particolarmente adatto nei casi in cui la popolazione di interesse sia relativamente omogenea e possono essere esclusi punti ad elevata criticità (hot spots).



Svantaggi

- Poiché tutti i possibili campioni hanno la stessa probabilità di essere selezionati i punti di campionamento potrebbero risultare molto vicini geograficamente o temporalmente;
- Non si tiene conto ne delle informazioni disponibili per il sito in esame ne del giudizio professionale.

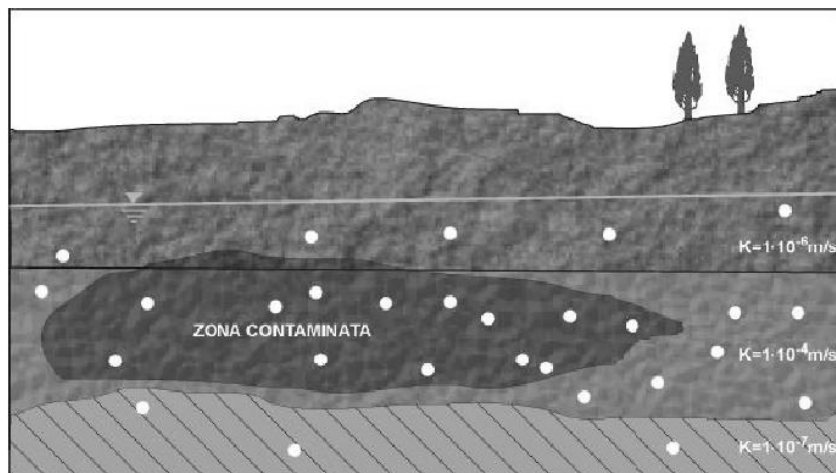
Indagini sulle Matrici Ambientale (13)

- **Campionamento stratificato** (stratified sampling): nel campionamento stratificato la popolazione indagata è suddivisa in strati che non si sovrappongono o sub-popolazioni omogenee (relativamente alla matrice ambientale o alle sostanze inquinanti). Tale suddivisione ha il vantaggio di ridurre il numero di variabili analizzate contemporaneamente.

Gli strati possono essere scelti su base spaziale, temporale, informazioni pre-esistenti o giudizio professionale circa il sito e i processi che in esso si sono svolti nel corso degli anni.

Nelle applicazioni pratiche il campionamento stratificato viene applicato raramente in quanto è difficile trovare situazioni in cui è possibile individuare strati distinti che non si sovrappongono.

Indagini sulle Matrici Ambientale (14)



Campionamento stratificato in base alla conducibilità idraulica del sistema acquifero.

Indagini sulle Matrici Ambientale (15)

- **Campionamento combinato** (Ranked set sampling): Consiste nel combinare il campionamento casuale semplice (primo step di indagine), con il giudizio professionale attraverso l'utilizzo di misuratori di campo, al fine di ottenere una stima dei livelli di concentrazione media nel suolo e negli altri comparti ambientali.

Il metodo è tale per cui risulta elevata la possibilità di selezionare campioni rappresentativi della effettiva condizione di inquinamento e ridotto il numero di campioni prelevati ed esaminati con metodi costosi, a vantaggio di campioni esaminati in situ con strumenti portatili e a bassi costi. Il primo step di indagine consiste nell'identificare, sulla base del random sampling, m unità di campionamento prelevando ed esaminando, con procedure speditive, r campioni per unità selezionata. Gli r campioni vengono poi suddivisi in classi in base alla concentrazione. Selezionata una classe per ogni unità, sono effettuate misure di precisione sul campione individuato al fine di stimare i parametri della popolazione da cui proviene.

Il metodo si rivela utile quando i costi di localizzazione e prelievo dei campioni sono ridotti rispetto alle analisi di laboratorio. Nell'utilizzo di questo metodo è importante che ci sia una forte correlazione fra localizzazione e prelievo dei campioni e metodi di analisi dei campioni.

Indagini sulle Matrici Ambientale (16)

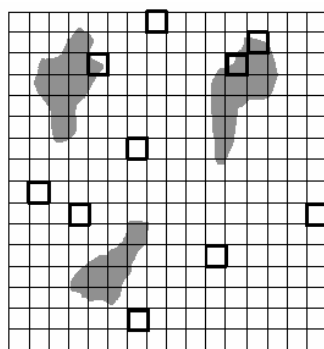
- **Campionamento a cluster adattativo** (adaptive cluster sampling): Si basa inizialmente su un campionamento casuale semplice su ampia scala. Successivamente gli altri campionamenti vengono definiti in funzione delle risultanze analitiche del campionamento iniziali. Sono quindi previsti una serie di tornate di analisi successive che permettono di meglio definire i valori di concentrazione che superano una prefissata soglia.

Scegliere un campionamento a cluster adattativo significa definire due elementi chiave:

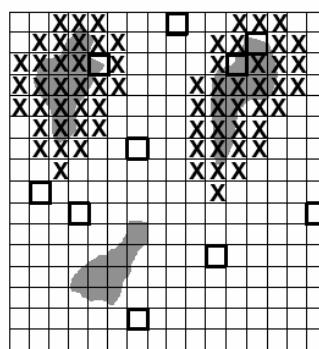
- 1) Le unità di campionamento iniziale;
- 2) La condizione o la regola da seguire per la determinazione delle unità di campionamento adiacenti da aggiungere per i cicli di analisi successivi.

Il metodo si rivela utile quando le informazioni di base sul sito e sui processi svoltasi in esso sono carenti e consente di definire la posizione dei plume di inquinamento del sito in esame.

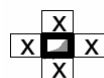
Indagini sulle Matrici Ambientale (17)



Campionamento iniziale



Risultato finale del campionamento



Regola per i campionamenti adiacenti

Indagini sulle Matrici Ambientale (18)

- **Campionamento composito** (composite sampling): consiste nel combinare fisicamente diversi volumi di materiale campionato al fine di costruire un solo campione omogeneo (campione composito). Tale metodo, che può essere usato solo nel caso in cui non si prevedano distorsioni delle misure (ad esempio perdita delle frazioni volatili di un inquinante) per effetto della miscelazione dei campioni, è consigliabile nei casi in cui i costi di analisi siano estremamente elevati se paragonati a quelli di campionamento. Questo metodo, che comporta la perdita delle informazioni relative alla distribuzione spaziale della proprietà campionata, è utilizzabile nel caso in cui tale informazione non sia richiesta dall'analisi che si sta conducendo.

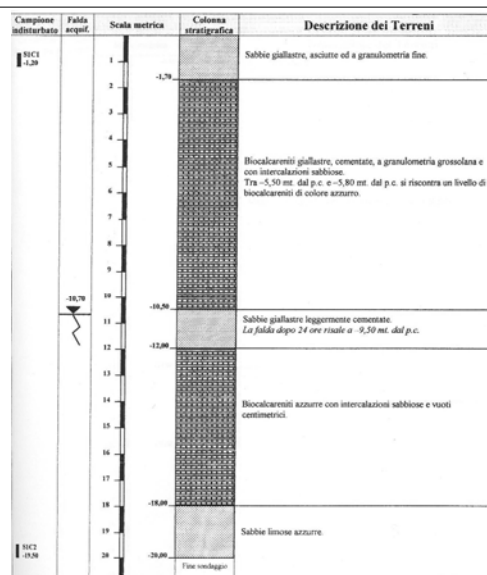
Indagini sulla Matrice solida (1)

- Le indagini sulla matrice solida vengono effettuate per far fronte alle seguenti necessità:
 - Definire le caratteristiche fisiche del suolo;
 - Individuare e valutare dal punto di vista quantitativo e qualitativo l'eventuale stato di contaminazione.

Indagini sulla Matrice solida (2)

- La conoscenza delle caratteristiche fisiche del suolo di un sito contaminato si rende necessaria per verificare il modello concettuale del sito, nonché per acquisire informazioni utili per la scelta delle tecniche di bonifica applicabili. In particolare, è indispensabile definire la stratigrafia del terreno e determinarne la conducibilità idraulica.
- Dall'esame della stratigrafia del terreno, definita effettuando delle perforazioni che raggiungano almeno la base dell'acquifero più superficiale, deve essere possibile individuare la presenza, l'estensione e la continuità degli strati di terreno a bassa permeabilità. Tale conoscenza è fondamentale sia per l'individuazione delle falde e dei rapporti tra loro esistenti, sia perché gli strati impermeabili costituiscono una barriera naturale alla diffusione dei contaminanti.

Indagini sulla Matrice solida (3)



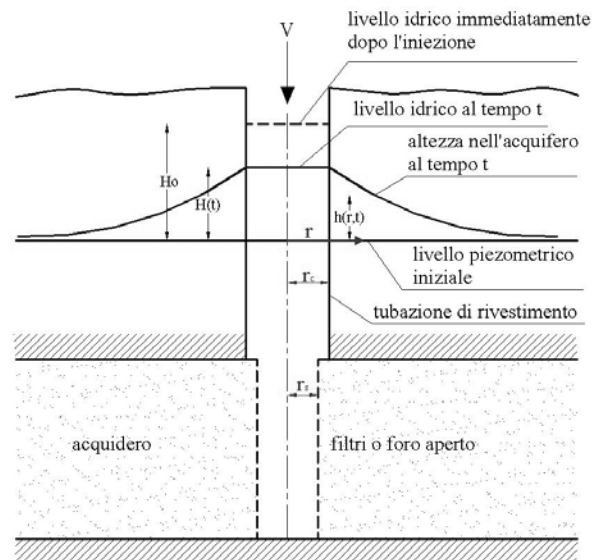
Indagini sulla Matrice solida (4)

- Individuate (dalla stratigrafia) le componenti geologiche del sito, si procede quindi a determinarne la conducibilità idraulica, parametro fondamentale per la previsione delle vie preferenziali di migrazione dell'acqua e quindi dei contaminanti, con prove in-situ (le più attendibili) o con test di laboratorio. Le prove in-situ più utilizzate sono le seguenti:
 - *slug test*: consiste nella misura del tempo necessario affinché si ristabilisca il livello originario di falda, turbato da un'immissione o da un prelievo istantaneo di un volume d'acqua da un pozzo;
 - *prove di pompaggio*: si estrae acqua da un pozzo e si registra il conseguente decremento del livello della falda nei pozzi circostanti.
- I test di laboratorio sono invece condotte con permeametro a carico costante o variabile e con prove edometriche.

Indagini sulla Matrice solida (5)

- Gli slug tests consistono nell'immissione o nel prelievo istantaneo di un volume noto di acqua da un pozzo, registrando il momento di ripristino dell'originario livello della falda; il medesimo fenomeno può essere riprodotto depressurizzando il pozzo e verificando la risalita del livello dell'acqua al rilascio della pressione. Il metodo trova applicazione per valori di conducibilità non inferiori a 10^{-5} m/s (il metodo non è adatto a formazioni ghiaiose per il k troppo elevato). Dalla conoscenza dei dati geometrici del pozzo e dalla costruzione di un grafico $t/\Delta h$, è possibile ottenere il valore T della trasmissività, da cui poi ricavare il valore di conducibilità idraulica k . Le variazioni del livello dell'acqua vengono registrate usando un trasduttore di pressione. La prova deve continuare fino a che il livello dell'acqua nel pozzo abbia raggiunto almeno l'85% del valore di partenza.
- La trasmissività è definita come il prodotto della permeabilità (k) per lo spessore dell'acquifero (s) e rappresenta la capacità di un acquifero di trasferire l'acqua.

Indagini sulla Matrice solida (6)



Indagini sulla Matrice solida (7)

- Per una corretta interpretazione dei risultati e una valutazione appropriata della conducibilità idraulica occorre tenere presente i seguenti elementi relativi agli slug tests:
 - Forniscono informazioni limitate unicamente alla porzione adiacente alla parte filtrata del pozzo;
 - La lunghezza dei filtri controlla direttamente l'estensione della zona realmente indagata e la conducibilità idraulica delle porzioni superiore ed inferiore alla fenestrazione non influiscono sull'esito della prova;
 - È necessario verificare che i filtri e il dreno in corrispondenza degli orizzonti esaminati siano stati sviluppati in modo adeguato;
 - Gli strumenti usati per ricavare i dati devono considerare la natura dell'acquifero in quanto da esso dipende la velocità di variazione dei livelli e l'entità della portata estratta o immessa.

Indagini sulla Matrice solida (8)

- Lo studio dello stato di contaminazione del terreno ha la funzione di individuare e valutare dal punto di vista qualitativo (individuando la tipologia di sostanze contaminanti) e quantitativo (valutandone le concentrazioni) l'eventuale stato di contaminazione.
- A tal fine:
 - Il numero delle indagini da eseguire ed il dettaglio (localizzazione) deve essere correlato al grado di **pericolosità delle sostanze inquinanti**, alla **vulnerabilità del sito contaminato** ed infine alla presenza, nell'intorno del sito in esame, di **bersagli umani ed ambientali** potenzialmente a rischio;
 - Le perforazioni o carotaggi (i sondaggi) devono essere effettuati in modo da non alterare le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del materiale da estrarre. Occorre quindi adoperare tecniche che minimizzino l'alterazione del campione da recuperare come *metodi di perforazione a secco o sistemi di direct push*).
 - L'operazione di campionamento del terreno, nell'ambito della caratterizzazione della contaminazione, deve consentire il prelievo di un campione che sia il più rappresentativo possibile delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche degli orizzonti attraversati ed indicatore dell'eventuale presenza di sostanze inquinanti;
 - Molta cura si deve prestare anche alle modalità di conservazione del campione da inviare al laboratorio di analisi, soprattutto nel caso di sostanze altamente volatili, facilmente degradabili e fotosensibili;
 - Scambio di informazioni tra chi effettua il campionamento e chi eseguirà l'analisi.

Indagini sulla Matrice Solida (10)

- Il carotaggio può essere eseguito con metodi di penetrazione a secco senza fluido di perforazione, usando un carotiere di diametro idoneo a prelevare campioni indisturbati ed evitando fenomeni di surriscaldamento. I metodi di penetrazione a secco utilizzati nel campionamento ambientale sono la perforazione con avanzamento a rotazione in assenza di fluidi di perforazione e le tecniche penetrometriche o direct-push.
- E' consigliabile l'utilizzo di campionatori a pareti spesse. Un campionatore si definisce a parete grossa nel caso in cui presenti un coefficiente di parete (C_p) superiore al 15%. Tale parametro viene definito come:

$$C_p = \frac{D_s^2 - D^2}{D^2} \cdot 100$$

essendo D_s il diametro esterno massimo del campionatore e D il diametro minimo attraversato dalla carota durante il campionamento.

Indagini sulla Matrice Solida (11)

- La perforazione a rotazione viene condotta facendo avanzare un utensile (carotiere o distruttore di nucleo) per mezzo di una batteria di aste, alla quale viene applicata una spinta assiale ed una coppia di rotazione.
- Nelle normali applicazioni comporta l'impiego di un fluido di perforazione (acqua o acqua e bentonite) che facilita la rimozione dei detriti durante l'avanzamento del tagliente, sostiene le pareti del foro, raffredda e lubrifica la punta, ma altera la rappresentatività del campione. Il fluido tende a penetrare all'interno del campione compromettendo i risultati delle misure analitiche.
- La perforazione a secco è possibile solo nel caso in cui si proceda nella modalità a carotaggio continuo. Questa tecnica consiste nell'utilizzo di aste cave che prevedono l'utilizzo di un carotiere al posto dello scalpello distruttore di nucleo. L'avanzamento a rotazione permette l'utilizzo di tre sistemi differenti per il recupero di campioni "indisturbati": i campionatori a rotazione (Denison e Mazier), i campionatori a pressione (Shelby, Osterberg) ed i campionatori a percussione.

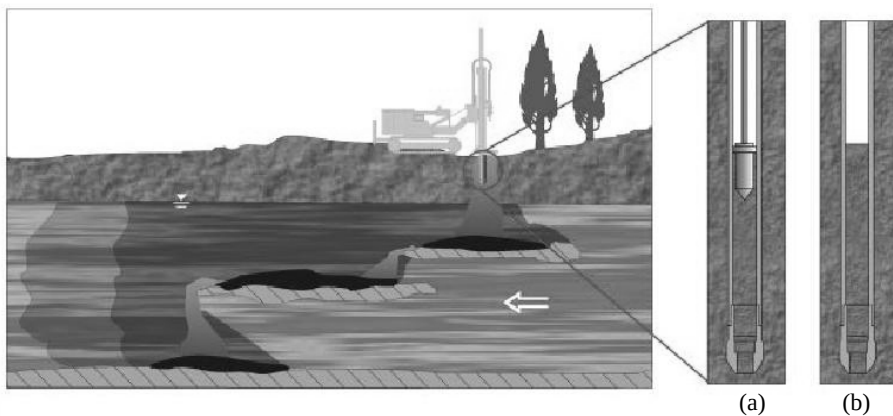
Indagini sulla Matrice Solida (12)



Indagini sulla Matrice Solida (13)

- I sistemi direct push (Geoprobe, Enviroprobe, ecc) utilizzano strumentazioni a percussione con avanzamento a secco, che permettono il campionamento discreto – oltre che del terreno - anche dei gas interstiziali nel mezzo non saturo e dell'acqua di falda nel mezzo saturo. Il principio di funzionamento dei sistemi direct-push è simile a quello dei penetrometri utilizzati in campo geotecnico: un martello spinge alla profondità voluta una serie di aste, al termine delle quali è presente un campionatore adeguato alla matrice da prelevare.
- I sistemi direct-push permettono il recupero di carote di terreno mediante l'utilizzo di campionatori aperti o a pistone, che vengono fatti avanzare nel terreno a percussione. I sistemi direct-push permettono il recupero di carote con diametro inferiore a 2'' che vengono restituite all'interno di fustelle in materiali plastici trasparenti, che consentono l'ispezione visiva del campione. Il contatto del campione con l'atmosfera e con agenti esterni viene minimizzata grazie alla chiusura della fustella mediante appositi tappi. I sistemi direct-push, adatti per profondità piccole e medie, presentano vantaggi quali la velocità e la qualità di campionamento ed i costi limitati. Il loro limite è legato alla presenza di trovanti.

Indagini sulla Matrice Solida (14)



Sistema direct-push per il campionamento del suolo

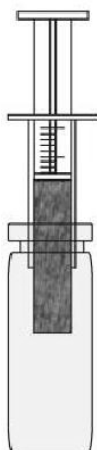
(a) campionatore a pistone

(b) campionatore a tubo aperto

Indagini sulla Matrice Solida (15)

- Per campionamento di terreno per analisi di composti volatili le tecniche classiche di inquartatura e di immagazzinamento dei campioni di terreno per analisi di VOC sono inadatte a causa delle perdite imputabili all'elevata volatilità del contaminante ed all'interazione con il contenitore. Sono, invece, da preferirsi le tecniche che permettono di recuperare il campione direttamente all'interno delle vial utilizzate per le analisi chimiche. Le modalità di recupero risultano essere differenti in funzione del metodo analitico utilizzato che può basarsi sull'estrazione con metanolo oppure sulla ripartizione diretta in fase vapore (purge & trap, spazio di testa). Per tali motivi la corretta procedura operativa consiste nell'utilizzo di un sub-campionatore costituito da una mezza siringa in plastica priva della guarnizione in gomma, con il quale prelevare una piccola aliquota di terreno dalla carota immediatamente dopo il recupero in superficie. La porzione di terreno così ottenuta deve essere immediatamente trasferita all'interno di una vial appositamente preparata con metanolo (estrazione con metanolo) o con acqua (ripartizione in fase vapore) e chiusa con un tappo con setto in Teflon.

Indagini sulla Matrice Solida (16)



Sub-campionatore per il recupero di terreno contaminato da VOC

Indagini sulla Matrice Solida (17)

- **Valori di concentrazione limite:** *“I valori di concentrazione limite accettabili per le sostanze presenti nel suolo e sottosuolo di siti a destinazione d’uso verde pubblico, verde privato, residenziale sono indicati nella colonna A della tabella allegata.*

I valori di concentrazione limite accettabili per le sostanze presenti nel suolo e sottosuolo di siti a destinazione d’uso industriale e commerciale sono indicati nella colonna B della tabella allegata. I valori di concentrazione limite accettabili sono riferiti a suolo, sottosuolo e materiali di riporto del sito e influenzati dalla contaminazione del sito; i suddetti valori si applicano per tutta la profondità che si ritiene necessario campionare ed analizzare per definire l’estensione dell’inquinamento e per progettare interventi di bonifica che garantiscano l’eliminazione dell’inquinamento delle matrici ambientali.

Indagini sulla Matrice Solida (18)

In attesa della pubblicazione dei “Metodi Ufficiali di analisi chimica del suolo”(pubblicati dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali con D.M. 13 settembre 1999 - Supplemento Ordinario n. 185 alla G.U. n. 248 del 21 ottobre 1999) quali aggiornamento del DM 11 maggio 1992, pubblicato come supplemento ordinario alla Gazzetta ufficiale n. 121 del 24 maggio 1992, che definiscono le metodiche di campionamento dei suoli per frazioni granulometriche di suolo, sottosuolo e materiale di riporto, i risultati delle analisi effettuate sulla frazione granulometrica passante al vaglio 2 mm sono riferiti alla totalità dei materiali secchi. Qualora si sospetti una contaminazione anche del sopravaglio devono essere effettuate analisi di tale frazione granulometrica sottoponendola ad un test di cessione che utilizzi come eluente acqua deionizzata satura di CO₂. I parametri da controllare sull’eluato sono quelli della Tabella 2 con i relativi valori di concentrazione limite riportati.”

Quanto sopra riportato, in particolare per quanto attiene alla frazione granulometrica di riferimento, è stato oggetto di discussione fra i diversi soggetti coinvolti nelle attività di bonifica.

Indagini sulla Matrice Solida (19)

A tal proposito il Ministero dell'ambiente, l'I.S.S. e l'A.P.A.T. (ex A.N.P.A.) che hanno indicato che **“....i valori risultanti dalle analisi effettuate sulla frazione granulometrica passante al vaglio 2 mm sono assunte come rappresentative della totalità della massa di suolo e sottosuolo e devono essere utilizzati per il confronto con i valori di concentrazione limite accettabili indicati in Tabella 1 dell'all. 1 al D.M. 471/99.”**

Indagini sulla Matrice Solida (20)

- Su questa argomentazione si sono affrontate due impostazioni:
 - Soggetti che presentano i dati di caratterizzazione ed interessati alla bonifica: sostengono che in questo modo si sovrastima lo stato di contaminazione di un sito, in ragione della mancanza di riferimento anche alle altre frazioni granulometriche. Pertanto, in presenza di una bassa frazione fine, un suolo dovrebbe essere ritenuto contaminato anche se la restante massa risulti incontaminata. Si opererebbe quindi una operazione di “concentrazione”, non corrispondente alla situazione reale. Tale tesi, sostenuta soprattutto dall'industria chimica (Federchimica, 2002), che percentualmente rappresenta attualmente il comparto produttivo maggiormente interessato dalle azioni di bonifica, è supportata da:
 - Un'analisi di quanto avviene a livello internazionale (Francia, Germania, Inghilterra, Olanda, Svezia, Svizzera e Stati Uniti);
 - La necessità di un adeguamento al D.M. 13 settembre 1999 che prevede per l'analisi di “Cadmio, Cobalto, Cromo, Rame, Manganese, Nichel, Piombo, Zinco estraibile in acqua regia in suoli contaminati” al metodo XI.2 una determinazione della concentrazione nelle tre frazioni granulometriche con diametro delle particelle superiore a 2 mm, compreso tra 2 mm e 2 mm e inferiore a 2 mm e il risultato finale espresso come media pesata rispetto alle rispettive frazioni granulometriche.

Indagini sulla Matrice Solida (21)

Si propone pertanto di operare nel modo seguente:

- I caso: concentrazione nella frazione fine inferiore al valore della Tabella 1 del D.M. 471/99: non sono necessari ulteriori accertamenti in quanto il campione non risulta contaminato.
- II caso: concentrazione nella frazione fine superiore al valore della Tabella 1 del D.M. 471/99, ma inferiore se riferita alla massa totale: esigenza di esaminare anche il sopravaglio per la valutazione dell'effettiva concentrazione.
- III caso: concentrazione nella frazione fine e nella totalità della massa superiore al valore della Tabella 1 del D.M. 471/99: non sono necessarie ulteriori accertamenti in quanto il campione risulta contaminato.

Indagini sulla Matrice Solida (22)

- Autorità pubbliche: sostengono che, ai fini della valutazione dell'esistenza di una contaminazione di suoli e sottosuoli, la scelta di concentrare l'attenzione sulla frazione fine risulta valida in quanto, per il più elevato rapporto superficie/volume, la frazione fine è quella maggiormente suscettibile di essere contaminata. Inoltre da tale frazione viene il maggior rischio di dispersione dei contaminanti in altre matrici ambientali (aria, acqua), ivi incluso l'eventuale trasporto solido delle particelle più fini in suoli fessurati o per ruscellamento superficiale. La frazione fine è quella che può comportare maggiori rischi in caso di movimentazione dei suoli per attività antropiche (che ovviamente sarebbe attesa ove un suolo fosse dichiarato non contaminato sulla base di una analisi ponderata di tutte le sue frazioni). In sostanza considerando le altre frazioni granulometriche si avrebbe una "diluizione" della contaminazione, prevalentemente concentrata sulla parte fine, anche perché il metodo di vagliatura a secco porta in molti casi a sottostimare l'effettiva percentuale al di sotto dei 2 mm a causa della presenza di aggregati.

Indagini sulla Matrice Solida (23)

- Si propone pertanto che:
 - La frazione sulla quale eseguire le analisi e alla quale riferire i risultati analitici sia quella inferiore ai 2 mm.
 - La pericolosità della frazione superiore ai 2 mm, dovuta sostanzialmente alla lisciviazione dei contaminanti, può essere valutata mediante la prova di eluizione con acqua arricchita di anidride carbonica.

Indagini sulla Matrice Liquida (1)

- Si devono determinare due categorie di parametri atti a caratterizzare la matrice liquida quantitativamente (valutando la profondità e le oscillazioni della falda rispetto al piano di campagna) e qualitativamente (individuando e quantificando l'eventuale stato di contaminazione). In entrambi i casi risulta necessaria la realizzazione di pozzi e/o piezometri.
- Il **piezometro** è costituito da una batteria di tubi giuntati in forma solidale fino all'ottenimento della lunghezza richiesta. I piezometri:
 - Dovranno essere realizzati a carotaggio continuo ed essere costituiti da materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito;
 - Dovranno avere filtri di apertura adeguata in corrispondenza degli acquiferi da campionare e della relativa granulometria;
 - Dovranno avere un diametro tale da consentire il prelievo di campioni, la posa di sonde e strumenti di misura.

Indagini sulla Matrice Liquida (2)

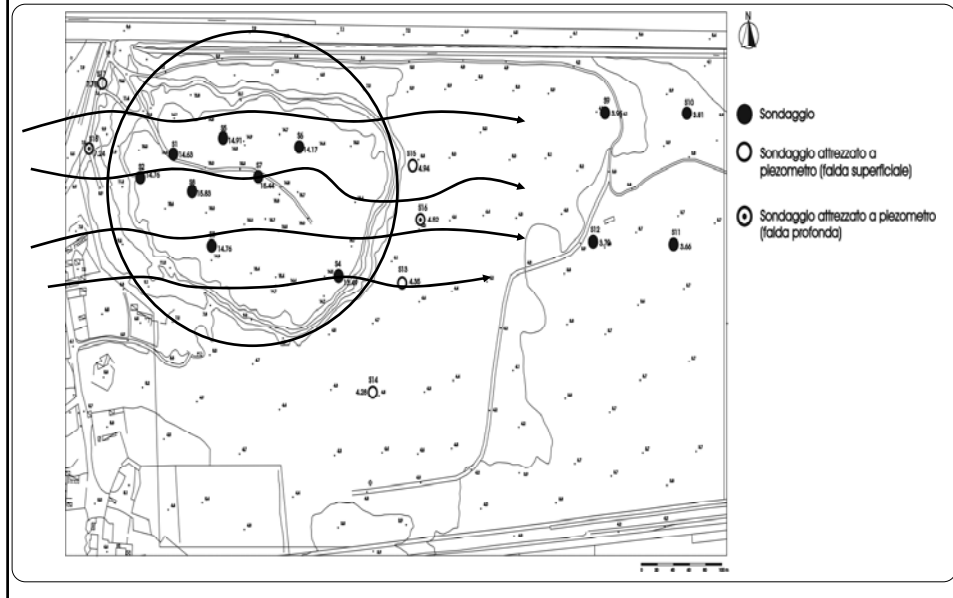
Di norma inoltre:

- È necessario separare eventuali acquiferi sovrapposti ed evitare infiltrazioni dalla superficie realizzando idonei isolamenti idraulici;
- In presenza della necessità di monitorare due o più falde alternate a livelli impermeabili, occorre prevedere la perforazione di più piezometri, ciascuno fenestrato solo nel livello interessato e reso cieco agli altri;
- Almeno 1 dei piezometri per ciascun acquifero considerato deve essere installato immediatamente a monte del sito (in senso idrogeologico) in modo da costituire il valore di riferimento delle acque sotterranee in “ingresso” all’area oggetto di indagine ed almeno 1 per ciascun acquifero considerato deve essere localizzato immediatamente a valle del sito, in modo da verificare le caratteristiche delle acque di falda in “uscita” (dopo cioè aver interagito con il sito contaminato) dal sito. È possibile così determinare il grado di influenza della fonte di contaminazione sulla qualità delle acque sotterranee.

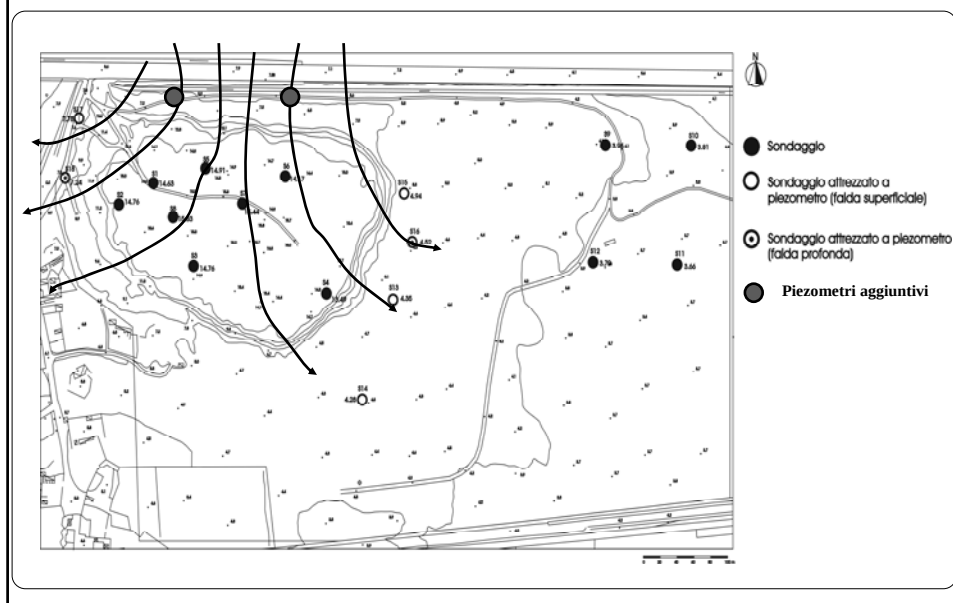
Indagini sulla Matrice Liquida (3)

- Le informazioni necessarie per disporre in maniera ragionata i pozzi e per stabilirne le caratteristiche necessarie (profondità, ampiezza delle fenestrature, etc.) derivano dalla formulazione del modello concettuale del sito e quindi da un accurato studio delle caratteristiche delle sostanze contaminanti (mobilità, potenziale interazione con l’acqua e con le particelle di terreno);
- Per quanto riguarda invece il numero di pozzi o piezometri da installare, si procederà in funzione della complessità idrogeologica del sito, del numero di focolai di contaminazione, nonché dell’importanza, dal punto di vista dello sfruttamento, degli acquiferi in esame.

Indagini sulla Matrice Liquida (4)



Indagini sulla Matrice Liquida (5)



Indagini sulla Matrice Liquida (6)

- Il prelievo dei campioni di acqua può interessare sia la zona insatura del terreno che quella satura, ma le procedure operative sono diverse nei due casi.

- Zona insatura: nel caso di campionamenti dal mezzo insaturo, lo strumento più frequentemente utilizzato è il lisimetro attivo, apparecchiatura costituita da un tubo, con un tratto poroso in punta o nella parte mediana. Infiggendo il lisimetro nel terreno (alla profondità desiderata) ed applicando una depressione all'interno, si genera un effetto di richiamo sull'acqua interstiziale presente nella porzione di terreno circostante;
- Zona satura: il campionamento dell'acqua dalla zona satura del terreno avviene invece direttamente dal pozzo, previo spurgo di quest'ultimo, per eliminare l'acqua presente non rappresentativa della qualità dell'acquifero da indagare.

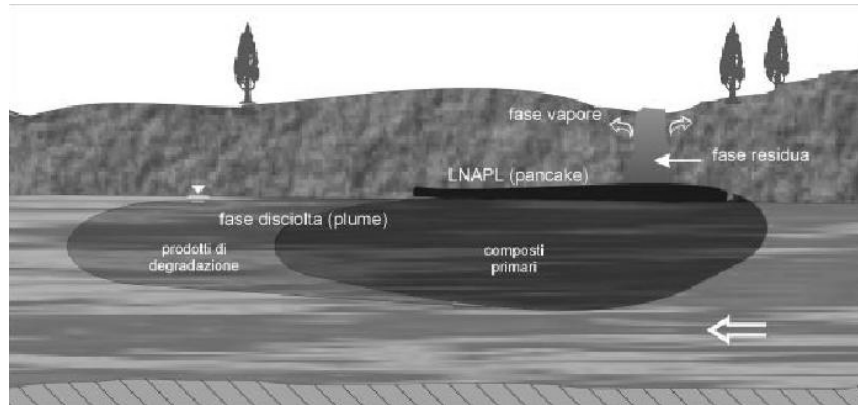
Le procedure operative da seguire e gli strumenti (campionatori, pompe, etc.) da utilizzare per il prelievo di campioni di acqua devono essere scelti in modo tale che i campioni stessi non subiscano alterazioni delle loro caratteristiche chimico-fisiche.

Indagini sulla Matrice Liquida (7)

- **Campionamento nel mezzo saturo**

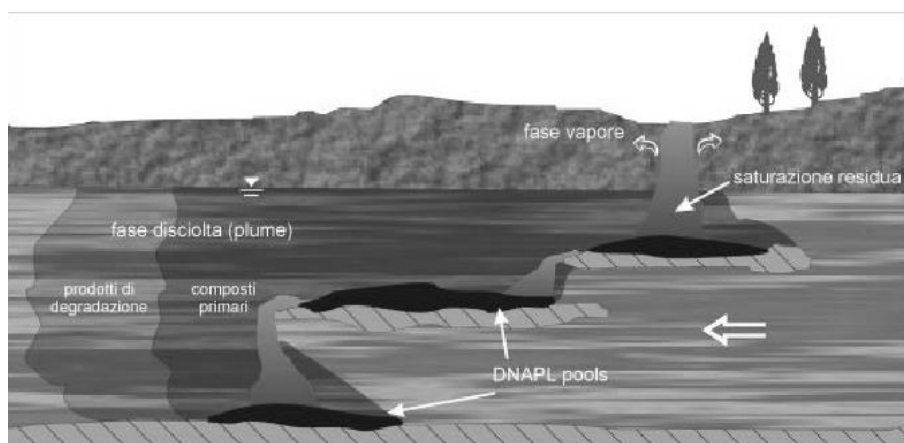
- La necessità di ricostruire tridimensionalmente il grado di contaminazione è di grande importanza, ma lo è particolarmente in tutti quei casi in cui la natura dei contaminanti e l'interazione di questi con il sistema acquifero determini stratificazioni verticali di concentrazione. E' il caso di contaminazione imputabile a composti non miscibili con l'acqua quali i NAPL (Non Aqueous Phase Liquids), che, secondo una comune classificazione in base alla densità relativa all'acqua, possono essere suddivisi in:
 - LNAPL (Light NAPL), che sono caratterizzati da una densità minore dell'acqua e, quindi, tendono a galleggiare sulla tavola d'acqua;
 - DNAPL (Dense NAPL), che presentano densità maggiore dell'acqua e tendono in alcuni casi a penetrare in profondità nel sistema acquifero.

Indagini sulla Matrice Liquida (8)



Comportamento di un LNAPL nel sottosuolo

Indagini sulla Matrice Liquida (9)



Comportamento di un DNAPL nel sottosuolo

Indagini sulla Matrice Liquida (10)

- Non si vuole entrare nel merito trattazione della complessa dinamica di un NAPL nel sottosuolo, basti dire che l'interpretazione di questo fenomeno in un sistema acquifero deve essere condotta tramite una efficace campagna di campionamento che permetta l'individuazione dei contaminanti e della distribuzione volumetrica delle concentrazioni, sia in fase acquosa, sia in fase segregata, senza trascurare la possibile presenza di prodotti di degradazione. In tale contesto è evidente che può essere considerato corretto e rappresentativo solamente un approccio che consenta il prelievo di campioni a diverse profondità stabilite. Un campionamento discreto lungo la verticale può essere eseguito mediante due approcci distinti:
 - Piezometri multilivello;
 - Tecniche puntuali direct push.

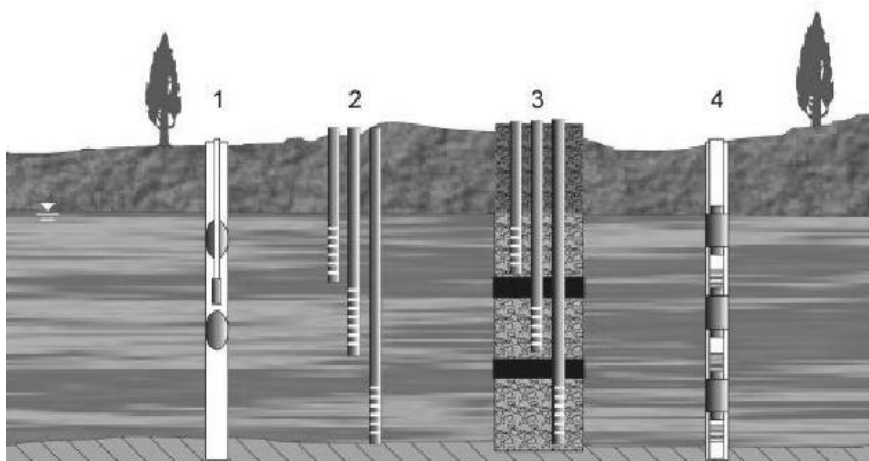
Indagini sulla Matrice Liquida (11)

- Tramite un sistema di campionamento multilivello è possibile ricostruire tridimensionalmente il grado di contaminazione di un sito conoscendo le concentrazioni degli inquinanti, in ciascun punto di osservazione, lungo la verticale. Questi sistemi permettono, inoltre, una migliore comprensione delle condizioni locali di flusso, permettendo la misura dei carichi idraulici a differenti profondità.
- Un monitoraggio multilivello all'interno di piezometri può essere condotto secondo le seguenti modalità:
 - *Doppio packer* a fine completamento: dopo aver eseguito il completamento del piezometro viene introdotta una coppia di packer per isolare una porzione di acquifero. Questo sistema è sconsigliato in quanto non è possibile evitare fenomeni di cross-contaminazione e di circolazione all'interno del dreno. Le operazioni risultano, inoltre, lente e laboriose;
 - *Cluster di piezometri in perfori separati*: consiste nella disposizione ravvicinata di una serie di piezometri di piccolo diametro finestrati a profondità differenti. Risulta costoso perché moltiplica i costi di perforazione;

Indagini sulla Matrice Liquida (12)

- *Cluster di piezometri in un singolo perforo (nested wells):* consiste nella disposizione di una serie di colonne piezometriche all'interno di uno stesso perforo, tra di loro isolate mediante anelli bentonitici e cementazione. Il maggior problema legato a questi sistemi consiste nella difficoltà di installazione dei sigilli bentonitici che possono non garantire un perfetto isolamento idraulico; inoltre, l'operazione di spurgo risulta essere generalmente lunga a causa del grosso diametro del dreno circostante la colonna piezometrica;
- *Sistemi multilivello:* sono generalmente costituiti da una colonna equipaggiata di packer ed in alcuni casi di pompe sommerse in grado di vettoriare l'acqua in superficie. Possono essere rimossi con relativa facilità dal piezometro in cui vengono calati ed hanno il vantaggio di richiedere volumi di spurgo minimi. Tali sistemi sono generalmente costosi;

Indagini sulla Matrice Liquida (13)

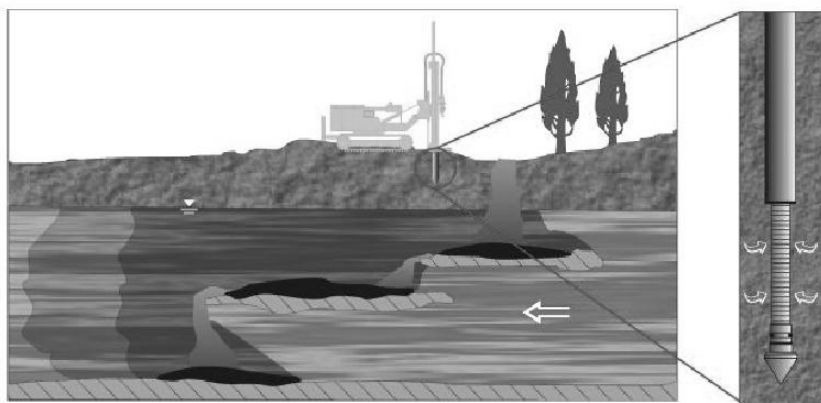


Sistemi di misura multilivello in piezometri: 1) packer doppio 2) cluster in perfori separati 3) cluster in un singolo perforo 4) sistemi multilivello.

Indagini sulla Matrice Liquida (14)

- I sistemi direct push permettono il campionamento discreto dell'acqua di falda, mediante l'utilizzo di un dispositivo di campionamento (generalmente un tubo finestrato in acciaio inossidabile) infisso direttamente nella formazione acquifera. Tali sistemi permettono di effettuare campionamenti istantanei di acqua nei punti di indagine e presentano i seguenti vantaggi:
 - velocità di campionamento;
 - costi di campionamento estremamente limitati;
 - assenza di fluidi e di residui di perforazione;
 - possibilità di campionamento diretto con spurgo minimo;
 - campionamento stratificato lungo la verticale;
 - possibilità di installare cluster di piezometri in perfori separati.
- L'unica limitazione è legata alla profondità di prelievo, che in genere non può superare i 30-40 m e al diametro della tubazione di campionamento che è di 1.5" per il prelievo di acque sotterranee.

Indagini sulla Matrice Liquida (15)



Tecnica direct-push (a percussione) per la caratterizzazione verticale di una contaminazione in un sistema acquifero.

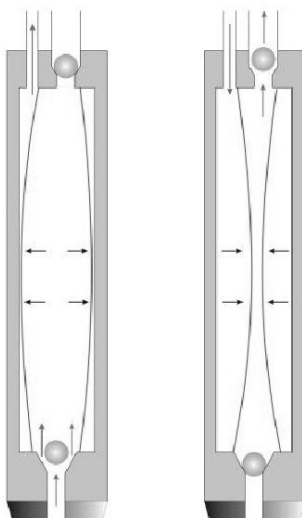
Il campionamento dell'acqua viene generalmente eseguito per mezzo di minuscole bladder pump sommerse o pompe inerziali

Indagini sulla Matrice Liquida (16)

- Bladder pump: sono pompe volumetriche a immersione, tra le più efficaci per il campionamento di metalli in traccia e di VOC. Il funzionamento della pompa bladder avviene in due tempi: nella prima fase si ha il riempimento della camera per effetto della pressione idrostatica attraverso una valvola al fondo della pompa. Non appena la pompa è piena, la valvola di fondo si chiude e comanda l'iniezione di gas tra il corpo della pompa e la camera contenente l'acqua. La camera deformabile viene compressa liberando l'acqua verso la tubazione di mandata. La capacità di sollevamento della pompa è direttamente correlabile alla pressione con la quale viene iniettato il gas all'interno dell'intercapedine della pompa. Sono disponibili pompe che possono essere utilizzate in piezometri con diametro superiore ai 3/4'', in grado di permettere una regolazione della portata in modo che questa si adatti alle diverse esigenze delle fasi di spurgo o di campionamento, fino a valori bassissimi (low-flow purging, low-flow sampling).

Indagini sulla Matrice Liquida (17)

Bladder pump



Indagini sulla Matrice Liquida (18)

- Vantaggi (Bladder pump)
- Nel caso si utilizzino basse portate di esercizio, il campione prelevato risulta essere di elevata qualità;
- Il campione non entra in contatto con il gas compresso o con le parti meccaniche della pompa;
- La camera flessibile può essere costruita con materiali praticamente inerti;
- E' possibile variare la portata di esercizio;
- Permette la filtrazione in linea del campione;
- In alcuni modelli la capacità di sollevamento è estremamente elevata;
- La pompa non si danneggia nel caso in cui vada a secco.

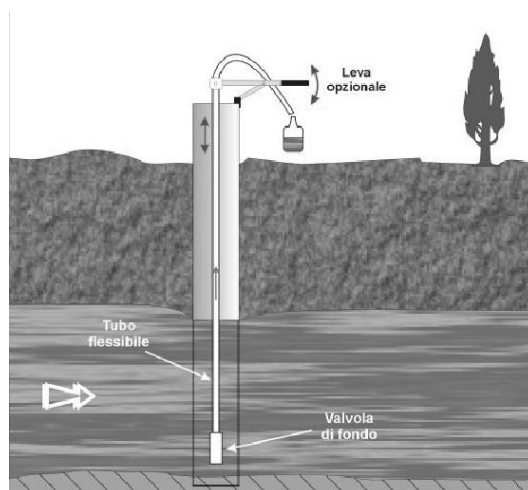
Indagini sulla Matrice Liquida (19)

- Limitazioni (Bladder pump)
- Le pompe più piccole sono portatili, ma tutto il sistema di campionamento è generalmente ingombrante e pesante da trasportare;
- Richiede l'uso di aria compressa e di una strumentazione di controllo;
- Lo spurgo ed il campionamento da pozzi profondi può essere lento;
- La procedura di decontaminazione può essere complessa;
- La camera deformabile può rompersi;
- L'utilizzo della pompa richiede addestramento.

Indagini sulla Matrice Liquida (20)

- Pompe inerziali: sono sistemi semplici che utilizzano la forza di inerzia per richiamare acqua all'interno di una tubazione collegata con la superficie. Le pompe inerziali sono sistemi adeguati sia allo spurgo che al campionamento anche in piezometri di piccolissimo diametro.
- Pompe inerziali con valvola di non ritorno: sono costituite da una tubazione, provvista all'estremità di una valvola di non ritorno, che viene immersa nell'acqua. Agitando di moto alternativo la tubazione è possibile far risalire l'acqua all'interno di questa per prelevare campioni. Nel caso in cui si debbano prelevare portate costanti o sia necessario il sollevamento da punti molto profondi, è possibile associare la tubazione di campionamento a motori elettrici o a scoppio. I campioni prelevati con questo sistema sono caratterizzati da alte torbidità dovute all'agitazione che si crea nel piezometro.

Indagini sulla Matrice Liquida (21)



Pompa inerziale con valvola di non ritorno

Indagini sulla Matrice Liquida (22)

- **Vantaggi (Pompa inerziale con valvola di non ritorno)**
 - Possono essere costruite praticamente da ogni materiale;
 - Economiche, anche monouso;
 - Di facile funzionamento;
 - Nessuna limitazione a causa del diametro del pozzo;
 - Portatili e leggere;
 - Non richiedono fonti di energia esterne.
- **Limitazioni**
 - Possibile aumento di torbidità;
 - Non adatte per lo spurgo di grandi volumi di acqua;
 - Non adatte per pozzi profondi;
 - E' possibile effettuare una filtrazione in linea, ma è un processo generalmente complicato.

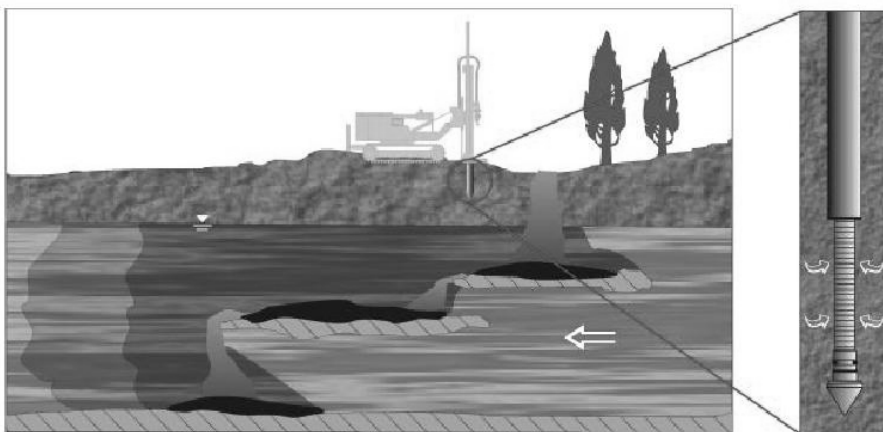
Indagini sulla Matrice Gassosa (1)

- Le indagini sulla matrice gassosa si pongono l'obiettivo di evidenziare la presenza, nel suolo o nelle acque, di sostanze contaminanti con tendenza a passare in fase gassosa. Tali indagini, tuttavia, forniscono solo informazioni sulle concentrazioni di sostanze presenti in fase gassosa, ma non definiscono il contenuto di contaminanti nel suolo o nelle acque. Il campionamento dei gas interstiziali (*atmosfera del suolo*) viene usualmente effettuato nei pressi di discariche di rifiuti solidi urbani per valutare la migrazione di biogas nel mezzo non saturo. Tale metodo costituisce, inoltre, una interessante tecnica di screening per valutare la presenza e l'estensione di una eventuale contaminazione da composti volatili nel sottosuolo. La capacità di questa tecnica di rilevare la presenza di contaminanti è limitata dalle caratteristiche fisiche e chimiche dei composti stessi (tensione di vapore e costante di Henry sono infatti indicatrici della facilità con cui il composto si ripartisce in fase gassosa).

Indagini sulla Matrice Gassosa (2)

- Sono attualmente disponibili due sistemi adatti al campionamento del gas presente nella zona insatura del terreno: il campionamento attivo ed il campionamento passivo.
 - Il campionamento attivo viene condotto mediante l'introduzione di punte o di sistemi di monitoraggio permanenti (analoghi ai piezometri) all'interno del mezzo non saturo e la successiva estrazione dei gas interstiziali con l'ausilio di pompe a vuoto, elettriche o manuali. Le punte per il prelievo dei gas possono essere infisse nel terreno manualmente o per mezzo di sistemi a percussione direct-push (es. Geoprobe, Enviprobe). Nel caso in cui si proceda per via manuale, generalmente le puntazze non superano la lunghezza di un paio di metri. I sistemi direct push permettono, invece, di spingere le punte campionatrici fino a profondità che possono raggiungere la trentina di metri.
Il sistema attivo ha il pregio di poter prelevare ed analizzare in luogo da 8 a 30 campioni al giorno; di contro, però, è in grado di individuare solo i composti organici volatili e non quelli semivolatili.

Indagini sulla Matrice Gassosa (3)



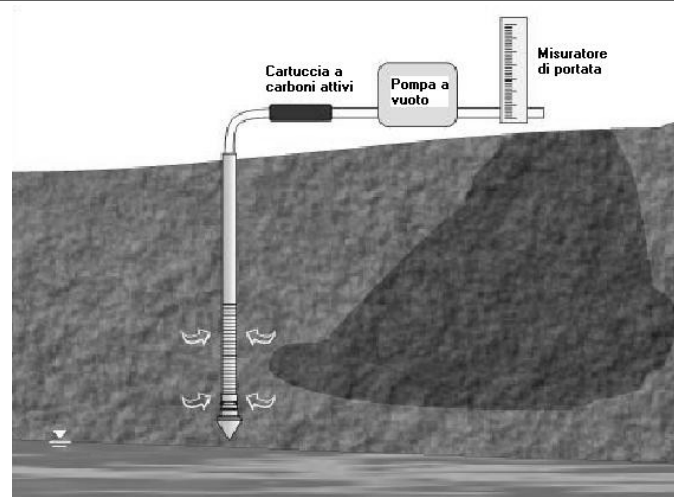
Sistema direct-push per il campionamento dei gas interstiziali.

Indagini sulla Matrice Gassosa (4)

Dopo aver infisso la punta alla profondità desiderata e prima della fase di campionamento vera e propria, è consigliabile effettuare uno spurgo delle unità di campionamento e delle tubazioni. I volumi e le portate con le quali effettuare l'operazione di spurgo sono funzione della permeabilità del suolo e del volume della punta e delle tubazioni.

Il campionamento dei gas può essere effettuato mediante pompe a vuoto, pompe manuali o siringhe, semplicemente collegandole alla tubazione che raggiunge la punta infissa nel terreno. Le analisi dei gas possono essere effettuate direttamente in campo mediante l'ausilio di metodiche più o meno sofisticate che vanno dall'utilizzo di kit colorimetrici, di rivelatori portatili a ionizzazione di fiamma (FID), a fotoionizzazione (PID), ad infrarossi (IR), fino all'utilizzo di gascromatografi portatili. Nel caso in cui le analisi vengano effettuate in laboratorio, è necessario, invece, prelevare un campione o in fase gassosa e mediante contenitori generalmente in acciaio, vetro o Tedlar, oppure in fase solida dopo aver fatto adsorbire il contaminante su un supporto apposito, quale ad esempio il carbone attivo.

Indagini sulla Matrice Gassosa (5)

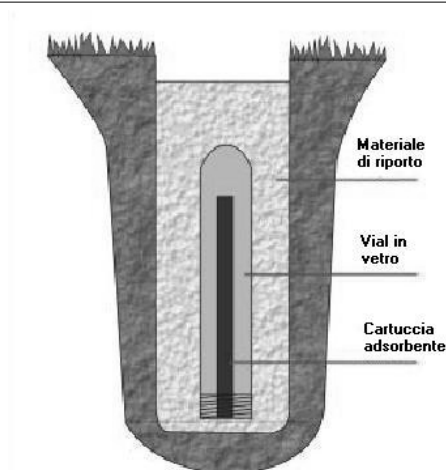


Campionamento di gas interstiziali mediante adsorbimento su cartuccia a carboni attivi.

Indagini sulla Matrice Gassosa (6)

- Il campionamento passivo consiste nell'inserire nella zona insatura del terreno una sonda riempita al suo interno con resine o materiale adsorbente granulare (carbone attivo), in grado di adsorbire i composti organici presenti; dopo qualche giorno di permanenza (fino a qualche settimana), la sonda viene estratta ed il materiale adsorbente inviato al laboratorio di analisi. Questo secondo metodo di campionamento, a differenza del sistema attivo, è in grado di individuare i composti organici semivolatili e quelli poco volatili; sono tuttavia da segnalare le seguenti limitazioni:
 - impossibilità di risalire alla concentrazione di contaminanti presenti nel gas interstiziale;
 - l'efficienza del campionamento può variare notevolmente, in relazione all'instaurarsi di effetti di adsorbimento competitivo tra i vari composti presenti;
 - il processo di desorbimento dei composti (effettuato in laboratorio) dal carbone attivo può distruggere alcune sostanze, celandone la presenza;
 - il processo di adsorbimento e, di conseguenza, la presenza della sostanze adsorbite dipendono dal tempo di permanenza in-situ della sonda;
 - sono necessarie 3-6 settimane prima di avere i risultati delle analisi.

Indagini sulla Matrice Gassosa (7)



Campionatore di gas interstiziali di tipo passivo

Campioni del fondo naturale

- *I campioni prelevati da aree adiacenti il sito nelle quali si ha la certezza di assenza di contaminazione derivante dal sito e da altre attività antropiche sono definiti **campioni del fondo naturale**, sono utilizzati per determinare i valori di concentrazione delle sostanze inquinanti per ognuna delle componenti ambientali rilevanti per il sito in esame; nel caso di campionamento di suoli, la profondità ed il tipo di terreno da campionare dovrebbe corrispondere a quelli dei campioni raccolti nel sito.*

Il numero dei campioni varia in funzione delle caratteristiche generali e idrogeologiche dell'area, non dovrà comunque essere inferiore a tre campioni prelevati nell'intorno del sito.

Metodi di Indagine Geofisica (1)

- I metodi di indagine geofisica stanno assumendo un ruolo sempre più importante nella caratterizzazione di un sito contaminato in quanto permettono, senza ricorrere ad indagini dirette o quantomeno limitandole, di far fronte ad una serie di esigenze conoscitive, quali:
 - Definire la struttura del suolo;
 - Localizzare eventuali corpi anomali sepolti (fusti, ammassi di rifiuti, etc.);
 - Individuare le matrici ambientali contaminate.

Metodi di Indagine Geofisica (2)

- Metodi geofisici “attivi”: “immettono energia” nel campo dove si devono effettuare le prove mediante particolari processi fisici (per esempio, immissione nel terreno di correnti elettriche, invio di onde elastiche ecc.) e misurano la “risposta” di eventuali strutture sepolte; la risposta è determinata dalla variazione del parametro fisico significativo rispetto al fenomeno di stimolazione (resistività, velocità delle onde ecc.). Le “risposte” sono confrontate con dati calcolati o ricavati da modelli bi-tridimensionali. Questi metodi comportano una richiesta di energia (spesso onerosa dal punto di vista strumentale) ma, in cambio, consentono un alto grado di controllo delle condizioni sotto le quali si ottengono le informazioni sul sottosuolo.
Il buon esito dell’indagine è affidato all’esistenza di contrasti nelle proprietà fisiche tra le strutture sepolte e i materiali che le ospitano.

Metodi di Indagine Geofisica (3)

- Metodi geofisici “passivi”: analizzano eventuali anomalie di campi naturali rispetto a parametri fisici del terreno e le confrontano con dati tipo e/o modelli; lo svantaggio di questi metodi è legato all’impossibilità di migliorare il segnale, perché questo è prodotto da fenomeni sui quali non si può intervenire; possono quindi essere necessari forti processi di amplificazione.
Il buon esito dell’indagine è affidato all’esistenza di contrasti nelle proprietà fisiche tra le strutture sepolte e i materiali che le ospitano.

Metodi di Indagine Geofisica (4)

Metodi geoelettrici

- Metodi geoelettrici: le prospezioni geoelettriche si basano, in generale, sugli effetti sotterranei di una corrente elettrica, rilevabili attraverso misure di differenza di potenziale o di corrente in superficie. La resistività di un terreno, cioè la misura della sua attitudine a trasmettere corrente, dipende dalla sua porosità, dal grado di imbibizione della roccia e dalla resistività dell'acqua contenuta; quest'ultima, a sua volta, dipende dalla temperatura e dal contenuto di sali disciolti.
 - METODO RESISTIVO;
 - POTENZIALI SPONTANEI;
 - POLARIZZAZIONE INDOTTA;
 - *MISE À LA MASSE*.

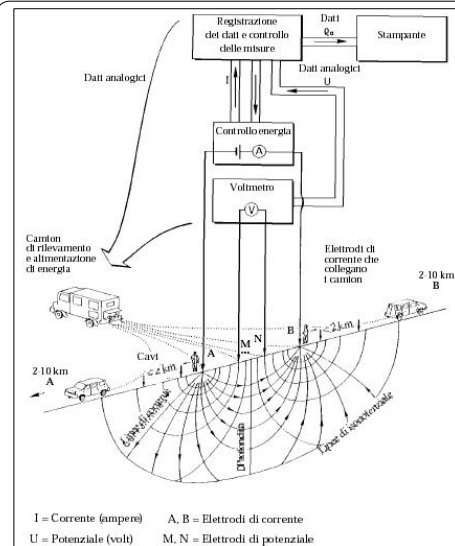
Metodi di Indagine Geofisica (5)

Metodi geoelettrici

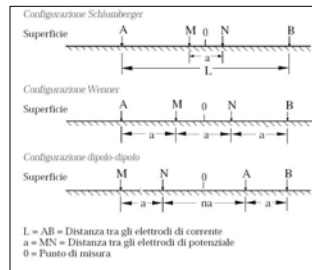
- METODO RESISTIVO: viene immessa nel sottosuolo, mediante due elettrodi (A e B), una corrente elettrica che determina una differenza di potenziale, misurata mediante dipoli riceventi (M e N). La condizione fondamentale perché questo metodo possa dare buoni risultati è che il contrasto di resistività (resistenza elettrica specifica) tra i bersagli (rifiuti, terreno inquinato) e il terreno circostante sia elevato. Per esempio, per il rilevamento di rifiuti urbani (che hanno una resistività inferiore ai 20 ohm•m), il terreno incassante dovrebbe avere una resistività minima dell'ordine dei 300 ohm•m. Di conseguenza, sono ben rilevabili rifiuti urbani circondati da ghiaie, sabbie, arenarie e calcari mentre argille e marne possono presentare valori di resistività del medesimo ordine di grandezza dei rifiuti. Dai valori conosciuti della corrente erogata, dalla configurazione degli elettrodi, dalla loro distanza (dalla quale dipende la profondità della penetrazione della corrente: maggiore è la distanza tra gli elettrodi, maggiore sarà la profondità raggiunta) e dai valori misurati della differenza di potenziale si calcola la resistività apparente dei terreni indagati e dei rifiuti.

Metodi di Indagine Geofisica (6)

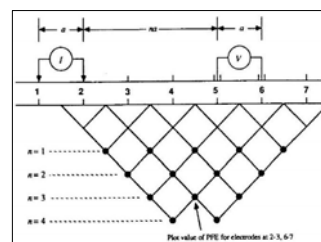
Metodi geoelettrici



Schematizzazione metodo resistivo (Vogelsang, 1994)



Configurazioni geometriche stendimento



Configurazione Dipolo-Dipolo (Ward, 1990)

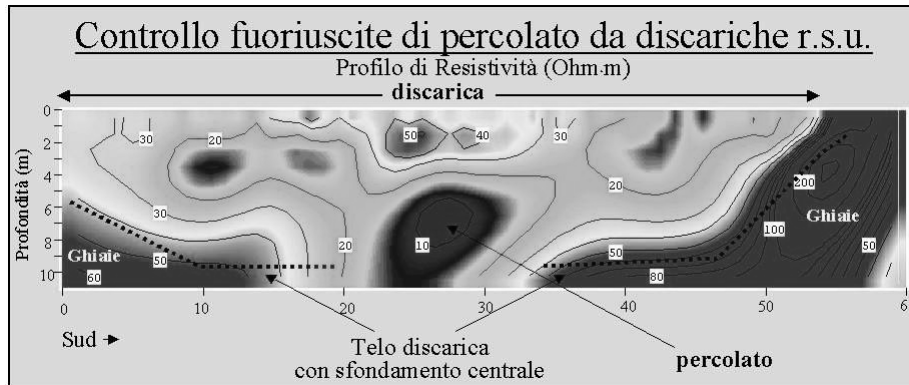
Metodi di Indagine Geofisica (7)

Metodi geoelettrici

Roccia/Materiale	Resistività (ohm . m)
Argille, marne, grasse	3 - 30
Argille, marne, magre	10 - 40
Argille sabbiose, sil	25 - 105
Sabbie con argille	50 - 300
Sabbia, ghiaia in falda	200 - 400
Sabbia, ghiaia asciutta	800 - 5000
Calcare, gesso	500 - 3500
Arenaria	300 - 3000
Granito	2000 - 10.000
Gneiss	400 - 6000
Rifiuti domestici	12 - 30
Fanghi industriali	40 - 200
Plume contaminato da rifiuti domestici	1 - 10
Olio esausto	150 - 700

Metodi di Indagine Geofisica (8)

Metodi geoelettrici



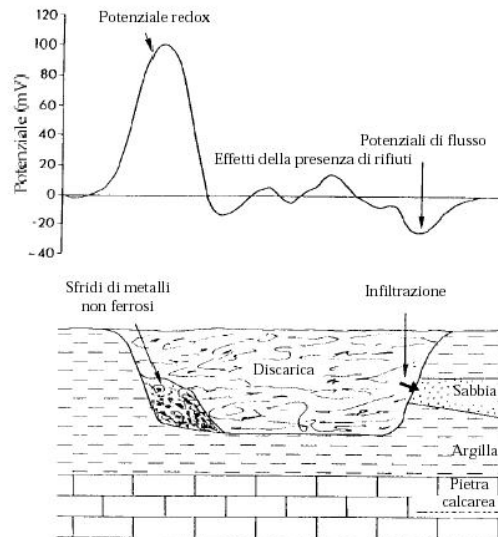
Metodi di Indagine Geofisica (9)

Metodi geoelettrici

- **POTENZIALI SPONTANEI:** la distribuzione dei campi geoelettrici naturali (potenziali spontanei) sulla superficie terrestre può fornire molte informazioni su disomogeneità presenti nel sottosuolo. I potenziali spontanei possono essere dovuti a processi elettrochimici (potenziali redox), che si originano al contatto tra minerali metallici o metalli sepolti e rocce o fluidi sotterranei, oppure possono derivare da movimenti rapidi di fluidi (potenziali di flusso). Questi ultimi, che sono in grado di segnalare moti di percolazione di fluidi da rifiuti presenti nel terreno, sono però molto deboli (< 10 mV) e spesso indistinguibili da disturbi tellurici o derivanti da attività umane. Il metodo dei potenziali spontanei è rapido, poco costoso e di facile esecuzione. Può essere utilizzato per rilevare la presenza di bidoni metallici in un terreno interessato dalla presenza di sostanze inquinanti, anche se i dati ricavabili sono solo di tipo qualitativo. Le misure sono ottenute con due elettrodi di potenziale, uno infisso nel terreno in un'area relativamente indisturbata e l'altro trasportato lungo linee di rilevamento.

Metodi di Indagine Geofisica (10)

Metodi geoelettrici



Metodi di Indagine Geofisica (11)

Metodi sismici

- Metodi sismici: questi metodi sono basati sulla misura del tempo impiegato dalle onde elastiche generate da sorgenti di diversi tipi (colpi di maglio, vibrazioni, esplosioni ecc.) per propagarsi nel terreno e riflettersi o rifrangersi verso la superficie per effetto delle discontinuità eventualmente presenti. Il ritorno delle onde è osservato mediante ricevitori elettrodinamici (geofoni) disposti, in genere, lungo allineamenti superficiali. Quando nel sottosuolo esistono strati con proprietà elastiche diverse, si hanno velocità diverse di propagazione delle onde elastiche che rendono possibile l'ottenimento di dati sulla profondità e sullo spessore dei corpi investigati, compresa una eventuale discarica. I metodi più usati sono:
 - METODO A RIFRAZIONE;
 - METODO A RIFLESSIONE;
 - METODO CROSS-HOLE CON TRATTAMENTO TOMOGRAFICO

Metodi di Indagine Geofisica (12)

Metodi sismici

- **METODO A RIFRAZIONE:** il metodo consiste nell'energizzare il terreno mediante l'onda d'urto prodotta dall'esplosione di una piccola carica o dall'impatto di una mazza di battuta. Le onde sono captate fino a grande distanza dalla sorgente da una serie di geofoni e si misura, tramite il sismografo, il tempo impiegato dalla perturbazione sismica indotta nel terreno a percorrere la distanza tra la sorgente e ciascun geofono, opportunamente spaziatosi lungo un profilo. Noti i tempi di risalita delle onde dall'orizzonte rifrattore, si effettua la conversione in profondità dei tempi di percorso e, dai valori di profondità ricavati, si ottiene l'andamento del rifrattore e la ricostruzione della stratigrafia e dell'assetto strutturale. Il metodo funziona solo se il secondo strato, che ha agito da rifrattore, possiede una velocità sismica maggiore del primo. Qualora il mezzo rifrattore sia più lento del primo, non si ha rifrazione critica e il metodo non può essere applicato. poiché i materiali depositati in una discarica sono generalmente più "lenti" del terreno nel quale sono stati depositati, con il metodo a rifrazione è possibile ricostruire l'andamento della superficie sulla quale poggiano i rifiuti.

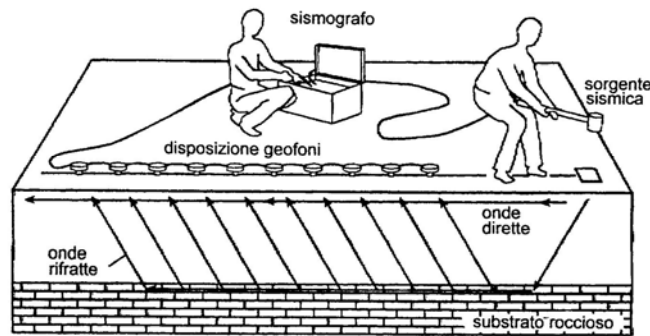
Metodi di Indagine Geofisica (13)

Metodi sismici

- **METODO A RIFRAZIONE:** per gli stessi motivi, un mezzo a bassa velocità posto tra due mezzi a velocità più elevata può non essere rilevato. La velocità di propagazione dell'onda sismica dipende dalle caratteristiche elastiche del sottosuolo e dalla sua conformazione. La relazione tra la velocità dell'onda e distanza sorgente-geofono (dromocrona) consente, applicando delle formule matematiche, di risalire agli spessori degli strati esistenti nel sottosuolo.

Metodi di Indagine Geofisica (14)

Metodi sismici



Schema di dispositivo per l'esecuzione di sondaggi sismici a rifrazione (Benson R. C. et al., 1984).

Metodi di Indagine Geofisica (15)

Metodi elettromagnetici

- Metodi elettromagnetici: si basano sul fatto che quando una massa presente nel sottosuolo è caratterizzata da una resistività diversa da quella del materiale circostante è sottoposta a un campo elettromagnetico, questo induce nel terreno una corrente elettrica direttamente proporzionale alla conducibilità del terreno stesso; a sua volta, questa corrente provoca un campo elettromagnetico secondario parallelo o diretto in senso contrario a quello primario, a seconda che la resistività del corpo sepolto sia maggiore o minore di quella del terreno o del materiale circostante. L'interferenza tra campo primario e secondario produce un campo risultante, che viene misurato in superficie. Di questo campo indotto viene misurata la componente in quadratura di fase (dovuta alla conducibilità elettrica del terreno relativamente bassa) e la componente in fase con il campo primario (dovuta alla presenza di oggetti metallici).

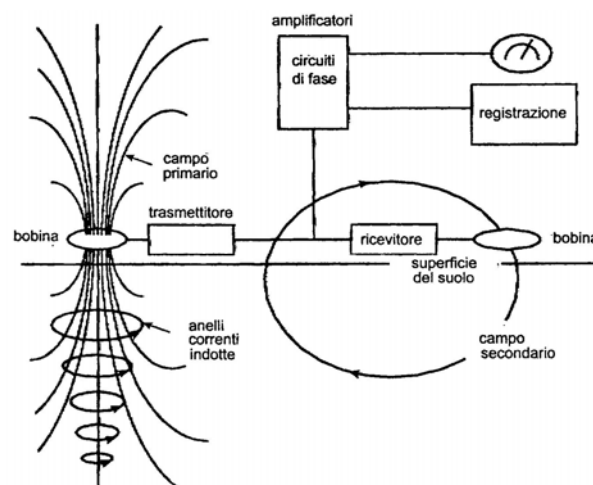
Metodi di Indagine Geofisica (16)

Metodi elettromagnetici

- Metodi elettromagnetici: dalle variazioni delle componenti in fase e in quadratura si risale alla posizione dei corpi conduttori o dielettrici sepolti. Il campo elettromagnetico “primario” è generato solitamente con un dispositivo trasmettente (bobina) a corrente alternata, ma può anche essere generato con la brusca interruzione di una corrente continua, che induce un impulso che si propaga a una profondità proporzionale alla durata dell’impulso stesso, oppure può essere costituito da onde radio generate da apposite stazioni per motivi totalmente differenti dalle prospezioni geofisiche (radiofari).

Metodi di Indagine Geofisica (17)

Metodi elettromagnetici



Schema di dispositivo per l'esecuzione di sondaggi elettromagnetici (U. S. EPA, 1993).

Metodi di Indagine Geofisica (18)

Metodi magnetici

- Metodi magnetici: si basano sulla misura delle anomalie del campo magnetico naturale indotte dalla presenza di corpi metallici (o di materiali ferromagnetici) sepolti: un corpo ferromagnetico immerso in un campo magnetico (che, nelle normali condizioni di prospezione, è il campo magnetico terrestre) si magnetizza a sua volta, generando un proprio campo locale, misurabile come anomalia in superficie. Sono possibili due tipi di misure: campo magnetico totale e gradiente magnetico. Ai fini della ricostruzione delle zone contaminate, la misura del campo magnetico totale determina la distorsione locale del campo magnetico terrestre dovuto alla presenza di oggetti metallici nel sottosuolo, di cui vengono individuate la profondità di collocazione e le dimensioni. La risposta delle misure del campo magnetico totale sono proporzionali alla massa dell'oggetto ferroso e inversamente proporzionali al cubo della sua distanza dalla superficie.

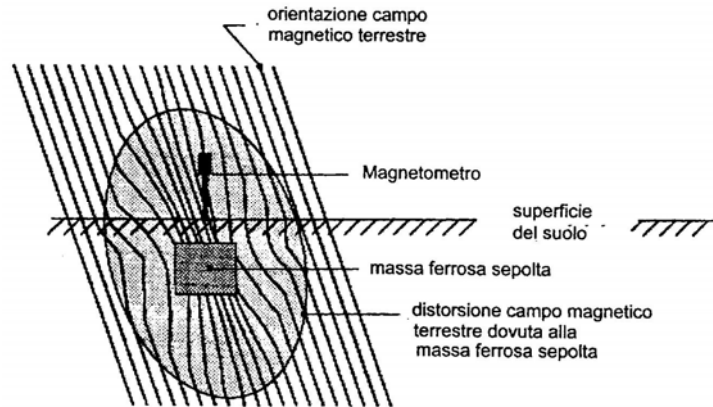
Metodi di Indagine Geofisica (19)

Metodi magnetici

- Metodi magnetici: si rileva che la presenza di variazioni del campo magnetico terrestre e di disturbi locali può ridurre l'efficienza del metodo, in quanto vengono mascherati i disturbi dovuti agli oggetti ricercati. È anche per tale ragione che sono state sviluppate le misurazioni del gradiente, che sono effettuate con un "gradiometer", costituito da due sensori magnetici. Poiché la risposta del gradiometer è costituita dalla differenza tra due campi magnetici misurati, essa risponde solo del gradiente locale, anche se con una minore sensibilità rispetto alla tecnica del campo magnetico totale. Un singolo bidone ad es. è rilevabile ad una profondità di circa 3 m, mentre tale valore raddoppia con la misura del campo magnetico totale. La prospezione magnetometrica si avvale di tre diverse tecniche:
 - MISURA DEL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE (CMT);
 - MISURA DELLA COMPONENTE VERTICALE DEL CMT;
 - MISURA DEL GRADIENTE DEL CMT.

Metodi di Indagine Geofisica (20)

Metodi magnetici



Schema di utilizzo del metodo magnetico (U. S. EPA, 1993).

Profondità d'esplorazione: 3, 5, 7, 10, 30 m a seconda della configurazione, della strumentazione adottata e della natura del terreno.

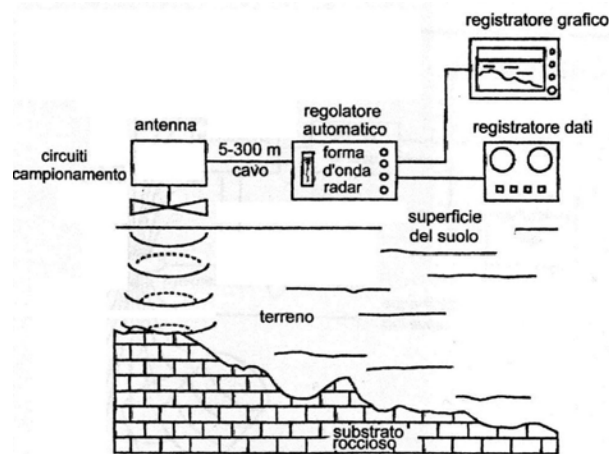
Metodi di Indagine Geofisica (21)

Metodi radar GPR

- Metodi radar GPR (*Ground Penetrating Radar*): si basa sulla proprietà dei terreni di trasmettere onde elettromagnetiche ad alta frequenza e misura il tempo di andata e ritorno di tali onde quando esse vengono riflesse da un orizzonte di discontinuità. Lo strumento invia, mediante un'antenna, un impulso multifrequenza nel suolo da indagare: quando le onde elettromagnetiche incontrano sul loro cammino una discontinuità fisica che comporti una diversa velocità di propagazione, parte dell'energia incidente viene riflessa e ritorna all'antenna, generando un impulso di forma simile a quello trasmesso, anche se distorto in frequenza e fase. Il principale limite all'applicazione tecnica del GPR è dovuto al fatto che parte dell'energia viene assorbita dal mezzo nel quale si propaga l'onda; questa energia è tanto maggiore quanto più il mezzo è conduttivo e/o umido e cresce col crescere della frequenza utilizzata. La banda di frequenze utilizzate varia da 50 a oltre 3000 MHz; la scelta entro questo ampio intervallo di possibilità dipende dal dettaglio che si vuole ottenere e dalla profondità da indagare perché la frequenza è direttamente proporzionale al potere risolutivo e inversamente proporzionale alla profondità di indagine. La dimensione minima degli oggetti che possono essere identificati (metalli e non metalli) dipende dalla frequenza del segnale radar (può giungere a 0,3 - 0,5 m): gli oggetti isolati che hanno un diametro medio inferiore a metà lunghezza d'onda non possono essere rivelati.

Metodi di Indagine Geofisica (22)

Metodi con radar



Schema di dispositivo per l'esecuzione di sondaggi con georadar (Benson R.C. et al., 1984)

Metodi di Indagine Geofisica (23)

Metodi con radar

Materiale	Profondità di penetrazione (m)	
	120 MHz	300 MHz
Sabbia secca	140	45
Sabbia umida	8,5	2,8
Arenaria umida	0,8	0,3
Calcare umido	1,4	0,5
Argilla secca	75	25
Argilla umida	1	0,3

Profondità di penetrazione delle onde elettromagnetiche in funzione della frequenza e del mezzo attraversato (Provincia di Milano).

Metodi di Indagine Geofisica (24)

Metodi geofisici per la caratterizzazione geologica e idrogeologica di un sito (EPA, 1997)

Metodo	geo-radar (30 m in ghiaie e sabbie pulite)	sismico	elettrico	elettromagnetico
Profondità indagabile	1-5 m	>30 m	>30 m	>30 m
Strutture individuabili	substrati rocciosi; fratture;	substrati rocciosi; fratture; acque sotterranee;	distribuzione ghiaie, sabbie, argille; substrati rocciosi; fratture; acque sotterranee;	distribuzione ghiaie, sabbie, argille; substrati rocciosi; fratture; acque sotterranee;
Interferenze antropiche	armature metalliche	rumore urbano; calcestruzzo;	calcestruzzo; superfici metalliche;	superfici metalliche; trasmissioni radio; linee elettriche; cavi e condotte interrate;
Interferenze naturali	litotipi conduttivi	suoli gelati	litotipi molto conduttivi	
Risoluzione	< 0,3 m	0,5-1 m	1,5 m	variabile in funzione della tecnologia adottata
Costo	medio-basso	medio-alto	medio-alto	medio-basso

Metodi di Indagine Geofisica (25)

Metodi geofisici per l'individuazione di oggetti sepolti (EPA, 1997)

Metodo	geo-radar	magnetico	elettromagnetico
Obiettivo	focalizzazione dell'indagine	riconoscimento	riconoscimento
Profondità indagabile	1-5 m	1-5 m	2,5-3 m
Materiali individuabili	metalli e non metalli	metalli ferrosi	metalli e non metalli
Interferenze antropiche	armature metalliche	superfici metalliche; linee elettriche;	superfici metalliche; linee elettriche;
Interferenze naturali	litotipi conduttivi	mineralizzazioni e depositi di ferro	litotipi conduttivi e salini
Risoluzione	0,05-1,2 m	10-50%	1,2-3,5 m
Costo	medio-basso	medio-alto	medio-basso

Metodi di Indagine Geofisica (26)

Metodi geofisici per l'individuazione di un pennacchio di contaminanti in una falda (EPA, 1997)

Metodo	geo-radar	elettrico	elettromagnetico
Profondità indagabile	1-5 m	1-5 m	1-5 m
Materiali individuabili	idrocarburi residui e in galleggiamento	idrocarburi residui e in galleggiamento; composti con maggiore salinità rispetto alle acque limitrofe	composti con maggiore salinità rispetto alle acque limitrofe
Interferenze antropiche	armature metalliche	calcestruzzo; superfici metalliche	superfici metalliche; trasmissioni radio; linee elettriche; cavi e condotte interrate
Interferenze naturali	litotipi conduttivi	litotipi molto conduttivi	
Risoluzione	<0,3 m	1,5 m	variabile in funzione della tecnologia adottata
Costo	medio-basso	medio-alto	medio-basso

Modalità di Installazione Piezometri

Le modalità di installazione sono le seguenti:

- l' avanzamento del rivestimento sino a fondo foro di diametro non inferiore a 127 mm (tale diametro è reso necessario dall' esigenza di dotarsi di un tubo piezometrico di diametro sufficiente da poter effettuare lo spurgo ed i campionamenti con una pompa sommersa di piccolo diametro, magari contemporaneamente alla presenza all' interno del foro di sonde parametriche);
- prima di estrarre il rivestimento provvisorio si laverà l'interno del foro con abbondante acqua pulita;
- l'installazione del fondo del piezometro deve raggiungere il substrato impermeabile e intestarsi per almeno 30 cm, mentre la quota di posizionamento del tubo cieco e della porzione filtrante sarà stabilita in funzione dei risultati della perforazione;
- in caso di piezometro incompleto (non infisso nello strato impermeabile), il fondo foro dovrà essere chiuso da un tappo dello stesso materiale del tubo o in cemento/bentonite;
- la porzione filtrante deve permettere di filtrare tutta la zona satura estendendosi parzialmente, comunque, nella zona insatura in considerazione dell'entità delle fluttuazioni del livello piezometrico;

Modalità di Installazione Piezometri

- si getterà poi nell'intercapedine tubo-rivestimento materiale granulare pulito (sabbia silicea, sfere di vetro, ecc., diametro $\varnothing$ 2÷4 mm) fino a risalire all'estremità superiore del tratto finestrato, estraendo progressivamente il rivestimento senza l'ausilio della rotazione;
- il tubo-filtro sarà costituito di materiale compatibile con i composti da campionare (per i materiali da utilizzare vedi allegato H) con diametro interno nominale pari ad almeno 4" (pollici) e aperture definite in funzione della granulometria effettiva dell'acquifero da filtrare.
- si eseguirà la chiusura del fondo del tubo piezometrico mediante fondello cieco impermeabile. E' consigliabile applicare sulla parte fessurata una fascia di tessuto non tessuto;
- la giunzione dei tubi di assemblaggio del piezometro deve essere realizzata evitando di forzare l'avvitamento dei manicotti filettati e di storcere le estremità dei tubi, per garantire il passaggio degli strumenti di campionamento delle acque e degli strumenti di lettura dei livelli piezometrici;
- a seguito dell'installazione, si verificherà l'assenza di ostruzioni o comunque di impedimenti al passaggio degli strumenti, inserendo per tutta la lunghezza del piezometro gli strumenti stessi o strumenti testimone di dimensioni comparabili;

Modalità di Installazione Piezometri

- si continuerà la costruzione dell'intercapedine immettendo sabbia per uno spessore di 0,5 metri al di sopra del dreno seguita dal tappo impermeabile di bentonite per lo spessore di almeno 0,5 metri e si colmerà il tratto rimanente sino ad 1 metro dal p.c. con miscela ternaria acqua/cemento e bentonite. Si rabboccherà il foro per compensare il naturale abbassamento della miscela (l'ultimo metro sarà riempito da miscela ternaria poco plastica);
- si chiuderà con un tappo il tubo di rivestimento che fuoriesce dal piano campagna;
- il pozzetto deve essere cementato nel terreno;
- dovrà essere realizzata una testa pozzo di protezione fornita di coperchio carrabile e munita di chiusura a chiave (lucchetto). La testa del pozzo non deve essere lubrificata;
- almeno 12 ore dopo l'installazione si eseguirà lo sviluppo del piezometro;

Modalità di Installazione Piezometri

- è necessario marcare in modo indelebile sulle tubazioni, sul pozzetto e su un segnale fissato in vicinanza il numero identificativo del piezometro e la quota della testa tubo espressa in m.s.l.m. con precisione centimetrica, indicando con una tacca il punto di riferimento della misura qualora la testa della tubazione piezometrica termini con un taglio inclinato;
- le chiavi, identificate da un cartellino completo delle indicazioni del caso, saranno consegnate ad un rappresentante la Committenza;
- terminata l'installazione del piezometro, l'impresa dovrà misurare ed annotare il livello della falda, ripetendo la stessa operazione, possibilmente ogni giorno (o più volte al giorno, se in prossimità del mare) per tutta la rimanente durata del cantiere.

Indagini sulla Matrice Liquida (5)

▪ **Campionamento nel mezzo saturo**

- Localizzazione e numero dei punti di campionamento;
- Scelta del sistema di campionamento e di spurgo;
 - Operazione di spurgo;
- Campionamento:
 - Scelta della portata di campionamento;
 - Raccolta del campione

Caratterizzazione rifiuti

La procedura di caratterizzazione di un materiale, nel caso specifico di un rifiuto, è composta da due livelli fondamentali:

- Campionamento;
- Analisi chimica e/o fisica e/o biologica;

Il campionamento è senz'altro, se non la fase più importante, sicuramente una fase determinante e assai delicata nella procedura di caratterizzazione di un materiale.

Dalla bontà del campione dipendono sia l'accuratezza delle analisi successivamente effettuate che la loro capacità di rappresentare correttamente la effettiva natura del materiale nel suo insieme.

Per campionamento di una massa di rifiuti si intende il prelievo di una o più aliquote di materiale tale che l'analisi condotta su di esse sia rappresentativa dell'intera massa. A tale scopo un campione deve avere due requisiti fondamentali:

- Rappresentatività;
- Idoneità tecnica.

Caratterizzazione rifiuti

Rappresentatività

Come è facile comprendere, il campione che viene ricavato da un materiale, che necessariamente è di dimensioni ridotte rispetto all'intera massa da campionare, sia essa solida, liquida, omogenea o eterogenea, in grande o in piccola quantità, deve comunque essere rappresentativo dell'intera massa, ossia rendere conto delle caratteristiche medie di tutta la massa e non solo di alcune parti di essa. Questo requisito è abbastanza facilmente realizzabile quando si campionano acque, o sostanze liquide, che per loro natura sono omogenee e non presentano differente composizione in differenti zone del volume complessivo, fatta eccezione per alcune situazioni nelle quali tali liquidi siano contaminati da sostanze scarsamente miscibili o che determinano forte differenza di densità, che tendono a separarsi o a stratificarsi sul fondo o sulla superficie. E' ugualmente piuttosto semplice laddove si campionano solidi omogenei per dimensioni granulometriche e per composizione. Diventa invece estremamente difficile quando si tratta di campionare materiali disomogenei per dimensioni e per natura delle varie componenti. Ed è proprio in questa casistica che rientrano, nella maggior parte dei casi, i rifiuti.

Caratterizzazione rifiuti

Idoneità tecnica

Questo significa che il campione deve essere realizzato adottando modalità tecniche tali da consentire e garantire la correttezza dell'analisi cui il campione deve essere sottoposto, ossia:

Utilizzare attrezzature e recipienti idonei sia dal punto di vista del livello di "pulizia" che del materiale di cui sono costituiti, in funzione del tipo di analisi cui il campione è destinato;

Adottare procedure idonee a garantire l'effettivo recupero delle sostanze ricercate in rapporto alle loro caratteristiche di volatilità, labilità chimica o termica. Da qui la necessità, di caso in caso, di stabilizzare con opportuni reagenti (nel caso di sostanze che possono subire processi di decomposizione, di ossido-riduzione etc.);

Aver cura di non lasciare volumi vuoti, ossia uno "spazio di testa" libero (nel caso di sostanze volatili che tendono pertanto ad evaporare accumulandosi nello spazio di testa libero);

Adottare appropriate modalità di conservazione (provvedere, se necessario, alla refrigerazione).

Caratterizzazione rifiuti

METODO IRSA – CNR Gennaio 1985

Nel Quaderno IRSA n. 64, Metodi Analitici per i fanghi, vol 3 – Parametri chimico-fisici l'Appendice I è dedicata al campionamento di fanghi e rifiuti solidi. Queste sono le linee guida a cui solitamente ci siamo ispirati, almeno fino ad oggi, per l'effettuazione dei campionamenti di materiali solidi in generale.

Definizioni:

"Per campionamento di una massa di rifiuti si intende il prelievo di una o più aliquote di rifiuto tale che l'analisi su di esse condotta sia rappresentativa dell'intera massa.

Al fine di effettuare un adeguato campionamento è opportuno svolgere una indagine preliminare sul grado di omogeneità/eterogeneità della composizione della massa del rifiuto. Una volta valutate tali caratteristiche si può procedere al prelievo di un numero di campioni tale che il campione medio risultante dal loro mescolamento può essere ritenuto, con sufficiente approssimazione, come rappresentativo della composizione media della massa stessa."

campione singolo: quello che proviene da ogni singolo prelevamento del lotto in esame;

campione composito: quello che si ottiene mescolando e omogeneizzando campioni singoli;

Caratterizzazione rifiuti

campione di lavoro: i campioni nei quali viene diviso in laboratorio il campione singolo o composito per essere sottoposto alle diverse analisi;

campione di analisi: l'aliquota necessaria per ogni determinazione, da prelevarsi dal campione di lavoro

Giaciture statiche

Si intendono giaciture statiche quelle in cui i rifiuti sono in genere stoccati in fusti, serbatoi, cisterne, autobotti, vasche, fosse, cumuli e silos.

Per il campionamento dalle giaciture statiche vengono individuate, per ogni tipo di giacitura, il numero e le modalità di campionamento.

Campionamento da fusti (contenitori di piccolo volume):

- Numero di contenitori da campionare: radice cubica del n. totale
- Scelta dei contenitori: casuale
- Omogeneizzazione, se possibile, del contenuto
- Prelievo, da ciascun fusto, di una congrua quantità di materiale per formare un campione composito

Qualora il contenuto dei fusti sia di diversa natura, i fusti vanno raggruppati in lotti omogenei e su ciascun lotto si effettua il campionamento come sopra

Caratterizzazione rifiuti

Campionamento da serbatoi, cisterne, container, vasche, fosse (contenitori di grande volume)

Previa omogeneizzazione, ove possibile, della massa, si procede a vari campionamenti in più punti di piani orizzontali e a quote diverse

Campionamento da cumuli e silos

Rappresentano la giacitura più comune per i rifiuti solidi grossolani.

Il campionamento deve essere eseguito in più punti su piani orizzontali e a quote diverse. Il numero di campioni singoli è proporzionale alle dimensioni del cumulo e alla eterogeneità del materiale.

Per ottenere il campione composito si utilizza il metodo della quartatura.

Giaciture dinamiche: sono quelle nelle quali il rifiuto è in flusso, come ad esempio nelle correnti che si separano da operazioni di cernita, disidratazione, filtrazione e centrifugazione continua, miscelazione continua etc.

In questi casi il campionamento viene effettuato da condotti o sistemi meccanici di rasporto quali tubazioni, nastri trasportatori, elevatori a tazze etc.

Il prelievo deve essere fatto nel tratto terminale del sistema di trasporto, in più prelievi scaglionati nel tempo per ovviare alle eventuali variazioni della composizione chimica e della struttura fisica del materiale in flusso.

Caratterizzazione rifiuti

Quantità di campione da prelevare: variabile a seconda del numero di campioni singoli.

Non inferiore a 4 Kg la quantità da destinare al laboratorio

Il metodo dà inoltre alcune indicazioni sulle attrezzature di prelievo, sui contenitori e sulle modalità di conservazione

Questa metodica fornisce dunque indicazioni circa i criteri di campionamento (prelievo di più aliquote in funzione della natura, delle dimensioni e della eterogeneità del materiale da campionare) ma non fornisce nel dettaglio indicazioni precise né sul numero di campioni singoli, né sui criteri per la scelta dei punti da campionare, né tanto meno effettua alcun tipo di valutazione statistica sulla rappresentatività, lasciando all'operatore la facoltà di decidere in base al caso specifico e alla propria esperienza.

Caratterizzazione rifiuti

Norma UNI 10802 "Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi – Campionamento manuale, preparazione ed analisi degli eluati

Le più recenti disposizioni normative in materia di rifiuti (DM 12.06.2002 n. 161 sui rifiuti pericolosi recuperabili, bozza di decreto sull'ammissibilità dei rifiuti in discarica), in ottemperanza ai contenuti della decisione 99/31/CE fanno riferimento, per il campionamento dei materiali, in attesa dell'emanazione di specifiche metodiche ufficiali, alla Norma UNI 10802 del 1999. Adeguandosi a tale indirizzo, anche le procedure gestionali che APAT sta mettendo a punto per la realizzazione dei controlli nel campo dei rifiuti fanno riferimento alla medesima norma.

Pur non discostandosi sostanzialmente dai principi già contenuti nella metodica IRSA esaminata, la norma UNI affronta la problematica del campionamento in modo più puntuale e sistematico, fornendo indicazioni più dettagliate e circostanziate anche sotto il profilo dell'analisi statistica, sempre allo scopo di raggiungere l'obiettivo della rappresentatività del campione. La norma, che prende in esame non solo i materiali solidi ma anche i liquidi, risulta quindi assai più completa e complessa rispetto alla precedente.

Caratterizzazione rifiuti

Anche questa metodica prevede la formazione di un campione primario come somma di numerosi campionamenti singoli (detti incrementi) prelevati con diverse possibili modalità, e quindi la riduzione del campione primario per stadi successivi fino alla formazione del campione di laboratorio, secondo lo schema riportato

Prevede inoltre, prima di procedere alla fase operativa del campionamento, la stesura di un Piano di Campionamento in funzione degli obiettivi del campionamento stesso, quali ad esempio caratterizzazione per lo smaltimento o per il recupero, che possono condizionare le scelte ulteriori riguardo alle tecniche da applicare ed al tipo di analisi da effettuare. Il Piano individua alcuni elementi fondamentali:

- che cosa campionare e dove
- i tipi di analiti da determinare
- precisione analitica richiesta per ciascuno dei parametri
- strategia di campionamento (manuale o meccanico, casuale o sistematico)
- tecniche di campionamento
- numero minimo di incrementi da campionare
- metodologia di riduzione o ripartizione
- massa minima del campione grezzo risultante dalle operazioni di cui sopra
- sistemi di prelievo, conservazione, etichettatura, imballaggio e trasporto

Caratterizzazione rifiuti

- controllo di qualità
- individuazione del responsabile del campionamento e suo mandato
- piano di sicurezza

Individua inoltre diversi procedimenti di campionamento applicabili a seconda della tipologia dei materiali da campionare e degli obiettivi di indagine.

Campionamento casuale

Caratterizzazione rifiuti

Campionamento casuale stratificato: il lotto può essere suddiviso virtualmente in modo casuale in strati orizzontali per effettuare poi il campionamento casuale su ciascuno di questi strati.

Campionamento sistematico

Campionamento sistematico casuale: è un campionamento stratificato nel quale gli strati vengono scelti con criterio sistematico ed i campionamenti all'interno di ogni strato sono effettuati in modo casuale

Campionamento sistematico stratificato: campionamento stratificato nel quale gli strati vengono scelti con criterio sistematico ed i campionamenti all'interno di ogni strato sono effettuati in modo sistematico.

Determinazione del numero di incrementi da prelevare

Il numero di incrementi da prelevare dipende dalla massa del lotto e dalla distribuzione delle caratteristiche (omogeneità/eterogeneità) che dà una misura della varianza di campionamento.

Caratterizzazione rifiuti

Questo parametro non può quasi mai essere conosciuto a priori (solo in caso di rifiuti prodotti sempre in modo estremamente ripetibile), e pertanto la stima del numero di campioni da effettuare potrà essere:

- arbitraria, ma comunque il più possibile cautelativa
- sperimentale, facendo indagini preliminari prima dell'indagine vera e propria

Per quanto riguarda la massa minima da campionare per garantire l'accuratezza, sono indicate formule che mettono in relazione tale massa con una serie di variabili relative al lotto da campionare ed alle caratteristiche dei mezzi campionatori.

Seguono poi una serie di raccomandazioni in merito alla sicurezza, e di indicazioni su trattamento, conservazione, imballaggio e trasporto dei campioni in rapporto alla natura dei materiali campionati e del tipo di analisi da effettuare, che prendono in rassegna i tipi di contenitori, di attrezzature di campionamento, le modalità di stabilizzazione dei campioni etc., nonché le apparecchiature disponibili e utilizzabili per il campionamento.

Caratterizzazione rifiuti

Indicazioni generali

Per le modalità di campionamento e conservazione del campione occorre tener presenti i seguenti aspetti:

- attività microbiologica all'interno dei rifiuti
- processi di trasformazione, di ossidazione, di fotodegradazione influenzati anche da temperatura, pressione, umidità
- presenza di composti volatili e loro possibile perdita per evaporazione
- contaminazione positiva o negativa causata dai materiali con cui i campioni vengono in contatto.

Tutti questi fattori condizionano la scelta dei dispositivi di campionamento, dei contenitori e delle modalità di conservazione

Contenitori

E' riportato un prospetto nel quale sono elencati i vari tipi di contenitori di utilizzo generali con le rispettive caratteristiche anche di l'idoneità alle diverse tipologie di campioni.

Caratterizzazione rifiuti

Procedure di campionamento per le diverse tipologie di materiali

Passa poi all'esame sistematico e dettagliato delle varie tipologie di campionamento:

Per liquidi:

- da fusti o botti
- da piccoli contenitori
- da serbatoi
- da tubazioni in flusso
- da vasche o fosse

Per fanghi liquidi

- da fusti, botti e piccoli contenitori
- da vasche o fosse

Per fanghi palabili

- per materiali statici (contenitori, fusti, serbatoi, ammassi, blocchi)
- per materiali in movimento (nastri trasportatori etc.)

Per polveri e granulati

- da piccoli contenitori
- da ammassi, silos e tramogge
- per materiali in movimento

Caratterizzazione rifiuti

Per materiali grossolani

- da piccoli contenitori
- da ammassi, silos e tramogge
- per materiali in movimento

Per materiali in pezzi massivi

Vengono quindi descritti gli interventi da effettuare sul campione primario per la preparazione del campione di laboratorio o di analisi, che prevedono una serie di possibili operazioni quali:

- riduzione granulometrica
- miscelazione e omogeneizzazione
- riduzione dimensionale

diversificate a seconda dello stato fisico del campione che può essere:

- liquido monofasico
- liquido polifasico
- liquido in presenza di solidi
- pastoso
- solido

Caratterizzazione rifiuti

Campioni liquidi

Non sussistono problemi di alcun tipo per i campioni monofasici, che con ragionevole certezza sono di per sé omogenei.

Per i campioni con più fasi stratificate si prevede di campionare separatamente le singole fasi previa valutazione delle quantità relative

Analogamente si procederà in presenza di una fase solida, che dovrà essere separata e campionata distintamente.

Rifiuti pastosi

Si suggerisce l'opportunità, qualora possibile, di essiccare il campione prima della riduzione. Qualora non sia possibile, il campione dovrà essere trattato come un campione liquido o solido a seconda della maggior affinità delle proprie caratteristiche all'uno o all'altro stato fisico

Rifiuti solidi

Per questa tipologia di materiali sono previsti sia la riduzione granulometrica che il miscelamento che la riduzione volumetrica, secondo uno schema dettagliatamente descritto, per l'ottenimento di un campione omogeneo.

Per la riduzione volumetrica vengono suggeriti sistemi manuali o meccanici piuttosto macchinosi.

Caratterizzazione rifiuti

VALUTAZIONI

Abbiamo fin qui illustrato i contenuti delle norme di riferimento disponibili per l'esecuzione dei campionamenti. Occorre tuttavia osservare che, in particolare la norma UNI 10802, pur affrontando la problematica in modo sicuramente corretto e rigoroso, fornisce procedure talvolta complesse e macchinose, che, se confrontate con i problemi pratici della operatività di chi è deputato all'attività di controllo, risultano molto spesso di difficile attuazione soprattutto in rapporto ad alcuni importanti fattori:

il tempo: la preparazione e l'esecuzione del campionamento seguendo nel dettaglio le indicazioni della norma, ivi compresa la stesura del piano di campionamento, comporta un notevole dispendio di tempo, anche per l'acquisizione di informazioni più complete sulla natura del materiale da campionare, che spesso non è compatibile con l'attività di vigilanza (urgenza del campionamento, necessità di effettuare numerosi campioni etc).

le attrezzature: mentre è scontata la possibilità di dotarsi delle attrezzature di base per l'esecuzione dei campionamenti, è estremamente difficile poter disporre di altre strumentazioni per operazioni più complesse, quale essiccazione, miscelazione, triturazione, ripartizione etc., che appaiono più macchinari di tipo industriale che non attrezzature da laboratorio, oltre che di mezzi di trasporto idonei per dimensioni e caratteristiche opportunamente allestiti;

Caratterizzazione rifiuti

l'accessibilità dell'ammasso da campionare, in rapporto alla stabilità dei cumuli, al posizionamento dei rifiuti su scarpate o comunque in luoghi impervi;

la sicurezza degli operatori in rapporto ai problemi di cui al punto precedente.

Inoltre, in molti casi reali, soprattutto nel campo dei rifiuti, si presentano situazioni di materiali da campionare talmente anomali ed eterogenei da non poter ricadere nelle casistiche pur ampie previste dalla norma, e da renderne estremamente difficile l'applicazione.

Caratterizzazione rifiuti

Pulizia degli attrezzi campionatori e dei contenitori

Sia le attrezzature utilizzate per il campionamento che i contenitori, come accennato in premessa, devono essere adeguatamente puliti, al di là della pulizia conseguibile con un normale lavaggio acqua e sapone, attraverso un trattamento adeguato al tipo di materiale che si campiona ed al tipo di analiti da determinare, soprattutto quando sono presenti in tracce, al fine di evitare possibili contaminazioni del campione o perdite di analiti.

Esempio:

- per l'analisi dei metalli pesanti è necessario lavare i contenitori con acido nitrico al fine di eliminare anche le più piccole tracce di sali metallici
- per l'analisi di sostanze organiche da effettuare con la tecnica FT-IR è necessario lavare i contenitori con idoneo solvente (tetracloruro di carbonio o freon)

Idoneità dei contenitori

I contenitori in plastica devono essere evitati quando si campionano materiali sui quali saranno determinati composti organici leggeri (solventi, idrocarburi, organoalogenati) perché le plastiche tendono ad adsorbire molecole di queste sostanze (errori in negativo) o a cedere componenti che possono interferire con l'analisi (errori in positivo)

Caratterizzazione rifiuti

Stabilizzazione e modalità di trattamento dei campioni

La stabilizzazione dei campioni con idonee sostanze ha la funzione di inibire eventuali processi di trasformazione dei componenti che devono essere analizzati al fine di evitare variazioni della loro concentrazione nel periodo che intercorre tra il campionamento e l'inizio dell'analisi (ad esempio, i metalli pesanti vengono stabilizzati con aggiunta di un agente acido, il mercurio con aggiunta di acido nitrico, ossidante, che stabilizza la forma più ossidata; etc.).

In linea di massima la stabilizzazione deve essere effettuata solo quando strettamente necessaria ed espressamente indicata nei metodi analitici, e di solito riguarda soluzioni acquose come ad esempio le acque di scarico. Per i materiali solidi non si effettua, di norma alcun tipo di stabilizzazione. Nel caso specifico dei rifiuti, quindi, la problematica della stabilizzazione praticamente non esiste fatta eccezione per alcuni specifici casi di rifiuti liquidi acquosi, come ad esempio il percolato di discarica, o comunque ogni tipo di liquame diverso dallo scarico. I tali casi, tuttavia, le sostanze descritte, al di là della loro configurazione giuridica come rifiuti, dal punto di vista chimico – fisico e delle problematiche analitiche sono di fatto del tutto analoghe alle acque di scarico e come tali devono essere trattate sotto il profilo tecnico.

Caratterizzazione rifiuti

Per quanto riguarda il prelievo di materiali destinati all'analisi di solventi o idrocarburi o comunque sostanze volatili, si raccomanda l'opportunità di riempire completamente il contenitore senza lasciare volume libero per evitare evaporazione dei componenti volatili nello spazio di testa.

Caratterizzazione rifiuti

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Abbiamo esaminato la complessità delle operazioni di campionamento e abbiamo valutato la ricaduta che le modalità di campionamento hanno sulla qualità dei dati analitici ottenuti. Alla luce di quanto discusso, vogliamo riprendere un passaggio del testo del Metodo IRSA-CNR 1985, che riporta in premessa:

“Il campionamento costituisce la prima operazione di ogni determinazione analitica tendente a caratterizzare fanghi e rifiuti solidi, pertanto esso condiziona il significato e l'affidabilità dei risultati analitici medesimi. Tale operazione deve quindi essere effettuata sotto la direzione di chi ha la responsabilità dell'intero procedimento analitico e delle conclusioni che si possono dedurre dai dati.....”

E' molto importante cioè che la problematica del campionamento non sia disgiunta da quella dell'analisi.

Occorre quindi uno scambio di informazioni tra chi effettua il campionamento e chi eseguirà l'analisi, per garantire il soddisfacimento dei più appropriati requisiti di campionamento. Occorre inoltre stabilire un rapporto di collaborazione con l'ente di controllo specificamente deputato a questo tipo di attività, nel caso specifico APAT, sia come depositario di una consolidata esperienza del campionamento ambientale che in qualità di laboratorio destinato ad effettuare le analisi sui campioni prelevati.