

L'ANALISI DI RISCHIO SANITARIA ED AMBIENTALE PER I SITI CONTAMINATI



Laura Schiozzi
ARPA FVG – IPAS Siti Contaminati

06/06/2016

- ✓ Quadro normativo vigente
- ✓ Approfondimento sull'analisi di rischio
- ✓ Conclusioni e discussione

CONTESTO NORMATIVO

D. Lgs. 152/2006

318 articoli

45 allegati

6 sezioni, che disciplinano le diverse tematiche ambientali :

1. disposizioni comuni;
2. procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione di impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione integrata ambientale (IPPC);
3. difesa del suolo e lotta alla desertificazione, tutela delle acque dall'inquinamento e gestione delle risorse idriche;
4. gestione dei rifiuti e bonifica dei siti contaminati;
5. tutela dell'aria e riduzione delle emissioni in atmosfera;
6. tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente.

CONTESTO NORMATIVO

D. Lgs. 152/2006

Parte IV – Titolo V

Articoli da 239 a 253

Allegati:

1. Criteri generali per l'**analisi di rischio** sanitario ambientale sito specifica
2. Criteri generali per la **caratterizzazione** dei siti contaminati
3. Criteri generali per la selezione e l'esecuzione degli **interventi di bonifica** e ripristino ambientale, di messa in sicurezza (d'urgenza, operativa o permanente), nonché per l'individuazione delle migliori tecniche di intervento a costi sopportabili
4. Criteri generali per l'applicazione di **procedure semplificate**
5. **Concentrazione soglia di contaminazione** nel suolo, sottosuolo e nelle acque sotterranee in relazione alla specifica destinazione d'uso dei siti

CONTESTO NORMATIVO

PRINCIPI E CAMPO DI APPLICAZIONE (ART. 239)

Sono **esclusi** dal campo di applicazione:

1. l'abbandono di rifiuti (disciplinato dalla Parte Terza del D.Lgs. 152/06)
2. gli interventi di bonifica disciplinati da leggi speciali
3. gli interventi di bonifica e ripristino ambientale per le aree caratterizzate da inquinamento diffuso (disciplinati dalle Regioni con appositi Piani)

CONTESTO NORMATIVO

D.Lgs. 152/2006 DEFINIZIONI (ART. 240)

a) **sito**: l'area o porzione di territorio, geograficamente definita e determinata, intesa nelle diverse matrici ambientali (suolo, sottosuolo ed acque sotterranee) e comprensiva delle eventuali strutture edilizie e impiantistiche presenti

*Il D.Lgs. 152/2006 parla di sito contaminato e **non più di sito inquinato**; la contaminazione di un sito costituisce un elemento di certezza maggiore rispetto all'alterazione dello stato di qualità ambientale insito nel concetto di sito inquinato*

b) **concentrazioni soglia di contaminazione (CSC)**: i livelli di contaminazione delle matrici ambientali che costituiscono valori al di sopra dei quali è necessaria la caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio sito – specifica, come individuati nell'Allegato 5. Nel caso in cui il sito potenzialmente contaminato sia ubicato in un'area interessata da fenomeni antropici o naturali che abbiano determinato il superamento di una o più CSC, queste ultime si assumono pari al valore di fondo per tutti i parametri superati.

*I valori tabellari (CLA del D.M. 471/99) diventano concentrazioni soglia di contaminazione, ovvero un **valore di attenzione** il cui superamento richiede la caratterizzazione del sito e di conseguenza l'applicazione dell'analisi di rischio. Il concetto di fondo naturale viene esteso anche al fondo antropizzato*

c) **concentrazioni soglia di rischio (CSR)**: i livelli di contaminazione delle matrici ambientali, da determinare caso per caso con l'applicazione della procedura di analisi di rischio sito specifica secondo i principi dell'Allegato 1 e sulla base dei risultati della caratterizzazione, il cui superamento richiede la messa in sicurezza e la bonifica. I livelli di concentrazione così definiti costituiscono i livelli di accettabilità del sito

*Nel D.M. 471/99 il **valore di intervento** e il **valore obiettivo della bonifica** coincidono con i valori tabellari, nel D.Lgs. 152/2006 essi sono ricavati mediante una analisi di rischio sito – specifica*

CONTESTO NORMATIVO

DEFINIZIONI (ART. 240)

d) **Sito potenzialmente contaminato**: un sito nel quale uno o più valori di concentrazione delle sostanze inquinanti rilevati nelle matrici ambientali risultino superiori ai valori di concentrazione soglia di contaminazione (CSC), in attesa di espletare le operazioni di caratterizzazione e di analisi di rischio sanitario e ambientale sito-specifica, che ne permettano di determinare lo stato o meno di contaminazione sulla base delle concentrazioni soglia di rischio (CSR);

*Tale definizione pur essendo più deterministica rispetto a quella formulata dal D.M. 471/99 (potenzialità di rischio per la salute umana e per l'ambiente determinata in base alle attività antropiche svolte sul sito) è meno cautelativa dal punto di vista ambientale in quanto **pur in presenza di superamenti dei valori tabellari (CSC)** si parla di sito "potenzialmente contaminato" e non di sito "contaminato"*

e) **Sito contaminato**: un sito nel quale i valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR), determinati con l'applicazione della procedura di analisi di rischio (Allegato 1) sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, risultano superati

f) **Sito non contaminato**: un sito nel quale la contaminazione rilevata nelle matrici ambientali risulti inferiore ai valori di concentrazione soglia di contaminazione (CSC) oppure, se superiore, risulti comunque inferiore ai valori di concentrazione soglia di rischio (CSR) determinate a seguito dell'analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica

g) **Sito con attività in esercizio**: un sito nel quale risultano in esercizio attività produttive sia industriali che commerciali nonché le aree pertinenti e quelle adibite ad attività accessorie economiche, ivi comprese le attività di mantenimento e tutela del patrimonio ai fini della successiva ripresa delle attività

h) **Sito dismesso**: un sito in cui sono cessate le attività produttive;

*Viene quindi distinto il sito con attività in esercizio da quello dismesso ed alcune procedure sono diversificate in funzione della presenza o meno sul sito di **attività in corso***

CONTESTO NORMATIVO

DEFINIZIONI (ART. 240)

Il D.Lgs. 152/2006 riporta ben cinque diverse definizioni riguardanti il concetto di **messa in sicurezza** e precisamente:

- i) Misure di prevenzione*
- j) Misure di riparazione*
- k) Messa in sicurezza d'emergenza*
- l) Messa in sicurezza operativa*
- m) Messa in sicurezza permanente*

La numerosità delle definizioni di messa in sicurezza nel vigente D.Lgs. 152/2006 comporta notevoli difficoltà interpretativa e soprattutto non risulta ben chiaro quando si applica una piuttosto che l'altra, con particolare riferimento alle prime due (prevenzione e riparazione).

La messa in sicurezza operativa si applica certamente ai siti con attività in esercizio

Non sono esplicitate in modo chiaro le differenze tra interventi di contenimento della contaminazione da attuare in via provvisoria e le misure di riparazione

DIRETTIVA COMUNITARIA 2004/35/CE: DEFINIZIONE DI DANNO AMBIENTALE

CONTESTO NORMATIVO

DEFINIZIONI (ART. 240)

- i) misure di prevenzione: le iniziative per contrastare un evento, un atto o un'omissione che ha creato una minaccia imminente per la salute o per l'ambiente, intesa come rischio sufficientemente probabile che si verifichi un danno sotto il profilo sanitario o ambientale in un futuro prossimo, al fine di impedire o minimizzare il realizzarsi di tale minaccia;
- l) misure di riparazione: qualsiasi azione o combinazione di azioni, tra cui misure di attenuazione o provvisorie dirette a riparare, risanare o sostituire risorse naturali e/o servizi naturali danneggiati, oppure a fornire un'alternativa equivalente a tali risorse o servizi;
- m) messa in sicurezza d'emergenza: ogni intervento immediato o a breve termine, da mettere in opera nelle condizioni di emergenza di cui alla lettera t) in caso di eventi di contaminazione repentini di qualsiasi natura, atto a contenere la diffusione delle sorgenti primarie di contaminazione, impedirne il contatto con altre matrici presenti nel sito e a rimuoverle, in attesa di eventuali ulteriori interventi di bonifica o di messa in sicurezza operativa o permanente;
- t) condizioni d'emergenza: eventi per i quali è necessaria l'esecuzione di interventi d'emergenza, quali ad esempio
 - *Concentrazioni attuali o potenziali di vapori in spazi confinati vicine a livelli di esplosività con conseguenze dannose per la salute.*
 - *Presenza di quantità significative di prodotto in fase separata sul suolo oppure in acquiferi.*
 - *Contaminazione di pozzi ad utilizzo idropotabile o per scopi agricoli.*
 - *Pericolo di incendi ed esplosioni.*

CONTESTO NORMATIVO

DEFINIZIONI (ART. 240)

- n) messa in sicurezza operativa: l'insieme degli interventi eseguiti in un sito con attività in esercizio atti a garantire un adeguato livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente, in attesa di ulteriori interventi di messa in sicurezza permanente o bonifica da realizzarsi alla cessazione dell'attività. Essi comprendono altresì gli interventi di contenimento della contaminazione da mettere in atto in via transitoria fino all'esecuzione della bonifica o della messa in sicurezza permanente, al fine di evitare la diffusione della contaminazione all'interno della stessa matrice o tra matrici differenti. In tali casi devono essere predisposti idonei piani di monitoraggio e controllo che consentano di verificare l'efficacia delle soluzioni adottate;
- o) messa in sicurezza permanente: l'insieme degli interventi atti a isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti e a garantire un elevato e definitivo livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente. In tali casi devono essere previsti piani di monitoraggio e controllo e limitazioni d'uso rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici.

CONTESTO NORMATIVO

DEFINIZIONI (ART. 240)

p) **Bonifica**: l'insieme degli interventi atti ad eliminare le fonti di inquinamento e le sostanze inquinanti o a ridurre le concentrazioni delle stesse presenti nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee ad un livello uguale o inferiore ai valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR)

Allegato 3 - La bonifica di un sito inquinato è finalizzata a (...) ricondurre le concentrazioni delle sostanze inquinanti in suolo, sottosuolo, acque sotterranee (nota D.Lgs. 04/08) e superficiali, entro i valori soglia di contaminazione (CSC) stabiliti per la destinazione d'uso prevista o ai valori di concentrazione soglia di rischio (CSR)

q) **Ripristino e ripristino ambientale**: insieme di interventi di riqualificazione ambientale e paesaggistica, attuati al fine di rendere fruibile il sito per la destinazione d'uso conforme agli strumenti urbanistici.

q) **Inquinamento diffuso**: la contaminazione o le alterazioni chimiche, fisiche, o biologiche delle matrici ambientali determinate da fonti diffuse e non imputabili ad una singola origine

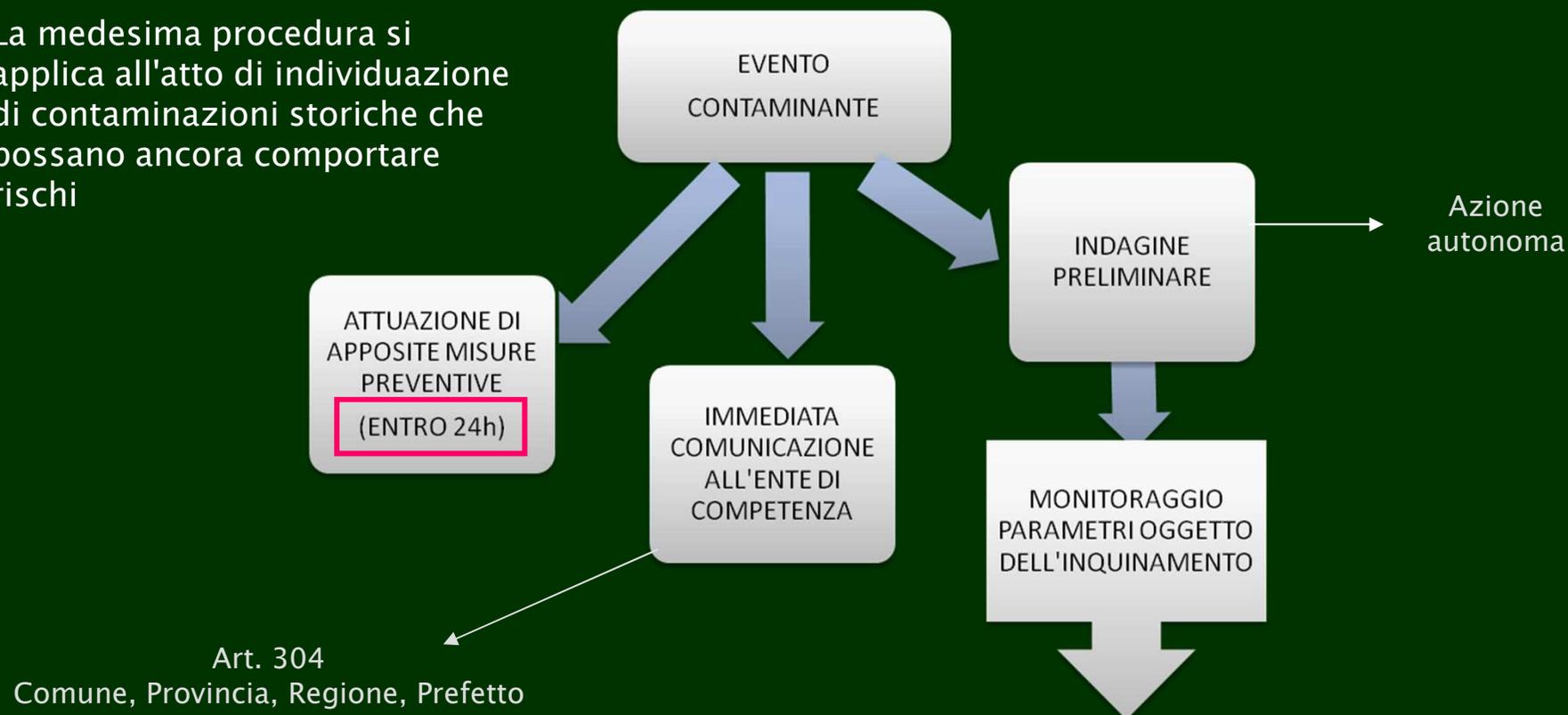
s) **Analisi di rischio sanitario e ambientale sito specifica**: analisi sito specifica degli effetti sulla salute umana derivanti dall'esposizione prolungata all'azione delle sostanze presenti nelle matrici ambientali contaminate, condotta con i criteri indicati nell'Allegato 1

CONTESTO NORMATIVO

PROCEDURE OPERATIVE ED AMMINISTRATIVE (ART. 242)

ITER PREVISTO EX ART. 242

La medesima procedura si applica all'atto di individuazione di contaminazioni storiche che possano ancora comportare rischi

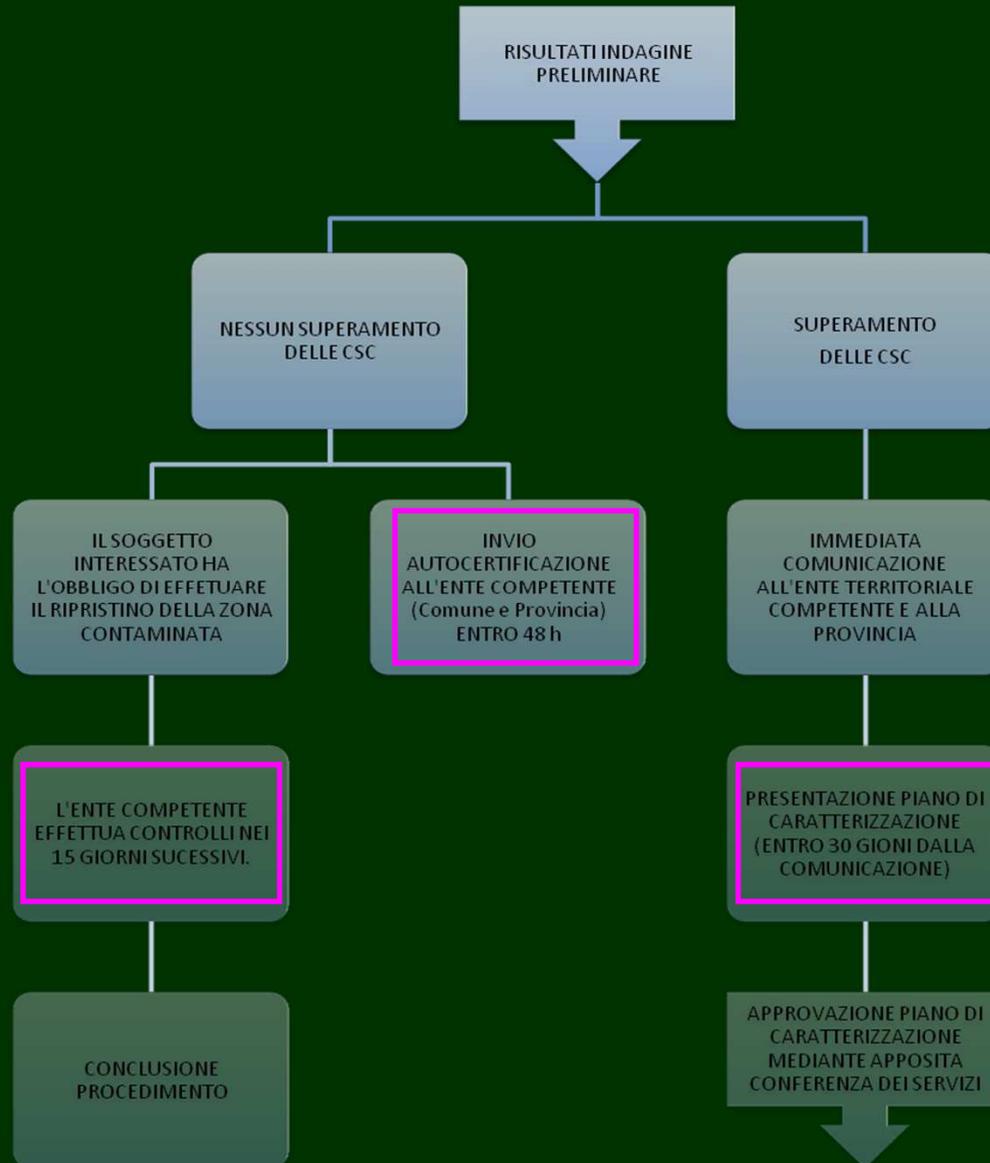


La tempistica delle 24 ore è possibile unicamente in alcune situazioni

Art. 240, lettera t):

- Concentrazioni attuali o potenziali di vapori in spazi confinati vicine a livelli di esplosività con conseguenze dannose per la salute.
- Presenza di quantità significative di prodotto in fase separata sul suolo oppure in acquiferi.
- Contaminazione di pozzi ad utilizzo idropotabile o per scopi agricoli.
- Pericolo di incendi ed esplosioni.

ITER PREVISTO EX ART. 242



SOGGETTI A CUI SPETTA LA COMUNICAZIONE

Art. 242 – Responsabile della contaminazione

Art. 244 – La Pubblica Amministrazione nell'esercizio delle proprie funzioni

Art. 245 – Tutte le procedure disciplinate dal titolo V possono essere attivate da soggetti interessati, non responsabili, ad eccezione degli obblighi dei soggetti responsabili espressi nell'articolo 242. Quindi il proprietario del sito, rilevato anche soltanto il pericolo di superamento delle CSC, ne dà comunicazione agli Enti competenti e mette in atto le apposite misure preventive secondo l'articolo 242. Successivamente la Provincia, sentito il Comune interessato, cercherà di identificare il soggetto responsabile al fine di iniziare gli interventi di bonifica (art. 250).

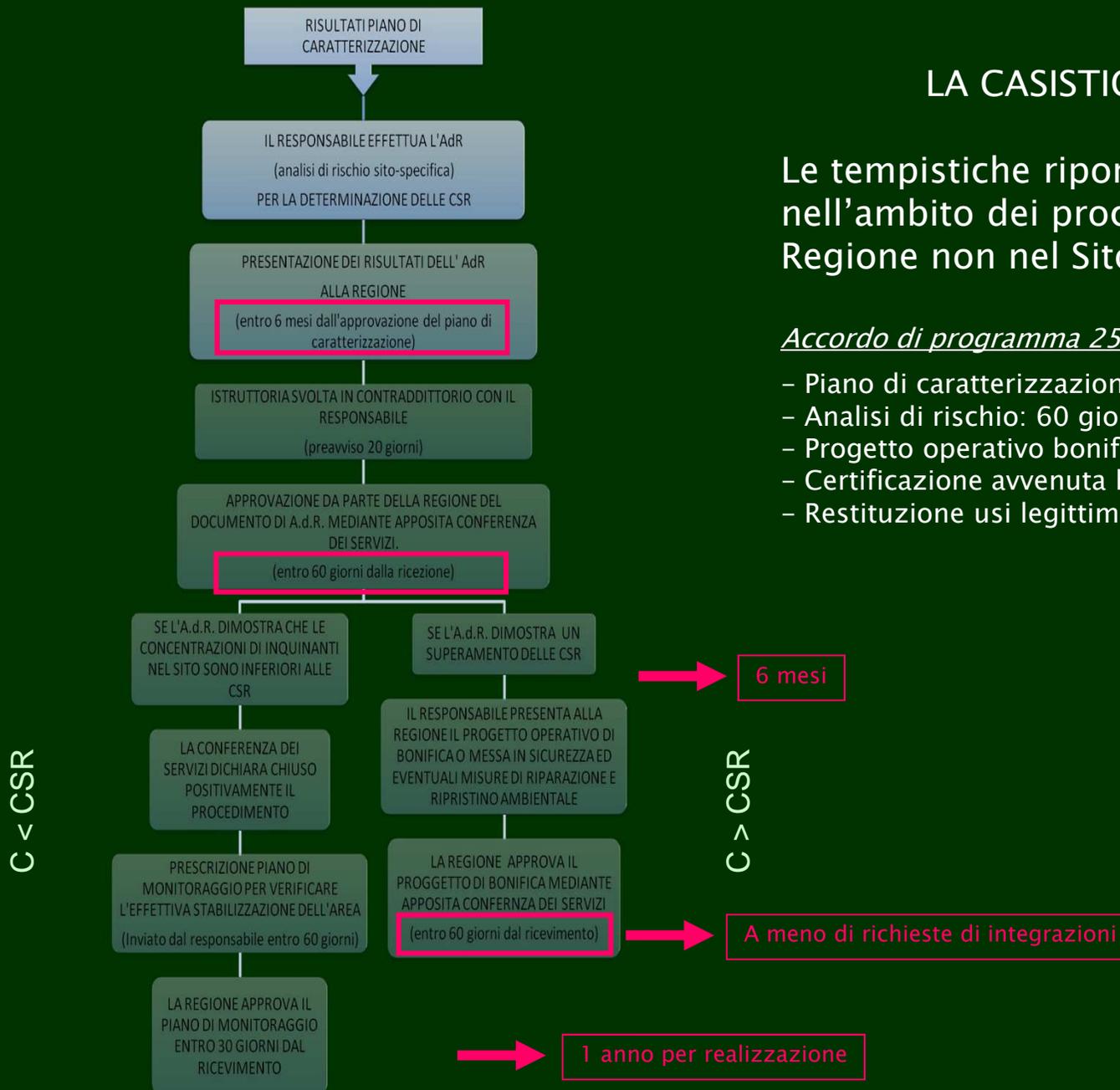
ITER EX ART. 242

LA CASISTICA PROVINCIALE

Le tempistiche riportate sono valevoli nell'ambito dei procedimenti in capo alla Regione non nel Sito di Interesse Nazionale

Accordo di programma 25 maggio 2012

- Piano di caratterizzazione: 30 giorni
- Analisi di rischio: 60 giorni
- Progetto operativo bonifica o mis: 60 giorni
- Certificazione avvenuta bonifica: 30 giorni
- Restituzione usi legittimi: 30 giorni



CONTESTO NORMATIVO

PROCEDURE OPERATIVE ED AMMINISTRATIVE (ART. 242)

Le principali modifiche contenute nel D.Lgs. 152/2006 rispetto al D.M. 471/99 sono costituite da:

Il riferimento amministrativo diventa la Regione mentre il ruolo e la funzione del Comune nel nuovo procedimento è molto ridotto e poco determinante

Il coinvolgimento di altri soggetti istituzionali, quali i Prefetti delle Province interessate

Il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare può erogare sanzioni

Il D.Lgs. 152/2006 prevede comunque una procedura abbastanza complessa

Le similitudini e le differenze tra il D.M. 471/99 ed il D.Lgs. 152/2006:

1. L'approvazione del progetto di bonifica si articola ancora in 3 fasi:

D.Lgs. 152/2006

- Piano di caratterizzazione
- Analisi di rischio
- Progetto di bonifica o di messa in sicurezza operativa o permanente.

D.M. 471/99

- Piano di caratterizzazione
- Progetto preliminare
- Progetto definitivo

2. Le approvazioni attengono alla Regione.

3. L'approvazione del progetto sostituisce tutte le autorizzazioni, le concessioni, i concerti, le intese, etc. in particolare la VIA, diversamente dal D.M. 471/99

CONTESTO NORMATIVO ACQUE DI FALDA (ART. 243)

1. Le acque di falda emunte dalle falde sotterranee, nell'ambito degli interventi di bonifica, possono essere scaricate, direttamente o dopo essere state utilizzate in cicli produttivi in esercizio nel sito stesso, nel rispetto dei limiti di emissione di acque reflue industriali in acque superficiali;
2. E' ammessa la reimmissione, previo trattamento finalizzato alla bonifica dell'acquifero, delle sole acque sotterranee nella stessa unità geologica da cui le stesse sono state estratte;

Essendo le acque di falda contaminate emunte assimilate dal D.Lgs. 152/99 ad acque di scarico, tale operazione si può configurare come un mero trasferimento di contaminazione da un corpo idrico ad un altro, in quanto i limiti allo scarico delle acque reflue possono essere anche di diversi ordini di grandezza superiori allo standard di qualità delle acque di falda

1. *Non è espressamente previsto lo scarico in fognatura*
2. *Gli impianti di trattamento sono spesso identificati come impianti di trattamento rifiuti*
3. *Chiarimento che le acque di falda convogliate tramite un sistema stabile di collettamento che collega senza soluzione di continuità l'emungimento con l'impianto di trattamento ad esso connesso sono assimilate alle acque reflue industriali*
4. *Utilizzo di impianti di trattamento già esistenti, ove tecnicamente compatibili*

CSR = CSC

Punto di Conformità in corrispondenza del primo pozzo ad uso idropotabile interno all'area di proprietà o al limite dell'area di proprietà - *protezione della risorsa idrica (Direttiva 2000/60, Direttiva 118/2006 e Danno ambientale)*

D. Lgs. 4/2008

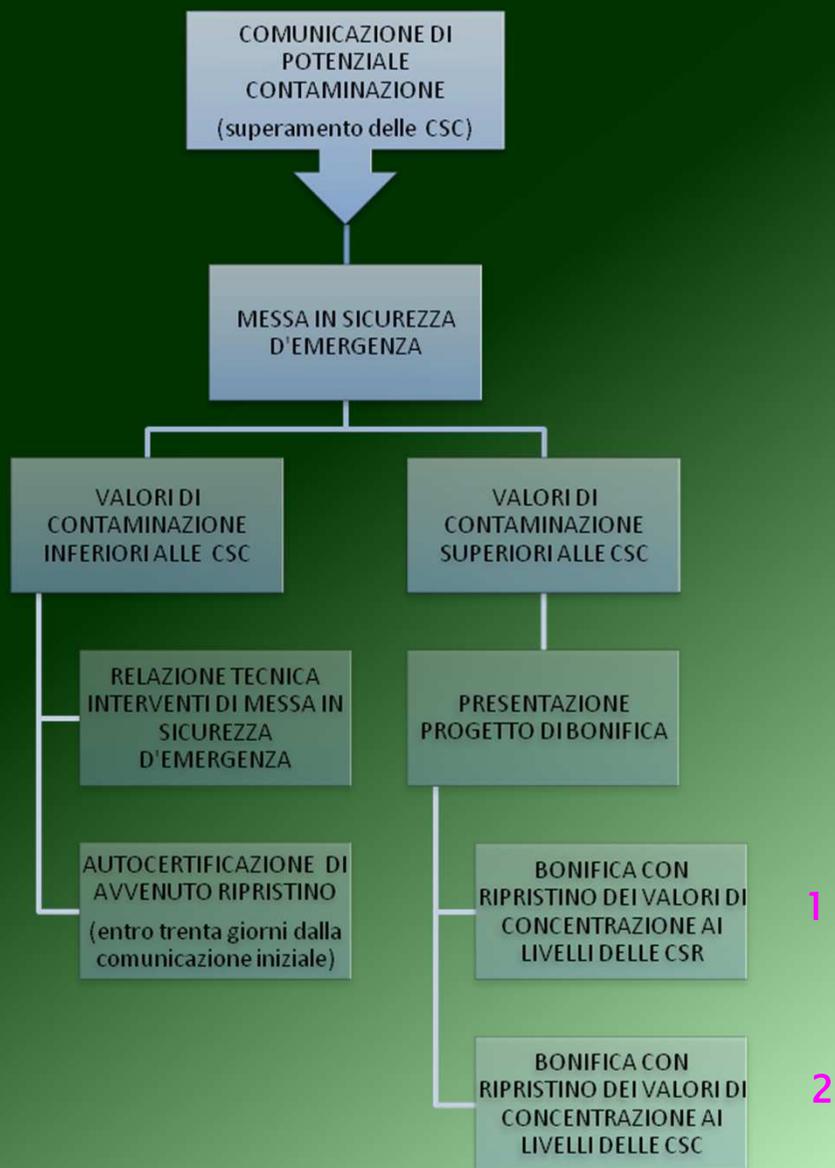
CONTESTO NORMATIVO CONTROLLI (ART. 248)

1. La documentazione relativa al Piano della caratterizzazione del sito e al Progetto di bonifica e operativo, comprensiva delle misure di riparazione, dei monitoraggi da effettuare, delle limitazioni d'uso e delle prescrizioni eventualmente dettate ai sensi dell'art. 242, c. 4, è trasmessa alla Provincia e all'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente competenti ai fini dell'effettuazione dei controlli sulla conformità degli interventi ai progetti approvati
2. Il completamento degli interventi di bonifica, di messa in sicurezza permanente e di messa in sicurezza operativa, nonché la conformità degli stessi al progetto approvato sono accertati dalla Provincia mediante apposita certificazione sulla base di una relazione tecnica predisposta dall'ARPA territorialmente competente

CONTESTO NORMATIVO

AREE CONTAMINATE DI RIDOTTE DIMENSIONI (ART. 249)

Il D.Lgs 152/2006 prevede la semplificazione delle procedure per i siti di dimensioni ridotte o per gli eventi di inquinamento che hanno interessato aree circoscritte di superficie **non superiore a 1.000 metri quadrati** (Allegato 4) anche se all'interno di Stabilimenti industriali, sotto determinate condizioni



CONTESTO NORMATIVO

Art. 246, c.1.: I soggetti obbligati agli interventi (...) hanno diritto di definire modalità e tempi di esecuzione degli interventi mediante **appositi accordi di programma** stipulati, entro sei mesi dall'approvazione del documento di analisi di rischio

Art. 252 bis

1. (...) sono individuati i siti di interesse pubblico ai fini dell'attuazione di programmi ed interventi di riconversione industriale e di sviluppo economico produttivo, contaminati da eventi antecedenti al 30 aprile 2006 (...) **In tali siti sono attuati progetti di riparazione dei terreni e delle acque contaminate assieme ad interventi mirati allo sviluppo economico produttivo.** Nei siti con aree demaniali e acque di falda contaminate tali progetti sono elaborati ed approvati, entro dodici mesi dall'adozione del decreto di cui al presente comma, con appositi accordi di programma stipulati tra i soggetti interessati(...). Gli interventi di riparazione sono approvati in deroga alle procedure di bonifica di cui alla parte IV del titolo V del presente decreto.

2. Gli oneri connessi alla messa in sicurezza e alla bonifica nonche' quelli conseguenti **all'accertamento di ulteriori danni ambientali** sono a carico del soggetto responsabile della contaminazione, qualora sia individuato, esistente e solvibile. Il proprietario del sito contaminato e' obbligato in via sussidiaria previa escussione del soggetto responsabile dell'inquinamento.

3. Gli accordi di programma assicurano il coordinamento delle azioni per determinarne (...):

c) gli obiettivi degli interventi di bonifica e riparazione, i relativi obblighi dei responsabili della contaminazione e del proprietario del sito (...);

d) la quantificazione degli effetti temporanei in termini di perdita di risorse e servizi causati dall'inquinamento delle acque;

e) le **azioni idonee a compensare le perdite temporanee di risorse e servizi**, sulla base dell'Allegato II della direttiva 2004/35/CE; a tal fine sono preferite le misure di miglioramento della sostenibilita' ambientale degli impianti esistenti, sotto il profilo del miglioramento tecnologico produttivo e dell'implementazione dell'efficacia dei sistemi di depurazione e abbattimento delle emissioni.

7. (...) l'attuazione da parte dei privati degli impegni assunti con l'accordo di programma costituisce anche attuazione degli obblighi di cui alla direttiva 2004/35/CE e delle relative disposizioni di attuazione di cui alla parte VI del presente decreto.

CONTESTO NORMATIVO

ALLEGATO 2 – CRITERI GENERALI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI SITI CONTAMINATI

Il piano di caratterizzazione consiste in un insieme di attività che permettono di ricostruire il grado e l'estensione della contaminazione delle varie matrici ambientali presenti nel sito esaminato.

L'insieme di attività deve essere svolto in modo tale da permettere la validazione finale.

Per questo motivo l'intero processo di caratterizzazione deve essere costituito sempre dalle seguenti fasi:

1. Ricostruzione storica delle attività produttive svolte sul sito;
2. Elaborazione di un modello concettuale preliminare del sito e preparazione di un piano d'indagine ambientale preliminare atto a definire lo stato delle matrici ambientali (suolo, sottosuolo, corpi idrici);
3. Esecuzione del piano di indagini;
4. Elaborazione dei risultati delle indagini eseguite e dei dati storici raccolti e rappresentazione dello stato del sito;
5. Elaborazione del modello concettuale definitivo;
6. Identificazione dei livelli accettabili di concentrazione residua su cui impostare successivamente eventuali interventi di messa in sicurezza e/o bonifica.

CONTESTO NORMATIVO

ALLEGATO 2 – CRITERI GENERALI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI SITI CONTAMINATI

PIANO DI INDAGINE

OBIETTIVI

1. verificare l'esistenza di fonti di inquinamento nelle varie matrici ambientali
2. definire la loro estensione
3. individuare le possibili vie di migrazione, individuare possibili recettori e gli effetti dovuti all'esposizione più o meno prolungata agli agenti contaminanti (recettore sanitario)
4. ricostruire le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area al fine di sviluppare il modello concettuale definitivo
5. ottenere i dati sito specifici per l'elaborazione dell'analisi di rischio sito specifica

DEFINIZIONE DI

1. ubicazione e tipologia delle indagini da svolgere (dirette e indirette)
2. piano di campionamento di suolo, sottosuolo, rifiuti e acque sotterranee
3. piano di analisi chimico-fisiche e metodiche analitiche
4. profondità da raggiungere con le perforazioni (rappresentatività ma no crossing contamination)
5. metodologie di interpretazione e restituzione dei dati

CONTESTO NORMATIVO

ALLEGATO 2 – CRITERI GENERALI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI SITI CONTAMINATI

Ubicazione dei punti di campionamento

Ubicazione ragionata o sistematica (cfr. D.M. 471/99)

Selezione delle sostanze inquinanti da ricercare

Esame ciclo produttivo/dati storici

Modalità di esecuzione di sondaggi e piezometri

Carotaggio continuo a secco

Campionamento terreni e acque sotterranee

Verbali di campionamento – Formazione delle aliquote

Formazione dei campioni di terreno e di rifiuti

3 campioni – suolo insaturo

Campionamento acque sotterranee

Campionamento dinamico – Specifiche prelievo con presenza fase libera

Metodiche analitiche

Ufficialmente riconosciute da condividere con l'Ente di controllo

Analisi chimica dei terreni

Scartare frazione > 2 cm; analisi condotta su frazione < 2mm; risultati espressi sulla totalità dei materiali secchi

Analisi chimica delle acque

Attività di controllo

Attività quali-quantitativa

CONTESTO NORMATIVO

ALLEGATO 3 – CRITERI GENERALI PER LA SELEZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA E RIPRISTINO AMBIENTALE

Interventi di bonifica

Interventi di messa in sicurezza

Misure mitigative

Misure di contenimento

Protezione dei lavoratori

Monitoraggio

Criteria generali per gli interventi in cui si faccia ricorso a batteri, ceppi di batteri mutanti e stimolanti di batteri naturalmente presenti nel suolo

Migliori tecniche disponibili (BAT)

Privilegiare tecnologie di bonifica atte a ridurre in modo permanente e significativo la concentrazione dei contaminanti nella matrici ambientali.

Privilegiare tecnologie che permettono di effettuare trattamenti in-situ e on-site riducendo i rischi relativi al trasporto e stoccaggio di terreni contaminati.

Selezionare tecnologie di bonifica in grado di bloccare gli inquinanti stabilizzandoli (es.: fasi cristalline per i metalli pesanti).

Selezionare tecnologie che permettano il trattamento ed il riutilizzo di materiali eterogenei.

Prevedere il riutilizzo del suolo e dei materiali eterogenei soggetti a trattamenti off-site, sia nel sito medesimo che in altri siti adeguati.

Privilegiare negli interventi di bonifica l'impiego di materiale organico di ottima qualità proveniente da attività di recupero di rifiuti urbani.

Evitare ogni rischio aggiuntivo a quello esistente con particolare riferimento ai rischi igienico-sanitari per la popolazione.

Evitare ogni possibile peggioramento dell'ambiente e del paesaggio dovuto alle opere realizzate.

CONTESTO NORMATIVO

APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO – ALLEGATO 1

PASSATO – D.M. 471 /99

*Decreto attuativo dell'art. 17 D.Lgs. 22/97
(Decreto Ronchi) – espressamente abrogato*

L'art. 5 del D.M. 471 /99 stabilisce che l'analisi di rischio può essere applicata *“qualora il progetto preliminare di bonifica...dimostrì che i valori di concentrazione limite accettabili di cui all'articolo 3, comma 1, non possono essere raggiunti nonostante l'applicazione, secondo i principi della normativa comunitaria, delle migliori tecnologie disponibili a costi sopportabili”*

in tal caso è possibile autorizzare interventi di bonifica con misure di sicurezza

Concentrazioni residue



Calcolo del rischio

PRESENTE – D. Lgs. 152/06

Testo unico di cui alla Legge 308/04 – Legge delega per il riordino della normativa in campo ambientale

Titolo V, parte IV – Bonifica dei siti contaminati

Secondo correttivo – D. Lgs. 04/08

Posizione centrale dell'analisi di rischio sanitaria ambientale sito-specifica

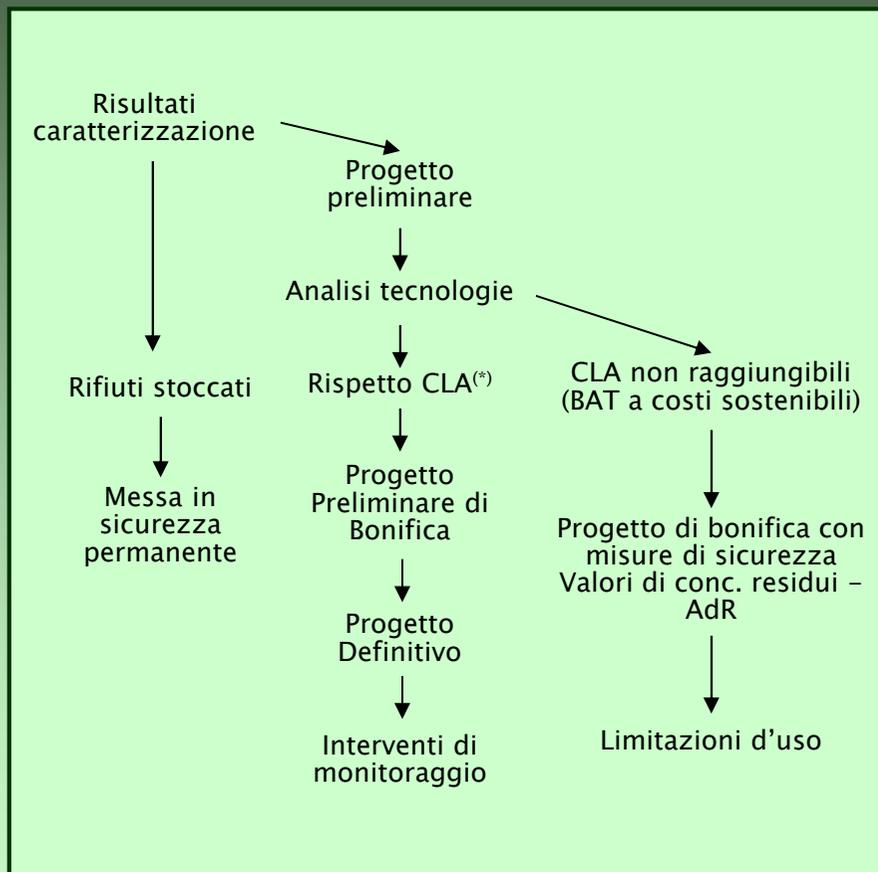
Rischio tollerabile



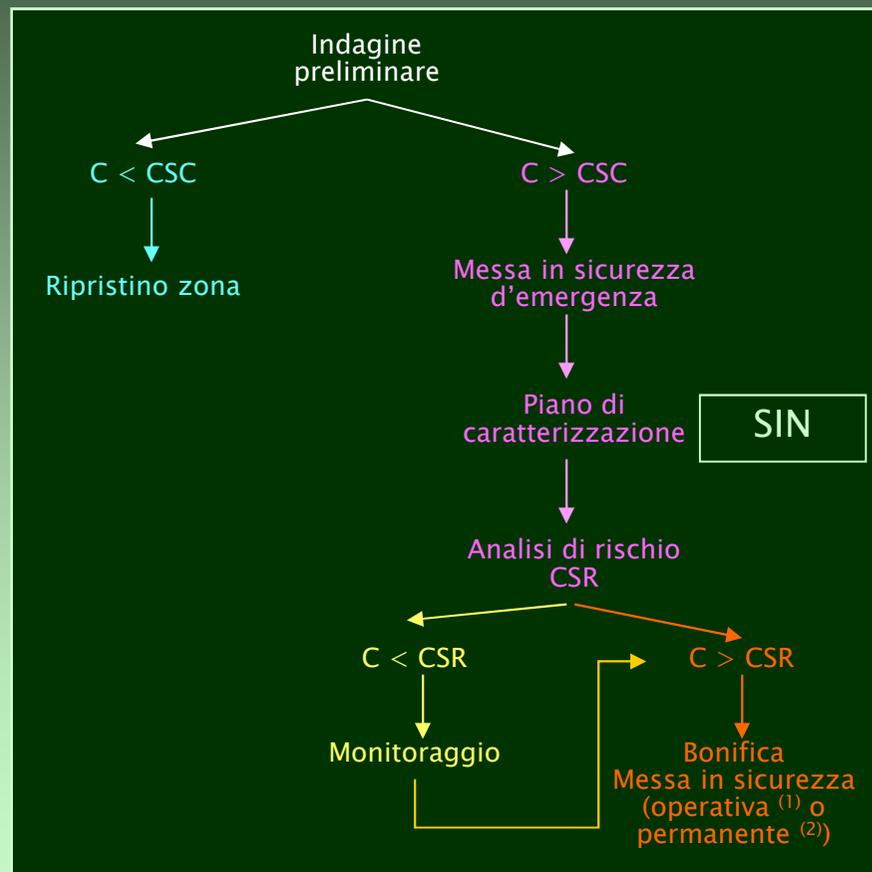
Calcolo obiettivi di bonifica (CSR)

CONTESTO NORMATIVO PER L'APPLICAZIONE DELL'ANALISI DI RISCHIO

PASSATO – D.M. 471 /99



PRESENTE – D. Lgs. 152/06



(1) e (2) Il D.Lgs. 152/2006 riporta ben cinque diverse definizioni riguardanti il concetto di messa in sicurezza, ovvero:

- Misure di prevenzione
- Misure di riparazione
- Messa in sicurezza d'emergenza
- Messa in sicurezza operativa: in attesa ulteriori interventi di messa in sicurezza permanente o bonifica da realizzarsi alla cessazione dell'attività
- Messa in sicurezza permanente: interventi atti a isolare in modo definitivo le fonti inquinanti; limitazioni d'uso

(*) CLA = Concentrazioni limite accettabili = valori tabellari

CONTESTO NORMATIVO

ALLEGATO 1 al TITOLO V, PARTE IV del D.Lgs. 15206

PREMESSA: l'Allegato 1 definisce i criteri minimi da applicare nella procedura di analisi di rischio inversa che verrà utilizzata per il calcolo delle CSR, cioè degli obiettivi di bonifica sito-specifici

CONCETTI E PRINCIPI DI BASE: Si sottolinea l'importanza della scelta dei parametri da impiegare nell'analisi di rischio che deve rispondere a criteri di conservatività e di sitospecificità; l'applicazione dell'analisi di rischio sito specifica per la definizione degli obiettivi di bonifica deve tenere conto anche della destinazione d'uso prevista dagli strumenti di programmazione territoriale

COMPONENTI DELL'ANALISI DI RISCHIO DA PARAMETRIZZARE: indirizzi necessari alla parametrizzazione di: contaminanti indice, sorgenti, vie e modalità di esposizione, recettori o bersagli della contaminazione con particolare riferimento al punto di conformità e ai criteri di accettabilità del rischio

PROCEDURE DI CALCOLO E STIMA DEL RISCHIO: si sottolinea che le procedure di calcolo del rischio devono essere conformi a metodologie di comprovata validità sia dal punto di vista delle basi scientifiche che della riproducibilità dei risultati (es: ASTM PS104)

PROCEDURA DI VALIDAZIONE: la validazione dei risultati ottenuti da parte degli Enti di Controllo può avvenire solo se tutti i dati di input utilizzati vengono riportati in modo chiaro negli elaborati progettuali con particolare riferimento a:

- 1) criteri di scelta dei contaminanti indice;
- 2) modello concettuale del sito;
- 3) procedure di calcolo utilizzate;
- 4) fonti utilizzate per la determinazione dei parametri di input e degli algoritmi di calcolo



ANALISI DI RISCHIO

DEFINIZIONE

La Valutazione del Rischio è stata definita in modi diversi da molti autori che hanno affrontato la materia (Rowe, 1977; NRC, 1983; OTA, 1993; US EPA, 1984; Bowles et al., 1987; Asante-Duah, 1990)

In termini estremamente tecnici il *Risk Assessment* viene definito come:

processo sistematico per la stima di tutti i fattori di rischio significativi che intervengono in uno scenario di esposizione causato dalla presenza di pericoli

In termini meno tecnici la *Valutazione del Rischio* è:
la stima delle conseguenze sulla salute umana di un evento potenzialmente dannoso, in termini di probabilità che le stesse conseguenze si verifichino

ANALISI DI RISCHIO

DEFINIZIONE

DEFINIZIONE ADOTTATA NELLE PROCEDURE DI SICUREZZA INDUSTRIALE:

$$R = P \times D = P \times F_p \times F_e$$

R: rischio associato ad un dato evento

P: probabilità di accadimento

D: danno provocato dall'evento

F_p: fattore di pericolosità (entità del possibile danno - morte, lesioni, intossicazione)

F_e: fattore di contatto (funzione della durata di esposizione)

DEFINIZIONE ADOTTATA NEL CASO DI SITI CONTAMINATI:

$$R = E \times T$$

P = probabilità accadimento del danno conclamata (P = 1), ovvero l'evento è già accaduto

F_p = T [mg/kg d]⁻¹ (Tossicità dell'inquinante)

F_e = E [mg/kg d] (Portata effettiva di Esposizione)

ANALISI DI RISCHIO SANITARIO-AMBIENTALE

RISCHIO = ESPOSIZIONE × TOSSICITA'

SOSTANZE TOSSICHE

$$HI = \frac{E}{TDI}$$

E = Esposizione cronica effettiva [mg/kg-giorno]

TDI (o RfD) = Dose di riferimento [mg/kg-giorno]

SOSTANZE CANCEROGENE

$$R = E \times SF$$

E = Esposizione cronica effettiva [mg/kg-giorno]

SF = Grado di cancerogenicità [mg/kg-giorno]⁻¹

Criteria metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati

Documento sviluppato da un gruppo di lavoro ISPRA (ex APAT), ISS e ISPESL per rispondere alle esigenze sorte per la valutazione da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per la valutazione dei progetti di bonifica entro i siti di interesse nazionale



Il documento costituisce la base per l'elaborazione di un'analisi di rischio sanitaria così come prevista dalla normativa nazionale (D. Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 04/2008)

CONTENUTI

1. Introduzione
2. Materiale di riferimento
3. Costruzione del modello concettuale
4. Calcolo del rischio e degli obiettivi di bonifica sito-specifici
5. Analisi critica dei software e criteri di validazione

- A-L Equazioni per il calcolo dei fattori di trasporto
- M Approccio statistico Montecarlo
- N Analisi di sensibilità
- O Banca dati delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche
- P Prodotto libero (NAPL)
- Q Criteri per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici
- R Modelli analitici e numerici per il trasporto dei contaminanti in zona insatura
- S Intrusione di vapori nei luoghi di lavoro
- T Modelli analitici e numerici per il trasporto dei contaminanti in falda

ANALISI DI RISCHIO FORMULE APPLICATIVE

$$E = C_{poe} \cdot EM$$

$$C_{poe} = C_s \cdot FT$$

$$EM = \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}$$

$$E = C_s \cdot FT \cdot \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}$$

C_{poe} = concentrazione al punto di esposizione

C_s = concentrazione in sorgente

FT = fattore di trasporto

EM = Portata effettiva di esposizione

CR = Tasso di contatto

EF = Frequenza dell'esposizione

ED = Durata dell'esposizione

BW = Peso corporeo

AT = Tempo di mediazione

Effetti cancerogeni

$$R = C_s \cdot FT \cdot \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot SF$$

Effetti tossici

$$R = C_s \cdot FT \cdot \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot \frac{1}{RfD}$$

ANALISI DI RISCHIO SITO-SPECIFICA

MODALITA'
DIRETTA



STIMA DEL RISCHIO
SANITARIO

(Baseline Risk Assessment)

MODALITA'
INVERSA



STIMA VALORI GUIDA
o OBIETTIVI DI
BONIFICA

(Guideline values o Clean-up targets)

ANALISI DI RISCHIO SITO-SPECIFICA

L'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati non va intesa come la definizione di un effettivo, concreto ed immediato rischio/pericolo sanitario

L'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati non va intesa come uno strumento applicabile alla valutazione del rischio sanitario per i lavoratori così come inteso dal D.M. 81/2008

L'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati non è tecnicamente applicabile alla valutazione di un rischio associato a situazioni di contaminazione diffusa e/o alla presenza di valori di background diffuso, oltre a non valutare necessariamente il contesto espositivo nel suo complesso ma solo ed unicamente quello legato alle matrici ambientali indagate dalla Parte IV, Titolo V del D.Lgs. 152/2006 e senza valutare un effetto sinergico fra le diverse sostanze e le diverse vie di esposizione

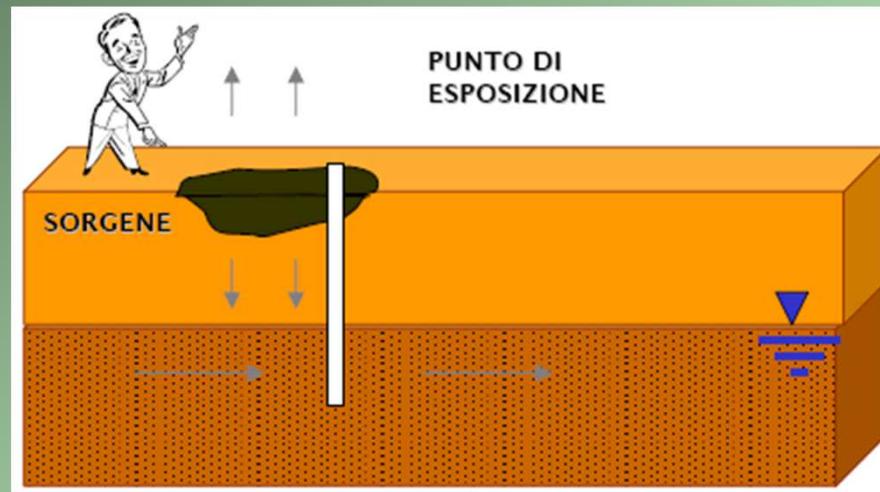
ANALISI DI RISCHIO PROCEDURA RBCA

- ❖ approccio basato su 3 livelli di valutazione;
- ❖ il passaggio a livelli successivi prevede una caratterizzazione sempre più accurata del sito e il progressivo abbandono di ipotesi generiche conservative;
- ❖ il grado di protezione della salute e dell'ambiente non varia comunque tra i diversi livelli di analisi.

Basata su standard ASTM (E1739/95 e PS108/98), derivata da US EPA Risk Assessment Guidance (1989)

ANALISI DI RISCHIO – PROCEDURA RBCA LIVELLO 1 (TIER 1)

- ANALISI DI TIPO **SITO-GENERICA**
- VALUTAZIONE DEI POTENZIALI PER **BERSAGLI ON-SITE**
- SIMULAZIONE DEL TRASPORTO ATTRAVERSO **MODELLI ANALITICI**



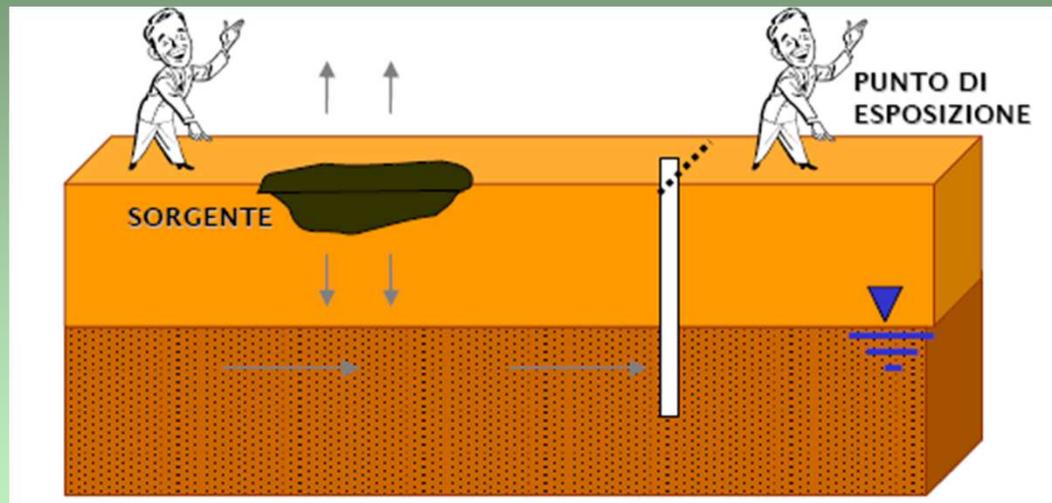
Basta conoscere la concentrazione alla sorgente
e la posizione dei bersagli

Costi di analisi ridotti

Risultati estremamente conservativi

ANALISI DI RISCHIO – PROCEDURA RBCA LIVELLO 2 (TIER 2)

- ✦ ANALISI DI TIPO **SITO-SPECIFICA**
- ✦ VALUTAZIONE DEI POTENZIALI PER **BERSAGLI ON-SITE e OFF-SITE**
- ✦ SIMULAZIONE DEL TRASPORTO ATTRAVERSO **MODELLI ANALITICI**



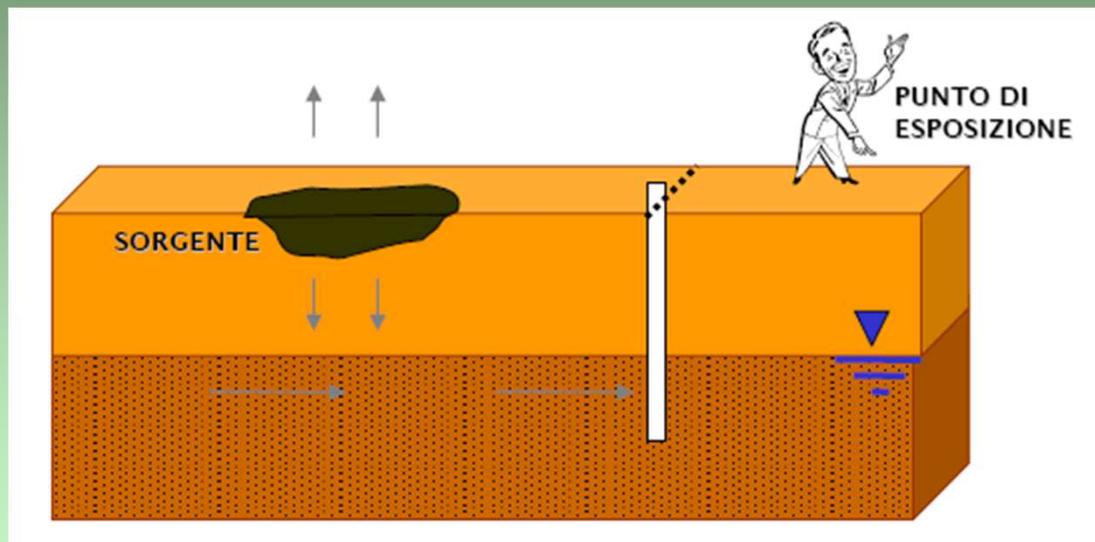
L'analisi risulta più dettagliata e precisa

Aumento dei costi di caratterizzazione per la determinazione dei parametri sito-specifici

E' IL LIVELLO DI ANALISI PREVISTO DAL D. Lgs. 152/06

ANALISI DI RISCHIO – PROCEDURA RBCA LIVELLO 3 (TIER 3)

- ANALISI DI TIPO **SITO-SPECIFICA**
- VALUTAZIONE DEI POTENZIALI PER **BERSAGLI OFF-SITE**
- SIMULAZIONE DEL TRASPORTO ATTRAVERSO **MODELLI NUMERICI**



Analisi molto dettagliata
Valutazione del fattore tempo

Costi estremamente elevati per la determinazione
dei molti parametri sito-specifici necessari

ANALISI DI RISCHIO

DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

PARAMETRI SITO SPECIFICI

SUOLO INSATURO

Profondità del piano di falda
Spessore della zona insatura
Spessore della falda
Estensione della sorgente nella direzione del flusso di falda
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale al flusso di falda

Area della sorgente (rispetto alla direzione del flusso di falda)
Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale nel vento
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella principale del vento
Area della sorgente (rispetto alla direzione prevalente del vento)
Profondità del top della sorgente nel suolo superficiale rispetto al p.c.
Profondità del top della sorgente nel suolo profondo
Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.
Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)
Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)
Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente
Densità del suolo
Frazione di carbonio organico nel suolo insaturo
Infiltrazione efficace
PH del suolo insaturo

SUOLO SATURO/FALDA

Velocità di Darcy
Conducibilità idraulica del terreno saturo
Gradiente idraulico
Frazione di carbonio organico nel suolo saturo
PH del suolo saturo
Estensione della sorgente di contaminazione nella direzione principale del vento
Estensione della sorgente nella direzione ortogonale a quella principale del vento
Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento
Velocità del vento
Superficie totale coinvolta nell'infiltrazione

SPAZI CHIUSI

Spessore delle fondazioni/muri
Rapporto fra volume indoor ed area di infiltrazione (residenziale)
Rapporto fra volume indoor ed area di infiltrazione (industriale)
Distanza tra il top della sorgente nel suolo insaturo (in falda) e la base delle fondazioni
Profondità delle fondazioni

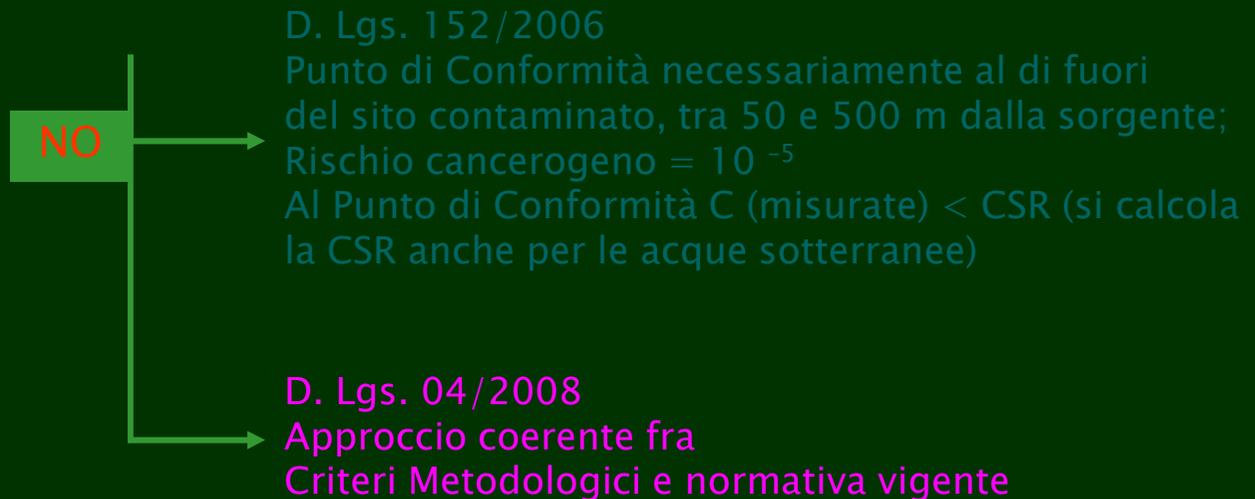
ANALISI DI RISCHIO – CRITERI METODOLOGICI

CRITERI METODOLOGICI

Punto di Conformità in corrispondenza del primo pozzo ad uso idropotabile interno all'area di proprietà o al limite dell'area di proprietà – *protezione della risorsa idrica (Direttiva 2000/60, Direttiva 118/2006 e Danno ambientale)*

Rischio cancerogeno per la singola sostanza = 10^{-6} , cumulato 10^{-5}
– *indicazioni ISS*

Al Punto di Conformità CSR = CSC (non si calcola la CSR) –
protezione della risorsa idrica (Direttiva 2000/60, Direttiva 118/2006 e Danno ambientale)



ANALISI DI RISCHIO
DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

SORGENTE

PERCORSI
DI MIGRAZIONE

BERSAGLIO



STIMA DEL RISCHIO

ANALISI DI RISCHIO

DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE

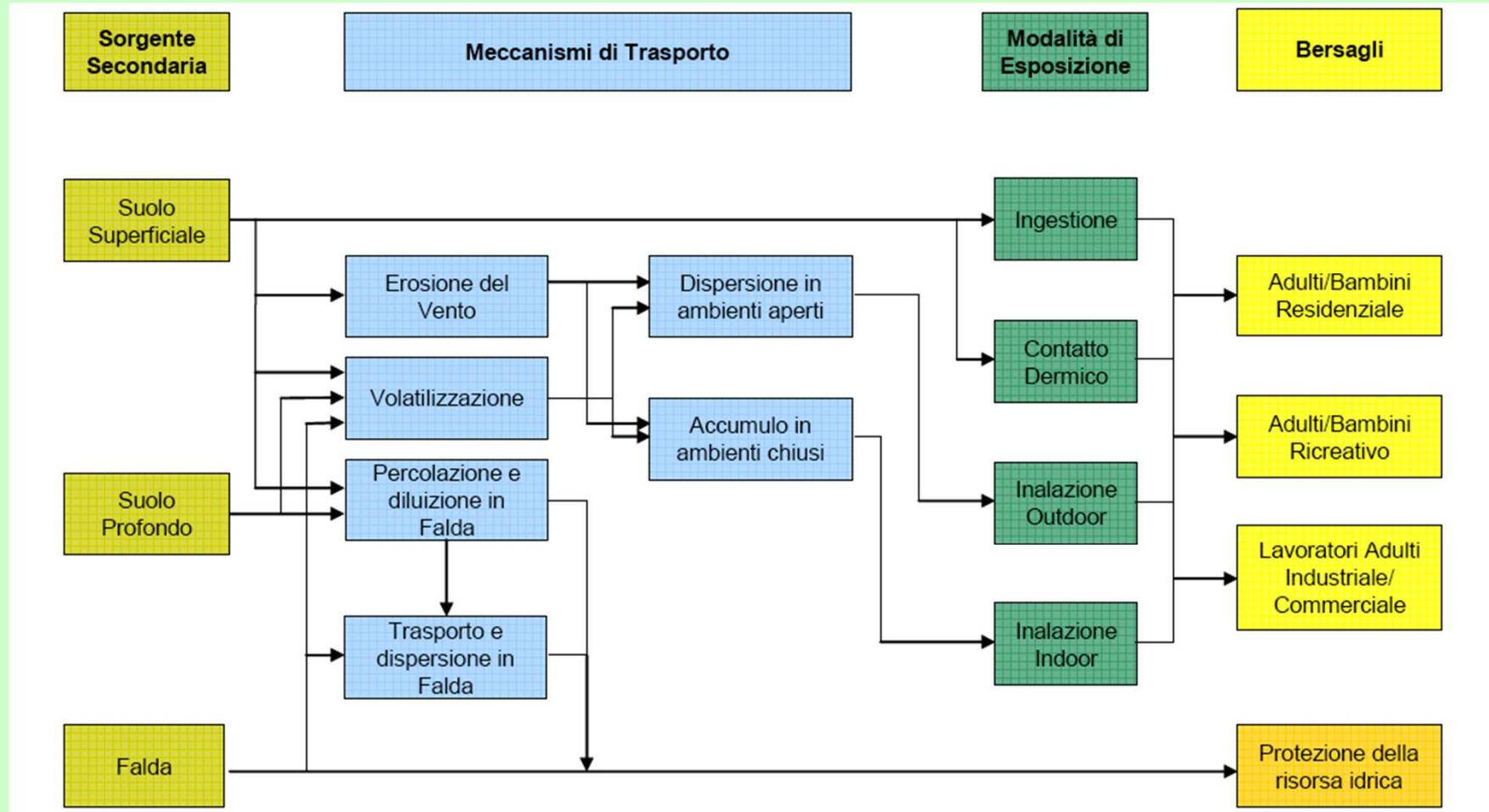
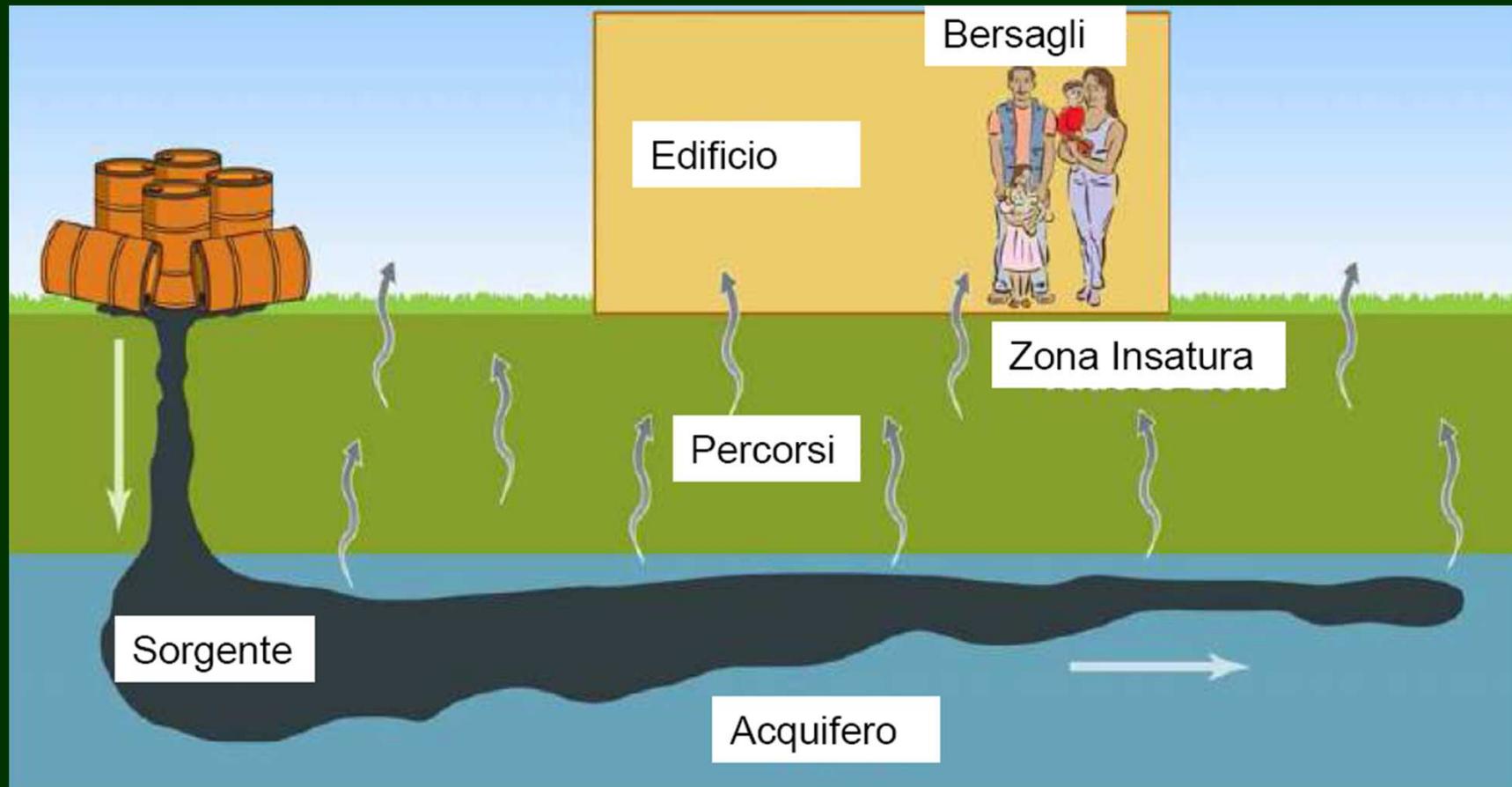


Diagramma di flusso per la rappresentazione del modello concettuale *modificato da Criteri Metodologici APAT(2008)*

ANALISI DI RISCHIO DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE



I documenti inerenti l'applicazione dell'analisi di rischio per i siti contaminati devono riportare una chiara rappresentazione del MCS sulla base delle risultanze della caratterizzazione effettuata

ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

Le **sorgenti primarie** di contaminazione (ad es: rifiuti) **non** vengono prese in considerazione ai fini dell'applicazione dell'Analisi di Rischio in quanto, in conformità con il D. Lgs 152/06 dovrebbero essere rimosse;

Vengono prese in considerazione le seguenti **sorgenti secondarie**:
suolo superficiale, suolo profondo, falda

- ❖ Suolo superficiale: porzione di suolo da 0 a -1 m dal piano campagna
- ❖ Suolo profondo: porzione di suolo insaturo da - 1 m fino alla tavola d'acqua
- ❖ La contaminazione del saturo è rappresentata dai valori misurati nelle acque sotterranee (condizioni stazionarie)

ANALISI DI RISCHIO PERCORSI – VIE DI MIGRAZIONE

- lisciviazione in falda da suolo superficiale e/o profondo (LF);
- attenuazione in falda (DAF);
- volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale (VFss);
- volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo (VFsemb);
- volatilizzazione di vapori outdoor da falda (VFwamb);
- emissione di particolato outdoor da suolo superficiale (PEF);
- emissione di particolato indoor da suolo superficiale (PEFin);
- volatilizzazione di vapori indoor da suolo (VFsesp);
- volatilizzazione di vapori indoor da falda (VFwesep);

Concentrazione
alla sorgente C_s



Fattori di trasporto
FT



Concentrazione
al punto di
esposizione C_{poe}

ANALISI DI RISCHIO BERSAGLI

Per quanto riguarda i bersagli della contaminazione, i *Criteri metodologici* prendono in considerazione **solo ricettori umani**. Questi sono identificati in funzione della destinazione d'uso del suolo, compreso nell'area logica di influenza del sito potenzialmente contaminato. Le tipologie di uso del suolo prese in esame sono differenziate in:

- Residenziale (bersagli: adulti e bambini)
- **Ricreativo** (bersagli: adulti e bambini)
- Industriale/Commerciale (bersagli: adulti)

Per quanto riguarda il bersaglio bambini, in assenza di dati di esposizione sito-specifici, si intende individui aventi una età compresa tra 0 – 6 anni

ANALISI DI RISCHIO

MODALITA' DI ESPOSIZIONE DEI BERSAGLI

Le vie e le modalità di esposizione sono quelle mediante le quali il potenziale bersaglio entra in contatto con le specie chimiche contaminanti

Si ha una **ESPOSIZIONE DIRETTA** se la via di esposizione coincide con la sorgente di contaminazione

Si ha una **ESPOSIZIONE INDIRECTA** nel caso in cui il contatto del recettore con la sostanza inquinante avviene a seguito della migrazione dello stesso e quindi avviene ad una certa distanza dalla sorgente

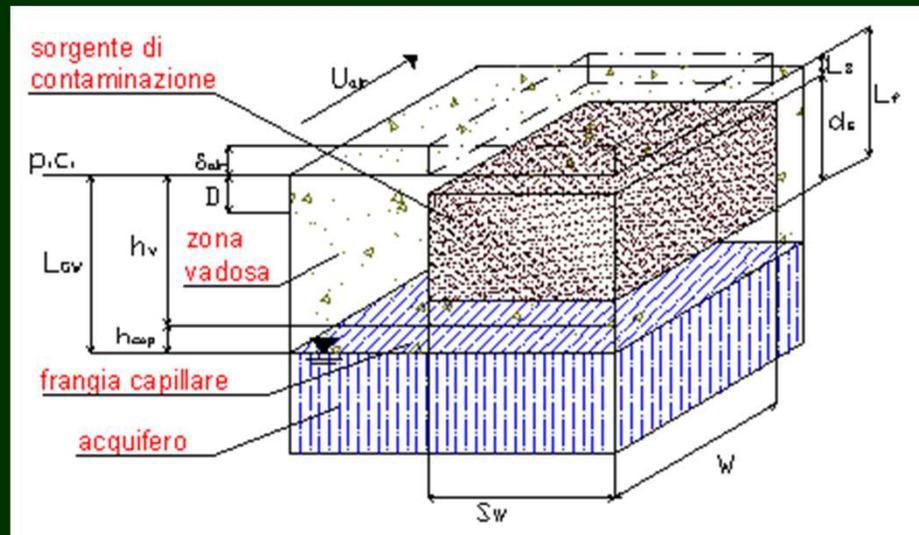
ESPOSIZIONE DIRETTA

- ingestione di suolo superficiale
- contatto dermico con suolo superficiale

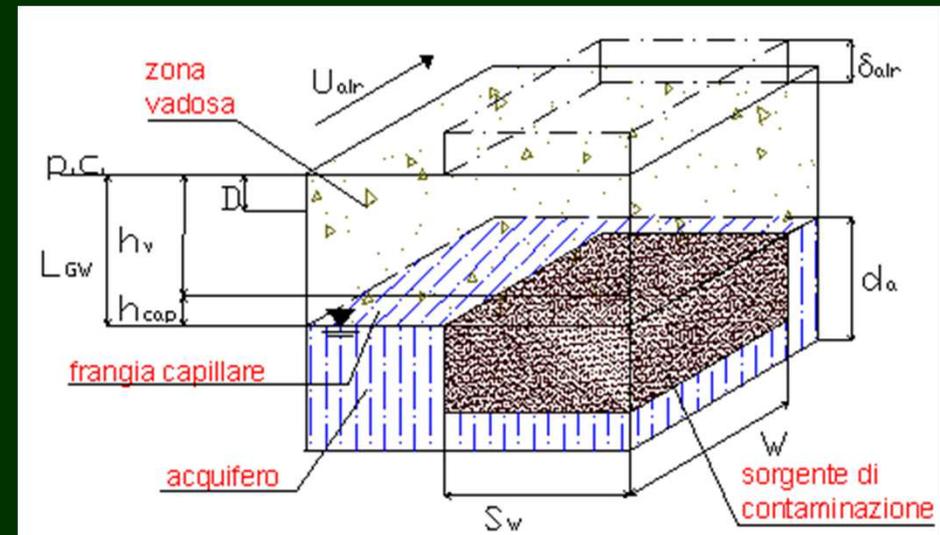
ESPOSIZIONE INDIRECTA

- inalazione di vapori indoor/outdoor
- inalazione di polveri indoor/outdoor

ANALISI DI RISCHIO SORGENTI



Geometria del sito e della sorgente in zona insatura



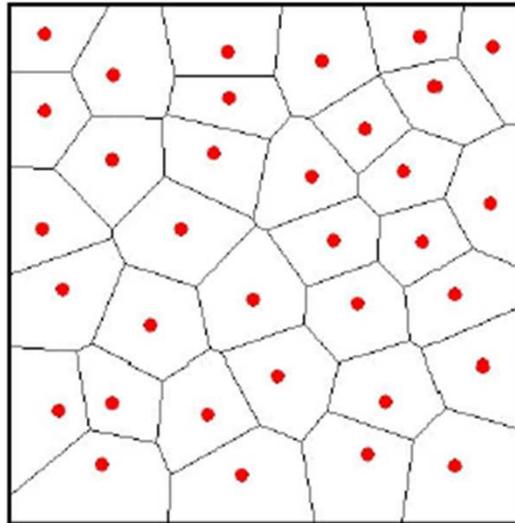
Geometria del sito e della sorgente in zona satura

Sulla base della definizione dell'area di esposizione i documenti US.EPA (A Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term [1992], Soil Screening Guidance: User's Guide [1996]) individuano una area minima di esposizione al di sotto della quale non si può ragionevolmente supporre che il recettore possa permanere per tutta la durata di esposizione (ED). Il valore suggerito per tale area minima di esposizione è di 0,5 acri corrispondenti a circa 2500 m² (50 m x 50 m). Ai fini di evitare un'applicazione dell'analisi di rischio "per punti" ed in linea con quanto indicato dai documenti di riferimento si ritiene che l'estensione areale della sorgente di contaminazione nel suolo insaturo (suolo superficiale e/o suolo profondo) ed in falda non possa, in generale, avere un valore inferiore all'area minima di esposizione di dimensioni pari a 2500 m² (50 m x 50 m). Per particolari scenari di esposizione, previa approvazione da parte degli Enti di Controllo, è possibile assumere dimensioni inferiori. E' questo il caso, ad esempio, dei punti vendita di carburanti per i quali l'intera estensione del sito può essere inferiore a 50 m x 50 m. Si osserva, comunque, che, in tutti i casi, dovranno essere presi in considerazione tutti i bersagli off-site potenzialmente esposti, con particolare riferimento ai residenti.

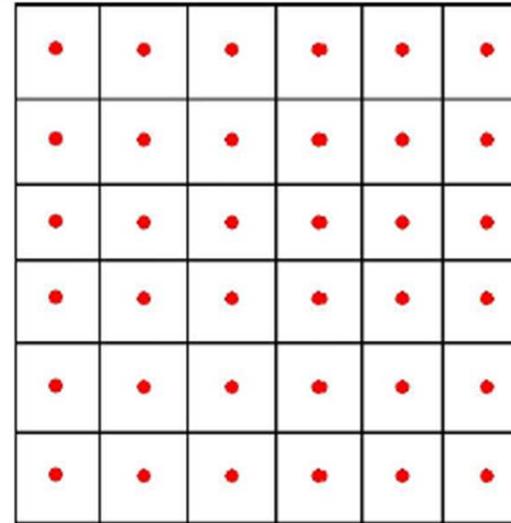
ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

La procedura per la delimitazione di una o più sorgenti all'interno di un sito contaminato, sulla base dei dati di caratterizzazione può essere così riassunta:

1. Suddivisione in poligoni di influenza dell'area oggetto d'indagine, secondo la strategia di campionamento adottata:
 - Campionamento ragionato (secondo i poligoni di Thiessen)
 - Campionamento sistematico (celle a maglia regolare)
2. Determinazione della continuità spaziale delle sorgenti
3. Analisi del vicinato dei poligoni/celle con $C < CSC$



**Figura 3.5a: Campionamento ragionato
(Poligoni di Thiessen)**



**Figura 3.5b: Campionamento sistematico
(Celle a maglia regolare)**

ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

VERIFICA DELLA CONTINUITA' SPAZIALE DELLE SORGENTI

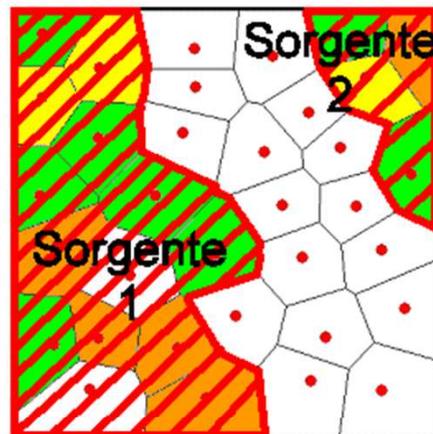


Figura 3.6a: Poligoni di Thiessen

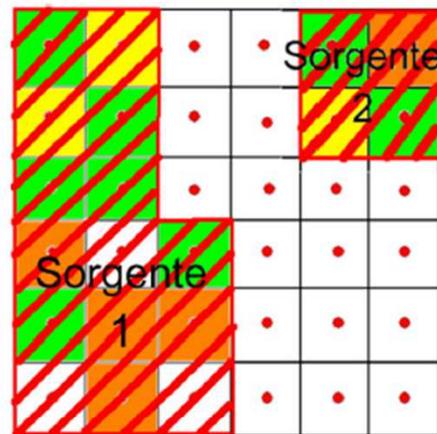
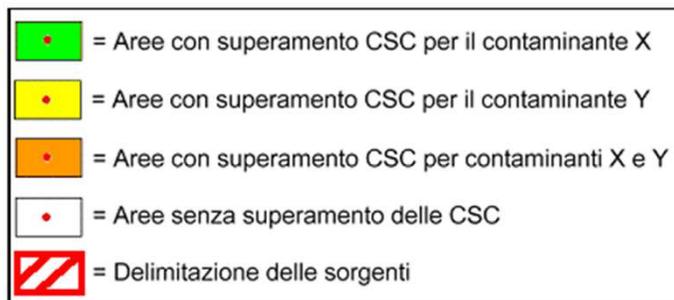


Figura 3.6b: Celle della maglia regolare



Si definiscono sorgenti spazialmente distinte, le sorgenti che possono potenzialmente determinare dei rischi per lo stesso recettore sulla stessa area di esposizione che non hanno continuità spaziale.

Al fine di delimitare la sorgente, si considera l'insieme di tutti i poligoni (nel caso di campionamento ragionato, fig 3.6a) o di tutte le celle (nel caso di campionamento sistematico, fig.3.6b) per cui c'è stato il superamento delle CSC per almeno un contaminante e che hanno continuità spaziale.

Nel caso di sorgente spazialmente distinte, devono essere eseguite diverse elaborazioni dell'analisi del rischio, una per ogni sorgente.

ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

1	7	13	.	.	.
2	8	14	.	.	.
3	9	15	.	.	.
4	10	16	.	.	.
5	11	17	.	.	.
6	12	18	.	.	.

8	14	.
9	15	.
10	16	.

Cella 15 - 3 celle su 8: C>CSC
Non fa parte della sorgente

7	13	.
8	14	.
9	15	.

Cella 14 - 3 celle su 8: C>CSC
Non fa parte della sorgente

5	11
6	12

Cella 6 - 3 celle su 3: C>CSC
Fa parte della sorgente

7	13	.
8	14	.

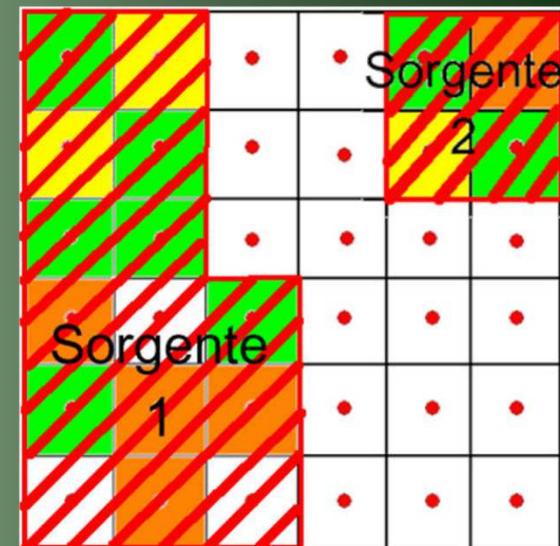
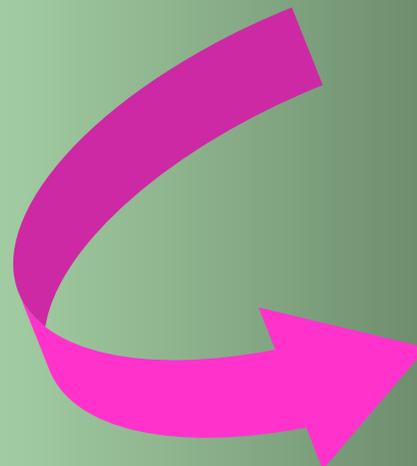
Cella 13 - 2 celle su 5: C>CSC
Non fa parte della sorgente

3	9	15
4	10	16
5	11	17

Cella 10 - 7 celle su 8: C>CSC
Fa parte della sorgente

11	17	.
12	18	.

Cella 18 - 3 celle su 5: C>CSC
Fa parte della sorgente

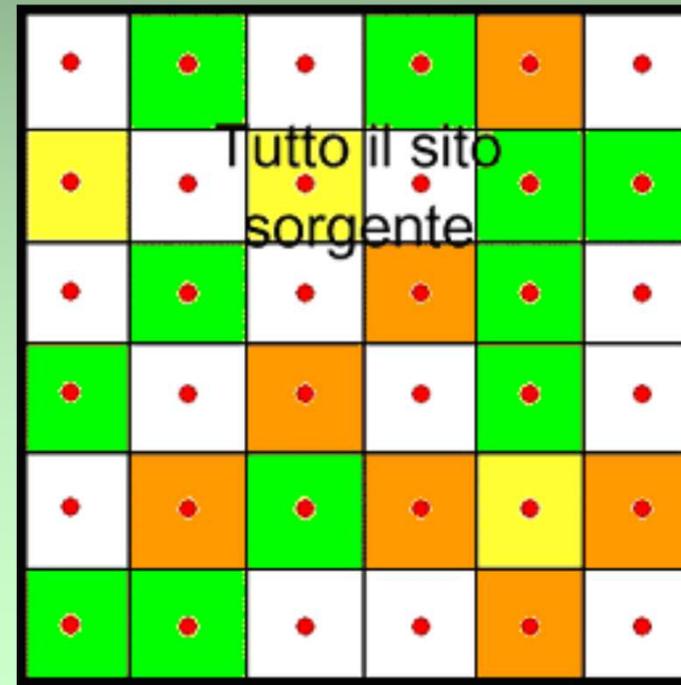
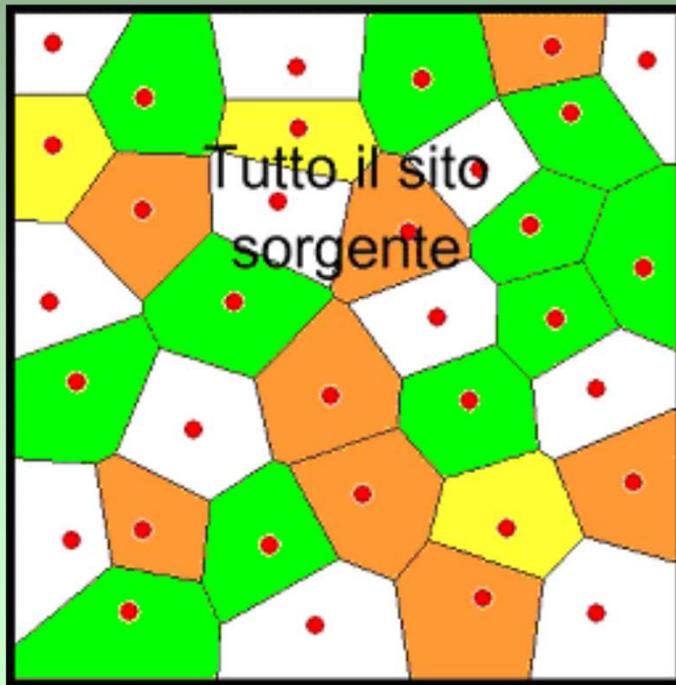


ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

SORGENTE UNICA

- la sorgente con continuità spaziale che può determinare dei rischi per lo stesso recettore nella stessa area di esposizione;
- la sorgente in cui, anche in caso di contaminazione a macchia di leopardo, è impossibile, anche a giudizio dell'Ente di Controllo stabilire una soluzione di continuità

In questo caso, ai fini dell'analisi del rischio, si effettua un'unica valutazione.



ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

SUDDIVISIONE IN SUBAREE

Differenze nell'utilizzo dell'area perimetrata, nelle modalità di esposizione e/o nella tipologia dei recettori esposti.

Lotto res. A	Lotto res. D	Lotto industriale commerciale
Lotto res. B	Lotto res. E	
Lotto res. C	Lotto res. F	

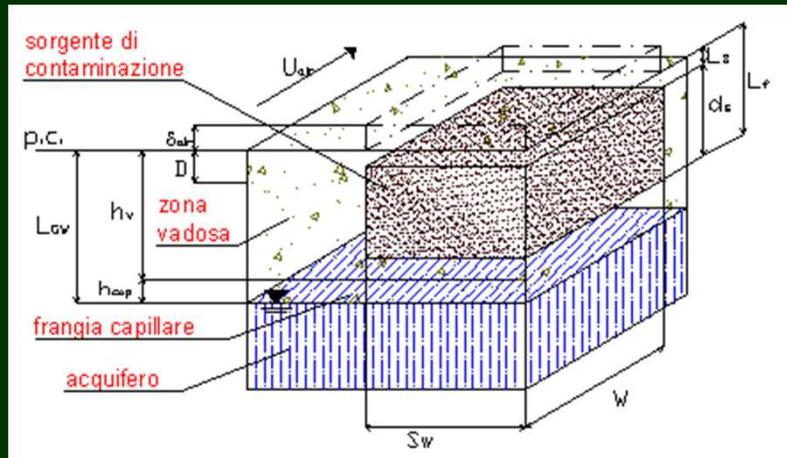


DIFFERENTI DESTINAZIONI D'USO

DIFFERENTI MODALITA' DI ESPOSIZIONE

ANALISI DI RISCHIO SORGENTI

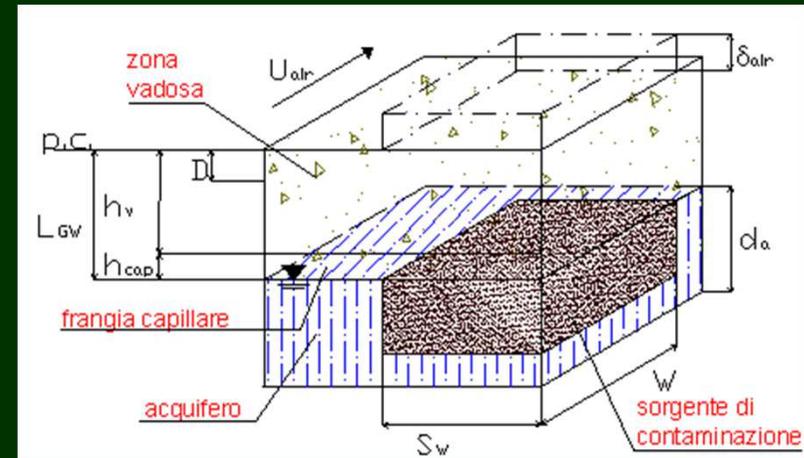
Geometria della sorgente in zona insatura



Per sorgente secondaria di contaminazione in zona insatura si intende il volume di suolo o sottosuolo interessato dalla presenza di contaminanti in concentrazione superiore a CSC in funzione della destinazione d'uso del sito. Ai fini dell'applicazione della procedura di analisi di rischio, tale volume deve essere schematizzato come un parallelepipedo.

- L_{GW} Livello piezometrico dell'acquifero
- h_{cap} Spessore della frangia capillare
- h_v Spessore della zona insatura
- D Spessore di suolo superficiale
- η_{out} Frazione areale di fratture nel pavimento outdoor
- W Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda
- S_w Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione del flusso di falda
- W' Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento
- S_w' Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento
- L_s Profondità del top della sorgente rispetto al p.c.
- L_f Profondità della base della sorgente rispetto al p.c.
- d_s Spessore della sorgente nel suolo profondo (insaturo)
- d Spessore della sorgente nel suolo superficiale (insaturo)
- L_F Soggiacenza della falda rispetto al top della sorgente cm
- A Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda
- A' Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento

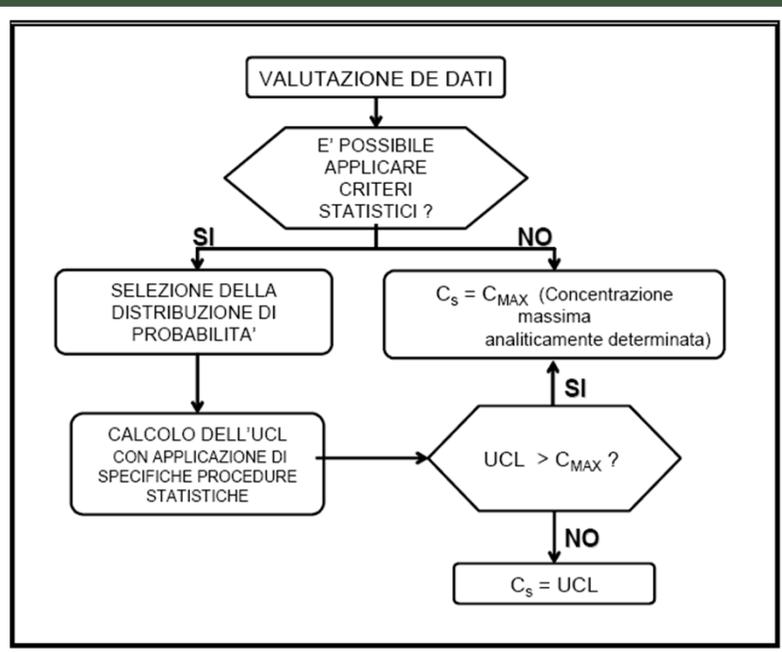
Geometria della sorgente in zona satura = FALDA, NO TERRENI SATURI



Per sorgente secondaria di contaminazione in zona satura si intende il volume di acquifero interessato dalla presenza di contaminanti in concentrazione superiore a CSC. La definizione della geometria della sorgente in zona satura viene effettuata sulla base delle risultanze analitiche relative alle acque sotterranee campionate nei piezometri realizzati nel sito. La sorgente viene individuata attraverso la massima estensione del plume di contaminazione in falda determinato a partire dai punti di campionamento delle acque che superano i valori di riferimento indicati dalla normativa vigente

- d_a Spessore dell'acquifero
- W Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione del flusso di falda
- S_w Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione del flusso di falda
- W' Estensione della sorgente in direzione parallela alla direzione prevalente del vento
- S_w' Estensione della sorgente in direzione ortogonale alla direzione prevalente del vento
- A Area della sorgente rispetto alla direzione del flusso di falda
- A' Area della sorgente rispetto alla direzione prevalente del vento
- δ_{GW} Spessore della zona di miscelazione

ANALISI DI RISCHIO CONCENTRAZIONE RAPPRESENTATIVA DELLA SORGENTE (CRS)



UCL, UPPER CONFIDENCE LIMIT (95%)

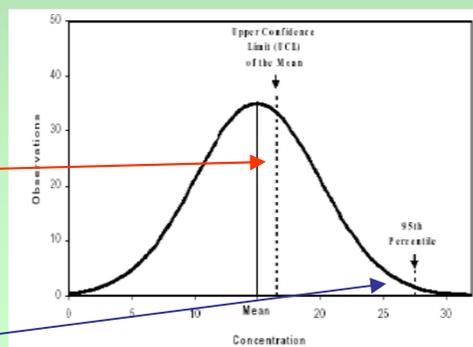
Statisticamente l'UCL 95% di una media è definito come un valore che, quando calcolato ripetutamente per un sottoinsieme di dati scelti a caso, eguaglia o supera il valore vero della media il 95% delle volte. Tale valore rappresenta una stima altamente conservativa del valore vero della media. Viene comunque utilizzato nel calcolo della CRS poiché tiene conto dell'incertezza legata al calcolo della media che non detto fornisca sempre una stima realmente rappresentativa, dato il numero finito di campioni a disposizione.

PERCENTILE 95%

Il percentile rappresenta la condizione in cui una percentuale x della distribuzione è minore o pari al valore del percentile. In particolare, quindi, il percentile al 95% è quel valore che eguaglia o supera il 95% dei valori di concentrazione che costituiscono l'insieme dei dati. Tale valore rappresenta, in genere, una stima più conservativa rispetto all'UCL 95%.

Il data-set deve essere suddiviso in relazione ad ogni sorgente secondaria di contaminazione: Suolo Superficiale (SS), Suolo Profondo (SP) e Falda (GW). Per stabilire l'applicabilità di criteri statistici è necessario:

1. Esaminare l'ampiezza del data-set. Per ogni data-set (SS, SP, GW), il numero di dati a disposizione non può essere inferiore a 10 (il numero minimo di dati, corrispondente a 10, necessario per l'esecuzione di analisi di tipo statistico, si riferisce ai sondaggi effettuati nell'area in cui viene applicata l'analisi di rischio e non ai campioni disponibili che, paradossalmente, potrebbero essere relativi a uno stesso sondaggio o piezometro)
2. Verificare che il campionamento sia uniformemente distribuito su tutta la sorgente di contaminazione
3. Identificare gli outlier e distinguere i "veri outlier" dai "falsi outlier"
4. Identificare i Non-Detected e porre i Non-Detected pari al corrispondente Detection Limit (ND = DL)
5. l'UCL deve essere calcolata prendendo in considerazione tutti i dati di concentrazione disponibili, e caratterizzare la sorgente di contaminazione anche con quelli che non superano le CSC
6. Applicazione determinati criteri descritti nel documento APAT (rev.2, 2008). Es. strati omogenei, stesso acquifero



INOLTRE

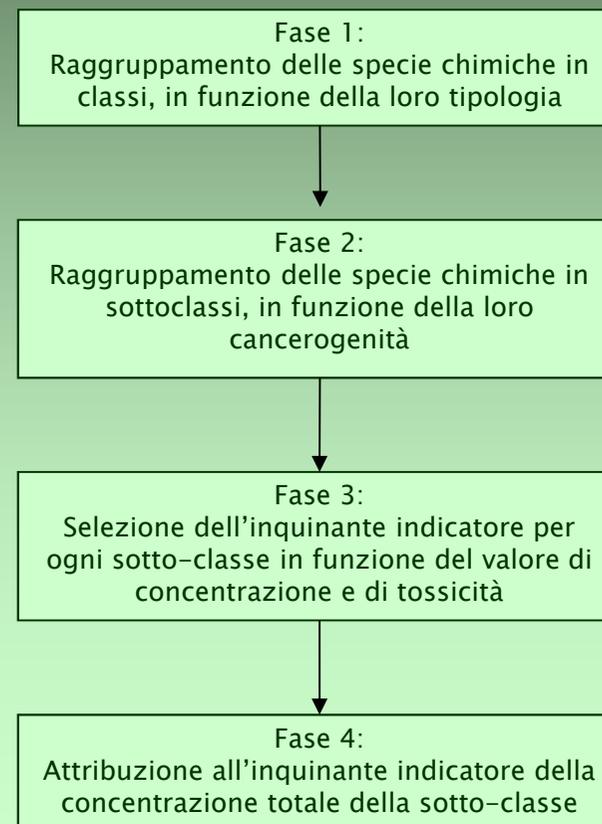
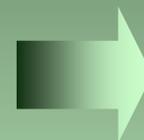
Se $C_s = C_{MAX}$ (no criteri statistici) non si ritiene accettabile effettuare un'analisi di rischio con un valore di concentrazione rappresentativa per la sorgente stimato sulla base di un unico dato di concentrazione proveniente dalla caratterizzazione del sito (es. un solo punto di campionamento).

ANALISI DI RISCHIO

CONCENTRAZIONE RAPPRESENTATIVA DELLA SORGENTE (CRS)

Gli INQUINANTI INDICATORI devono essere identificati con le specie chimiche inquinanti, indagate nell'ambito della campagna di indagine diretta, aventi valori di concentrazione nel suolo o in falda superiori ai valori di riferimento indicati dalla normativa vigente : $C > CSC$, limiti ISS
In alcuni casi però può accadere che il numero di tali specie chimiche sia talmente elevato da rendere complessa e dispendiosa l'applicazione della analisi di rischio, sia per il tempo impiegato sia per le risorse da investire.

In questi casi, si può seguire il seguente criterio di selezione degli inquinanti indicatori finalizzato alla riduzione del numero di specie chimiche da inserire nella procedura di analisi e selezionando quelle più importanti, ossia quelle alle quali è associato un rischio maggiore per l'uomo.
La seguente modalità va concordata con l'Ente di controllo.
Non è applicabile ai metalli.



ANALISI DI RISCHIO

PROPRIETA' CHIMICO-FISICHE E TOSSICOLOGICHE DEI CONTAMINANTI

Si impiega una banca dati sviluppata dall'ISS (Istituto Superiore di Sanità) e dall'ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro) - la banca dati è costantemente aggiornata e scaricabile

	Numero CAS	Peso Molecolare [g/mole]	Solubilità [mg/litro]	Rif.	Pressione di vapore [mm Hg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc/Kd [ml/g]	Rif.	log Kow [adim.]	Rif.	Coeff. Diff. Aria [cm²/sec]	Rif.	Coeff. Diff. Acqua [cm²/sec]	Rif.
Composti Inorganici																
Alluminio	7429-90-5	26,98	5,94E+04	23	8,74E-10	23	-		1500	23	-		-		-	
Antimonio	7440-36-0	121,80	1,00E+06	18	trascurabile	23	-		4,50E+01	1	-		-		-	
Argento	7440-22-4	107,90	1,00E+06		trascurabile	23	-		f(pH)		-		-		-	
Arsenico	7440-38-2	74,90	4,41E+05	19	trascurabile	23	-		f(pH)	1	-		-		-	
PROPRIETA' TOSSICOLOGICHE																
	Numero CAS	Cat. Carc. UE	Classe Cancer. EPA	SF Ing. [mg/kg-giorno] ⁻¹	Rif.	SF Inal. [mg/kg-giorno] ⁻¹	Rif.	RfD Ing. (mg/kg-d)	Rif.	RfD Inal. (mg/kg-d)	Rif.	Fattore di assorbimento dermico con suolo [adim.]	Rif.	Coefficiente di permeabilità [cm/ora]	Rif.	
Composti Inorganici																
Alluminio	7429-90-5	-	-	-		-		1,00E+00	23	1,43E-03	23	0,01		2,14E-03	23	
Antimonio	7440-36-0	-	-	-		-		4,00E-04	I	4,00E-04	R	0,01		1,09E-03		
Argento	7440-22-4	-	D	-		-		5,00E-03	I	5,00E-03	R	0,01		6,00E-04		
Arsenico	7440-38-2	-	A	1,50E+00	I	1,50E+01	I	3,00E-04	I	3,00E-04	R	0,03	US EPA RAGS, Volume 1, Part E, 2004	1,00E-03		

Kow Coefficiente di Partizione Ottanolo/Acqua

Koc Coefficiente di Adsorbimento Carbonio-Acqua

Kd Coefficiente di Partizione Suolo/Acqua - è funzione del pH

SOSTANZE TOSSICHE

RfD = Reference Dose [mg/kg/giorno]: stima dell'esposizione media giornaliera a cui è sottoposto l'uomo, che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo durante il corso della vita

RfC = Reference Concentration [mg/m³] : (inalazione) stima dell'esposizione continua a cui è sottoposto l'uomo (in termini di una concentrazione in una matrice ambientale), che non produce effetti avversi durante tutto il corso della vita

$RfD = RfC (1/70 \text{ kg}) \times (20 \text{ m}^3/\text{giorno})$

SOSTANZE CANCEROGENE

SF = Slope Factor [mg/kg/giorno]⁻¹: Probabilità di casi incrementali di tumore nella vita per unità di dose Pendenza della curva dose-effetto nella zona relativa alle basse dosi

UCR = Unit Cancer Risk [µg/m³]⁻¹: (inalazione) probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita per unità di concentrazione

$SF = UCR (70 \text{ kg}) \times (1/20 \text{ m}^3/\text{giorno}) \times (1000 \mu\text{g}/\text{mg})$

ANALISI DI RISCHIO FATTORI DI TRASPORTO

Concentrazione
alla sorgente C_s



Fattori di trasporto
FT



Concentrazione
al punto di
esposizione C_{poe}

- lisciviazione in falda da suolo superficiale e/o profondo (LF);
 - attenuazione in falda (DAF);
- volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale (VFss);
- volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo (VFsemb);
 - volatilizzazione di vapori outdoor da falda (VFwamb);
- emissione di particolato outdoor da suolo superficiale (PEF);
- emissione di particolato indoor da suolo superficiale (PEFin);
 - volatilizzazione di vapori indoor da suolo (VFsest);
 - volatilizzazione di vapori indoor da falda (VFwesp);

I fattori di trasporto intervengono nella valutazione delle esposizioni indirette ovvero laddove eventuali contaminanti possono raggiungere i bersagli solo attraverso la migrazione dal comparto ambientale sorgente della contaminazione

Le principali assunzioni, su cui si basano le equazioni di calcolo, sono:

- La concentrazione degli inquinanti è uniformemente distribuita nel suolo ed è costante per tutto il periodo di esposizione
- Terreno omogeneo, isotropo e incoerente (si escludono quindi i suoli porosi per fessurazione, i quali necessitano di modellistica specifica corrispondente ad un livello 3 di analisi)
- Non si considerano fenomeni di biodegradazione (ad eccezione del DAF) o meccanismi di decadimento/trasformazione delle sostanze inquinanti nel suolo, in soluzione nell'acqua o in fase vapore

ANALISI DI RISCHIO BERSAGLI

Per quanto riguarda i bersagli della contaminazione, ai fini dell'applicazione dell'analisi di rischio ai sensi del DLgs 152/06, questi sono esclusivamente umani. I ricettori sono differenziati in funzione:

1. della loro localizzazione

infatti si devono prendere in considerazione nella analisi tutti i recettori umani compresi nell'area logica di influenza del sito potenzialmente contaminato. In tale ambito, si definiscono:

- Bersagli on-site quelli posti in corrispondenza della sorgente di contaminazione
- Bersagli off-site quelli posti ad una certa distanza da questa;

2. della destinazione d'uso del suolo

le tipologie di uso del suolo, sono differenziate in:

- Residenziale, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;
- Ricreativo, a cui corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini (NON è previsto dal D.Lgs. 152/2006);
- Industriale/Commerciale, a cui corrispondono bersagli esclusivamente adulti.

ANALISI DI RISCHIO BERSAGLI

sorgente di contaminazione	modalità di migrazione (*)	via di esposizione	modalità di esposizione	tipo di esposizione	uso del suolo RESIDENZIALE		uso del suolo RICREATIVO		uso del suolo IND/COMM	
					bersaglio on-site (**)	bersaglio off-site	bersaglio on-site	bersaglio off-site	bersaglio on-site	bersaglio off-site
suolo superficiale	---	suolo superficiale	ingestione di suolo	<i>diretta</i>	A e B	---	A e B	---	A	---
	---		contatto dermico	<i>diretta</i>	A e B	---	A e B	---	A	---
	erosione del vento (e dispersione in aria)	aria outdoor	inalazione di polveri outdoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
	volatilizzazione (e dispersione in aria)		inalazione di vapori outdoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
	erosione del vento	aria indoor	inalazione di polveri indoor	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	---
	volatilizzazione		inalazione di vapori indoor	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	---
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda (e trasporto in falda)	falda	Rischio per la falda al punto di conformità	---	---	---	---	---	---	---
suolo profondo	voatilizzazione (e dispersione in aria)	aria outdoor	inalazione di vapori outdoor	<i>indiretta</i>	A e B	A e B	A e B	A e B	A	A
		aria indoor	inalazione di vapori indoor	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	---
	percolazione nell'insaturo, diluizione in falda (e trasporto in falda)	falda	Rischio per la falda al punto di conformità	---	---	---	---	---	---	---
falda	---	falda	Rischio per la falda al punto di conformità	---	---	---	---	---	---	---
	volatilizzazione da falda	aria outdoor	inalazione di vapori outdoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	A e B	A e B	A	A
		aria indoor	inalazione di vapori indoor da falda	<i>indiretta</i>	A e B	---	---	---	A	---

(*) le modalità di migrazione tra parentesi comportano una esposizione off-site

(**) A = Adulto, B = Bambino

ANALISI DI RISCHIO BERSAGLI

FATTORI DI ESPOSIZIONE (EF)	Simbolo	Unità di Misura	Residenziale		Ricreativo		Com/Ind
			Adulto	Bambino	Adulto	Bambino	Adulto
Fattori comuni a tutte le modalità di esposizione							
Peso corporeo	BW	kg	70	15	70	15	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	ATn	anni	ED	ED	ED	ED	ED
Inalazione di Aria Outdoor (AO)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Frequenza giornaliera di esposizione outdoor	EFgo	ore/giorno	24	24	3	3	8
Inalazione outdoor	Bo	m ³ /ora	0,9 (a)	0,7 (a)	3,2	1,9	2,5 (b)
Frazione di particelle di suolo nella polvere	Fsd	adim.	1	1	1	1	1
Inalazione di Aria Indoor (AI)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	---	---	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	---	---	250
Frequenza giornaliera di esposizione indoor	EFgi	ore/giorno	24	24	---	---	8
Inalazione indoor	Bi	m ³ /ora	0,9	0,7	---	---	0,9 (b)
Frazione indoor di polvere	Fi	adim.	1	1	---	---	1
Contatto dermico con Suolo (SS)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700	2800	5700	2800	3300
Fattore di aderenza dermica del suolo	AF	mg/(cm ² giorno)	0,07	0,2	0,07	0,2	0,2
Ingestione di Suolo (SS)							
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	250
Frazione di suolo ingerita	FI	adim.	1	1	1	1	1
Tasso di ingestione di suolo	IR	mg/giorno	100	200	100	200	50

(a) In caso di intensa attività fisica, in ambienti residenziali outdoor, si consiglia l'utilizzo di un valore maggiormente conservativo, pari a 1,5 m³/ora per gli adulti, e di 1,0 m³/ora per i bambini.

(b) Il tasso di inalazione pari a 2,5 m³/ora è da utilizzare nel caso di dura attività fisica; mentre, nel caso di attività moderata e sedentaria è più opportuno utilizzare un valore rispettivamente pari a 1,5 e 0,9 m³/ora.

ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

La procedura di analisi di rischio assoluta può avere un duplice obiettivo finale:

- stimare quantitativamente il rischio per la salute umana connesso ad uno specifico sito, in termini di valutazione delle conseguenze legate alla sua situazione qualitativa;
MODALITA' DIRETTA (FORWARD)
- individuare dei valori di concentrazione accettabili nel suolo e nella falda vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito
MODALITA' INVERSA (BACKWARD)



ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

PRINCIPI DELLA PROCEDURA

- ❖ Principio della esposizione massima ragionevolmente possibile (RME, ossia “Reasonable Maximum Exposure”), che prevede in relazione ai parametri di esposizione l’assunzione di valori ragionevolmente conservativi al fine di pervenire a risultati cautelativi per la tutela della salute umana;
- ❖ Principio del caso peggiore (“worste case”) che riguarda in generale tutte le fasi di applicazione della procedura di analisi assoluta di rischio e deve sempre guidare la scelta tra alternative possibili;
- ❖ Effetti cronici e non acuti;

I seguenti principi sono validi sia per la modalità diretta sia per la modalità indiretta

ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

STIMA DEL RISCHIO

Il rischio per la salute umana viene differenziato tra individuale e cumulato

Rischio e indice di pericolo individuale (R e HQ):

rischio dovuto ad un singolo contaminante per una o più vie d'esposizione

Rischio e indice di pericolo cumulativo (R_{TOT} e HQ_{TOT}):

rischio dovuto alla cumolazione degli effetti di più sostanze per una o più vie d'esposizione

ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

RISCHIO INDIVIDUALE

Effetti cancerogeni

$$R = E \times SF$$

Dove:

R (Rischio [adim]) rappresenta la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita, causati dall'esposizione alla sostanza rispetto alle condizioni di vita usuali;
SF (Slope Factor[mg/kg d]⁻¹) indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita per unità di dose;
E è mediata su di un periodo di esposizione pari a 70 anni (AT = 70 anni).

Effetti tossici

$$HQ = E / RfD$$

Dove:

HQ (Hazard Quotient [adim]) è un Indice di Pericolo che esprime di quanto l'esposizione alla sostanza supera la dose tollerabile o di riferimento;
RfD (Reference Dose [mg/kg d]) è la stima dell'esposizione media giornaliera che non produce effetti avversi apprezzabili sull'organismo umano durante il corso della vita;
E è mediata sull'effettivo periodo di esposizione (AT = ED).

ED = 24 per adulti, 6 per bambini, 25 per lavoratori

ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

RISCHIO CUMULATIVO

Effetti cancerogeni

$$R_T = \sum_{i=1}^n R_i$$

R_T rappresenta il Rischio cumulativo causato dall'esposizione contemporanea alle n sostanze inquinanti

Effetti tossici

$$HQ_T = \sum_{i=1}^n HQ_i$$

HQ_T rappresenta l'Indice di pericolo causato dall'esposizione contemporanea alle n sostanze inquinanti

Riguardo il rischio cumulativo, gli effetti cancerogeni o tossici dovuti alla esposizione contemporanea a più di una specie chimica inquinante attualmente non sono stati chiaramente stabiliti. Comunque, è possibile effettuare una stima conservativa dell'esposizione ad una contaminazione multipla sommando il rischio (o l'indice di pericolo) di ogni singola specie chimica contaminate. E' importante sottolineare che, in assenza di effetti sinergici, tale operazione di somma generalmente comporta una sovrastima dell'effettivo rischio associato alla esposizione multipla.

Si può anche considerare il rischio maggiore associato alla sostanza più critica (possibilità NON riportata nei criteri)

ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

CALCOLO DEL RISCHIO DOVUTO A PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

Si possono sommare per la stessa matrice
Si può considerare la via di esposizione con il rischio maggiore

I Criteri metodologici seguono le indicazioni ASTM (1995)

I Criteri metodologici considerano le singole sorgenti di contaminazione:

- Suolo superficiale
- Suolo profondo
- Falda

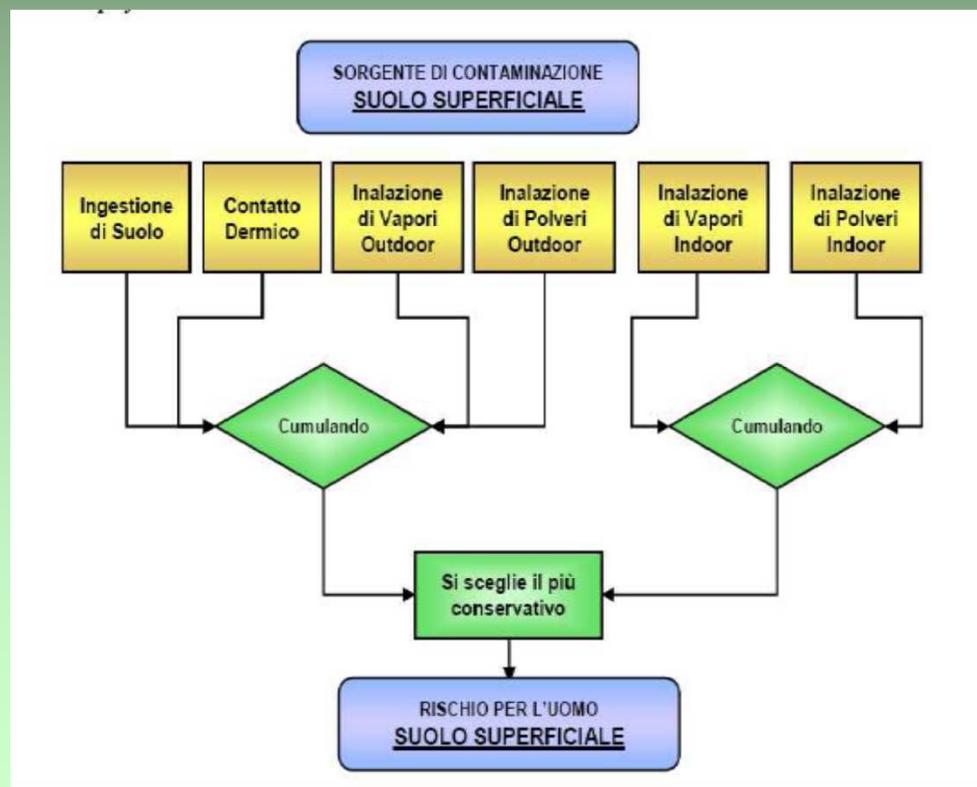
ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

CALCOLO DEL RISCHIO DOVUTO A PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

SUOLO SUPERFICIALE

Il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor).



ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

CALCOLO DEL RISCHIO DOVUTO A PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

SUOLO PROFONDO

Il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor).



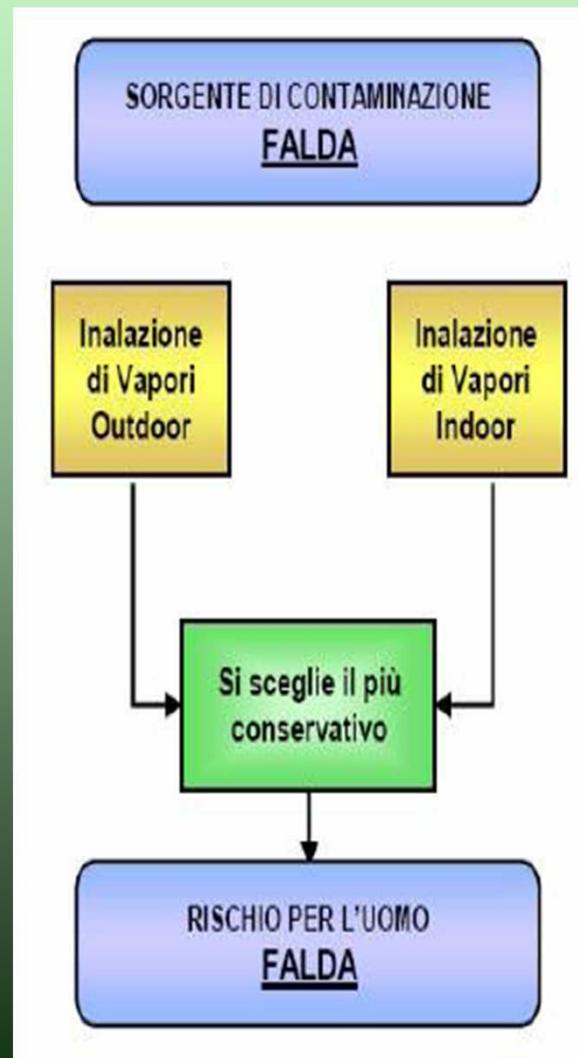
ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

CALCOLO DEL RISCHIO DOVUTO A PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

FALDA

Il rischio viene stimato scegliendo il valore più conservativo tra il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor) e il rischio derivante dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor).



ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

RISCHIO PER LA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA

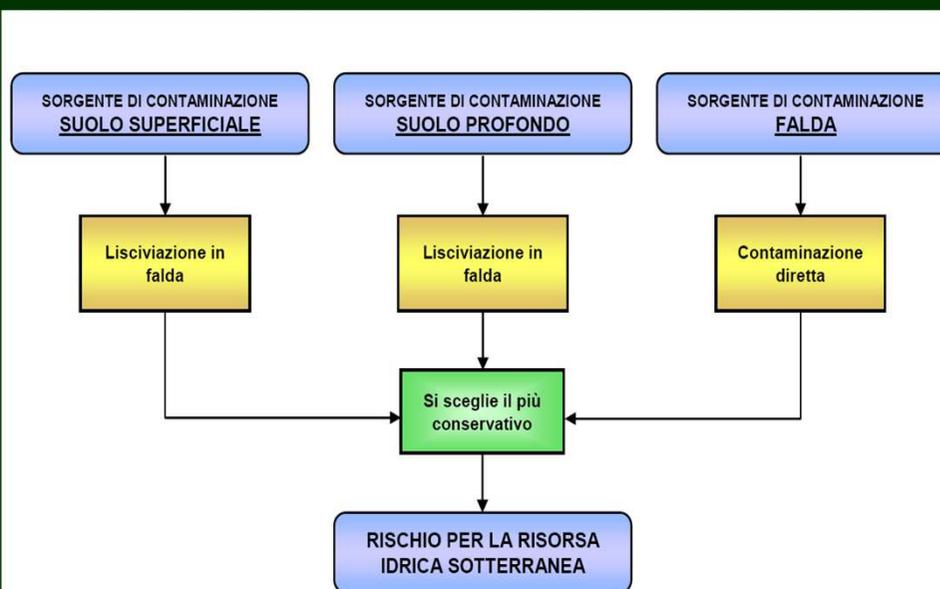
Si definisce Rischio per la risorsa idrica il rapporto tra la concentrazione in falda del generico inquinante misurata al punto di conformità e la corrispondente CSC.

$$R_{GW} = \frac{C_{POE}^{GW}}{CSC_{GW}}$$
$$R_{GW(\text{accettabile})} \leq 1$$

Il punto di conformità è definito come il punto “teorico” o “reale” di valle idrologico in corrispondenza del quale l’Ente di Controllo deve richiedere il rispetto degli obiettivi di qualità delle acque sotterranee.

Tale punto deve essere posto coincidente con il più vicino pozzo ad uso idropotabile o, qualora all’interno del sito non siano presenti pozzi ad uso idropotabile, in corrispondenza del limite di proprietà dell’area, o nel caso di siti di grandi dimensioni, in corrispondenza dei limiti della subarea.

Il calcolo del rischio per la risorsa idrica si differenzia in funzione della possibile sorgente di contaminazione e le stime di rischio **non** vengono cumulate.



ANALISI DI RISCHIO

CRITERI DI CALCOLO DEL RISCHIO

CRITERI DI ACCETTABILITA' DEL RISCHIO

Come proposto da ISS e riportato nel D.Lgs. 04/08, i valori di rischio considerati tollerabili per le sostanze cancerogene sono:

$TR = 10^{-6}$ Valore di rischio individuale

$TR_{CUM} = 10^{-5}$ Valore di rischio cumulato

Per le sostanze tossiche il criterio di accettabilità del rischio (indice di pericolo) impone il non superamento della dose di contaminante effettivamente assunta rispetto alla RfD, da cui consegue che:

$THQ = 1$

$THQ_{TOT} = 1$

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

L'applicazione della procedura di analisi assoluta di rischio secondo la modalità inversa (backward mode) permette il calcolo per ogni specie chimica contaminate degli obiettivi di bonifica sito-specifici per ciascuna sorgente di contaminazione, ossia del valore di concentrazione massimo ammissibile, in corrispondenza ad ogni sorgente secondaria di contaminazione (Concentrazione Soglia di Rischio, CSR), compatibile con il livello di rischio ritenuto tollerabile per il recettore esposto.

È opportuno sottolineare che le concentrazioni rappresentative alla sorgente (CRS) per il suolo sono espresse in riferimento al peso secco, mentre i valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR), derivanti dall'applicazione delle procedura, sono da riferirsi al tal quale. Quindi per confrontare le CSR con le CSC tabellari o con i valori di concentrazioni sito-specifici è necessario effettuare una conversione.

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

STEP 1

Il calcolo degli obiettivi sito-specifici consiste nel calcolo dell'esposizione accettabile. Questa è il rapporto tra il rischio ritenuto accettabile e la tossicità dell'inquinante.

Sostanze tossiche $E_{acc} = THQ \times RfD$

Sostanze cancerogene $E_{acc} = TR/SF$

STEP 2

Definita l'esposizione accettabile è possibile ricavare la concentrazione accettabile nel punto di esposizione (C_{poe}) mediante l'applicazione dell'equazione:

$$C_{poe,acc} = E_{acc} / EM \quad EM = \text{portata effettiva di esposizione}$$

STEP 3

Stabilita l'esposizione accettabile e la concentrazione nel punto di esposizione è quindi possibile individuare il valore dell'obiettivo di bonifica nella matrice ambientale sorgente di contaminazione (Concentrazione Soglia di Rischio, CSR):

$$CSR = C_{poe,acc} / FT$$

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

Sostanze cancerogene

$$CSR = \frac{C_{poe,acc}}{FT} = \frac{E_{acc}}{EM \cdot FT} = \frac{TR}{SF \cdot EM \cdot FT}$$

Sostanze tossiche

$$CSR = \frac{C_{poe,acc}}{FT} = \frac{E_{acc}}{EM \cdot FT} = \frac{THQ \cdot RfD}{EM \cdot FT}$$

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

CSR PER IL RICETTORE UMANO – SOSTANZE CANCEROGENE AMBITO RESIDENZIALE E RICREATIVO		
SORGENTE	TIPO DI ESPOSIZIONE	ON-SITE ^(*) E OFF-SITE
SUOLO SUPERFICIALE	Ingestione suolo	$CSR_{SuoloSupIngS} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ing} \cdot 10^{-6} \frac{Kg}{mg} \cdot EM_{IngSadj}}$
	Contatto dermico	$CSR_{SuoloSupConD} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ing} \cdot 10^{-6} \frac{Kg}{mg} \cdot EM_{ConDadj}}$
	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{SuoloSupInaO} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaOadj} \cdot VF_{ss} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{SuoloSupInaIn} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaIadj} \cdot VF_{seps} \cdot ADF}$
	Inalazione particolato outdoor	$CSR_{SuoloSupInaOP} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaOadj} \cdot PEF \cdot ADF}$
SUOLO PROFONDO	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{SuoloProfInaO} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{samb} \cdot EM_{InaOadj} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{SuoloProfInaI} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot VF_{seps} \cdot EM_{InaIadj} \cdot ADF}$
FALDA	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{FaldaInaI} \left[\frac{mg}{L-H_2O} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaIadj} \cdot VF_{wesp} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{FaldaInaO} \left[\frac{mg}{L-H_2O} \right] = \frac{TR}{SF_{Ina} \cdot EM_{InaOadj} \cdot VF_{wamb} \cdot ADF}$

Le medesime equazioni si sviluppano per le sostanze tossiche e per l'ambito industriale

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

RISORSA IDRICA SOTTERRANEA

Tabella 4.8 - Formule per il calcolo delle CSR a protezione della risorsa idrica sotterranea

CSR PER LA PROTEZIONE DELLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA			
RICETTORE	SORGENTE	VIA DI MIGRAZIONE	ON-SITE ^(*) E OFF-SITE
RISORSA IDRICA SOTTERRANEA	SUOLO SUPERFICIALE	Lisciviazione in falda	$CSR_{SuoloSupLF} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{CSC_{Falda} \times DAF}{LF_{ss}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
	SUOLO PROFONDO	Lisciviazione in falda	$CSR_{SuoloProfLF} \left[\frac{mg}{Kg-suolo} \right] = \frac{CSC_{Falda} \times DAF}{LF_{sp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$
	FALDA	Trasporto in falda	$CSR_{FaldaIngW} \left[\frac{mg}{L-H_2O} \right] = CSC_{Falda} \times DAF \times 10^{-3} \frac{mg}{\mu g}$

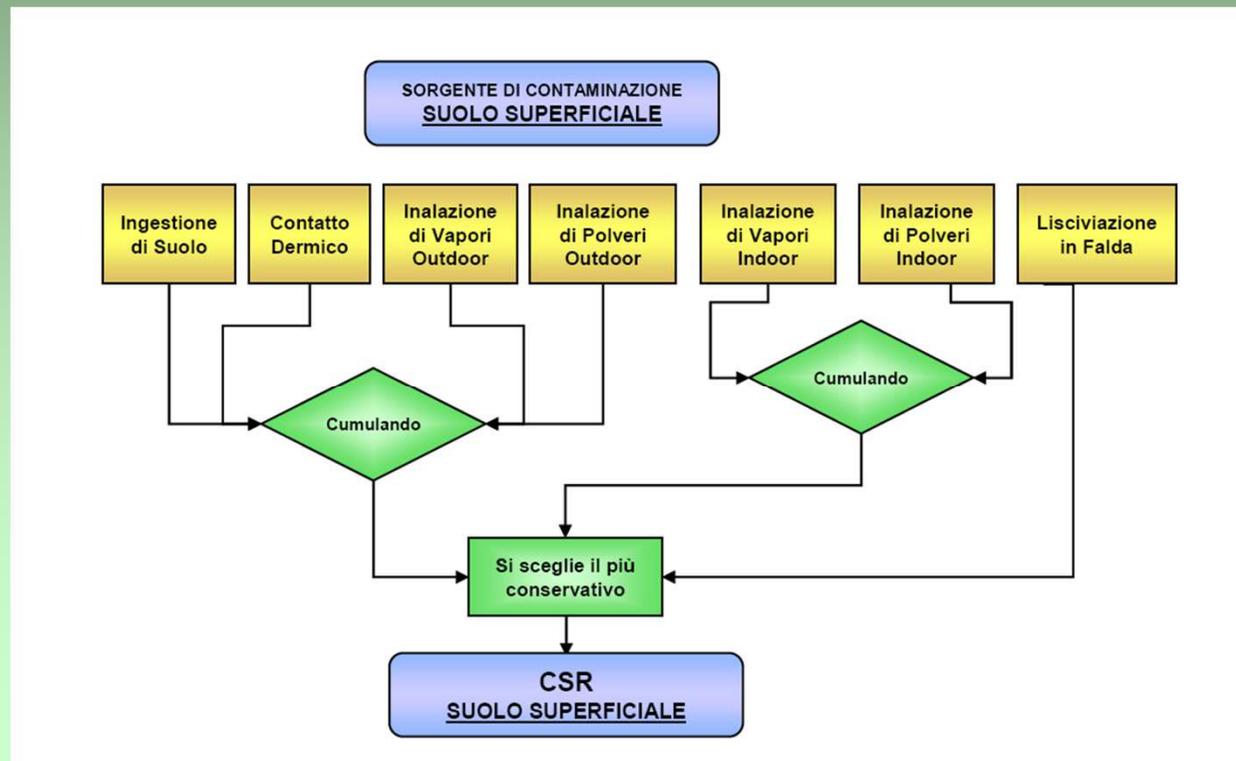
(*) per ricettori on-site si assume DAF=1

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

CSR PER PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

SUOLO SUPERFICIALE

La concentrazione soglia di rischio viene stimata scegliendo il valore più conservativo tra le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR per ingestione d'acqua dovuta a lisciviazione da suolo superficiale in falda

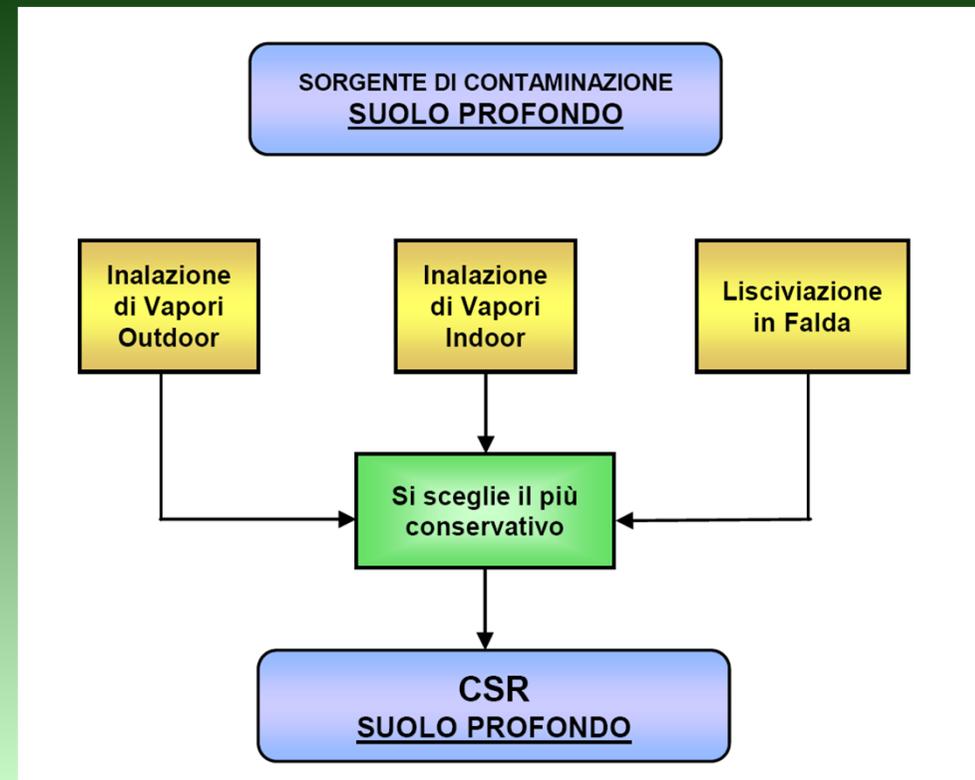


ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

CSR PER PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

SUOLO PROFONDO

La concentrazione soglia di rischio viene stimata scegliendo il valore più conservativo tra le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati (indoor), le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR per ingestione d'acqua dovuta a lisciviazione da suolo profondo in falda.

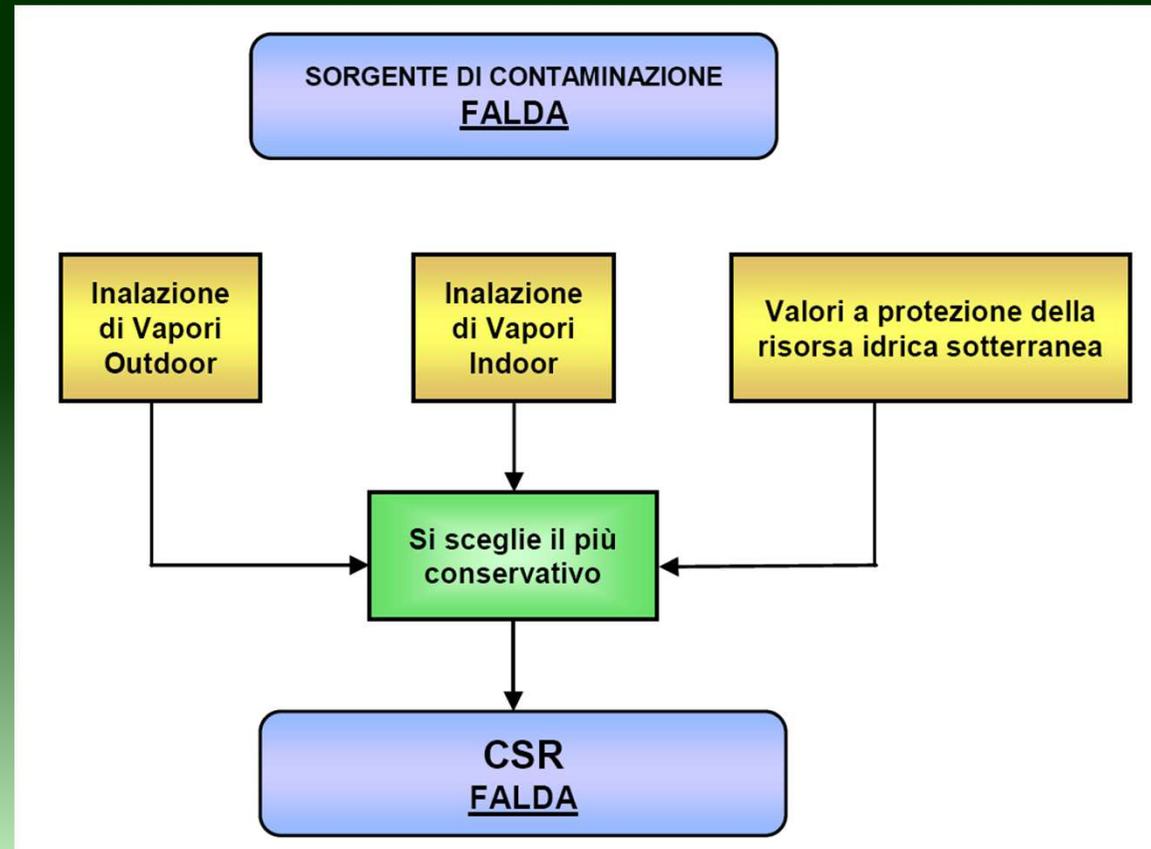


ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

CSR PER PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

FALDA

La concentrazione soglia di rischio viene stimata scegliendo il valore più conservativo tra le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hanno luogo in ambienti confinati(indoor), le CSR derivanti dalle modalità di esposizione che hannoluogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR per ingestione d'acqua, che va posta pari alla CSC così come definita dalla normativa vigente.



ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

CSR PER PIU' VIE DI ESPOSIZIONE

Tabella 4.9 - Formule per il calcolo delle CSR dovuto a più vie d'esposizione per l'ambito residenziale

AMBITO RESIDENZIALE - RICETTORI ON-SITE ^(*) E OFF-SITE	
SUOLO SUPERFICIALE	<p>SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ}{RfD_{\text{mg}}} \cdot 10^3 \cdot \frac{Kd}{\text{mg}} + \frac{EM_{\text{inhal}}(VF_n + PEF)}{RfD_{\text{mg}}} \cdot ADF$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_{\text{esp}} + PEF_n) \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot (EM_{\text{inhal}} + EM_{\text{inhal}}) \cdot 10^3 \cdot \frac{Kd}{\text{mg}} + [SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_n + PEF)] \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_{\text{esp}} + PEF_n) \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = CSC_{\text{valda}} \times DAF \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = CSC_{\text{valda}} \times DAF \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$

(*) per ricettori on-site si assume ADF=1 e DAF=1

Tabella 4.10 - Formule per il calcolo delle CSR dovuto a più vie d'esposizione per l'ambito industriale

AMBITO INDUSTRIALE - RICETTORI ON-SITE ^(*) E OFF-SITE	
SUOLO SUPERFICIALE	<p>SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ}{RfD_{\text{mg}}} \cdot 10^3 \cdot \frac{Kd}{\text{mg}} + \frac{EM_{\text{inhal}}(VF_n + PEF)}{RfD_{\text{mg}}} \cdot ADF$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_{\text{esp}} + PEF_n) \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot (EM_{\text{inhal}} + EM_{\text{inhal}}) \cdot 10^3 \cdot \frac{Kd}{\text{mg}} + SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_n + PEF) \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot (VF_{\text{esp}} + PEF_n) \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{superf}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{kg-metro}} \right] = \frac{CSC_{\text{valda}} \cdot DAF}{LF_{\text{sp}}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{\text{mg}}}{EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = CSC_{\text{valda}} \times DAF \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$
	<p>SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)</p> $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{amb}} \cdot ADF} \quad CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = \frac{TR}{SF_{\text{mg}} \cdot EM_{\text{inhal}} \cdot VF_{\text{esp}} \cdot ADF}$ $CSR_{\text{valda}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L-H2O}} \right] = CSC_{\text{valda}} \times DAF \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\text{mg}}$

(*) per ricettori on-site si assume ADF=1 e DAF=1

ANALISI DI RISCHIO CRITERI DI CALCOLO DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

CSR PER ADDITIVITA' DI SOSTANZE

Le CSR individuali calcolate non rispettano necessariamente la condizione di rischio cumulativo tollerabile. Ad esempio, la presenza di più contaminanti ciascuno caratterizzato da una CSR individuale che determina un $HQ=1$, fornirebbe un rischio cumulato non accettabile ($HQCUM>1$). In questi casi è necessario tenere conto degli effetti di cumulazione del rischio, riducendo ulteriormente le concentrazioni delle specie presenti rispetto ai valori definiti dalle CSR individuali

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{TR_{CUM}}{TR_{IND}^{TOT}} \quad \text{SOSTANZE CANCEROGENE}$$

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{HQ_{CUM}}{HQ_{IND}^{TOT}} \quad \text{SOSTANZE TOSSICHE}$$

CSR = Conc. Soglia di rischio individuale del generico contaminante

TR_{CUM} = Target risk per più sostanze, ovvero il rischio individuale accettabile ($TR_{CUM} = 10^{-5}$)

TR_{IND}^{TOT} = Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale

$$TR_{IND}^{TOT} = \sum SF \times EM \times FT \times CSR$$

HQ_{CUM} = Hazard quotient per esposizione a più sostanze ($HQ_{CUM} = 1$)

HQ_{IND}^{TOT} = Rischio cumulativo risultante dai contaminanti presenti nel sito in concentrazione pari alla CSR individuale

$$HQ_{IND}^{TOT} = \sum (EM \times FT \times CSR) / RfD$$

SITI CONTAMINATI IN PROVINCIA DI TRIESTE

SITO DI INTERESSE NAZIONALE

- Contaminazioni storiche legate a:
- aree di imbonimento (materiali vari, compresi rifiuti RSU e speciali)
 - attività siderurgica
 - raffinazione e stoccaggio di prodotti petroliferi
 - discariche
 - attività cantieristica

Composti: IPA, metalli pesanti, fenoli, composti organici volatili, clorobenzeni, idrocarburi leggeri e pesanti, amianto, diossine e furani, PCB, fitofarmaci, composti organo clorurati

Matrici: suolo, sottosuolo, acque sotterranee e sedimenti

Presenza di rifiuti interrati



SITI CONTAMINATI IN PROVINCIA DI TRIESTE

LA FERRIERA DI SERVOLA

Progetto integrato di messa in sicurezza, riconversione industriale e sviluppo economico produttivo ex art. 252-bis



SITI CONTAMINATI IN PROVINCIA DI TRIESTE

SITI DI COMPETENZA REGIONALE

Contaminazioni legate a:

- contaminazioni storiche (abbandoni di rifiuti, aree di imbonimento, discariche, attività cantieristica)

Composti: IPA, metalli pesanti, composti organici volatili, idrocarburi leggeri e pesanti, amianto, diossine e furani, PCB

Matrici: suolo, sottosuolo, acque sotterranee

- punti vendita carburanti, dismessi e in esercizio

Composti: composti organici volatili, idrocarburi leggeri e pesanti, IPA

Matrici: suolo, sottosuolo, acque sotterranee

- eventi accidentali (sversamenti, incendi, etc.)

Composti e matrici: funzione dell'evento



PROVINCIA DI TRIESTE:
172 procedimenti amministrativi aperti
(dati ARPA FVG, 2016)

SITI CONTAMINATI IN PROVINCIA DI TRIESTE



UN ESEMPIO DI BONIFICA DEI TERRENI

Estensione: 228.000 mq

Volumi terreno previsti:
12.550 mc, di cui 7.750 contaminati

Reali: 18.390 mc

Pericolosi: ca. 26.000 t
Non pericolosi: ca. 10.000 t
Recupero: ca. 3000 mc

Analisi collaudo: ca. 600 terreni
80 acque per monitoraggio (2008)

Prezzo di smaltimento non facilmente definibile (gestione materiale, cantierizzazione, tempistiche, intermediario, ecotassa, trasporti transfrontalieri, tipologia contaminante, analisi accessorie....)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE