



## 1.0 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

L'Analisi di Rischio per la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio ("CSR") così come definite dall'Art. 240 comma 1 lettera c) del DLgs 152/06<sup>(1)</sup> è eseguita applicando, al caso in esame, i criteri riportati nei seguenti documenti:

- Allegato 1<sup>(2)</sup> al Titolo V della Parte Quarta del DLgs 152/06;
- Decreto Legislativo n. 4<sup>(3)</sup> del 29 gennaio 2008 ("DLgs 4/08");
- Allegato 2<sup>(4)</sup> al DM 31/15<sup>(5)</sup>;
- documento dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e per i Servizi Tecnici "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", revisione 2 di marzo 2008 ("Manuale ISPRA") e sua Appendice V<sup>(6)</sup>;
- "Linee guida sull'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (prot n. 29706/TRI del 18 novembre 2014 e successiva rettifica prot. 2277 del 19 febbraio 2015).

## 2.0 SOFTWARE DI CALCOLO IMPIEGATO

Il calcolo del rischio e/o delle CSR è stato condotto usando il software di calcolo Risk-net versione 2.0 ("Risk-net"). Tale software è stato sviluppato su iniziativa del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata", con l'obiettivo di fornire uno strumento che ricalchi la procedura APAT-ISPRA di Analisi di Rischio ("Criteri metodologici l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati"; rev. 2 marzo 2008) in accordo con quanto previsto dalla normativa italiana (DLgs 152/06 e DLgs 04/08).

Risk-net è stato sviluppato nell'ambito della rete Rete Nazionale sulla gestione e la Bonifica dei Siti Contaminati ("Reconnet") ed è scaricabile gratuitamente<sup>(7)</sup>. La rete Reconnet nasce da un accordo tra Università, Istituti di Ricerca e Agenzie Ambientali (quali ISPRA, INAIL e ARPA regionali), incoraggiando la collaborazione e promuovendo i contatti e gli scambi di informazioni tra enti di ricerca, enti di controllo ed imprese. Il software Risk-net è stato oggetto di validazione da parte della rete Reconnet che ha sancito<sup>(8)</sup> come il software permetta l'applicazione della procedura di analisi di rischio "in completo accordo" con il Manuale ISPRA.

## 3.0 CRITERI GENERALI DELL'ANALISI DI RISCHIO

L'elaborazione di un'Analisi di Rischio costituisce una procedura avanzata per la valutazione del grado di contaminazione di un sito e dei rischi per la salute umana e per l'ambiente circostante connessi con l'inquinamento rilevato.

L'Analisi di Rischio costituisce lo strumento più indicato per supportare le strategie di gestione della contaminazione e per quantificare i pericoli legati alla presenza di sostanze in concentrazioni superiori a quelle ammesse dalla normativa vigente.

(1) Norme in materia ambientale.

(2) Criteri generali per l'analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica.

(3) Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del DLgs 152/06, recante norme in materia ambientale.

(4) Criteri semplificati per l'applicazione dell'analisi di rischio alla rete carburanti.

(5) Regolamento recante criteri semplificati per la caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei punti vendita carburanti, ai sensi dell'articolo 252, comma 4, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

(6) Applicazione dell'Analisi di Rischio ai punti vendita carburante.

(7) <http://www.reconnet.net/>

(8) <http://www.reconnet.net/Docs/Validazione%20Risk-net.pdf>



La procedura dell'Analisi di Rischio, introdotta e in seguito standardizzata dall'*American Society for Testing and Materials* ("ASTM") per la valutazione del rischio, comporta le seguenti fasi:

- definizione del Modello Concettuale (individuazione delle interazioni esistenti tra le componenti sorgenti di contaminazione, percorsi di migrazione e bersagli, che concorrono alla determinazione del potenziale rischio ambientale legato alla contaminazione);
- studio del trasporto della contaminazione dalla sorgente al punto di esposizione e determinazione delle concentrazioni del contaminante al bersaglio;
- calcolo del rischio;
- analisi decisionale (valutazione delle incertezze presenti nell'Analisi di Rischio e dell'accettabilità del rischio, calcolo delle eventuali concentrazioni massime ammissibili alla sorgente e descrizione degli eventuali interventi necessari per la gestione del sito).

La procedura di Analisi di Rischio codificata dall'ASTM nel 1995 e 1998<sup>(9)</sup> ed acquisita dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (ISPRA ex APAT) nel 2005<sup>(10)</sup> prevede un approccio graduale di approfondimento, denominato *Risk-Based Corrective Action* ("RBCA"), articolato in tre differenti livelli di seguito descritti.

- Il **primo livello (Tier 1)** è essenzialmente costituito dal confronto tra le concentrazioni dei contaminanti rilevati nel sito e i limiti tabellari previsti che fanno riferimento a condizioni sito-generiche. L'analisi di primo livello non utilizza i parametri specifici del sito e il rischio viene calcolato mediante modelli semplificati e ipotesi molto conservative. I valori ottenuti, denominati *Risk Based Screening Levels* ("RBSL"), sono utilizzati come valori di screening per il Sito.
- Il **secondo livello (Tier 2)** consiste in un'Analisi di Rischio elaborata con modelli analitici semplificati in cui i dati di input sono in parte ricavati da indagini ambientali condotte in campo. Per i dati non noti sono utilizzati valori riportati in letteratura o validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi a quelli in esame. In tal caso si usano valori che massimizzano la conservatività del modello, sbilanciando così i risultati dell'analisi a favore della tutela dell'ambiente e della salute umana. L'analisi di secondo livello prevede solitamente l'analisi dei processi di trasporto e degradazione della contaminazione e consente di calcolare il rischio anche al di fuori della sorgente di inquinamento. Mediante l'elaborazione di un'Analisi di Rischio di secondo livello è possibile determinare i limiti di accettabilità alla sorgente specifici per il sito, denominati *Site-Specific Target Levels* ("SSTL") che possono definire gli obiettivi di bonifica di un sito contaminato.
- Il **terzo livello (Tier 3)** costituisce uno stadio maggiormente approfondito di Analisi di Rischio. Tale livello è caratterizzato dall'uso di strumenti di calcolo più sofisticati, costituiti da modelli numerici e stocastici per la simulazione dei fenomeni di degradazione e trasporto della contaminazione. L'esecuzione di Analisi di Rischio di terzo livello è consentita dalla disponibilità dei dati chimici, biologici e fisici specifici del sito necessari alla completa determinazione dei fenomeni di riduzione del carico di contaminante in atto nel sottosuolo. Le Analisi di Rischio di terzo livello costituiscono lo strumento di valutazione del rischio meno conservativo e maggiormente vicino alla realtà.

<sup>(9)</sup> "Standard guide for Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites - RBCA" ASTM E-1793 (1995) ASTM PS 104 (1998).

<sup>(10)</sup> "Criteri Metodologici per l'applicazione dell'Analisi di Rischio assoluta ai siti contaminati" APAT (rev. 0 giugno 2005, rev. 1 luglio 2006, rev. 2 marzo 2008).



## 4.0 IL CALCOLO DEL RISCHIO E DEGLI OBIETTIVI DI BONIFICA SITO-SPECIFICI

L'Analisi di Rischio può avere un duplice obiettivo: stimare quantitativamente il rischio in termini di valutazione delle conseguenze legate a una situazione di inquinamento, oppure individuare i valori di concentrazione che costituiscono gli obiettivi di bonifica sito-specifici.

I due risultati derivano dall'applicazione della procedura secondo due distinte modalità.

La **modalità diretta (forward mode)** permette il calcolo del rischio associato al bersaglio esposto derivante da una sorgente a concentrazione nota. A partire dalla concentrazione della sorgente, tenendo conto dell'attenuazione dovuta ai fattori di trasporto e della tossicità delle sostanze, si valuta l'esposizione del bersaglio e, infine, si calcola il rischio ad esso associato.

La **modalità inversa (backward mode)** permette il calcolo della massima concentrazione alla sorgente, compatibile con un livello di rischio ritenuto accettabile per il bersaglio esposto. Stabilita la soglia di rischio tollerabile, si determina di conseguenza la concentrazione accettabile nel punto di esposizione e, per mezzo dei fattori di trasporto, si arriva a stimare la concentrazione accettabile in sorgente che costituisce l'obiettivo di bonifica sito-specifico.

I contaminanti sono generalmente classificati tra sostanze non cancerogene e sostanze cancerogene.

Le prime sono definite come sostanze a soglia limite; la loro assunzione al di sotto di una certa concentrazione soglia non comporta effetti negativi per la salute umana. Questa concentrazione limite viene definita dose di riferimento o *Chronic Reference Dose* ("RfD") e risulta espressa in mg/(kg-giorno).

Le seconde sono definite invece sostanze senza soglia limite; la loro assunzione anche minima può generare effetti negativi sulla salute umana creando condizioni favorevoli allo sviluppo di malattie cancerogene. Poiché si assume che tale propensione aumenti in modo proporzionale con la crescita delle dosi assunte, non è quantificabile una soglia limite di pericolo. Per tali sostanze è individuato un coefficiente denominato *Slope Factor* ("SF"), che indica la probabilità di casi incrementali di tumore nella vita riferito ad una dose unitaria ed è espresso in (mg/(kg-giorno))<sup>-1</sup>.

Il calcolo del rischio per la salute umana, associato ad una specifica modalità di esposizione e ad una singola specie chimica inquinante, comporta il calcolo delle grandezze **indice di pericolo ("HQ")** per le sostanze non cancerogene e valori di **rischio ("R")** per le sostanze cancerogene.

Gli HQ per le sostanze non cancerogene sono definiti come:

$$HQ = Dose\ Assunta / Chronic\ Reference\ Dose$$

ed esprimono di quanto la dose dovuta all'esposizione alla sostanza non cancerogena supera la dose tollerabile o di riferimento.

I valori di rischio per le sostanze cancerogene sono calcolati come:

$$R = Dose\ Assunta \times Slope\ Factor$$

e rappresentano la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso della vita, causati dall'esposizione alla sostanza.

Il rischio cumulativo per la salute umana, associato alla presenza di una o più specie chimiche contaminanti determinato da diverse modalità d'esposizione, si calcola sommando i rischi individuali.



## 5.0 CRITERI DI TOLLERABILITÀ DEL RISCHIO

Il rischio per la salute umana<sup>(11)</sup> associato ad una singola specie chimica, secondo quanto riportato nell'Allegato 1 al Titolo V della Parte Quarta del DLgs 152/06 come modificato dal DLgs 4/08, è ritenuto accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- $HQ \leq 1$  per sostanze non cancerogene;
- $R \leq 10^{-6}$  per sostanze cancerogene.

Il rischio per la salute umana dovuto alla cumulazione di più sostanze inquinanti per una o più vie di esposizione, è ritenuto accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- $HQ_{CUM} \leq 1$  per sostanze non cancerogene;
- $R_{CUM} \leq 10^{-5}$  per sostanze cancerogene.

Relativamente alle acque sotterranee, in attuazione del principio generale di precauzione, il punto di conformità deve essere di norma fissato non oltre i confini del sito oggetto di bonifica e la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alla CSC. A monte idraulico del punto di conformità così determinato e limitatamente alle aree interne al Sito, la concentrazione dei contaminanti può risultare maggiore delle CSC, purché compatibile con il rispetto della CSC al punto di conformità nonché compatibile con l'Analisi di Rischio igienico sanitario per ogni altro possibile bersaglio nell'area stessa.

## 6.0 CONCENTRAZIONI RAPPRESENTATIVE ALLA SORGENTE

Le concentrazioni rappresentative usate nell'Analisi di Rischio per ciascuna sorgente secondaria di contaminazione sono state definite secondo quanto riportato nel Manuale ISPRA: esse sono pari alla concentrazione massima di ogni contaminante di interesse. Per le acque sotterranee sono considerati i risultati dell'anno in corso e dei due anni precedenti.

Per gli idrocarburi leggeri  $C \leq 12$  e pesanti  $C > 12$  nel terreno, e per gli idrocarburi totali espressi come n-esano in falda, sono adottate le frazioni dell'approccio MADEP (2002), suggerite dal Manuale ISPRA e dalla banca dati ISPESL-ISS elaborata a supporto di questo manuale:

- idrocarburi alifatici C5-C8;
- idrocarburi alifatici C9-C18;
- idrocarburi alifatici C19-C36;
- idrocarburi aromatici C9-C10;
- idrocarburi aromatici C11-C22.

## 7.0 CONCENTRAZIONE MAGGIORE DELLA CSAT

Nel caso in cui vi siano contaminanti la cui concentrazione rappresentativa alla sorgente è maggiore della concentrazione di saturazione ("C<sub>sat</sub>") così definita:

$$C_{sat} = \frac{S}{\rho_s} \cdot (\theta_w + \rho_s \cdot K_{oc} \cdot f_{oc} + H \cdot \theta_a)$$

<sup>(11)</sup> Nel caso di un bersaglio esposto a più di un contaminante e/o a più di una modalità di esposizione si parla di rischio cumulato, inteso come sommatoria dei rischi (per il bersaglio) imputabili a ciascun contaminante e/o modalità di esposizione.



dove:

$S$  solubilità del contaminante

$\rho_s$  densità secca del terreno

$\theta_a$  e  $\theta_w$  contenuto volumetrico d'aria e d'acqua nell'insaturo

$K_s = K_{oc} \cdot f_{oc}$  e  $H$  rispettivamente coefficiente di ripartizione suolo-acqua e costante di Henry del contaminante

il calcolo delle CSR è stato eseguito adottando le seguenti procedure:

- Appendice V del Manuale ISPRA, tenendo conto di quanto riportato al punto V.3.3.3 *Valutazione del rischio e degli obiettivi di bonifica quando la concentrazione del suolo risulta maggiore della concentrazione di saturazione*;
- Linee guida AR/GdL-MATTM, tenendo conto di quanto indicato al punto 4, lettera a).

In questo caso, appurata l'assenza di prodotto surnatante in falda, la procedura prevede di adottare un valore di CSR pari alla concentrazione massima riscontrata e di verificare l'accettabilità del rischio in modalità diretta. Nel caso in cui il rischio non sia accettabile, si procede iterativamente, inserendo concentrazioni inferiori alla precedente, fino al raggiungimento di una condizione che soddisfi i criteri di accettabilità del rischio individuale e cumulato.

In linea con i pronunciamenti "Linee guida sull'analisi di rischio ai sensi del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (prot n. 29706/TRI del 18 novembre 2014 e successiva rettifica prot. 2277 del 19 febbraio 2015), non è stata selezionata l'opzione del software Risk-net 2.0 "Considera Csat per calcolo del Rischio e delle CSR".

## 8.0 FRAZIONE CRITICA E CSR

Per gli idrocarburi leggeri  $C \leq 12$  e pesanti  $C > 12$  nel terreno, e per gli idrocarburi totali espressi come n-esano in falda, la relativa CSR è determinata secondo il metodo indicato dal Manuale ISPRA, Appendice V, della "frazione critica", che prevede di selezionare la classe MADEP che genera il rischio maggiore con riferimento alla reale presenza di tale classe nella miscela contaminante riscontrata in Sito.

Si ha:

$$CSR_{C < 12} = \min(CSR_{MADEP1} / f_{MADEP1}^{C < 12}; CSR_{MADEP2} / f_{MADEP2}^{C < 12}; \dots; CSR_{MADEPn} / f_{MADEPn}^{C < 12})$$

$$CSR_{C > 12} = \min(CSR_{MADEP1} / f_{MADEP1}^{C > 12}; CSR_{MADEP2} / f_{MADEP2}^{C > 12}; \dots; CSR_{MADEPn} / f_{MADEPn}^{C > 12})$$

$$CSR_{Idrocarburi} = \min(CSR_{MADEP1} / f_{MADEP1}^{acque}; CSR_{MADEP2} / f_{MADEP2}^{acque}; \dots; CSR_{MADEPn} / f_{MADEPn}^{acque})$$

dove:

- $CSR_{C < 12}$  e  $CSR_{C > 12}$  e  $CSR_{idrocarburi}$  sono rispettivamente le CSR relative a idrocarburi leggeri  $C \leq 12$ , idrocarburi pesanti  $C > 12$  e idrocarburi espressi come n-esano;
- $CSR_{MADEPi}$  è la CSR calcolata per la i-esima classe del MADEP;
- $f_{MADEPi}^{C < 12}$ ,  $f_{MADEPi}^{C > 12}$  e  $f_{MADEPi}^{acque}$  sono rispettivamente le frazioni (percentuali) della i-esima classe del MADEP nel frazionamento tipico rispettivamente degli idrocarburi leggeri  $C \leq 12$ , degli idrocarburi pesanti  $C > 12$  e degli idrocarburi totali espressi come n-esano.



## **9.0 CSR E LIMITI DI SOLUBILITÀ**

Per le acque sotterranee, nel caso in cui la CSR calcolata risulta superiore al limite di solubilità del corrispondente contaminante, sono adottate CSR pari al suddetto limite di solubilità.

Per i parametri che presentano in sito concentrazioni superiori ai limiti di solubilità indicati nella banca dati ISPESL-ISS, appurata l'assenza di prodotto surnatante, si procede adottando CSR pari alle concentrazioni rappresentative della sorgente.

## **10.0 CSR INFERIORI ALLE CSC**

Le assunzioni conservative alla base dell'applicazione dell'analisi di rischio di livello 2, e l'utilizzo di parametri chimico fisici e tossicologici associati a scenari di massima esposizione dei bersagli, portano ad ottenere, in alcuni casi, obiettivi di bonifica calcolate (le CSR) addirittura inferiori alle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di riferimento.

Linee guida AR/GdL-MATTM, tenendo conto di quanto indicato al punto 1, indicano che in questi casi è accettabile l'adozione di CSC come obiettivo di bonifica per alcune sostanze, con contestuale applicazione dell'analisi di rischio sito-specifica per le sole sostanze per le quali non si prevede il raggiungimento delle CSC.