

# ANALISI DEL RISCHIO NEI SITI CONTAMINATI

Eleonora Beccaloni, Federica Scaini

*Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma*

## Introduzione

L'analisi di rischio nel contesto internazionale viene utilizzata da molti organismi e per diverse finalità, ad esempio, dalla Direttiva europea REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals*), dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), dall'EFSA (*European Food Safety Authority*), dallo SCHER (*European Committee on Health and Environmental Risks*) e da US EPA-ATSDR (*United States Environmental Protection Agency-Agency for Toxic Substances and Disease Registry*).

Nel contesto delle bonifiche a livello internazionale, negli Stati Uniti d'America e nella maggior parte dei Paesi europei, l'analisi di rischio sanitaria è sempre utilizzata, e in alcuni casi accoppiata all'analisi di rischio ecologica (ambientale), al fine di valutare le priorità di interventi di bonifica e/o a correggere a livello specifico i valori di screening generici. In ogni caso l'analisi di rischio viene utilizzata come uno dei criteri di valutazione, ma non come l'unico criterio di valutazione.

A livello nazionale, in materia di bonifiche dei siti contaminati, l'analisi di rischio comparve per la prima volta nell'ex DM 471/1999 (1) e dava solamente delle linee direttrici di come condurre tale analisi di rischio relativamente ai "Criteri generali per la redazione del progetto di bonifica" (Allegato 4) e di fatto veniva applicata per valutare l'accettabilità o meno del livello di contaminazione residua, non potendo raggiungere con la migliore tecnologia disponibile a costi sostenibili i valori limite definiti nelle Tabelle 1 e 2 dell'Allegato 1.

Il DL.vo 152/2006 s.m.i. (2), nella Parte Quarta "Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati" - Titolo V "Bonifica dei Siti Contaminati", disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati e stabilisce le procedure, i criteri e le modalità per lo svolgimento delle operazioni necessarie per l'eliminazione delle sorgenti dell'inquinamento e comunque per la riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti.

Il Titolo V del sopracitato Decreto prevede, inoltre, l'applicazione della procedura di analisi del rischio quando eseguita l'indagine preliminare di caratterizzazione vengono superate le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) riportate nell'Allegato 5. Verificato ciò si applica l'Allegato 1 ("Criteri generali per l'analisi di rischio sanitario e ambientale sito-specifica"), che definisce gli elementi necessari per la redazione dell'analisi di rischio sanitario-ambientale sito-specifica, applicata in modalità inversa, da utilizzare per la definizione degli obiettivi di bonifica, vale a dire le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR). I livelli di concentrazione così definiti costituiscono i livelli di accettabilità per il sito il cui superamento richiede la messa in sicurezza e la bonifica. L'obiettivo di bonifica sarà differente da sito a sito in base alle specifiche caratteristiche geologiche, idrogeologiche, di fruibilità e di destinazione d'uso dell'area stessa. Contrariamente a quanto previsto dall'ex DM 471/1999 l'analisi di rischio sito-specifica può essere applicata prima, durante e dopo le operazioni di messa in sicurezza o di bonifica.

Secondo le procedure previste nell'ex DM 471/1999 prima e nel DL.vo 152/2006 poi, l'analisi di rischio sito-specifica viene eseguita dal soggetto obbligato responsabile della contaminazione e gli Enti di controllo valutano l'elaborato, che, per mezzo della Conferenza dei

servizi, approvano con o senza prescrizioni. Negli USA dove, per i siti contaminati, è previsto un approccio simile a quello definito dal Testo Unico Ambientale (TUA), l'analisi di rischio viene sviluppata dalla US EPA e non da chi ha l'onere della bonifica, ciò implica una maggiore uniformità di giudizio.

## Procedura di analisi di rischio

L'analisi di rischio rappresenta una procedura avanzata per valutare il grado di contaminazione di un sito e dei rischi per la salute umana e per l'ambiente circostante connessi con l'inquinamento rilevato. Essa costituisce lo strumento più indicato per supportare le strategie di gestione della contaminazione e per quantificare i pericoli legati alla presenza di sostanze inquinanti nei suoli e nelle acque sotterranee in concentrazioni superiori a quelle previste dalla normativa vigente.

La procedura di analisi di rischio codificata da Standard provisional guide for *Risk-Based Corrective Action* - ASTM-PS 104 (3) (ora sostituita da ASTM-E2081) e ripresa dal DL.vo 152/2006 Parte IV–Titolo V e s.m.i. prevede un approccio graduale di approfondimento denominato *Risk-Based Corrective Action* (RBCA). Tale approccio è articolato in tre differenti livelli di approfondimento, che si differenziano fundamentalmente per conservatività, difficoltà di applicazione e rappresentatività sito-specifica.

Il livello di dettaglio è legato allo scopo che ci si prefigge e alla complessità e criticità del sito:

- *Livello 1: risk screening*  
Coincide con una valutazione di screening in cui vengono derivati, sulla base di scenari, modelli e assunzioni conservative generiche, i *Risk Based Screening Level* (RBSL). I valori RBSL sono valori di concentrazione per le diverse matrici ambientali che hanno valore generico e non sito specifico. Se le concentrazioni rappresentative della contaminazione nel sito superano tali valori, gli RBSL possono essere un riferimento per gli obiettivi di bonifica, oppure si può passare al livello 2 di analisi che prevede la caratterizzazione specifica del sito;
- *Livello 2: procedura sito-specifica*  
Consiste in una valutazione sito-specifica in cui sono calcolati i *Site Specific Target Level* (SSTL), che corrispondono ai valori di concentrazione che possono costituire gli obiettivi di bonifica per le matrici contaminate. In questo livello sono usati modelli di trasporto analitici, in cui i dati d'ingresso sono ricavati da indagini ambientali condotte in sito. Qualora alcuni dati di input non siano disponibili, si ricorre a valori riportati in letteratura o a dati validati da studi condotti in contesti ambientali analoghi. Se gli SSTL sono superate dalle concentrazioni rappresentative della contaminazione nel sito, gli SSTL possono essere un riferimento per gli obiettivi di bonifica, oppure si può passare al livello 3 di analisi che prevede l'uso di modelli di simulazione complessi e un maggior numero di dati;
- *Livello 3: procedura approfondita*  
Rappresenta lo stadio più approfondito di analisi di rischio e prevede l'uso di strumenti di calcolo più complessi, costituiti da modelli numerici e stocastici per la simulazione dei fenomeni di trasporto dei contaminanti. L'applicazione dell'analisi di rischio di terzo livello è consentita dalla disponibilità di dati chimici, biologici e fisici specifici del sito necessari alla completa determinazione dei fenomeni di riduzione del carico di contaminante in atto nel sottosuolo.

Nell'elaborazione dell'analisi di rischio, connessa alla contaminazione di un sito, è importante determinare il 'Modello Concettuale del Sito' (MCS). Tale modello è il frutto di indagini e analisi di caratterizzazione del sito e la sua definizione comprende essenzialmente la ricostruzione dei caratteri delle tre componenti principali che costituiscono l'analisi di rischio:

Sorgente → Trasporto → Bersaglio

pertanto devono essere definiti in fase di caratterizzazione dell'area:

– *Sorgenti di contaminazione*

Queste si differenziano in sorgenti primarie, rappresentate dell'elemento che è causa di inquinamento, e sorgenti secondarie identificate invece con il comparto ambientale contaminato (suolo, acqua, aria). Le sorgenti secondarie possono suddividersi in:

- zona insatura, a sua volta distinta in suolo superficiale (profondità fino a 1 m) e suolo profondo (profondità superiori a 1 m)
- zona satura o acqua sotterranea.

In accordo agli standard di riferimento la procedura di analisi di rischio viene applicata esclusivamente alle sorgenti secondarie di contaminazione.

– *Vie di migrazione*

Vengono distinte in base alla sorgente di contaminazione. Per il suolo superficiale si considerano l'ingestione di suolo, il contatto dermico, la volatilizzazione, l'inalazione di polveri e la lisciviazione verso la risorsa idrica sotterranea; nel caso di un suolo profondo vengono attivati i percorsi di volatilizzazione e di lisciviazione in falda; per la zona satura infine la migrazione verso il punto di conformità, cioè il punto "teorico" o "reale" di valle idrogeologico, in corrispondenza del quale devono essere rispettati gli obiettivi di qualità delle acque sotterranee.

– *Bersagli della contaminazione*

Vengono presi in considerazione solo recettori umani, distinti in base alla destinazione d'uso del suolo contaminato, ovvero per aree residenziali/verde pubblico i bersagli sono adulti e bambini mentre per aree industriali/commerciali sono solo adulti (lavoratori).

Il rischio (R) derivante da un sito contaminato è dato dalla seguente espressione:

$$R = E \times T$$

dove E = esposizione, definisce la condizione in cui un composto chimico viene a contatto con il recettore ed è il termine che quantifica la probabilità di contatto degli inquinanti con i bersagli. L'esposizione è pari al prodotto tra la concentrazione del contaminante al punto di esposizione e i fattori di esposizione (tasso di contatto, durata e frequenza di esposizione, peso corporeo, durata della vita, ecc.).

T = tossicità di un composto chimico, stimato mediante studi scientifici condotti da organismi internazionali, fornito sotto forma di valori di potenziali cancerogeni o delle dosi massime assimilabili, a seconda che si tratti di una sostanza cancerogena o non cancerogena.

Il rischio R viene confrontato con i criteri di accettabilità individuali e cumulativi del rischio sanitario, per decidere se esistono o meno condizioni in grado di causare effetti sanitari nocivi.

Il calcolo del rischio si differenzia a seconda che l'inquinante sia cancerogeno oppure non-cancerogeno.

Per quantificare il rischio per la salute umana dovuto all'esposizione alla contaminazione, e valutarne l'accettabilità o la non accettabilità, si devono calcolare i quozienti di pericolo HI

(*Hazard Index*) per le sostanze non cancerogene e i valori di rischio incrementale  $R$  per le sostanze cancerogene:

$$HI = \text{Dose Assunta} / \text{Reference Dose (RfD)}$$

$$R = \text{Dose Assunta} \times \text{Slope Factor (SF)}$$

in cui:

- *Dose Assunta* è la dose media giornaliera assunta e viene espressa come mg/kg·giorno.
- *Reference Dose (RfD)* è espressa in mg/kg giorno e rappresenta la dose massima ammissibile, cioè la dose o concentrazione di sostanza tossica per la quale, in letteratura, non vengono riportati effetti avversi per l'uomo esposto alla sostanza stessa.
- *Slope Factor (SF)* è espresso in (mg/kg giorno)<sup>-1</sup> e rappresenta il potenziale cancerogeno e stima la probabilità incrementale di ammalarsi di cancro nel corso della vita, associata all'assunzione di una dose unitaria di una certa sostanza cancerogena per unità di peso corporeo.

Per le sostanze cancerogene, a differenza di quelle semplicemente tossiche, si ritiene che non esista un valore di soglia al di sotto della quale non vi siano effetti. Ciò a significare che non esiste un livello di esposizione alla sostanza che non ponga una probabilità anche se minima di generare una risposta cancerogena, in pratica non esiste una dose senza rischi.

La comunità scientifica internazionale, tra cui l'agenzia per l'ambiente statunitense US EPA, si è accordata nel considerare tre intervalli per il rischio cancerogeno rispetto alle azioni di bonifica, esse sono:

- $R < 1 \times 10^{-6}$  (1/1000000)  
il rischio è considerato nullo o insignificante e non è richiesta alcuna azione di bonifica
- $1 \times 10^{-6} < R < 1 \times 10^{-4}$  (da 1/1000000 a 1/10000)  
necessità di interventi da valutare caso per caso
- $R > 1 \times 10^{-4}$  (1/10000)  
interventi necessari al fine di riportare i valori di rischio entro l'intervallo di accettabilità.

A livello nazionale, secondo quanto previsto nel Nuovo Testo Unico in campo ambientale (DL.vo 152/2006 e s.m.i.) il rischio per la salute umana è accettabile se sussistono le seguenti condizioni:

- $R$  per singola sostanza  $\leq 10^{-6}$
- $R$  cumulato  $\leq 10^{-5}$
- $HI$  per singola sostanza  $\leq 1$  (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile)
- $HI$  cumulato  $\leq 1$  (non c'è rischio, in caso contrario si possono avere effetti non cancerogeni ma patologici sulla popolazione più sensibile).

Lo sviluppo dell'analisi di rischio viene condotto utilizzando software commerciali, in Italia non è disponibile un software nazionale di riferimento per cui ad oggi i programmi più comunemente utilizzati sono il *Risk-Based Corrective Action (RBCA) Tool Kit* e il *RISK-net "RBCA Tool Kit"* e il "RISKNET".

## Criteri generali di applicazione dell'analisi di rischio

La procedura sopra descritta necessita di una notevole preparazione da parte dell'operatore sia sul significato dell'analisi di rischio sia come esperienza sulle modalità di applicazione dei software commerciali oggi disponibili.

Al fine di ottenere dei risultati accettabili si deve porre particolare attenzione e cura nella scelta dei parametri da utilizzare nell'elaborazione dell'analisi di rischio, rispettando i criteri di conservatività propri della procedura di analisi di rischio e del concetto di sito-specificità.

Per evitare difformità sulla scelta dei valori di *input* per i parametri da utilizzare, nel 2003 l'ex APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e dei servizi Tecnici), oggi ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), ha istituito un Gruppo di Lavoro, composto da tecnici delle ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale), dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), dell'ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro) (oggi INAIL – Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro). Il principale obiettivo del gruppo di lavoro è stato lo sviluppo di uno standard tecnico per l'applicazione dell'analisi di rischio ai siti contaminati allo scopo di avere un quadro tecnico comune.

Il Gruppo di Lavoro ha elaborato delle linee guida dal titolo "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" disponibili sul sito ISPRA (4).

Il documento è composto da una parte descrittiva generale che comprende la costruzione del modello concettuale, il calcolo del rischio e gli obiettivi di bonifica sito-specifici, l'analisi critica dei software oggi commercialmente disponibili e i criteri di validazione. In allegato al documento si ritrovano 18 appendici che trattano in modo specifico gli argomenti d'interesse.

Per il calcolo del rischio o per il calcolo degli obiettivi di bonifica delle sostanze contaminanti rilevate nel sito, i modelli necessitano di informazioni attinenti ai parametri sito-specifici dell'area contaminata (es. tipologia di contaminante, dimensione della sorgente, caratteristiche del suolo) ricavati dall'esecuzione del piano di caratterizzazione; dei parametri di esposizione derivanti dal Modello Concettuale e dall'uso dell'area (commerciale/residenziale); dalle caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche delle sostanze stesse.

I software riportano nei loro database le caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche di un discreto numero di sostanze contaminanti, ma da un'analisi critica effettuata è stato evidenziato che, per lo stesso inquinante, le banche dati contenevano spesso valori estremamente diversi tra loro, per cui è stato necessario predisporre un'unica banca dati che potesse rappresentare un riferimento univoco a livello nazionale.

Nel 2005, l'ISS e l'ISPESL (ora INAIL), nell'ambito delle attività del Gruppo di Lavoro istituito dall'ISPRA, hanno standardizzato le informazioni necessarie per l'elaborazione dell'analisi di rischio, nel corso degli anni la Banca Dati è stata aggiornata più volte e l'ultimo aggiornamento (marzo 2015) è disponibile nel sito del Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria (AMPP) dell'ISS all'indirizzo: <http://www.iss.it/ampp/?lang=1&id=401&tipo=7>.

La Banca Dati ISS-INAIL aggiornata è costituita da un file Excel diviso in quattro sezioni in cui sono riportate, per ogni contaminante, i valori delle proprietà chimico-fisiche, i valori delle proprietà tossicologiche, i riferimenti bibliografici e l'elenco delle modifiche apportate rispetto alla precedente versione 2014; inoltre è accompagnata da un Documento di supporto, in cui sono descritti i criteri adottati per la sua predisposizione e sono fornite indicazioni utili per un corretto utilizzo.

## Criticità emerse dall'applicazione dell'analisi di rischio

A livello nazionale l'analisi di rischio è utilizzata con modalità molto rigide e non viene applicata per individuare le priorità degli interventi di bonifica, bensì unicamente per derivare, a livello sito specifico, i valori di intervento che coincidono anche con l'obiettivo per la bonifica.

Sempre a livello nazionale l'analisi di rischio, in base al DL.vo 4/2008 (5), viene applicata solo per i suoli, poiché per le acque sotterranee il legislatore ha posto al confine del sito inquinato le Concentrazioni Soglia di Rischio uguali alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione.

Per le acque sotterranee l'analisi di rischio può essere applicata per valutare la fruibilità del sito inquinato in attesa di ultimare la bonifica di detta matrice.

L'analisi di rischio di livello 2 (sito-specifica) oggi adottata nelle procedure di bonifica, si basa sui seguenti assunti:

- si riferisce a un mezzo poroso e isotropo a porosità primaria;
- la concentrazione degli inquinanti sia uniformemente distribuita nella matrice ambientale considerata;
- si mantenga costante la concentrazione degli inquinanti per tutto il periodo di esposizione.

Le modalità di applicazione, le assunzioni sopra elencate e la mancanza ancora oggi di un unico software “validato” da utilizzare a livello nazionale producono, in diversi casi, delle criticità e delle difformità di trattamento in situazioni analoghe sia a livello sanitario che ambientale.

Nel 2014 il Ministero dell'Ambiente del Territorio e del Mare (MATT) ha istituito un Gruppo di Lavoro con l'obiettivo di definire dei criteri e delle linee guida di riferimento per affrontare in modo univoco le problematiche emerse dall'elaborazione dell'analisi di rischio. Al Gruppo di Lavoro hanno fatto parte esperti delle Regioni, delle Agenzie Regionali e Provinciali (ARPA/APPA, Agenzia Provinciale per la Protezione Ambientale), ISPRA, ISS, INAIL e Ministeri della Salute e dello Sviluppo Economico.

Le linee guida prodotte dal Gruppo di Lavoro sono state pubblicate a novembre 2014 sul sito del MATT (6).

I temi trattati sono stati:

1. definizione degli obiettivi di bonifica in presenza di  $CSR < CSC$ ;
2. utilizzo dei dati di campo per la verifica dei risultati ottenuto con l'applicazione modellistica;
3. attivazione del percorso di lisciviazione in falda;
4. definizione degli obiettivi di bonifica in presenza di concentrazioni superiori alla concentrazione di saturazione ( $C_{sat}$ ).

Un'altra problematica derivante dall'applicazione dell'analisi di rischio è legata al percorso inalatorio di *Vapour intrusion* da suolo e/o da falda che determina un elevato rischio per gli ambienti confinati (*indoor*).

A riguardo è stata definita dall'ISS congiuntamente con l'INAIL, AULSS 12 Veneziana e ARPAV (Agenzia Regionale per la prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto), una procedura e dei criteri, atti a verificare il livello di rischio sanitario per le Sostanze Volatili (SV), di natura organica e inorganica, quando risulti necessario prevedere l'attivazione di specifiche campagne di monitoraggio della qualità dell'aria indoor e outdoor “Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati” – settembre 2014, disponibile sul sito del Dipartimento AMPP alla sezione “Ambiente e Salute” (7).

## Bibliografia

1. Italia. Decreto Ministeriale 25 ottobre 1999, n.471. Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni. *Gazzetta Ufficiale* n. 293 del 15-12-1999 - *Supplemento Ordinario* n. 218.
2. Italia. Decreto legislativo 3 aprile 2006 n.152. Norme in materia ambientale. *Gazzetta Ufficiale* n. 88 del 14 aprile 2006 - *Supplemento Ordinario* n. 96.
3. ASTM. *Standard guide for risk based corrective actions. Report PS-104-98*. (Withdrawn 2000). West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials International; 1998.
4. APAT. *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*. Roma: Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici; 2008. Disponibile all'indirizzo: <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/siti-contaminati-02marzo08.pdf>; ultima consultazione 21/10/2015.
5. Italia. Decreto legislativo 16 gennaio 2008, n. 4. Ulteriori disposizioni correttive e integrative del Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale. *Gazzetta Ufficiale* n. 24 del 29 gennaio 2008 - *Suppl. Ordinario* n. 24/L.
6. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del mare. Linee-guida sull'Analisi di Rischio ai sensi del DLgs. 152/2006 e ss.mm.ii. Roma: MATT; 2014. Disponibile all'indirizzo: [http://www.bonifiche.minambiente.it/contenuti%5Cgruppi%5CADR%5C29706.18.11.14\\_TRI-VII.pdf](http://www.bonifiche.minambiente.it/contenuti%5Cgruppi%5CADR%5C29706.18.11.14_TRI-VII.pdf); ultima consultazione 23/10/2015.
7. Istituto Superiore di Sanità, INAIL, AULSS 12 Veneziana, APAV. *Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati. Sito di Venezia – Porto Marghera*. 2014. Disponibile all'indirizzo: [http://www.iss.it/binary/iasa/cont/Protocollo\\_per\\_monitoraggio\\_aria\\_indoor\\_outdoor\\_nei\\_siti\\_contaminati.pdf](http://www.iss.it/binary/iasa/cont/Protocollo_per_monitoraggio_aria_indoor_outdoor_nei_siti_contaminati.pdf); ultima consultazione 22/10/2015.