

Criteri di Calcolo degli Obiettivi di Bonifica Sito-Specifici

Renato Baciocchi
Università di Roma "Tor Vergata"

Obiettivi di Bonifica

Calcolo degli Obiettivi 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.

Obiettivi di Bonifica

Calcolo degli Obiettivi Sito-Specifici

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.

Obiettivi di Bonifica

Calcolo dell'Esposizione Accettabile

Il primo step per 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.

$$E_{acc} = \frac{TR}{SF}$$

sostanze cancerogene

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

(tossiche)

sostanze

non

cancerogene

Obiettivi di Bonifica

Calcolo della Concentrazione al Punto di Esposizione

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

$$C_{poe,acc} = \frac{E_{acc}}{EM}$$

EM è la portata effettiva di esposizione.

Obiettivi di Bonifica

Modalità di Esposizione per tipo di Sorgente

Tabella 4.1 – Modalità di esposizione per ciascuna sorgente di contaminazione

SORGENTE DI CONTAMINAZIONE	TIPO DI ESPOSIZIONE
SUOLO SUPERFICIALE	<ul style="list-style-type: none"> • Contatto dermico • Ingestione di suolo • Inalazione di vapori outdoor e indoor • Inalazione di polveri outdoor e indoor
SUOLO PROFONDO	<ul style="list-style-type: none"> • Inalazione di vapori outdoor e indoor
FALDA(*)	<ul style="list-style-type: none"> • Inalazione di vapori outdoor e indoor

(*) Per la falda la $C_{poe, acc}$ deve essere necessariamente posta pari alla corrispondente CSC o al corrispondente limite proposto da ISS.

Obiettivi di Bonifica

Calcolo degli Obiettivi di Bonifica

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) a mezzo della seguente relazione:

$$CSR = \frac{C_{poe,acc}}{FT}$$

Obiettivi di Bonifica

Calcolo degli Obiettivi di Bonifica

Unendo le formule dei tre step della procedura illustrata si può arrivare a definire la concentrazione soglia di rischio (CSR) come:

$$CSR = \frac{C_{poe,acc}}{FT} = \frac{E_{acc}}{EM \cdot FT} = \frac{TR}{SF \cdot EM \cdot FT} \quad \text{per} \quad \text{sostanze} \\ \text{cancerogene}$$

$$CSR = \frac{C_{poe,acc}}{FT} = \frac{E_{acc}}{EM \cdot FT} = \frac{THQ \cdot RfD}{EM \cdot FT} \quad \text{per} \quad \text{sostanze} \quad \text{non} \\ \text{cancerogene}$$

Obiettivi di Bonifica

Tabella 4.4 – Formule per il calcolo delle CSR per singole vie d'esposizione per sostanze cancerogene per l'ambito residenziale e ricreativo (rischio per l'uomo)

CSR PER IL RICETTORE UMANO – SOSTANZE CANCEROGENE AMBITO RESIDENZIALE E RICREATIVO		
SORGENTE	TIPO DI ESPOSIZIONE	ON-SITE ⁽⁴⁾ E OFF-SITE
SUOLO SUPERFICIALE	Ingestione suolo	$CSR_{(soil/ingest)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ing} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{kg}{mg} \cdot EM_{(ing/soil)}}$
	Contatto dermico	$CSR_{(soil/derm)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ing} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{kg}{mg} \cdot EM_{(cont/soil)}}$
	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{(soil/ingestO)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot VF_{in} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{(soil/ingestInd)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot VF_{sup} \cdot ADF}$
	Inalazione particolato outdoor	$CSR_{(soil/ingestP)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot PEF \cdot ADF}$
SUOLO PROFONDO	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{(soil/ingestO)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot VF_{soil} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{(soil/ingestInd)} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot VF_{sup} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot ADF}$
FALDA	Inalazione di vapori indoor	$CSR_{(fald/ind)} \left[\frac{mg}{L \cdot (l/20)} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot VF_{sup} \cdot ADF}$
	Inalazione di vapori outdoor	$CSR_{(fald/soil)} \left[\frac{mg}{L \cdot (l/20)} \right] = \frac{TR}{SF_{ins} \cdot EM_{(soil/soil)} \cdot VF_{soil} \cdot ADF}$

Obiettivi di Bonifica

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	$CSR_{SuoloSuperf} \left[\frac{mg}{kg \cdot metro} \right] = \frac{CSC_{Falda} \times DAF}{LF_{ss}} \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$
	SUOLO PROFONDO	Lisciviazione in falda	$CSR_{SuoloProf} \left[\frac{mg}{kg \cdot metro} \right] = \frac{CSC_{Falda} \times DAF}{LF_{sp}} \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$
	FALDA	Trasporto in falda	$CSR_{Falda} \left[\frac{mg}{L \cdot H^2 O} \right] = CSC_{Falda} \times DAF \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$

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

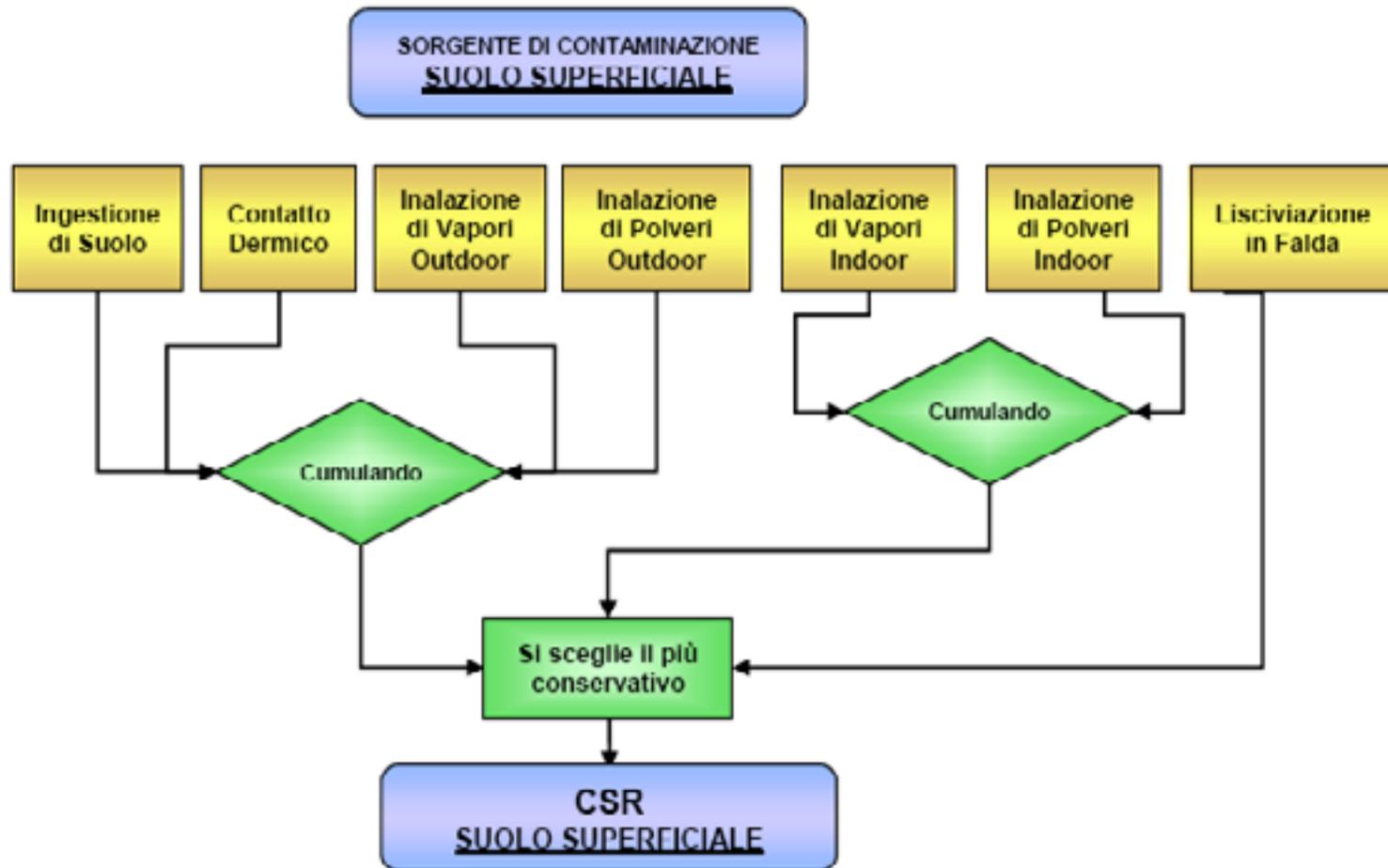
CSR per più vie di Esposizione

Suolo Superficiale

Per il **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

CSR per più vie di Esposizione

Suolo Superficiale



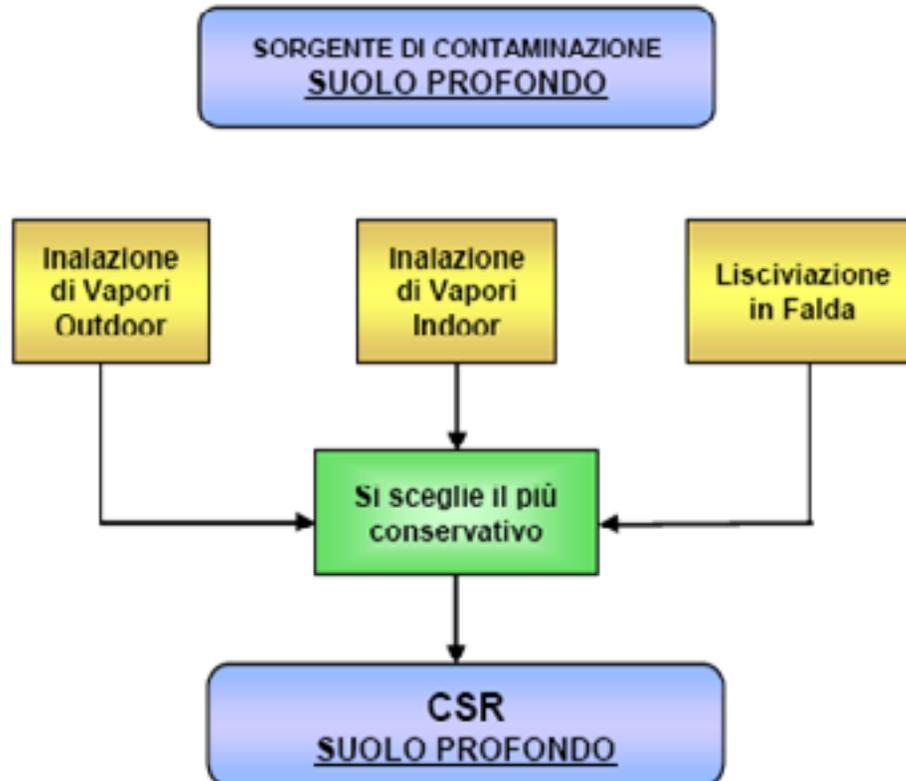
CSR per più vie di Esposizione

Suolo Profondo

Per il **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.

CSR per più vie di Esposizione

Suolo Profondo



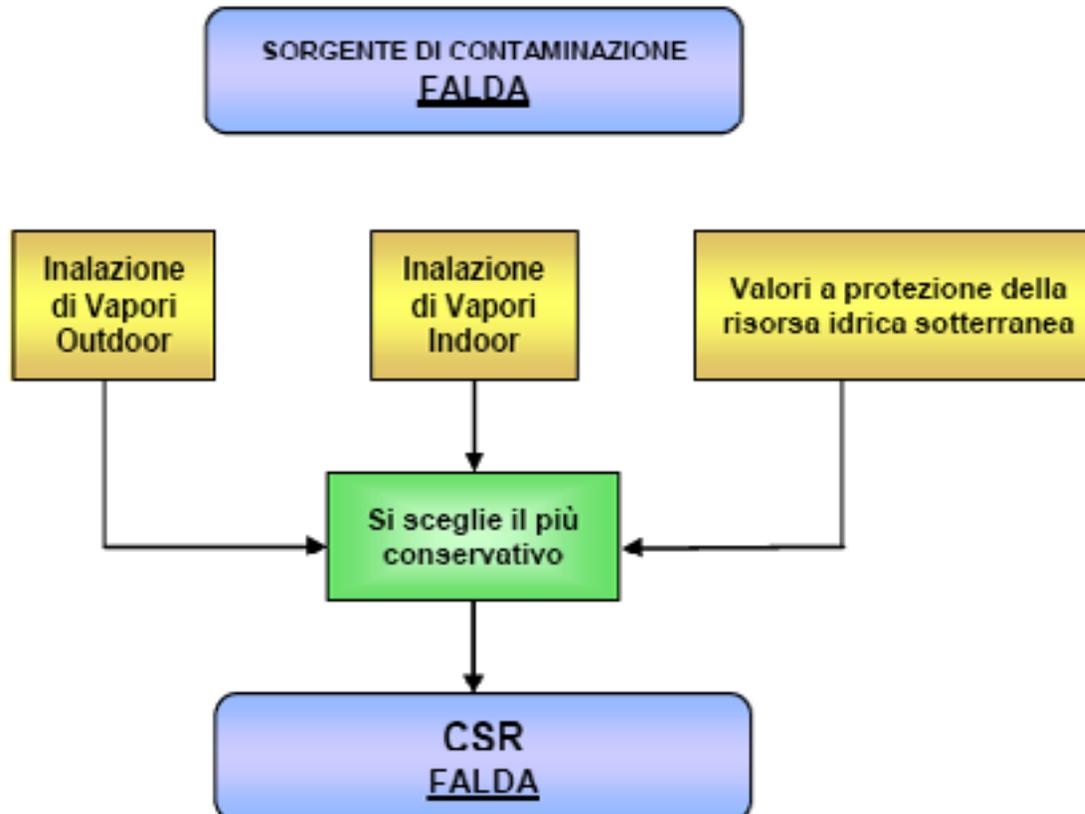
CSR per più vie di Esposizione

Falda

Per la **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 hanno luogo in ambienti aperti (outdoor) e le CSR per ingestione d'acqua, che va posta pari alla CSC così come definita dalla normativa vigente

CSR per più vie di Esposizione

Falda



CSR per più vie di Esposizione

Considerazioni

Tale approccio tecnico, che è stato condiviso dai componenti del gruppo di lavoro per la revisione 1 dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati", e che è conforme a quanto riportato nel Dlgs 04/08, è scaturito dalle seguenti considerazioni.

L'applicazione dell'analisi di rischio sanitario-ambientale (rischio per l'uomo) per il calcolo degli obiettivi di bonifica relativi alle acque sotterranee potrebbe risultare in contrasto con il perseguimento degli obiettivi di qualità stabiliti dalla Direttiva 2000/60, in quanto l'assunzione di CSR per le acque sotterranee potrebbe comportare l'ammissione di aree con acque di qualità non conforme con il principio di multifunzionalità, anche al di fuori del sito contaminato.

Si demanda comunque agli Enti di Controllo competenti la verifica con i Piani di Tutela Regionali anche effettuando valutazioni diverse sulla base delle conoscenze specifiche e delle informazioni disponibili, secondo il principio di cautela.

CSR per più vie di Esposizione

AMBITO RESIDENZIALE - RICETTORI ON-SITE ^(*) E OFF-SITE	
SUOLO SUPERFICIALE	SOSTANZE NON CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)
	$CSR_{SuoloSupO} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{THQ}{\frac{(EM_{InqSBan} + EM_{ConDBan}) \cdot 10^{-6} \frac{Kg}{mg}}{RfD_{Inq}} + \frac{EM_{InqOBan} (VF_{In} + PEF)}{RfD_{Inq}} \cdot ADF}$
	$CSR_{SuoloSupInal} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{THQ \cdot RfD_{Inq}}{EM_{InalBan} \cdot (VF_{Inq} + PEF_{In}) \cdot ADF}$
	$CSR_{SuoloSupLF} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{CSC_{Faldo} \cdot DAF}{LF_{In}} \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$
	SOSTANZE CANCEROGENE (SCEGLIENDO IL VALORE MINORE)
	$CSR_{SuoloSupO} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Inq} \cdot \frac{(EM_{InqSBan} + EM_{ConDBan}) \cdot 10^{-6} \frac{Kg}{mg}}{mg} + [SF_{Inq} \cdot \frac{EM_{InqOBan} (VF_{In} + PEF)}{mg}] \cdot ADF}$
$CSR_{SuoloSupInal} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{TR}{SF_{Inq} \cdot EM_{InalBan} \cdot (VF_{Inq} + PEF_{In}) \cdot ADF}$	
$CSR_{SuoloSupLF} \left[\frac{mg}{kg \cdot anno} \right] = \frac{CSC_{Faldo} \cdot DAF}{LF_{In}} \times 10^{-3} \frac{mg}{kg}$	

CSR per Additività di Sostanze

Calcolo degli Obiettivi

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 ($HQ_{CUM}>1$).

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 per Additività di Sostanze

Calcolo degli Obiettivi

Tale riduzione, a giudizio degli Enti di Controllo e sulla base delle suddette indicazioni, potrà essere estesa a tutti i contaminanti presenti, adottando le seguenti equazioni:

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{TR_{CUM}}{TR_{IND}^{TOT}}$$

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{HQ_{CUM}}{HQ_{IND}^{TOT}}$$

CSR per Additività di Sostanze

Calcolo degli Obiettivi

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{TR_{CUM}}{TR_{IND}^{TOT}}$$

CSR = Concentrazione soglia di rischio individuale del generico inquinante;

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.

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

CSR per Addittività di Sostanze

Calcolo degli Obiettivi

$$CSR_{CUM} = CSR \frac{HQ_{CUM}}{HQ_{IND}^{TOT}}$$

CSR = Concentrazione soglia di rischio individuale del generico inquinante;

HQ_{CUM} = Hazard quotient per esposizione a più sostanze

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

$$HQ_{IND}^{TOT} = \sum \frac{EM \cdot FT \cdot CSR}{RfD}$$