

INTERVENTI FORMATIVI IN MATERIA DI ECOREATI E DELITTI CONTRO L'AMBIENTE EX L. 68/2015 - CIG 9050193785 - CUP H31H16000030008 - 2021/D.01028

MODULO 10 - LE POSSIBILI CAUSE DI INQUINAMENTO AMBIENTALE
– FOCUS SU “INQUINAMENTO DEL SUOLO E BONIFICA”

- DOTT.SSA GIUSEPPINA OLIVA -

LE POSSIBILI CAUSE DI INQUINAMENTO AMBIENTALE FOCUS SU “INQUINAMENTO DEL SUOLO E BONIFICA”



**Introduzione al corso e
quadro normativo di riferimento**

Dott.ing. G. Oliva
goliva@unisa.it

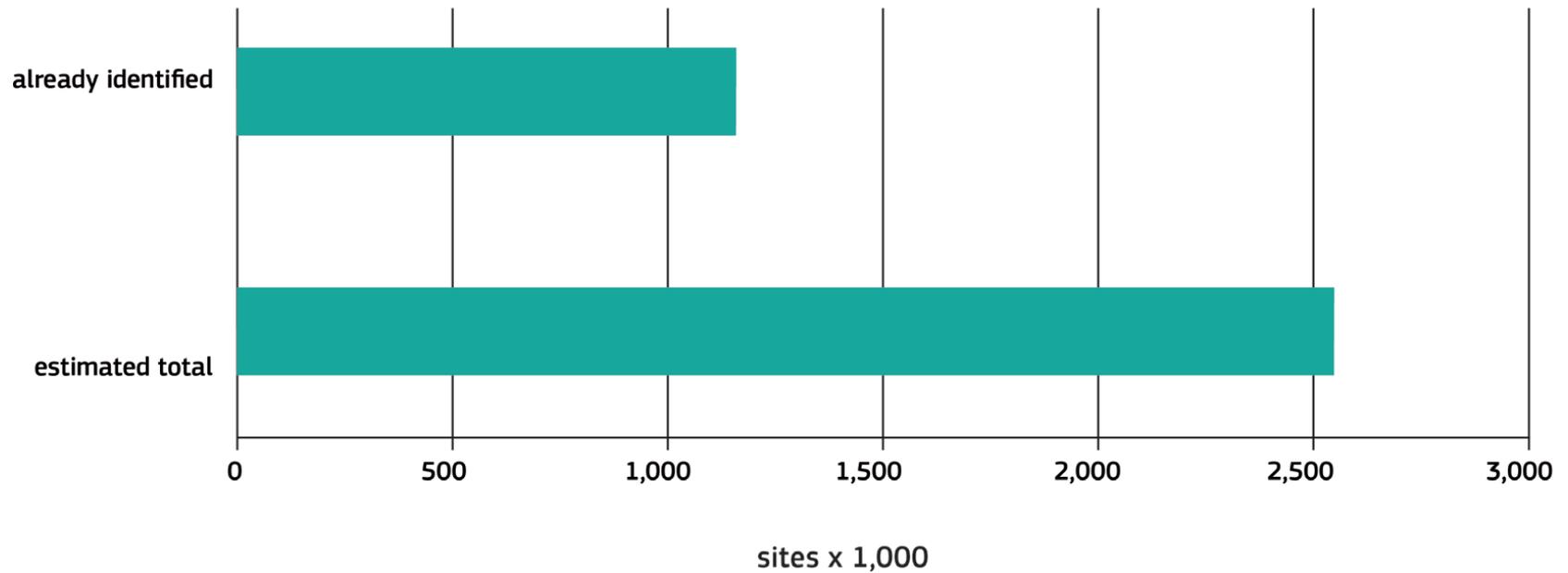
Siti contaminati



... aree nelle quali, in seguito ad attività antropiche, pregresse o in corso, è stata **accertata** un'**alterazione** delle caratteristiche **qualitative** delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque sotterranee tale da rappresentare un **rischio** per la salute umana.

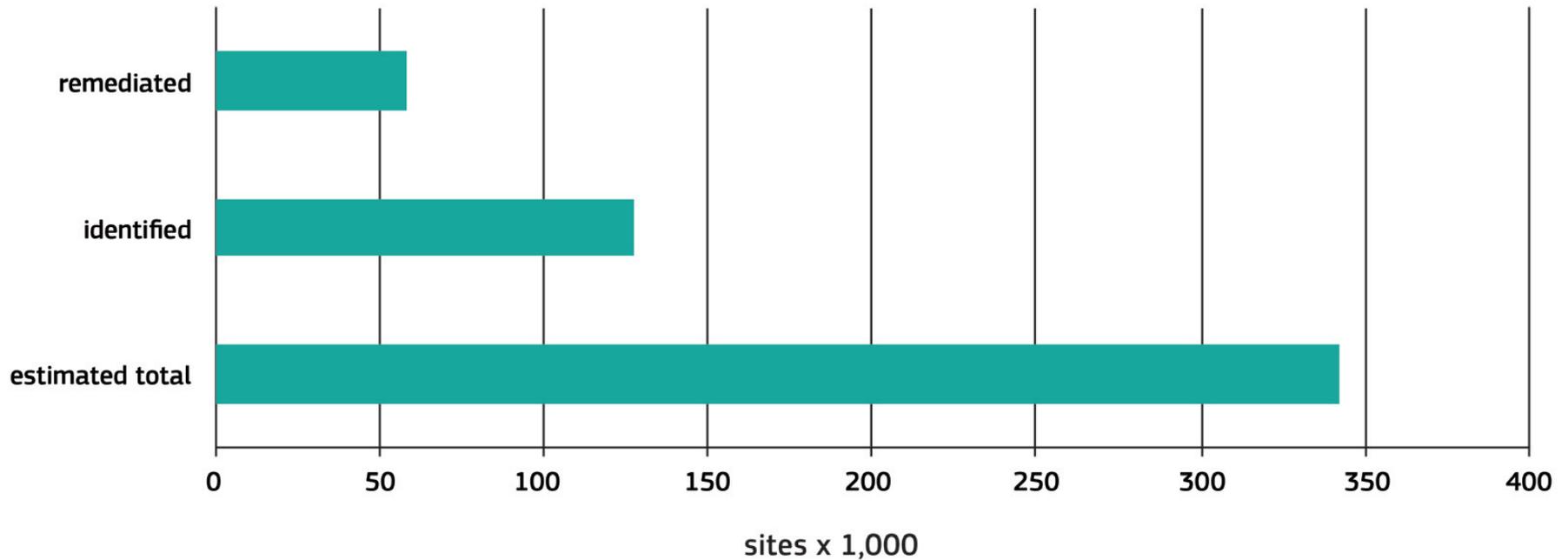
La situazione in Europa

Siti potenzialmente contaminati ...



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

La situazione in Europa *... e siti contaminati*



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

Attività antropiche causa di contaminazione

Smaltimento incontrollato di rifiuti



Attività industriali o minerarie dismesse

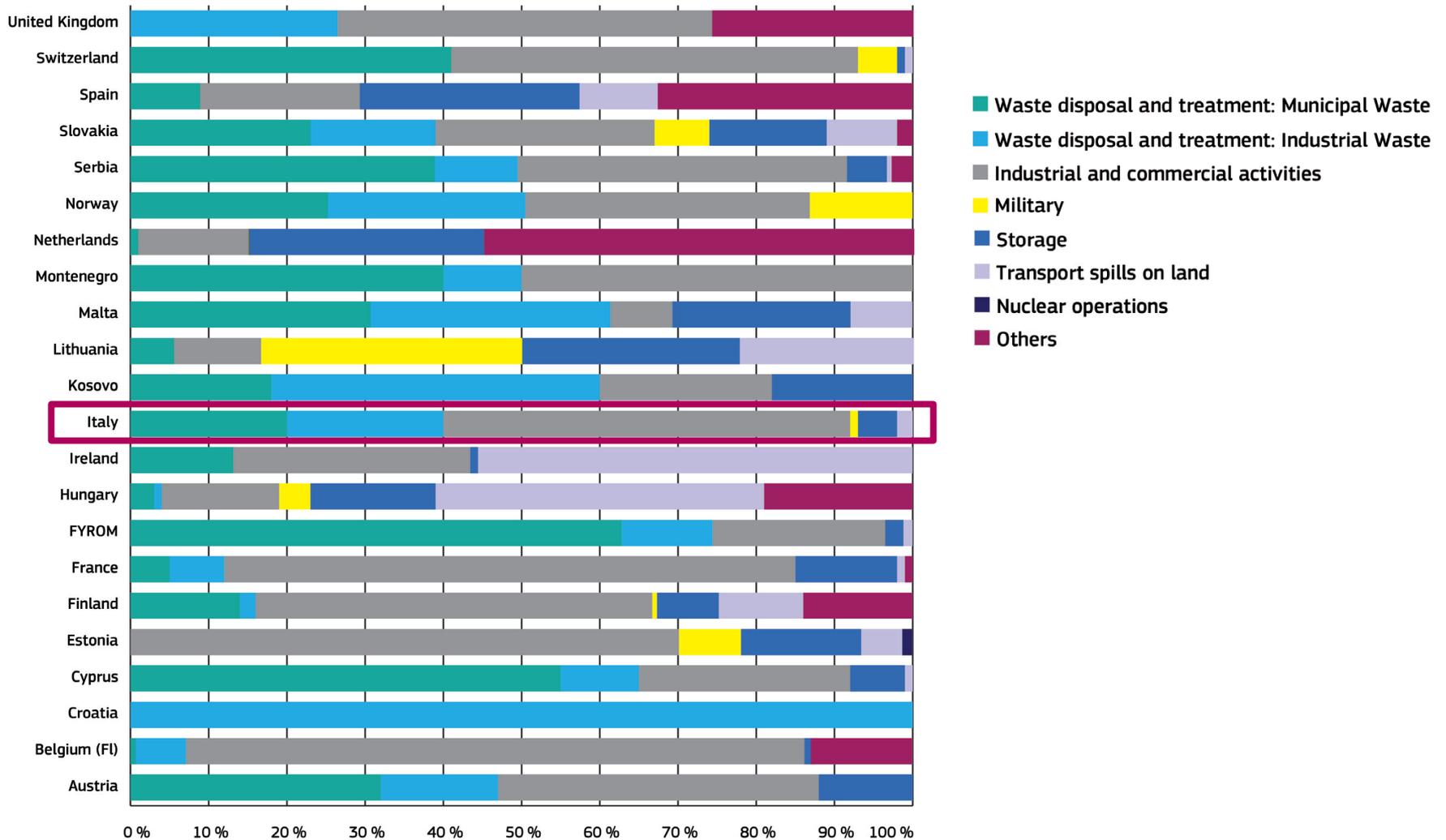


Rilasci cronici o accidentali nel sottosuolo



Aree agricole

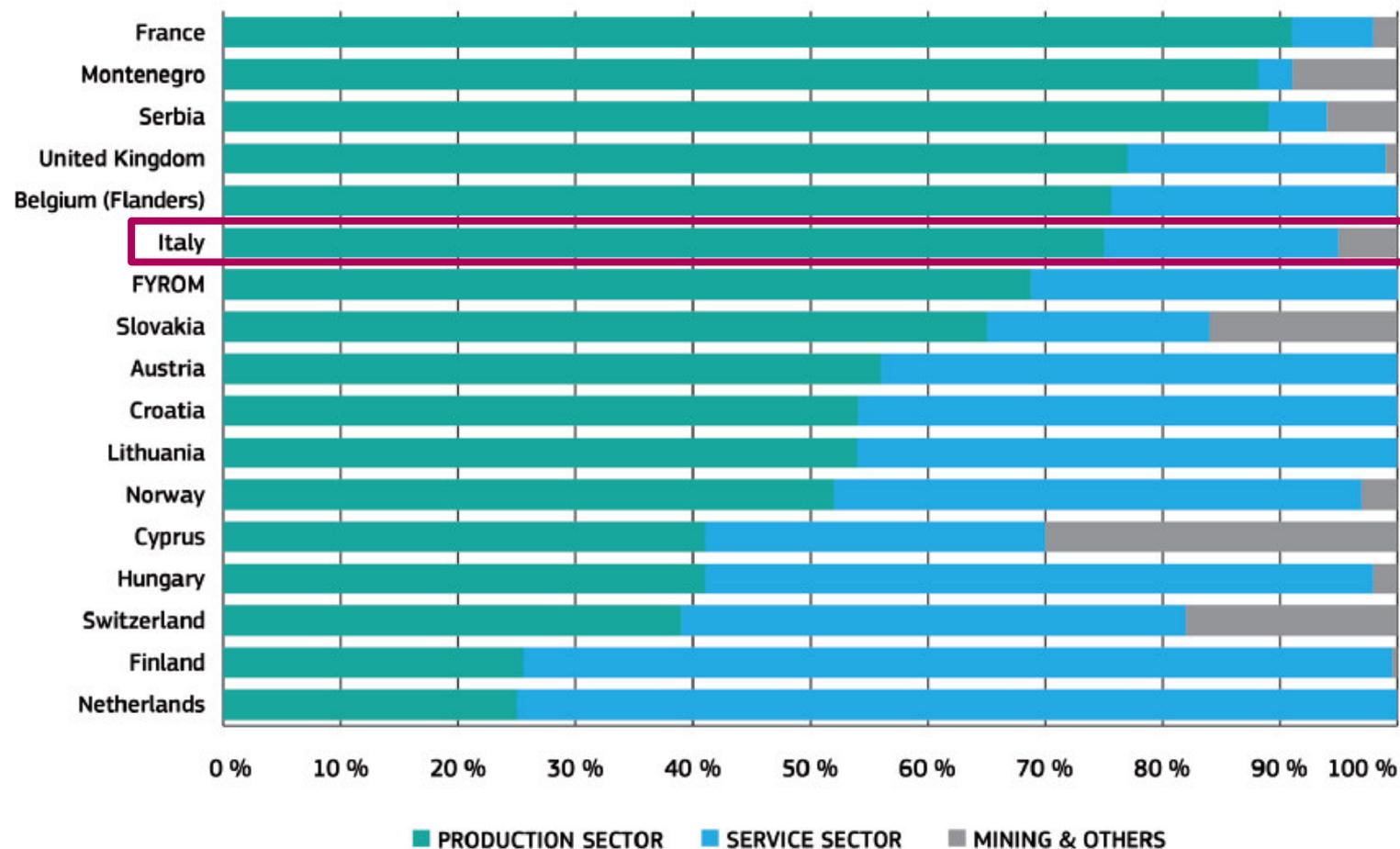
Attività antropiche causa di contaminazione



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

Attività antropiche causa di contaminazione

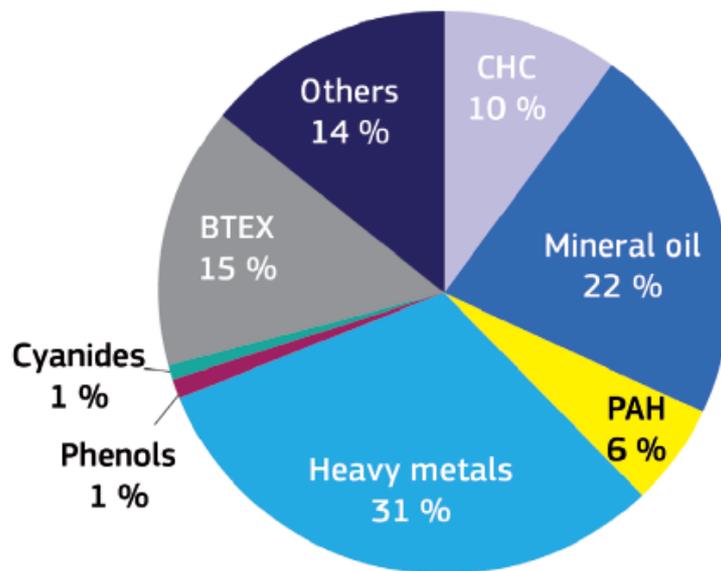
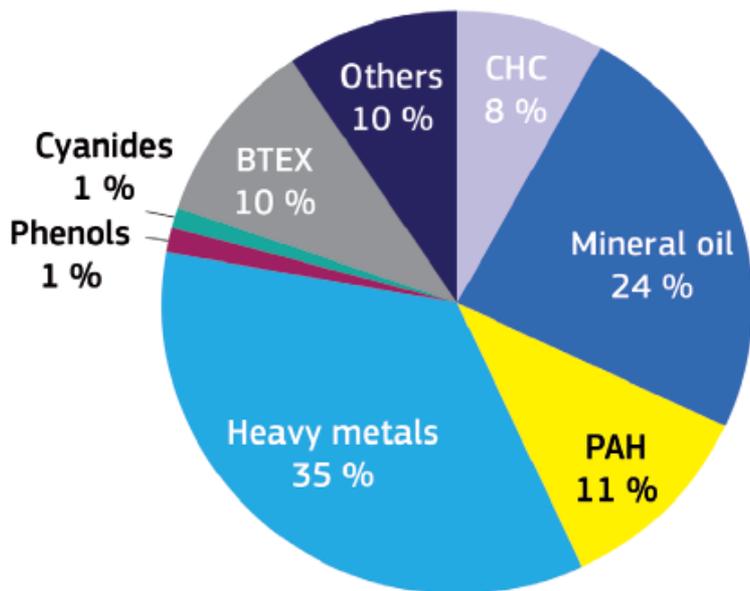
I settori produttivi



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

I contaminanti rinvenuti più frequentemente

Nel suolo ...



... e nelle acque sotterranee

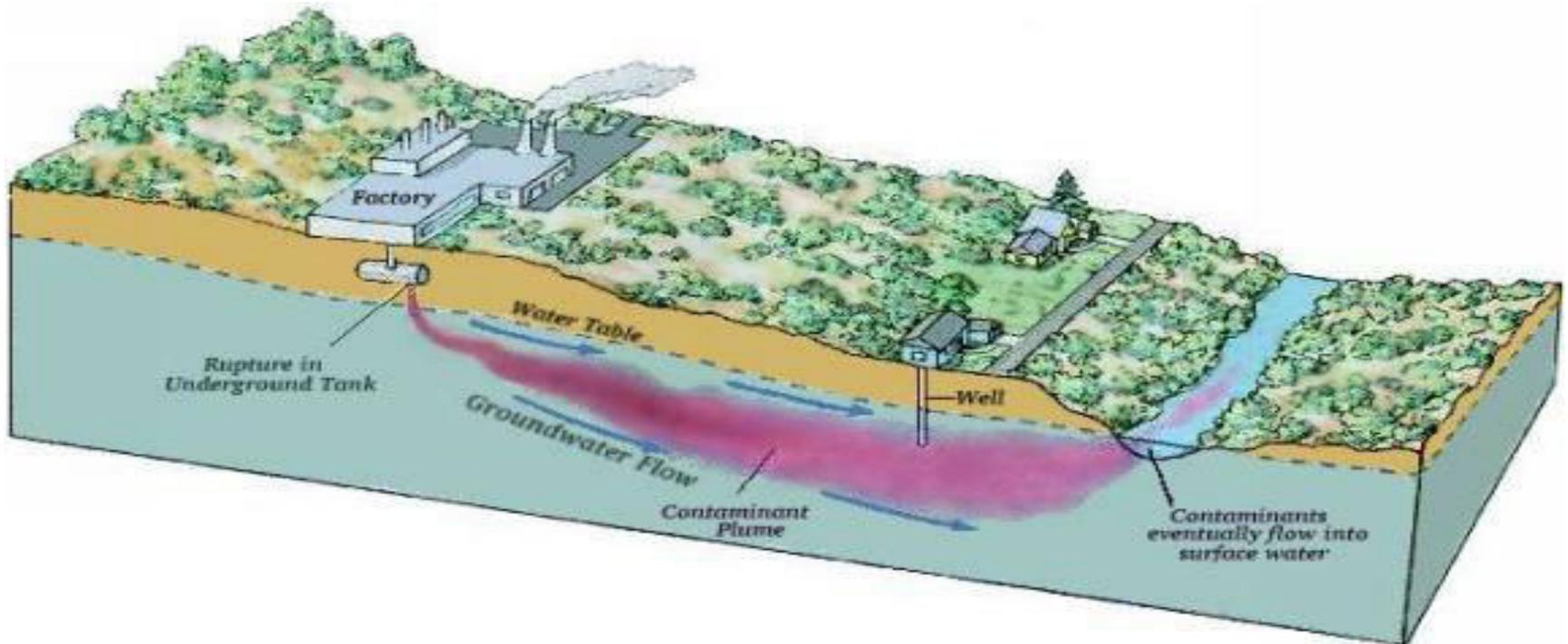
[European Commission Joint Research Centre, 2014]

Il fenomeno della contaminazione

SORGENTE

percorso

BERSAGLI



Definizioni e fonti di contaminazione

- L' **inquinamento** è un evento che si verifica quando sostanze che derivano da attività antropiche sono introdotte nell'ambiente causandone alterazioni delle caratteristiche fisiche, chimiche, biologiche ed estetiche.
- Un **contaminante** è una qualsiasi sostanza che altera gli equilibri naturali.
- Le principali **fonti** di contaminazione dell'ambiente sono riconducibili a:
 - ✓ **fenomeni naturali** (eruzioni vulcaniche, incendi, ecc.)
 - ✓ **fenomeni antropici**, legati ad **attività industriali** (produzione e/o lavorazione di plastica, vernici, pesticidi, carta, tessuti, metalli, combustibili, ecc.), **smaltimento dei rifiuti**, **pratiche agricole** (uso di pesticidi o fertilizzanti, uso dei fanghi di depurazione)

Definizioni e fonti di contaminazione

Conoscere le *proprietà* dei contaminanti ...

... perché



- ✓ Le ***proprietà chimico-fisiche*** e la ***configurazione molecolare*** dei contaminanti governano la ***ripartizione*** delle sostanze tra le fasi solida, liquida e gassosa, influenzandone la ***distribuzione tra*** le diverse ***matrici ambientali***.
- ✓ La ***tossicità*** influenza l'***impatto*** del contaminante sull'ambiente e sulla salute pubblica e, quindi, il rischio sanitario ambientale per gli elementi esposti.
- ✓ Le ***caratteristiche chimico-fisiche e biologiche*** indirizzano, inoltre, a parità di altre condizioni (tipologia e qualità delle matrici ambientali, ...), la scelta delle ***tecnologie di intervento***.

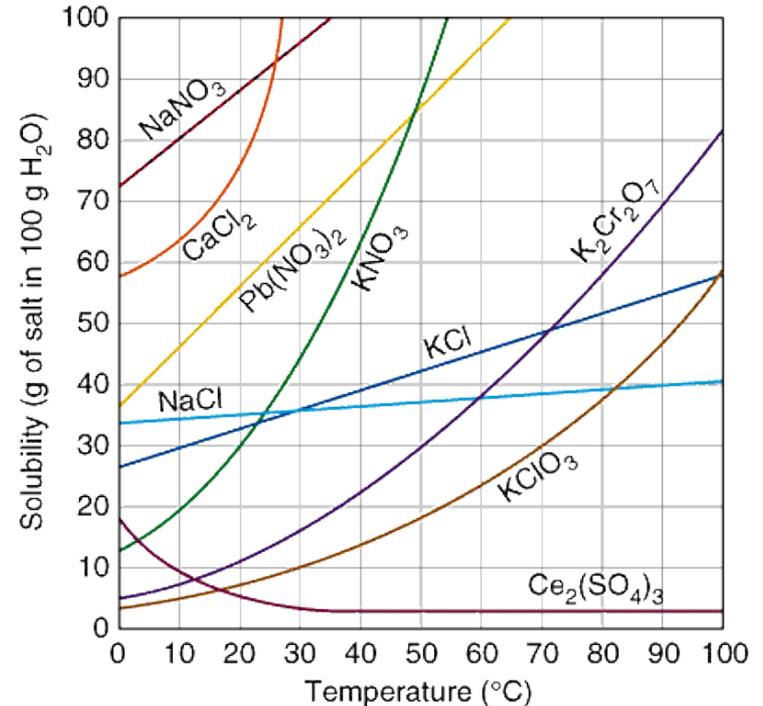
I contaminanti: proprietà chimico-fisiche

- Il comportamento dei contaminanti nell'ambiente dipende dalla **tossicità** e dalle proprietà chimico-fisiche, che determinano **mobilità**, **biodisponibilità**, tra cui:
 - ✓ Stato fisico (temperatura di fusione, temperatura di ebollizione)
 - ✓ Volatilità (pressione di vapore, costante di Henry)
 - ✓ Solubilità
 - ✓ Densità
 - ✓ Coefficienti di partizione solido/liquido
 - ✓ Coefficiente di diffusione aria/acqua
- Ai fini dell'analisi di rischio, tali proprietà sono fondamentali per la stima dei fattori di trasporto.

Proprietà dei contaminanti

Solubilità

- La **solubilità** di un composto in acqua (espressa in *mg/l* o *ppm*) rappresenta la massima quantità di tale composto che si scioglie ad una determinata temperatura in un volume unitario di acqua in condizioni di equilibrio e fornisce indicazioni sulla **mobilità** e la **distribuzione nell'ambiente** di una specie chimica.
- I parametri che incidono sulla solubilità sono: temperatura, salinità, pH, sostanza organica disciolta, peso molecolare del soluto.



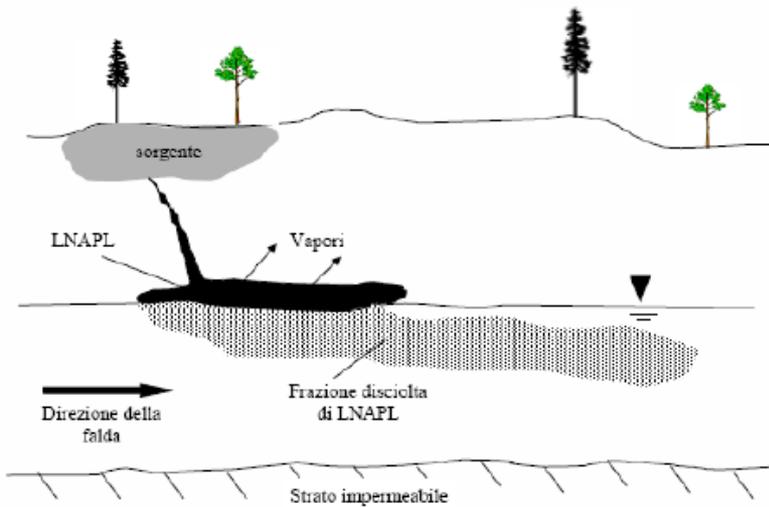
Proprietà dei contaminanti

I composti scarsamente miscibili in acqua

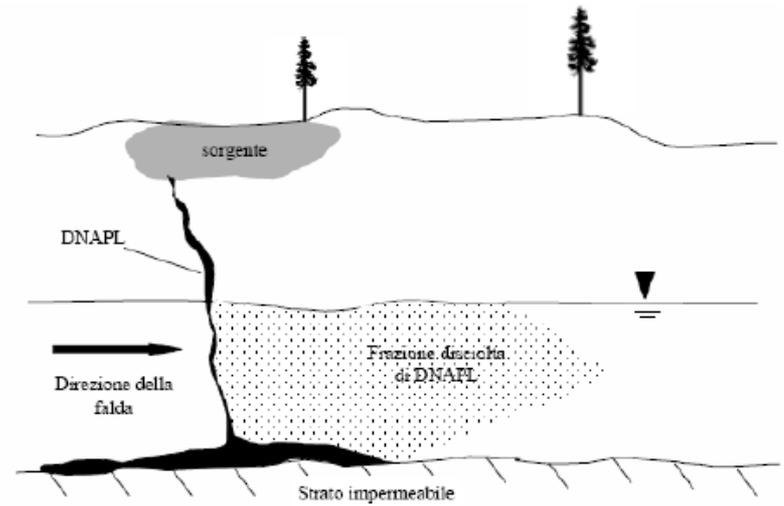
- I composti miscibili vengono trasportati in soluzione nell'acquifero secondo le leggi di dispersione idrodinamica
- Le sostanze scarsamente miscibili in acqua, identificate con l'acronimo NAPL (Non Aqueous Phase Liquid), si distinguono in:
 - ✓ Light NAPL (**LNAPL**), meno densi dell'acqua. Essi tendono a galleggiare sulla superficie della falda, e a spostarsi lentamente in direzione del flusso di falda
 - ✓ Dense NAPL (**DNAPL**), più densi dell'acqua. Essi sprofondano nell'acquifero fino a raggiungere un orizzonte poco permeabile.

Proprietà dei contaminanti

Densità: i composti scarsamente miscibili in acqua



LNAPL



DNAPL

LNAPL	DNAPL
Benzene	Tricloroetilene (TCE)
Toluene	Pentacloroetilene (PCE)
Idrocarburi combustibili	PCBs
Olii	

Proprietà dei contaminanti

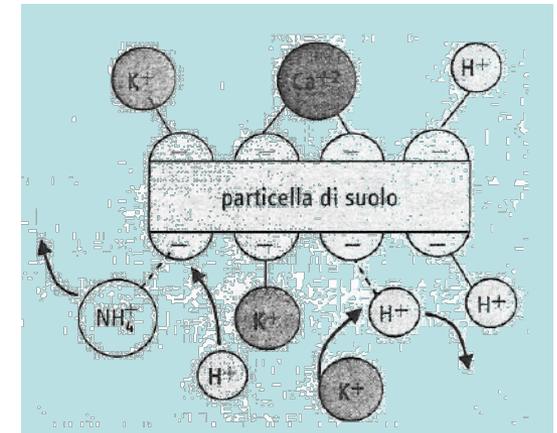
Coefficiente di partizione solido/liquido

È una costante che descrive il fenomeno di adsorbimento di una sostanza in soluzione sulle superfici di un materiale solido adsorbente.

$$K_d = C_s / C_L$$

dove:

- C_s : concentrazione adsorbita sulla fase solida
- C_L : concentrazione presente in soluzione
- K_d : costante determinata sperimentalmente



- ✓ K_d elevato → composti idrofobi che tendono ad accumularsi nel biota, specificatamente nei tessuti grassi degli animali.
- ✓ K_d basso → composti idrofili che tendono a diffondersi nel sistema idrogeologico/idrologico e con basso fattore di bioaccumulo per gli organismi acquatici.

Proprietà dei contaminanti

Coefficiente di partizione solido/liquido

Per inquinanti organici → adsorbimento sulla frazione organica del terreno

$$K_d = f_{OC} K_{oc}$$

Proprietà del terreno
Frazione di carbonio organico contenuta nel terreno [kg C_{org}/kg_{terreno}]

Proprietà del composto
Coefficiente di partizione carbonio organico/acqua [l/kg]

Il **coefficiente di partizione carbonio organico/acqua** (K_{oc}) è un indice dell'**idrofobicità** del composto e quindi una misura della tendenza a rimanere adsorbito alla frazione carboniosa del terreno piuttosto che ritrovarsi in soluzione acquosa; è correlabile al **coefficiente di partizione n-ottanolo-acqua** (K_{ow})

$$K_{oc} = C_{oc}/C_w \Rightarrow \log K_{oc} = c \log K_{ow} + d$$

- c, d: costanti dipendenti dal tipo di contaminate
- $K_{ow} = C_{ott}/C_w$ coefficiente di partizione n-ottanolo-acqua, determinabile in laboratorio

Proprietà dei contaminanti

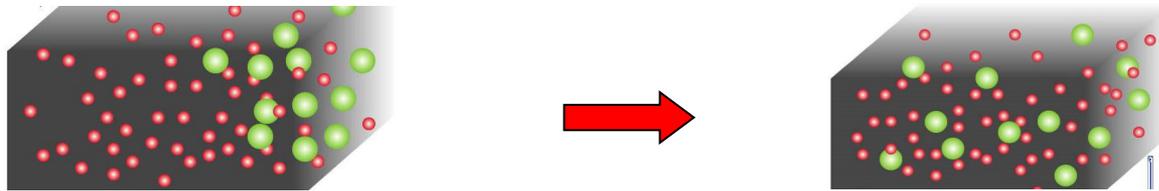
Coefficiente di partizione carbonio organico/acqua

MOBILITÀ NEL SUOLO	K_{oc}
Molto grande	0-50
Grande	50-150
Media	150-500
Bassa	500-2000
Molo bassa	2000-5000
Immobile	>5000

Proprietà dei contaminanti

Coefficiente di diffusione

- Il **coefficiente di diffusione** esprime la capacità di una sostanza di diffondersi in un mezzo per effetto del gradiente di concentrazione.



- La relazione che descrive il fenomeno della diffusione da un punto di vista macroscopico è la nota **legge di Fick**

$$J = -D \nabla c$$

- Il coefficiente di diffusione (D) dipende da:
 - ✓ tipo di sostanza
 - ✓ temperatura
 - ✓ mezzo ($10^{-3} < D_{\text{air}} < 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{s}$; $10^{-6} < D_{\text{wat}} < 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$)

Caratterizzazione ambientale dei contaminanti

Mobilità

- Esprime la capacità di un contaminante a migrare in strati di suolo profondi, con rischi di contaminazione delle falde acquifere
- La mobilità di un contaminante nell'**acqua di falda** viene espressa attraverso il “fattore di ritardo” (R):

$$R = \frac{v_{gw}}{v_{\text{contaminante}}}$$

R=1 per i contaminanti che si muovono alla stessa velocità della falda (v_{gw}) in cui si trovano disciolti

Caratterizzazione ambientale dei contaminanti

Tossicità

- La tossicità di un contaminante ne esprime la tendenza ad esplicare effetti tossici, inducendo un rischio per la salute e/o per l'ambiente.
- Questa proprietà contaminanti è stimata in maniera diversa a seconda che il contaminante sia classificato come cancerogeno o non cancerogeno.

Classificazione UE

Categoria	Criterio
1	Sostanze note per gli effetti cancerogeni sull'uomo. Esistono prove sufficienti per stabilire un nesso causale tra l'esposizione dell'uomo ad una sostanza e lo sviluppo di tumori.
2	Sostanze che dovrebbero considerarsi cancerogene per l'uomo. Esistono elementi sufficienti per ritenere verosimile che l'esposizione dell'uomo ad una sostanza possa provocare lo sviluppo di tumori, in generale sulla base di: <ul style="list-style-type: none">▪ adeguati studi a lungo termine effettuati su animali▪ altre informazioni specifiche.
3	Sostanze da considerarsi con sospetto per i possibili effetti cancerogeni sull'uomo per le quali tuttavia le informazioni disponibili sono sufficienti per procedere ad una valutazione soddisfacente. Esistono alcune prove ottenute da adeguati studi sugli animali che non bastano tuttavia per classificare la sostanza nella categoria 2.

Descrizione della classificazione europea in funzione della cancerogenità (direttiva 93/21/CEE)

Classificazione USEPA

Categoria	Criterio
A	Studi epidemiologici indicano che la sostanza è cancerogena per l'uomo con sufficiente evidenza.
B1	Studi epidemiologici indicano che la sostanza è probabilmente cancerogena per l'uomo con limitata evidenza.
B2	Studi condotti sugli animali indicano che la sostanza è probabilmente cancerogena per l'uomo con sufficiente evidenza, ma gli studi epidemiologici ne dimostrano la cancerogenicità con inadeguata evidenza oppure non esistono dati.
C	Studi condotti sugli animali indicano la possibile cancerogenicità della sostanza con limitata evidenza in assenza di dati riguardanti l'uomo.
D	Sostanza non classificabile come cancerogena per l'uomo a motivo di inadeguata evidenza di cancerogenicità riscontrata per uomo e animali.
E	Sostanza non cancerogena per l'uomo. Non è stata rilevata evidenza di cancerogenicità da almeno due test eseguiti su due differenti specie animali o da opportuni studi epidemiologici o su animali.

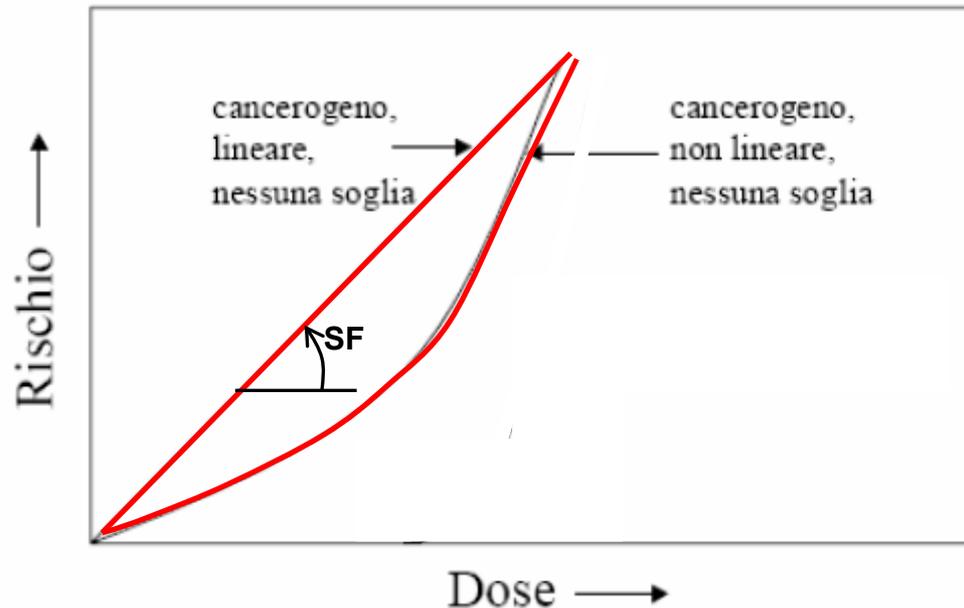
Descrizione della classificazione EPA in funzione della cancerogenicità.

Non cancerogene

Caratterizzazione ambientale dei contaminanti

Tossicità delle sostanze cancerogene

La tossicità delle sostanze cancerogene viene espressa dall'USEPA attraverso lo **Slope Factor (SF)** definito come la pendenza del tratto rettilineo della **curva dose-risposta** della sostanza.

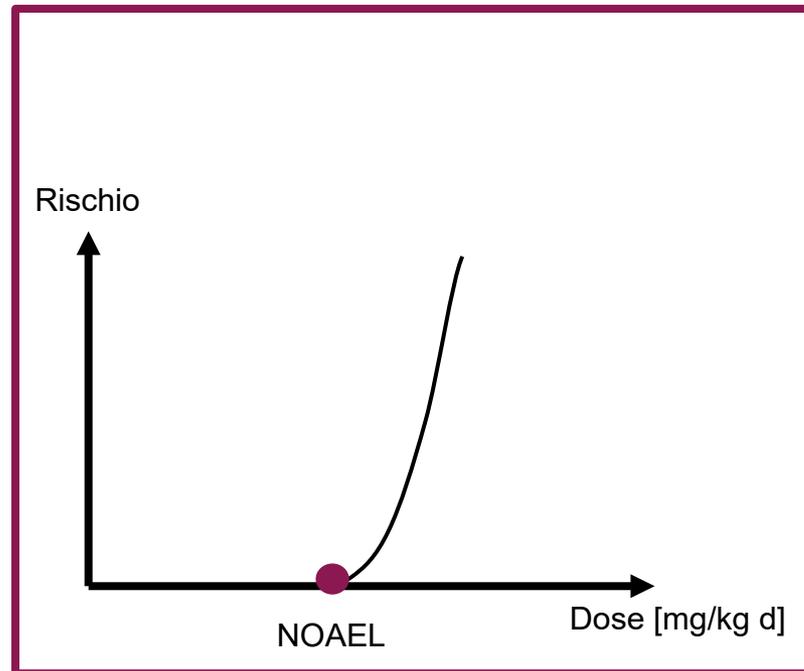


Pertanto si assume che il contaminante presenti un **rischio** per lo sviluppo di effetti cancerogeni in corrispondenza di **qualsiasi dose**.

Caratterizzazione ambientale dei contaminanti

Tossicità delle sostanze non cancerogene

Per le sostanze non cancerogene esiste un valore di soglia al di sotto del quale non si osservano effetti sanitari indesiderati, indicato con la sigla **NOAEL (No-Observable Adverse Effect Level)**.



$$RfD = \frac{NOAEL}{\eta}$$

La minima dose sperimentalmente osservata in grado di determinare un effetto sanitario negativo viene indicata come **LOAEL (Low-Observable Adverse Effect Level)**.

Caratterizzazione ambientale dei contaminanti

Tossicità delle sostanze non cancerogene

Per la stima della tossicità delle sostanze non cancerogene, l'EPA, applicando opportuni fattori di incertezza ai parametri NOAEL, ha definito le dosi di riferimento **RfD** (Reference Doses) per i diversi composti.

$$RfD = \frac{NOAEL}{UF \cdot MF}$$

Fattore di incertezza

Tiene conto dell'incertezza dei risultati della sperimentazione

Fattore di modificazione

Tiene conto dell'incertezza dei fattori che non dipendono dalla sperimentazione ($0 < MF \leq 10$)

INFORMAZIONI DISPONIBILI	FATTORE DI SICUREZZA
in presenza di dati incompleti o contrastanti	1000
dati di tossicità che identificano il NOAEL sugli animali e da cui si estrapolano i valori di tossicità per l'uomo	100
disponibilità di dati di tossicità che identificano il NOAEL sull'uomo	10

Caratterizzazione ambientale dei contaminanti

Biodisponibilità

Descrive il complesso dei trasferimenti di massa e dei processi di assimilazione dei contaminanti nelle piante o negli organismi animali.

- ✓ La biodisponibilità è condizionata da:
 - proprietà del contaminante
 - caratteristiche del suolo e mobilità del contaminante
 - biologia dell'organismo considerato
 - condizioni ambientali, sia abiotiche (es. pH, T, potenziale Red-Ox), che biotiche (es. presenza di microrganismi che modificano chimicamente o assorbono il contaminante).
- ✓ In generale, la biodisponibilità aumenta all'aumentare della concentrazione di contaminante in fase liquida:

Bio-availability Factor

$$BaF = \frac{C_{soluzione}}{C_{suolo}}$$

Classificazione dei contaminanti

Contaminanti organici



- ✓ Idrocarburi alifatici
- ✓ Idrocarburi ciclici
- ✓ PCB
- ✓ Composti organo-clorurati

Contaminanti inorganici



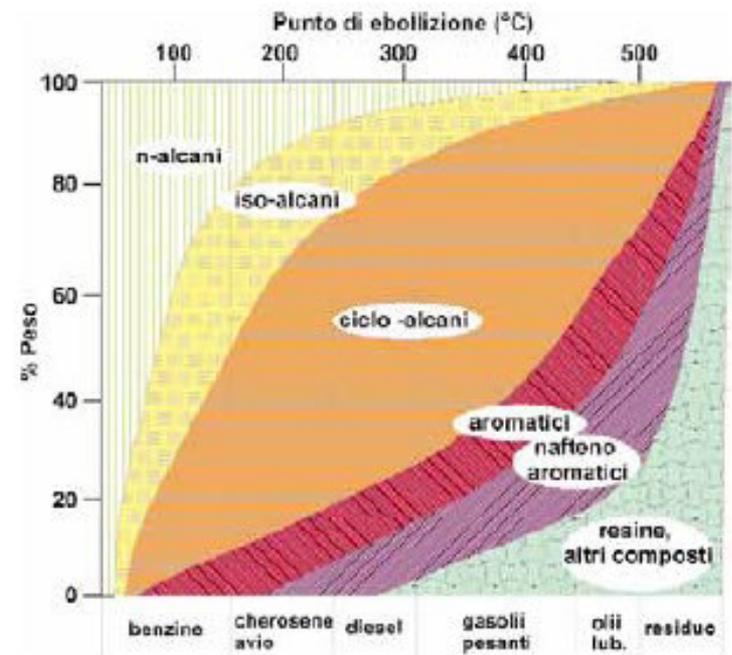
- ✓ Cianuri
- ✓ Anioni
- ✓ Metalli, inclusi i metalli pesanti
- ✓ Amianto

I pesticidi, a seconda della composizione chimica, possono essere annoverati tra i composti organici o tra quelli inorganici.

Contaminanti organici

Gli idrocarburi

- Con il termine **idrocarburi** si indica una classe di composti organici caratterizzati da una struttura più o meno complessa, costituita da atomi di carbonio e idrogeno.
- L'origine antropica degli idrocarburi è legata a tutte quelle attività connesse al processo di **estrazione** e **distribuzione** degli stessi e ai processi di **raffinazione** e di **distribuzione dei prodotti lavorati** (es. carburanti quali benzine, gasoli, oli combustibili).
- Ciascuna miscela idrocarburica (es. greggio, diesel, benzina, ecc.) è composta da un **numero variabile di sostanze organiche** aventi distinte caratteristiche chimico-fisiche, con particolare riferimento alla densità e solubilità. I processi di trasporto e di degradazione a cui le miscele idrocarburiche sono sottoposte devono pertanto essere descritti attraverso algoritmi che tengano conto di tali caratteristiche chimico-fisiche e delle caratteristiche del sito.



Contaminanti organici

Potenziali sorgenti di contaminazione

Attività/Processo	Aromatici	IPA	Alifatici clorurati	Alifatici alogenati	Cloro-benzeni	Diossine e furani	PCB
Agricoltura	x		x	x	x		x
Serbatoi interrati	x	x	x	x	x		x
Recupero metalli ferrosi						x	x
Inceneritori		x				x	x
Smaltimento incontrollato rifiuti	x	x	x	x	x	x	x
Produzione plastica	x	x	x	x	x		x
Produzione e utilizzo erbicidi						x	x
Gassificazione carbone		x					
Vernici e inchiostri	x		x	x	x		x
Raffinerie	x	x					
Industria metallurgica	x		x		x	x	
Industria cosmetica	x		x	x	x		x
Industria farmaceutica	x		x	x	x		x
Industria della carta			x		x	x	x

[APAT, 2006]

Contaminanti inorganici

I metalli

Alterazione naturale delle rocce



Attività agricole e industriali



I metalli possono partecipare a **diverse reazioni** quali dissoluzione/precipitazione, complessazione, riduzione/ossidazione e trovarsi:

- ✓ disciolti in **acqua**, se presenti in forma solubile, oppure adesi al particolato sospeso.
- ✓ nelle **matrici solide** (suolo e sedimenti), in forme più o meno mobili e quindi disponibili ad interagire con diversi recettori.
- ✓ in **atmosfera**, associati alle polveri.

In forma ionica, molti metalli risultano biodisponibili

Contaminanti inorganici

I metalli pesanti

- Si definiscono metalli pesanti, gli elementi che presentano le seguenti caratteristiche:
 - ✓ densità superiore a 5,0 g/cm³;
 - ✓ forme idrate caratterizzate da **bassa solubilità**;
 - ✓ spiccata **attitudine a formare complessi**;
 - ✓ grande **affinità per solfuri**, in cui tendono a concentrarsi;
 - ✓ diversi **stati di ossidazione** a seconda del pH.
- In relazione al pH, che definisce le condizioni di acidità o di basicità di un sistema, i metalli pesanti sono coinvolti in processi di dissoluzione, idrolisi, dissociazione, complessazione inorganica e complessazione organica che, a parità di altre condizioni ambientali, ne influenzano la mobilità nel sistema stesso.
- I metalli pesanti più spesso associati a fenomeni di inquinamento sono: **Cadmio** (Cd), **Piombo** (Pb), **Cromo** (Cr), **Mercurio** (Hg), **Nichel** (Ni), **Arsenico** (As).

Contaminanti inorganici

I metalli pesanti: tossicità

Elemento	Essenziale o benefico		Tossico		Note
	Piante	Animali	Piante	Animali	
Ag	No	No	***	Si	Interagisce con il Cu ed il Se
As	No	Si	***	Si	Importante la speciazione
B	Si	No	Si	***	Stretto margine di tolleranza
Ba	No	Possibile	***	***	Insolubile, poco tossico
Be	No	No	Si	Si	Importante la speciazione
Bi	No	No	Si	Si	Relativamente poco tossico
Cd	No	No	Si	Si	Stretto margine di tolleranza, bioaccumulato, cancerogeno
Co	Si	Si	Si	Si	Poco tossico, bioaccumulato
Cr	No	Si	Si	Si	Importante la speciazione, cancerogeno
Cu	Si	Si	Si	Si	Stretto margine di tolleranza
F	No	Si	Si	***	Tossicità cumulativa per piante e animali
Hg	No	No	***	Si	Stretto margine di tolleranza, bioaccumulato, volatile
Mn	Si	Si	pH<5	***	Ampio margine di tolleranza, tossico nei suoli acidi
Mo	Si	Si	***	Si	Bioaccumulato, fortemente tossico per gli animali
Ni	No	Si	Si	Si	Relativamente poco tossico, cancerogeno
Pb	No	No	Si	Si	Bioaccumulato, fortemente tossico per gli animali
Sb	No	No	***	Si	Insolubile, poco tossico
Se	No	No	***	Si	Bioaccumulato, fortemente tossico per gli animali
Sn	No	Si	***	Si	Poco tossico, non è bioaccumulato
Ti	No	Possibile	***	***	Poco tossico, insolubile
Tl	No	No	***	Si	Traslocato nelle porzioni epigee dei vegetali.
V	Si	Si	***	Si	Stretto margine di tolleranza, bioaccumulato, cancerogeno
W	No	No	***	***	Insolubile, molto mobile nei vegetali
Zn	Si	Si	***	***	Ampio margine di tolleranza, fortemente complessato nel suolo

Contaminanti inorganici

Potenziali sorgenti di contaminazione

Attività/Processo	Metalli	Boro	Cianuri	Cloruri	Nitriti	Fluoruri	Solfati
Agricoltura	x	x			x		x
Serbatoi interrati	x						
Recupero metalli ferrosi	x						
Inceneritori	x	x	x	x	x	x	x
Smaltimento incontrollato rifiuti	x		x	x	x	x	x
Produzione plastica	x		x	x		x	
Produzione e utilizzo erbicidi	X						
Impianti di gassificazione	x		x				
Vernici e inchiostri	x					x	
Raffinerie	x		x			x	x
Industria metallurgica	x					x	
Industria cosmetica	x	x		x		x	
Industria farmaceutica	x		x	x	x	x	X
Industria della carta	x		x	x	x	x	x

[APAT, 2006]

Pesticidi

- I **pesticidi** sono una categoria di composti chimici utilizzati in agricoltura per combattere parassiti e altri organismi dannosi per l'uomo, gli animali e le piante.
- Sono caratterizzati da una composizione chimica molto variegata in base alla quale possono essere suddivisi in:
 - ✓ inorganici;
 - ✓ organici naturali;
 - ✓ organici sintetici (maggiormente usati).
- **Pesticidi organici sintetici**
 - ✓ organoclorurati (es. DDT, PCB, aldrin, dieldrina, clordano)
 - ✓ organofosfati (es. etilfosfito di alluminio)
 - ✓ azotorganici (es. atrazina, carbammati)



Pesticidi

Gli effetti ...

- ... sull'**ambiente**:
 - ✓ rinvenuti nei corpi idrici, sono letali per le specie anfibe.
 - ✓ riduce la biodiversità dei suoli: in suoli non trattati con pesticidi è stata osservata una più elevata capacità di ritenzione dell'acqua.
- ... sulla **salute**:
 - ✓ l'utilizzo di pesticidi organofosfati è stato associato a problemi acuti per la salute (dolori addominali, vertigini, mal di testa, nausea, vomito, irritazione agli occhi ed alla pelle).
 - ✓ l'esposizione ai pesticidi è associata a malattie croniche come problemi respiratori, di memoria, dermatologici, depressione, deficit neurologici, aborti, problemi sui neonati.
 - ✓ all'uso di pesticidi organofosfati sono stati associati il cancro e problemi neurologici.

L'evoluzione normativa in Italia

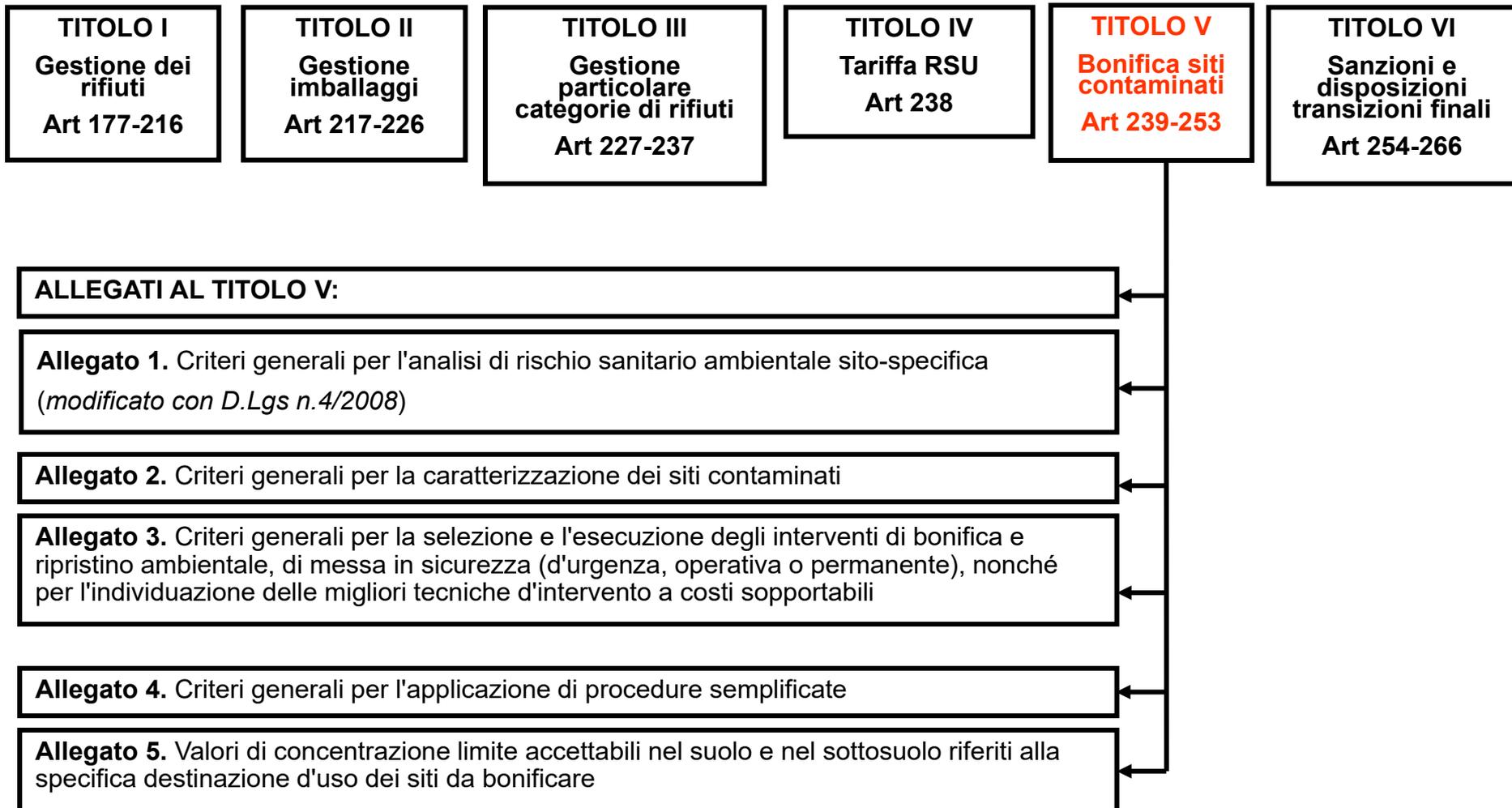
- ✓ Il **D.Lgs. 22/97 (Decreto Ronchi)** è stato il primo riferimento in materia. All'art. 17, tale decreto affrontava le problematiche relative a *“Bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati da rifiuti”*, proponendosi di :
 - definire i limiti di accettabilità della contaminazione dei suoli, delle acque superficiali e delle acque sotterranee in relazione alla specifica destinazione d'uso dei siti;
 - definire le procedure di riferimento per il prelievo e l'analisi dei campioni;
 - definire i criteri generali per la messa in sicurezza, la bonifica del ripristino ambientale dei siti inquinati, nonché per la redazione dei progetti di bonifica;
 - assegnare le competenze

- ✓ In attuazione del D. Lgs. 22/97 fu emanato il **Decreto Ministeriale n. 471/99** *“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”*, articolato in 18 articoli e 5 allegati.

- ✓ **L'attuale riferimento normativo è il D.Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V e s.m.i.**

II D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Struttura del Decreto



Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Il D.Lgs. 152/06 disciplina gli interventi di bonifica e ripristino ambientale dei siti contaminati e definisce **le procedure, i criteri e le modalità** per lo svolgimento delle operazioni necessarie per la riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti.

Contenuti:

- Definizioni
- Tipologie di intervento previste
- Struttura del progetto
- Criteri di scelta della tecnologia
- Definizione delle competenze

Rispetto all'abrogato DM 471/99, il D. Lgs. 152/2006 ha introdotto il criterio di qualità dei suoli basato **sull'analisi di rischio**, in sostituzione di quello basato sulle **concentrazioni limite**.

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Definizioni (art. 240)

Concentrazioni soglia di contaminazione (Csc)

i livelli di contaminazione delle matrici ambientali al di sopra dei quali è necessaria la ***caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio sito specifica***, come individuati nell'allegato 5 alla parte quarta



Nel caso in cui il sito sia ubicato in un'area interessata da ***fenomeni progressi*** che abbiano determinato il superamento di una o più Csc, queste ultime si assumono pari al ***Valore di Fondo Naturale*** per tutti i parametri superati

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Definizioni (art. 240)

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 illustrati nell'allegato 1 alla parte IV [...] e sulla base dei risultati del **piano di caratterizzazione**, il cui superamento richiede la messa in sicurezza e la bonifica.

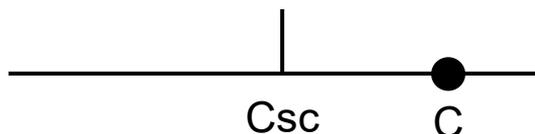


- ✓ Le Csr costituiscono i **livelli di concentrazione accettabili** per il sito;
- ✓ Il loro superamento implica la necessità di **intervento**.

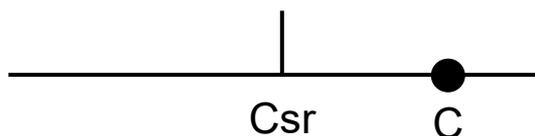
Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Definizioni (art. 240)

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 Csc**.



Sito contaminato: un sito nel quale **i valori di Csr**, determinati con l'applicazione della procedura di analisi di rischio di cui all'Allegato 1 sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, risultino **superati**.



Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Tipologie di intervento (art. 240)

Messa in sicurezza d'emergenza:

ogni intervento immediato o a breve termine, da mettere in opera nelle condizioni di emergenza, 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.

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 (...).

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 (qualora non sia possibile procedere alla rimozione degli inquinanti pur applicando le B.A.T, Best Available Technology)

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Tipologie di intervento (art. 240)

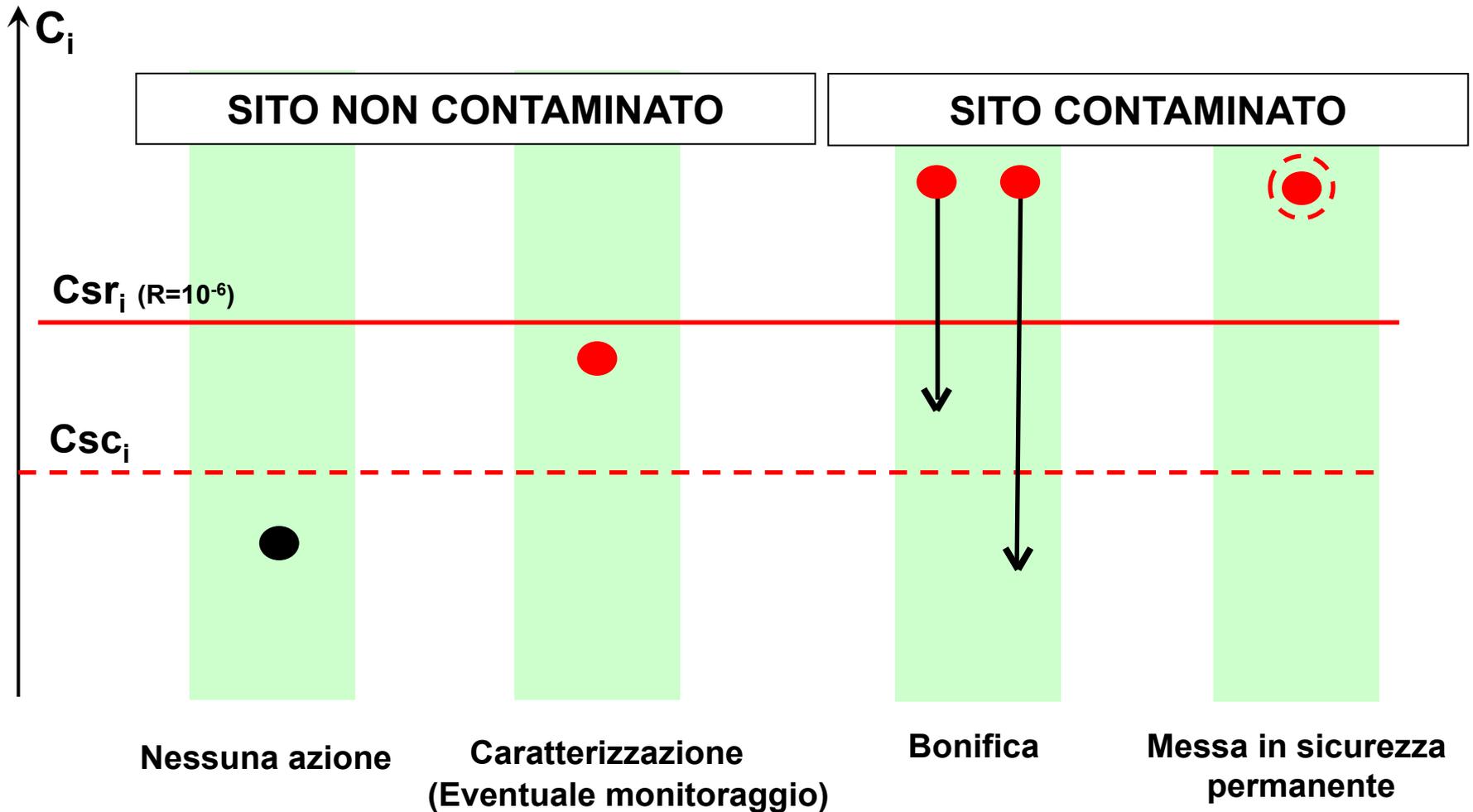
Bonifica:

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).**

Ripristino ambientale:

Gli interventi di riqualificazione ambientale e paesaggistica, anche **costituenti complemento degli interventi di bonifica e messa in sicurezza** permanente, che consentono di recuperare il sito alla effettiva fruibilità per la destinazione d'uso conforme agli strumenti urbanistici

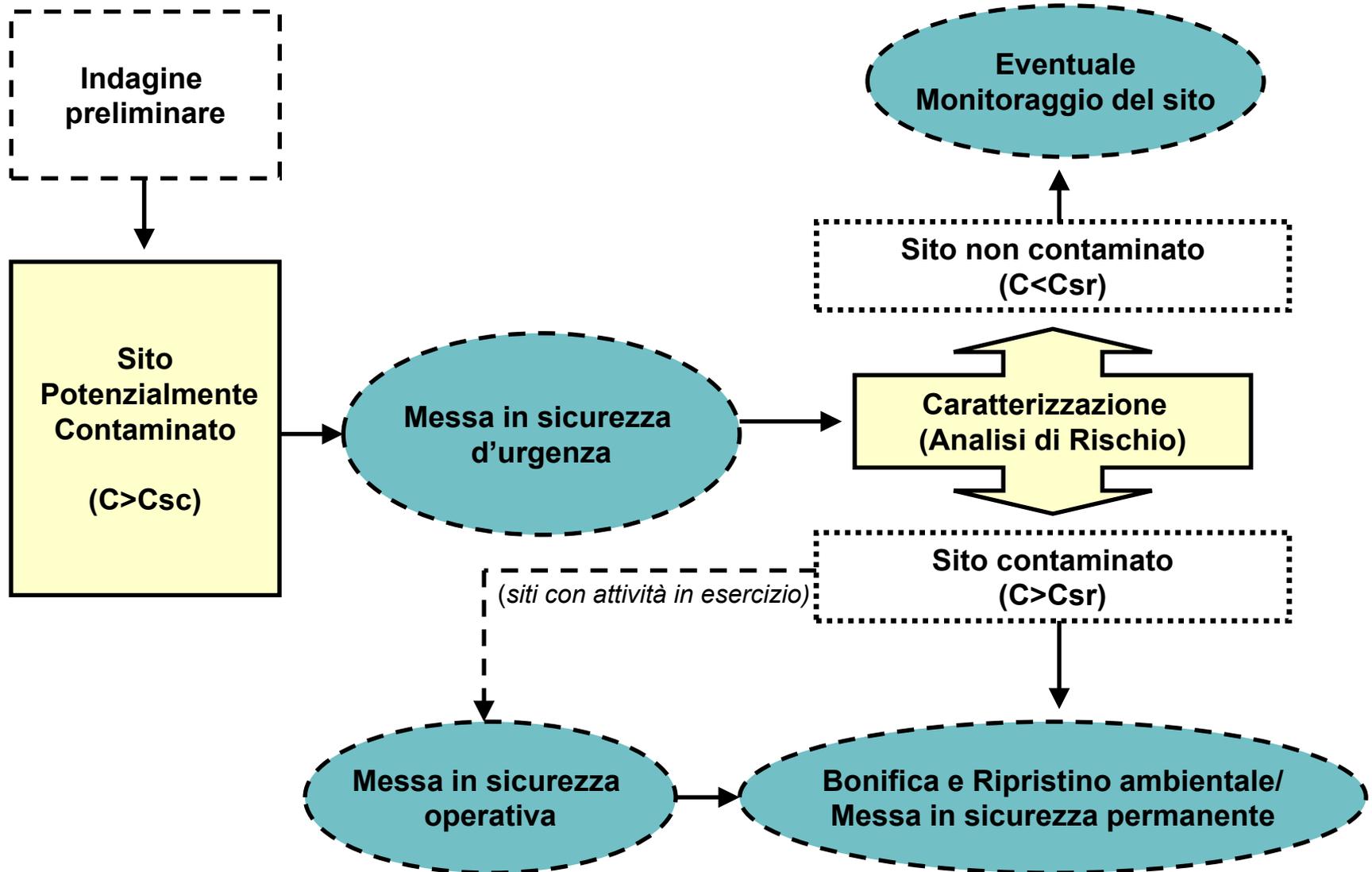
Quadro sinottico della casistica



C_i Concentrazione del contaminante i-esimo
 C_{sr_i} Concentrazione soglia di rischio
 C_{sci} Concentrazione soglia di contaminazione

● Concentrazione iniziale del contaminante
 ↓ Effetto dell'intervento

Schematizzazione delle possibilità di intervento



Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

La gestione di siti potenzialmente contaminati

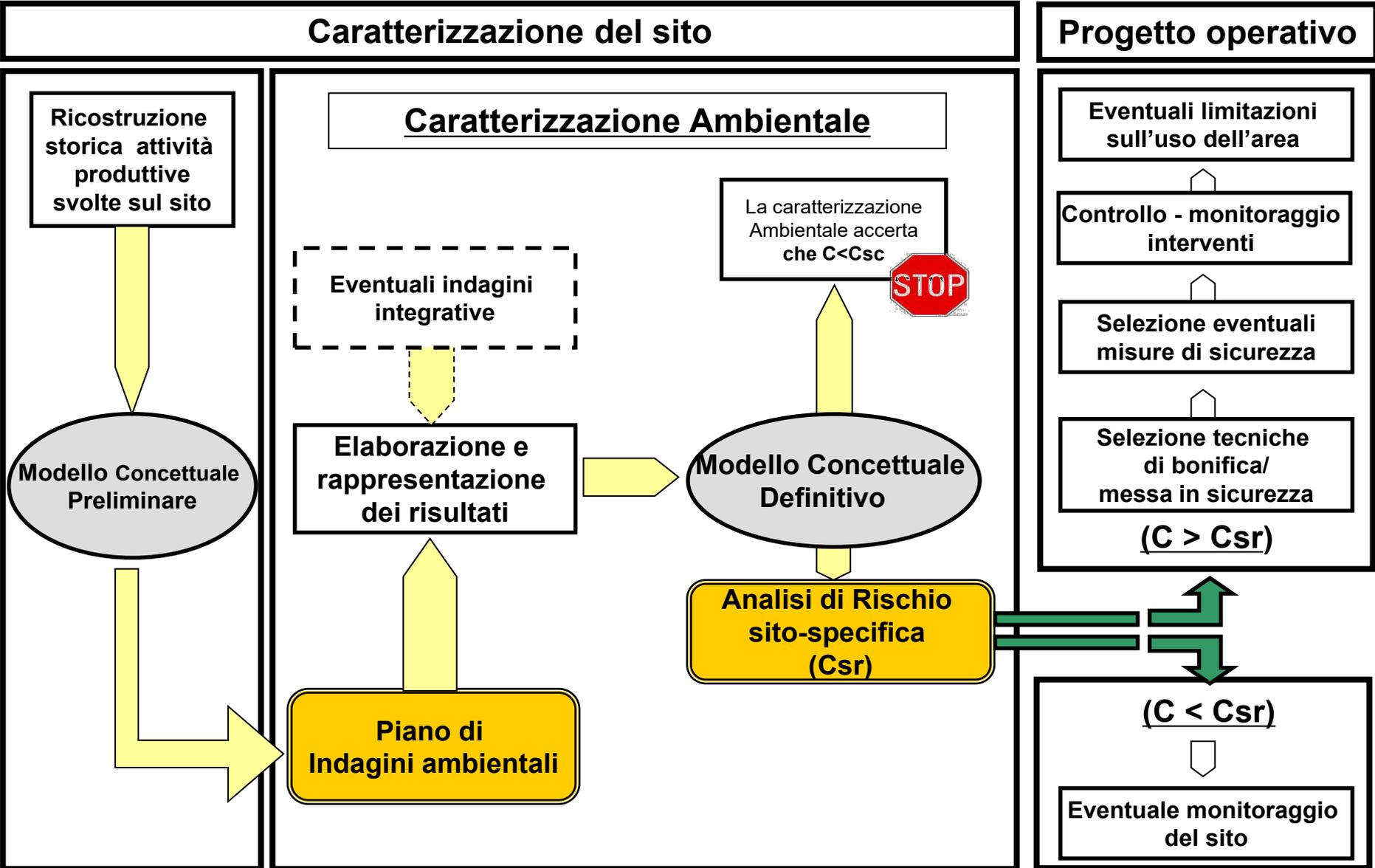
✓ **Caratterizzazione del sito (se C>CSC)**

- Quanto e come è contaminato il sito?
- In che modo la contaminazione può raggiungere i bersagli?
- Quali devono essere gli obiettivi della bonifica?
- Il sito è contaminato?

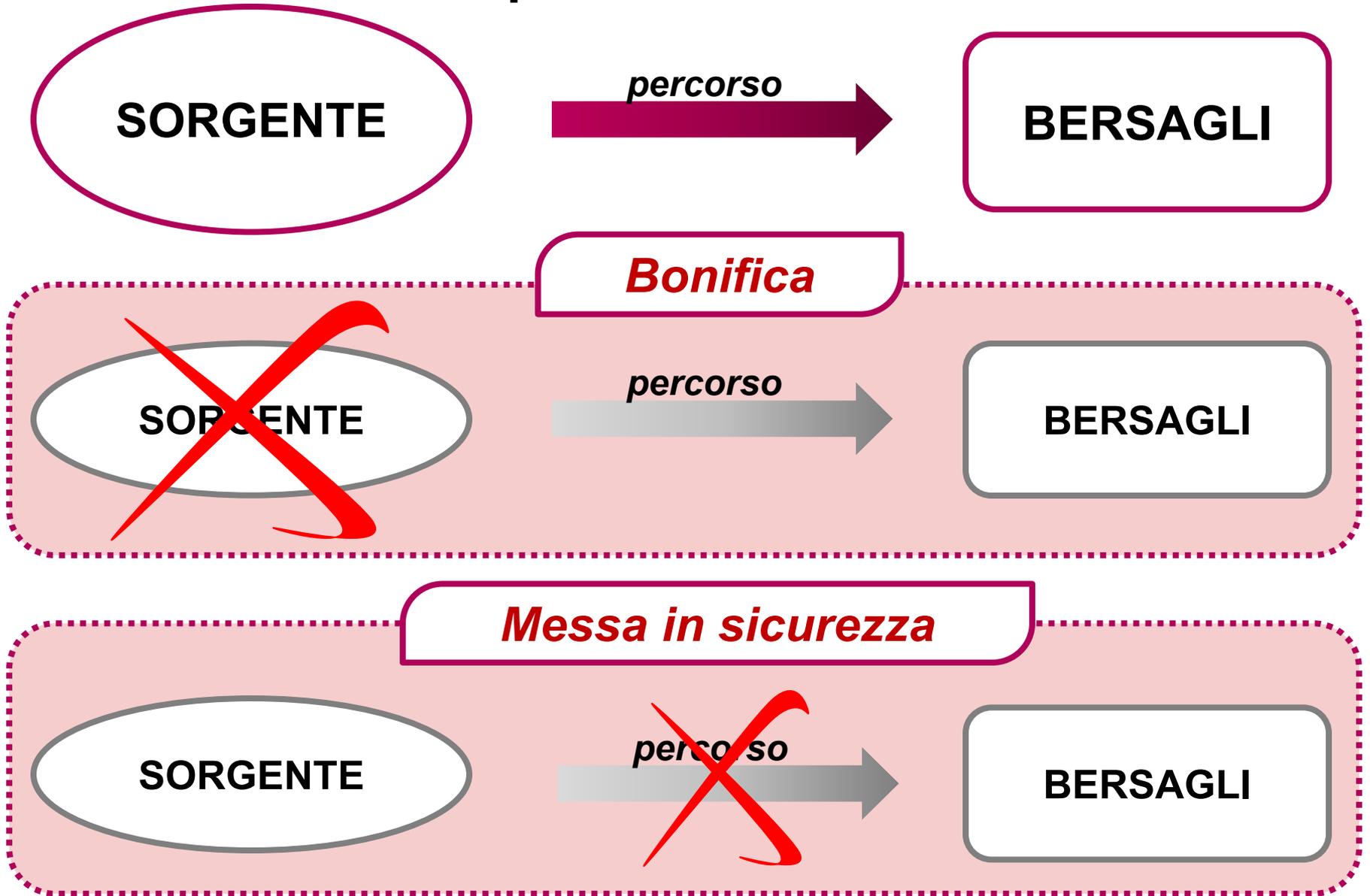
✓ **Progetto operativo di bonifica**

- Come è possibile raggiungere tali obiettivi?
- Qual è la soluzione prescelta?
- Come si verificherà l'efficacia della soluzione prescelta rispetto agli obiettivi?

Struttura del progetto



Le opzioni di intervento



Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Siti di interesse nazionale (art. 252)

- ✓ Aree del territorio nazionale individuate con decreto del **Ministero dell'Ambiente**, d'intesa con le Regioni interessate, in relazione alle caratteristiche del sito, alle quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, al rilievo dell'impatto sull'ambiente circostante in termini di rischio sanitario ed ecologico, nonché di pregiudizio per i beni culturali ed ambientali.
- ✓ L'individuazione è dettata dai seguenti principi e criteri direttivi:
 - gli interventi di bonifica devono riguardare **aree e territori**, compresi i corpi idrici, **di particolare pregio ambientale**;
 - la bonifica deve riguardare **aree e territori tutelati** ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 (**Codice dei beni culturali e del paesaggio**);
 - il **rischio sanitario ed ambientale** che deriva dal rilevato superamento delle concentrazioni soglia di rischio deve risultare **particolarmente elevato** in ragione della densità della popolazione o dell'estensione dell'area interessata;
 - **l'impatto socio economico** causato dall'inquinamento dell'area deve essere **rilevante**;
 - la contaminazione deve costituire un rischio per i beni di interesse storico e culturale di rilevanza nazionale
 - gli interventi da attuare **devono riguardare siti compresi nel territorio di più Regioni**.
 - l'insistenza, attualmente o in passato, di attività di raffinerie, di impianti chimici integrati o di acciaierie



Il Decreto Ministro Ambiente del
11/01/2013 riassume le competenze
per i siti di bonifica di interesse nazionale:



Siti di interesse nazionale divenuti di competenza regionale

- 40 Litorale Domizio Flegreo e A.A. L. 426/98
- 41 Pitelli L. 426/98
- 42 Fiumi Saline e Alento D.M. 468/2001
- 43 Sassuolo D.M. 468/2001
- 44 Frosinone D.M. 468/2001
- 45 Cerro al Lambro D.M. 468/2001
- 46 Milano - Bovisa D.M. 468/2001
- 47 Basso bacino del fiume Chienti D.M. 468/2001
- 48 Campobasso - Guglionesi II D.M. 468/2001
- 49 Basse di Stura (Torino) D.M. 468/2001
- 50 Mardimago - Ceregnano D.M. 468/2001
- 51 Bolzano D.M. 468/2001
- 52 Aree del Litorale Vesuviano L. 179/2002
- 53 Bacino del fiume Sacco L. 248/05
- 54 Bacino Idrografico del fiume Sarno L. 266/05
- 55 Strillaie D.Lgs. 152/06
- 56 Pianura D.M.Ambiente 11/04/08
- 57 La Maddalena

Siti di interesse nazionale rimasti di competenza Ministero Ambiente

- 1 Venezia (P. Marghera) L. 426/98
- 2 Napoli Orientale L. 426/98
- 3 Gela L. 426/98
- 4 Priolo L. 426/98
- 5 Manfredonia L. 426/98
- 6 Brindisi L. 426/98
- 7 Taranto L. 426/98
- 8 Cengio e Saliceto L. 426/98
- 9 Piombino L. 426/98
- 10 Massa e Carrara L. 426/98
- 11 Casal Monferrato L. 426/98
- 12 Balangero L. 426/98
- 13 Pieve Vergonte L. 426/98
- 14 Sesto San Giovanni L. 388/2000
- 15 Pioltello - Rodano L. 388/2000
- 16 Napoli Bagnoli - Coroglio L. 388/2000
- 17 Tito D.M. 468/2001
- 18 Crotone - Cassano - Cerchiara D.M. 468/2001
- 19 Fidenza D.M. 468/2001
- 20 Laguna di Grado e Marano D.M. 468/2001
- 21 Trieste D.M. 468/2001
- 22 Cogoleto D.M. 468/2001
- 23 Bari D.M. 468/2001
- 24 Sulcis D.M. 468/2001
- 25 Biancavilla D.M. 468/2001
- 26 Livorno D.M. 468/2001
- 27 Terni D.M. 468/2001
- 28 Emarese D.M. 468/2001
- 29 Trento nord D.M. 468/2001
- 30 Brescia L. 179/2002
- 31 Broni L. 179/2002
- 32 Falconara Marittima L. 179/2002
- 33 Serravalle Scivia L. 179/2002
- 34 Laghi di Mantova L. 179/2002
- 35 Orbetello (area ex SITOCO) L. 179/2002
- 36 Porto Torres L. 179/2002
- 37 Val Basento L. 179/2002
- 38 Milazzo L. 266/05
- 39 Bussi sul Tirino D.M.Ambiente 28/05/08

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

SIN di preminente interesse pubblico per la riconversione industriale (art. 252-bis)

- ✓ Si tratta di siti di interesse pubblico ai fini *dell'attuazione di programmi ed interventi di riconversione industriale e di sviluppo economico e produttivo* contaminati da eventi precedenti al 30 aprile 2006.
- ✓ I soggetti interessati ad attuare tali programmi possono stipulare accordi di programma con i Ministeri competenti, d'intesa con le Regioni interessate. Tali accordi assicurano il coordinamento delle azioni e [...] in particolare:
 - l'individuazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica da attuare sulla base dei risultati della caratterizzazione [...];
 - l'individuazione degli interventi di riconversione industriale e di sviluppo economico;
 - il piano economico finanziario dell'investimento e la durata del relativo programma;
 - i tempi di attuazione degli interventi e le relative garanzie;
 - I contributi pubblici e le altre misure di sostegno economico finanziario
 - la causa di revoca dei contributi e delle altre misure di sostegno e di risoluzione dell'accordo;
 - l'individuazione del soggetto attuatore degli interventi e delle attività di monitoraggio, controllo e gestione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica
 - i tempi di presentazione e approvazione degli interventi di messa in sicurezza e di bonifica;
 - la previsione di interventi di formazione, riqualificazione e aggiornamento delle competenze dei lavoratori;
 - le modalità di monitoraggio per il controllo dell'adempimento degli impegni assunti e della realizzazione dei progetti

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

La ripartizione delle competenze (art. 242)

La **Regione** è responsabile del procedimento e ha il compito di approvare:

- il piano della caratterizzazione;
- il documento di analisi di rischio;
- il piano di monitoraggio;
- il progetto operativo di bonifica o messa in sicurezza.

Per i Siti di interesse nazionale la responsabilità del procedimento è attribuita al Ministero dell'Ambiente.

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

La ripartizione delle competenze (art. 242)

La Provincia:

- svolge le indagini e le attività istruttorie;
- è responsabile dei controlli sulla conformità degli interventi approvati dalla Regione;
- rilascia la certificazione di avvenuta bonifica.

La Provincia si avvale della competenza tecnica dell'Agencia Regionale per la Protezione Ambientale territorialmente competente.

Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

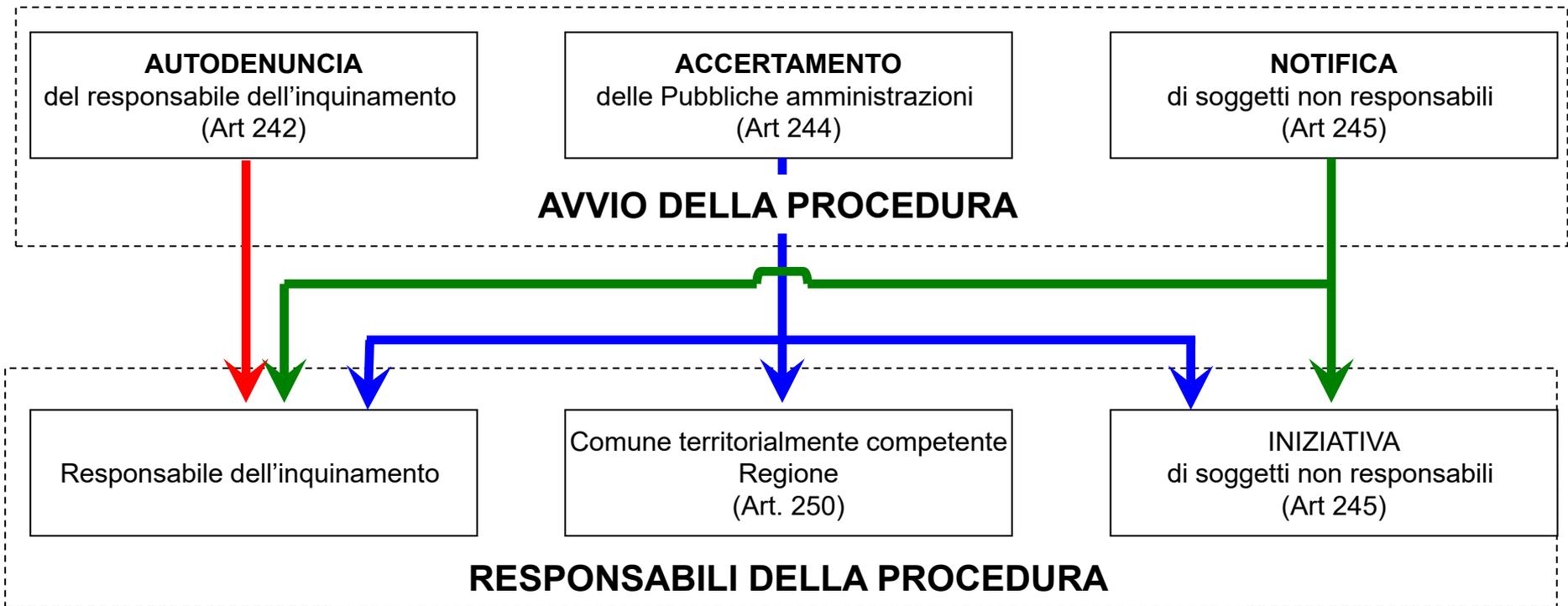
La ripartizione delle competenze (art. 242)

I **Comuni** sono coinvolti nella attività di comunicazione e risultano i diretti responsabili della realizzazione delle procedure qualora:

- i soggetti responsabili non provvedano direttamente agli adempimenti disposti dal decreto ovvero non siano individuabili;
- i soggetti non responsabili della potenziale contaminazione (proprietario del sito o altri soggetti interessati) non assolvano agli obblighi di intervento.

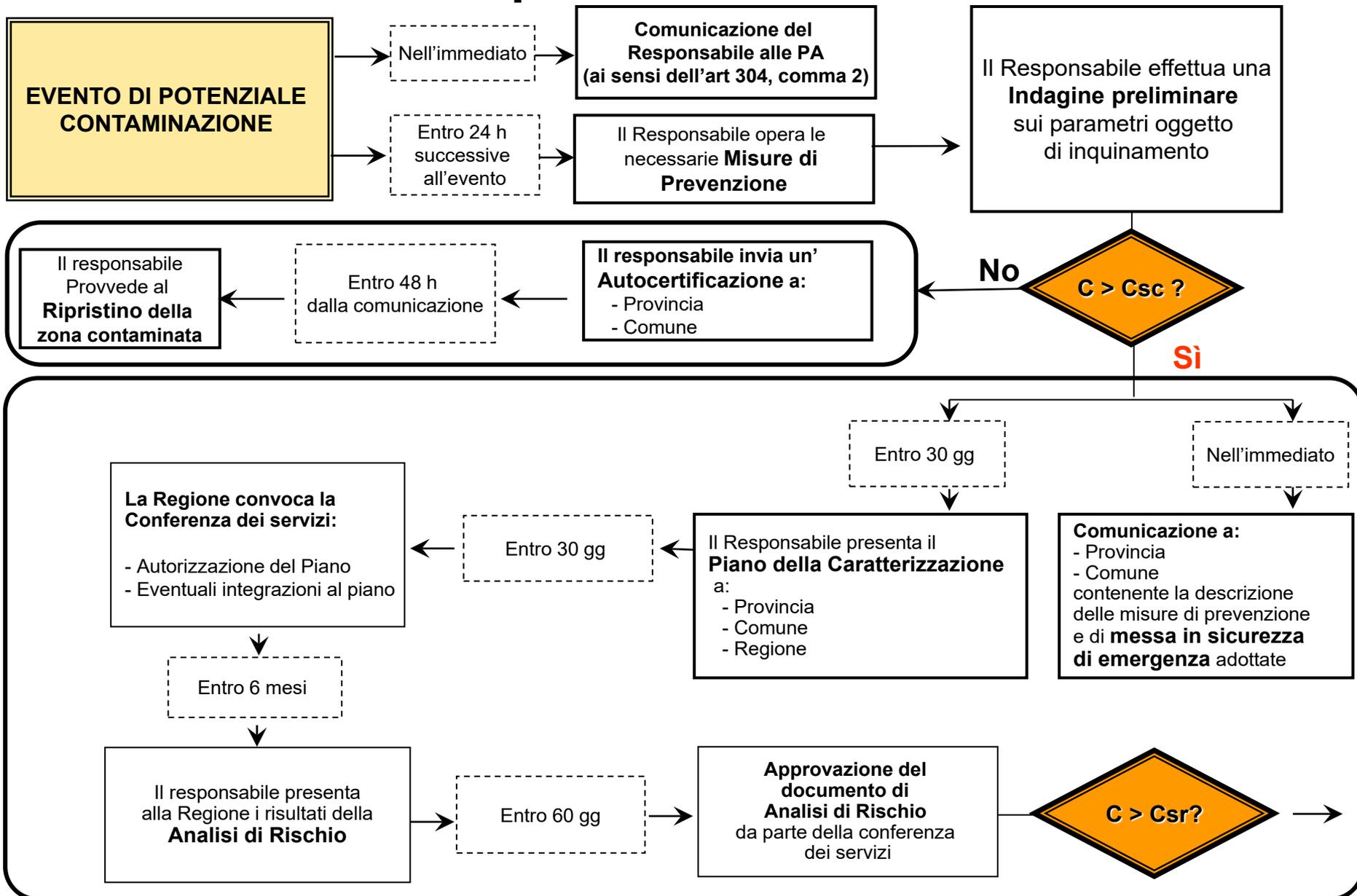
Il D. Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V

Procedure di intervento

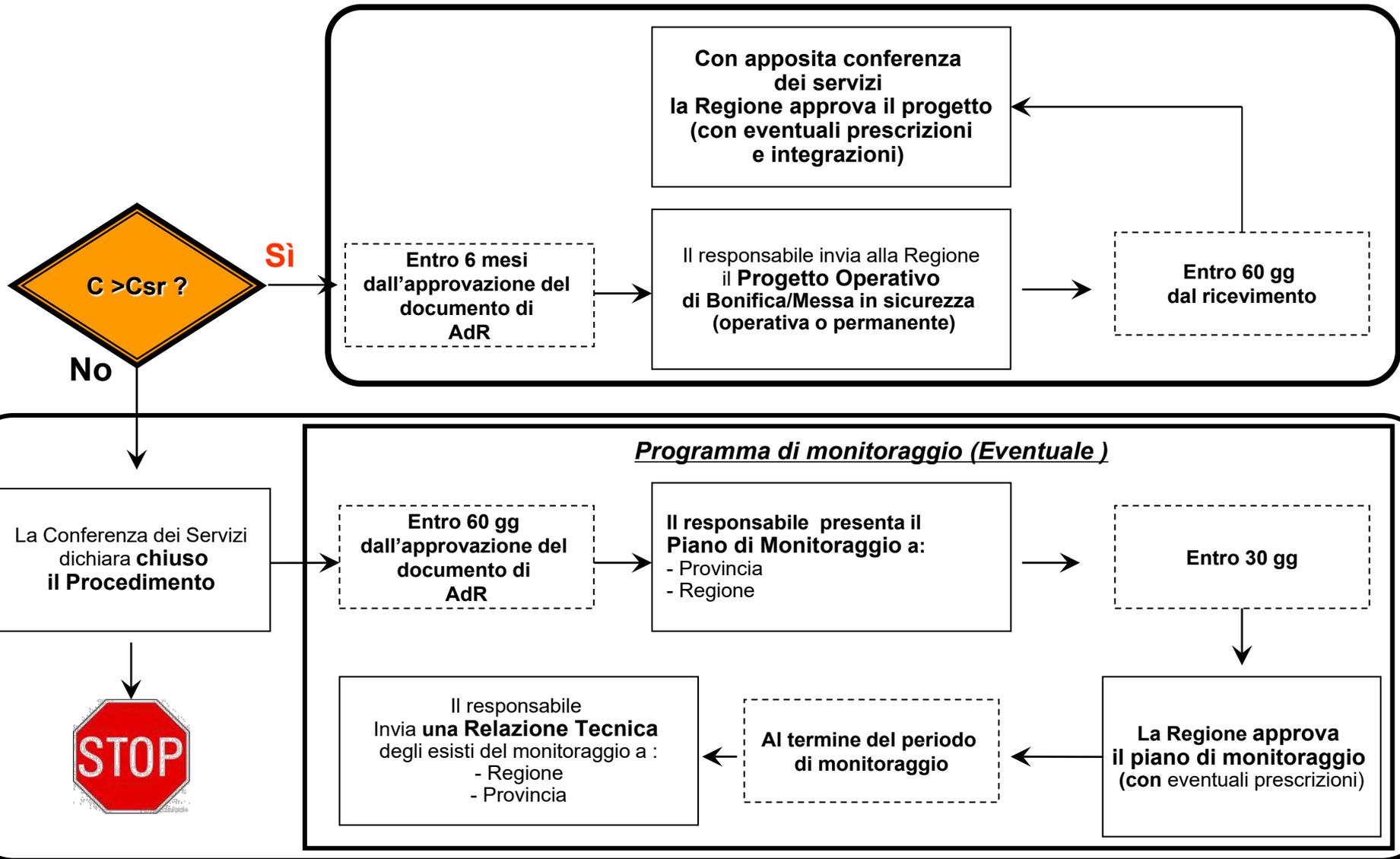


“Quando un danno ambientale non si è ancora verificato, ma esiste una minaccia imminente che si verifichi, l’operatore interessato, entro 24 ore e a proprie spese, deve adottare le necessarie misure di prevenzione e di messa in sicurezza”, così come riportato nell’**art. 304** del D.Lgs. 152/2006 - Parte IV, Titolo V.

Procedure operative ed amministrative



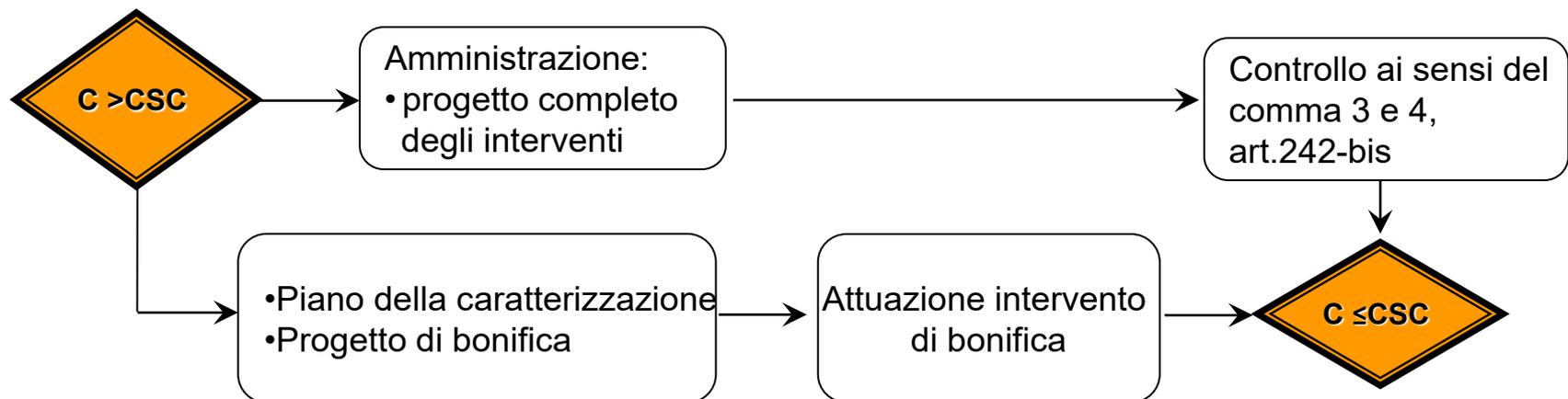
Procedure operative ed amministrative



Procedure semplificate

(art. 242 - bis del D.Lgs. 152/2006)

L'operatore interessato a effettuare, a proprie spese, interventi di bonifica del suolo con riduzione della contaminazione ad un livello uguale o inferiore ai valori di concentrazione soglia di contaminazione, può presentare all'amministrazione di cui agli articoli 242 o 252 uno specifico progetto completo degli interventi programmati sulla base dei dati dello stato di contaminazione del sito, nonché del cronoprogramma di svolgimento dei lavori. La caratterizzazione e il relativo progetto di bonifica non sono sottoposti alle procedure di approvazione di cui agli articoli 242 e 252, bensì a controllo ai sensi dei commi 3 e 4 del presente articolo per la verifica del conseguimento dei valori di concentrazione soglia di contaminazione nei suoli per la specifica destinazione d'uso. L'operatore è responsabile della veridicità dei dati e delle informazioni forniti, ai sensi e per gli effetti dell'articolo 21 della legge 7 agosto 1990, n. 241.



Procedure semplificate

(allegato 4 al Titolo V – Parte IV)

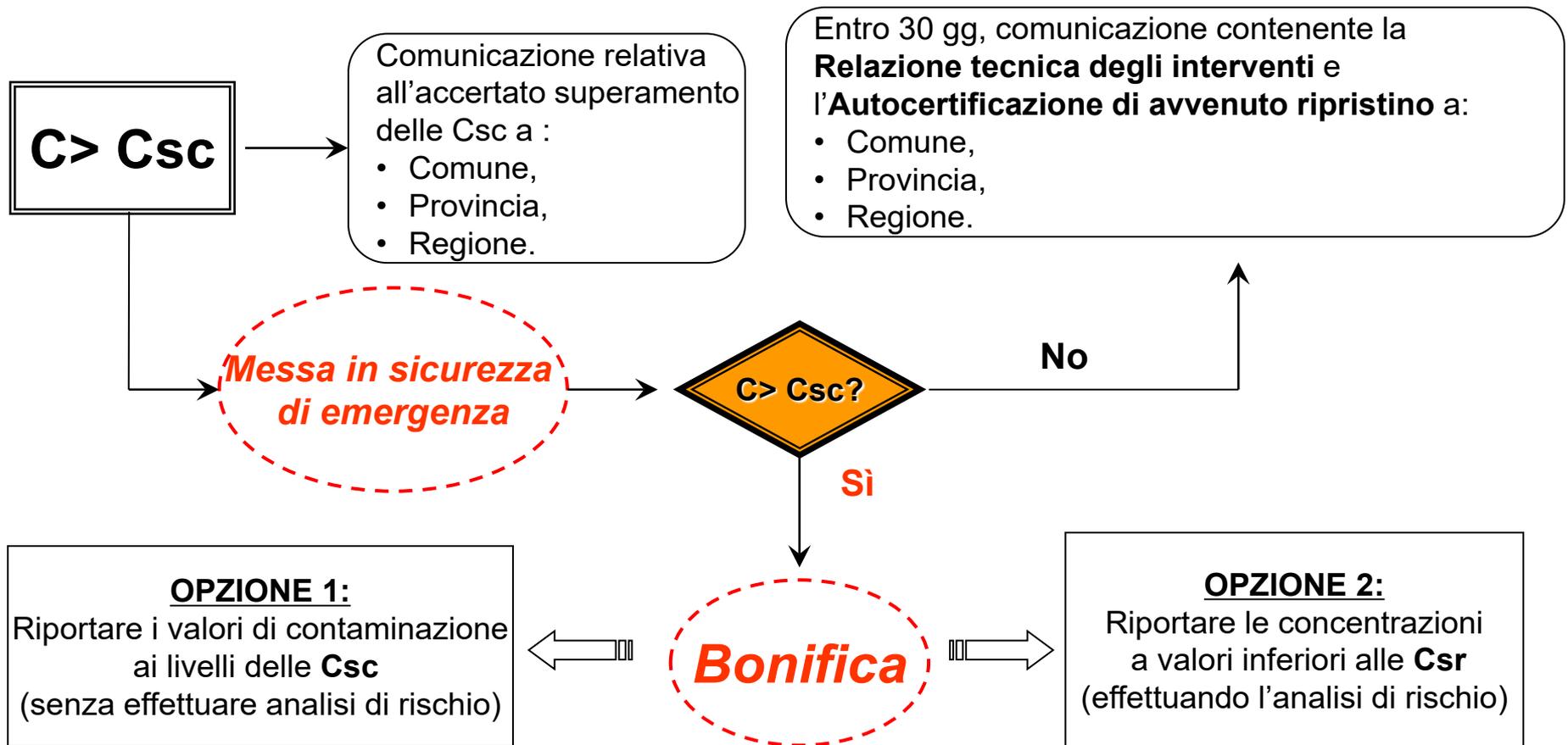
L'allegato 4 individua i criteri generali per l'applicazione di procedure amministrative e tecnico-operative semplificate, da attuare nella gestione di situazioni di rischio dovute al superamento delle soglie di contaminazione (Csc) per:

- i **siti di ridotte dimensioni** (quali, ad esempio, la rete di distribuzione carburanti);
- oppure per **eventi accidentali che interessino aree circoscritte**, anche nell'ambito di siti industriali, di superficie non superiore a **1000 m²**.

La normativa non fornisce criteri oggettivi per identificare i siti di ridotte dimensioni

Procedure semplificate

L'iter amministrativo (all. 4 al Titolo V, Parte IV – D. Lgs. 152/2006)



In presenza di una **contaminazione della falda**, la bonifica va effettuata con riferimento alle **Csr**

Procedure semplificate all'interno dei SIN

Il caso dei punti vendita carburante

L'art. 252, comma 4, del D.Lgs. 152/2006 stabilisce che « [...] Il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare adotta **procedure semplificate** per le operazioni di bonifica relative alla **rete di distribuzione carburanti**»



DM n. 31 del 12 febbraio 2015

Regolamento recante criteri semplificati per la caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei punti vendita carburanti

Il decreto stabilisce (art. 1, comma 2):

- a) *i criteri di attuazione delle misure di prevenzione e di messa in sicurezza di emergenza;*
- b) *le modalità di caratterizzazione delle aree;*
- c) *i criteri di applicazione dell'analisi di rischio sito-specifica, tenendo conto, in particolare, dell'ubicazione dell'area contaminata in funzione dell'effettivo scenari di esposizione e di rischio e delle aree limitrofe;*
- d) *i criteri di intervento per la messa in sicurezza e bonifica;*
- e) *criteri, modalità e termini dello svolgimento dell'istruttoria.*

Il DM n. 31 del 12.02.2015

La caratterizzazione delle aree di sedime e pertinenza dei punti vendita carburante

Ai sensi dell'art. 2, comma 2, lett b) del DM 31/2015, si definisce punto vendita carburante «*la porzione di territorio di limitata estensione, **non superiore a 5000 m²**, interessata dal **sedime** o dalle **pertinenze** di un impianto di distribuzione carburanti, intesa nelle diverse matrici ambientali (suolo, sottosuolo e acque sotterranee) e **comprensiva delle eventuali strutture edilizie e impiantistiche presenti [...]**»*



In ragione delle ridotte dimensioni, l'art. 3, comma 2, del DM 31/2015 stabilisce le seguenti modalità di caratterizzazione ambientale:

- a) *se il modello concettuale del sito evidenzia la possibilità di contaminazione diretta o indiretta della falda e le dimensioni del sito lo consentono, devono essere realizzate **almeno tre perforazioni da attrezzare a piezometri**;*
- b) *a integrazione delle indagini indirette possono essere realizzati altri tipi di indagine, quali, ad esempio, i rilievi geofisici e **soil-gas survey**, al fine di ottenere una ricostruzione più completa del quadro ambientale e una determinazione accurata dei parametri sito-specifici da utilizzare per l'applicazione dell'analisi di rischio [...]*
- c) *per i **parametri da ricercare** in fase di caratterizzazione il riferimento è **all'allegato 1** al presente decreto, che ne costituisce la parte integrante.*

Il Piano Regionale di Bonifica (PRB)

- ✓ Il Piano Regionale di Bonifica è **lo strumento di programmazione e pianificazione** attraverso cui **la Regione**, coerentemente con le normative nazionali e nelle more della definizione dei criteri di priorità da parte di ISPRA (ex APAT), **provvede ad individuare i siti da bonificare** presenti sul proprio territorio, a definire un **ordine di priorità degli interventi** sulla base di una **valutazione comparata del rischio** ed a **stimare gli oneri finanziari** necessari per le attività di bonifica.
- ✓ La Regione è tenuta ad elaborare, approvare ed aggiornare il PRB.

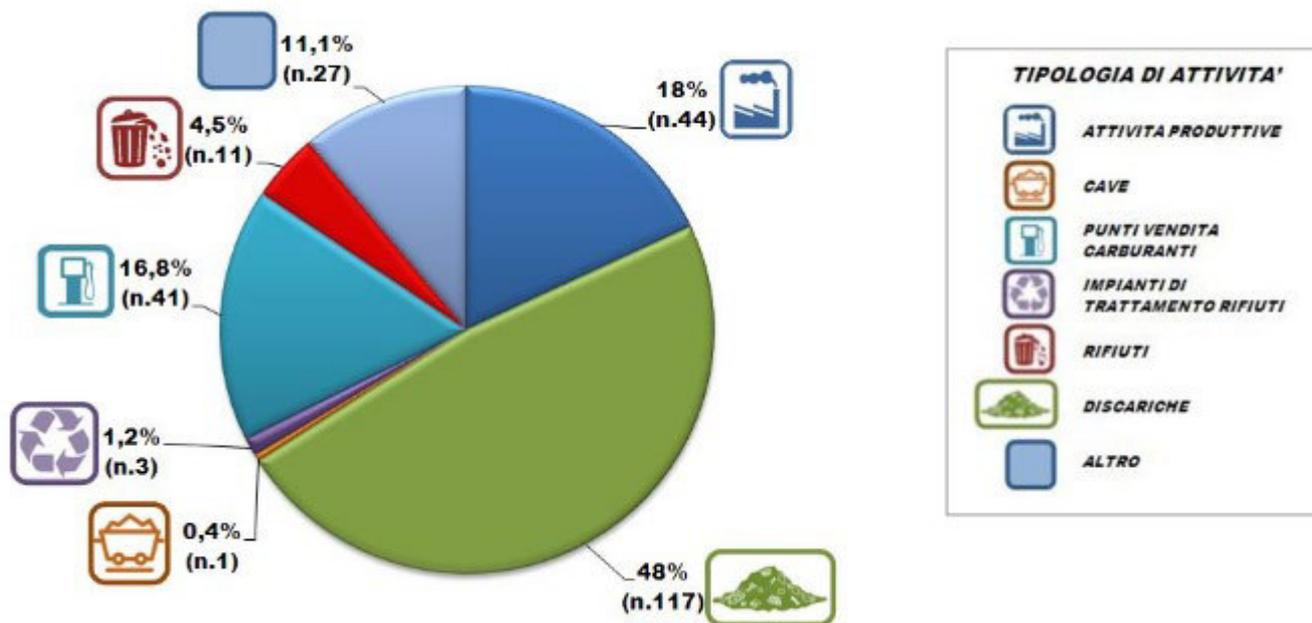


- ✓ In Campania il PRB, adottato con **DGR 129/2013**, è stato aggiornato nel 2019 (DGR 685/2019) e include:
 - l'Anagrafe dei siti da bonificare (ASB)
 - il Censimento dei siti potenzialmente contaminati (CSPC)
 - il Censimento dei siti potenzialmente contaminati di interesse nazionale (CSPC SIN)
 - le Aree Vaste

Il Piano Regionale di Bonifica (PRB)

Anagrafe dei siti da bonificare

Il database dell'anagrafe dei siti da bonificare contiene 244 siti



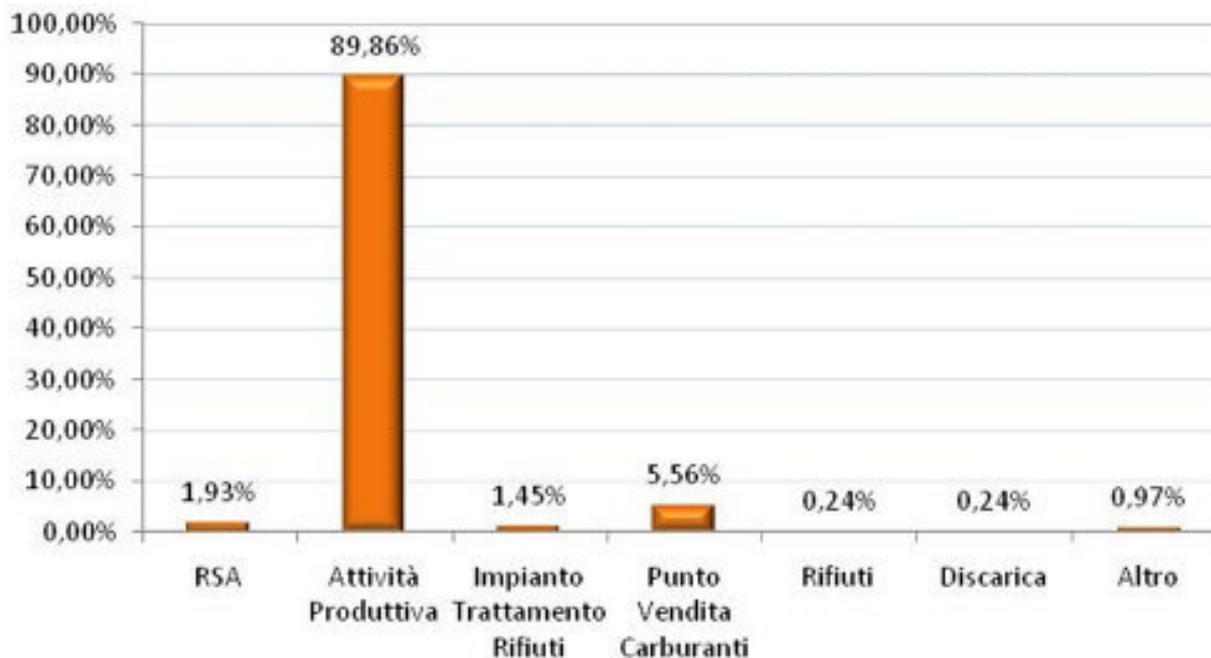
Gli inquinanti maggiormente presenti, oltre a metalli e idrocarburi, sono:

- ✓ composti inorganici e alifatici clorurati, per le discariche;
- ✓ IPA e composti aromatici, per le altre tipologie di sito.

Il Piano Regionale di Bonifica (PRB)

Censimento dei siti potenzialmente contaminati di interesse nazionale

Si tratta di 415 siti, di cui 414 censiti nel Sito di Interesse Nazionale (SIN) **Napoli Orientale** e 1 nel SIN **Napoli - Bagnoli - Coroglio**, per i quali deve essere avviato o è già stato avviato l'iter di bonifica.



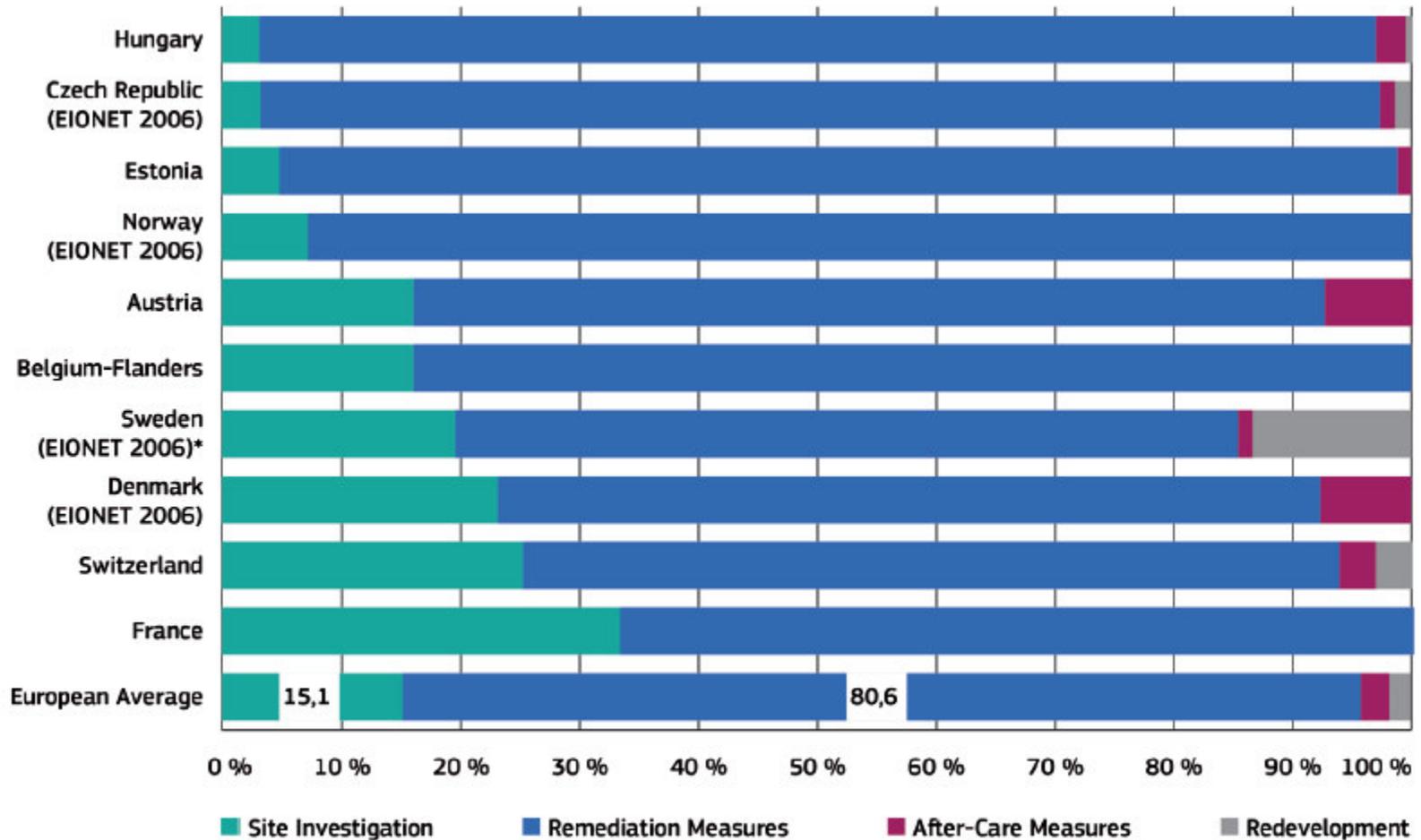
Con DM 11.01.2013, in Regione Campania sono stati esclusi dall'elenco dei SIN: il Litorale Domitio Flegreo ed Agro Aversano, il Bacino idrografico del Fiume Sarno, le Aree del Litorale Vesuviano, Pianura e parte del SIN Bagnoli-Coroglio.

Il Piano Regionale di Bonifica (PRB)

Area vasta

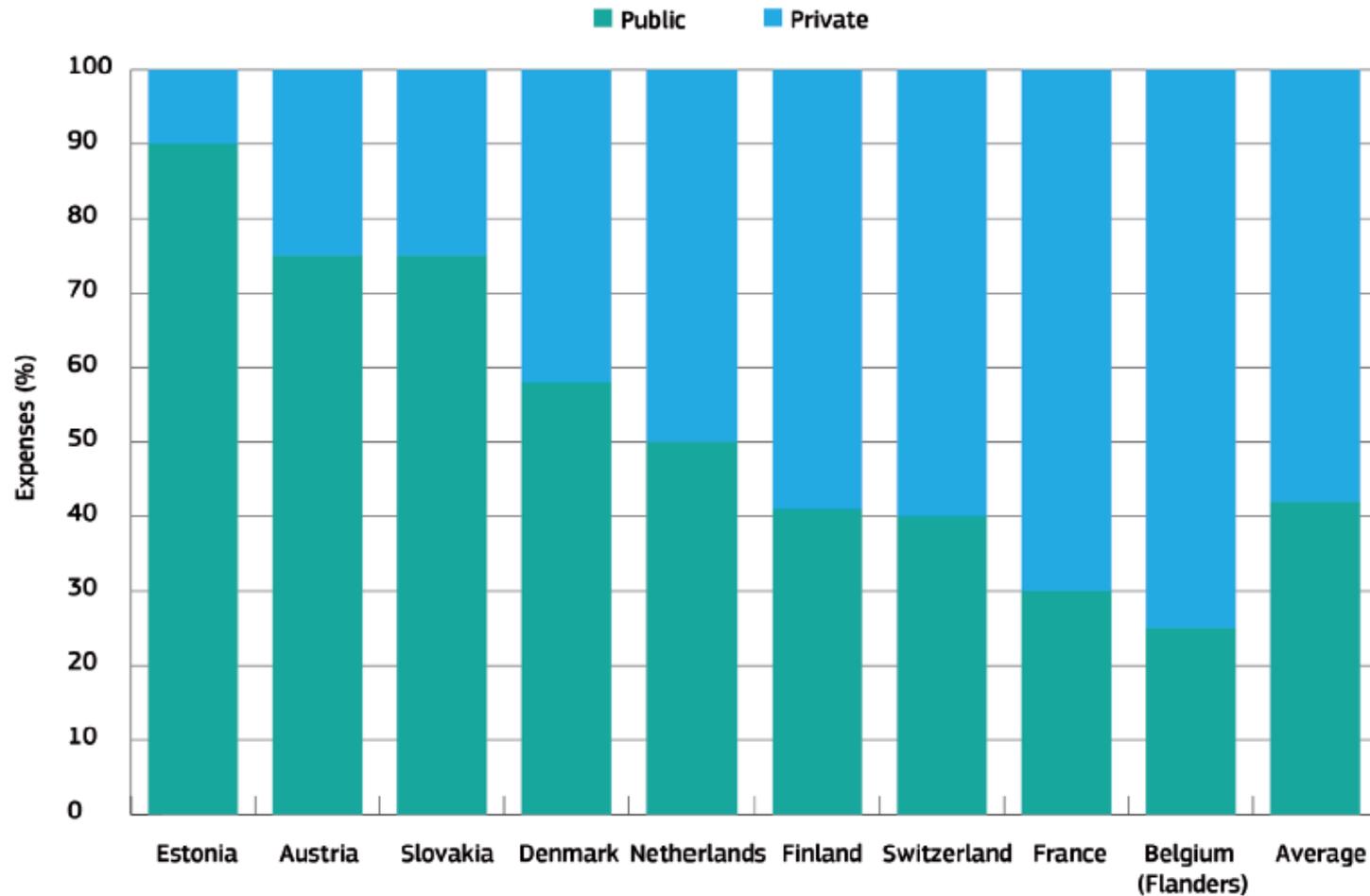
- ✓ Sono aree per le quali la situazione ambientale è particolarmente compromessa, a causa della presenza contemporanea, in porzioni di territorio relativamente limitate, di più siti inquinati e/o potenzialmente inquinati.
- ✓ In Regione Campania nel 2013 erano state individuate:
 - Area Vasta Masseria del Pozzo – Schiavi, nel Comune di Giugliano in Campania
 - Area Vasta Lo Uttaro, nel Comune di Caserta
 - Area Vasta Maruzzella, nei Comuni di San Tammaro e Santa Maria La Fossa
 - Area Vasta Bortolotto, nel Comune di Castel Volturno
 - Area Vasta Pianura, nei Comuni di Napoli e Pozzuoli.
 - Area Vasta Regi Lagni
 - Area Vasta Fiume Sarno

Ripartizione dei costi di gestione dei siti contaminati



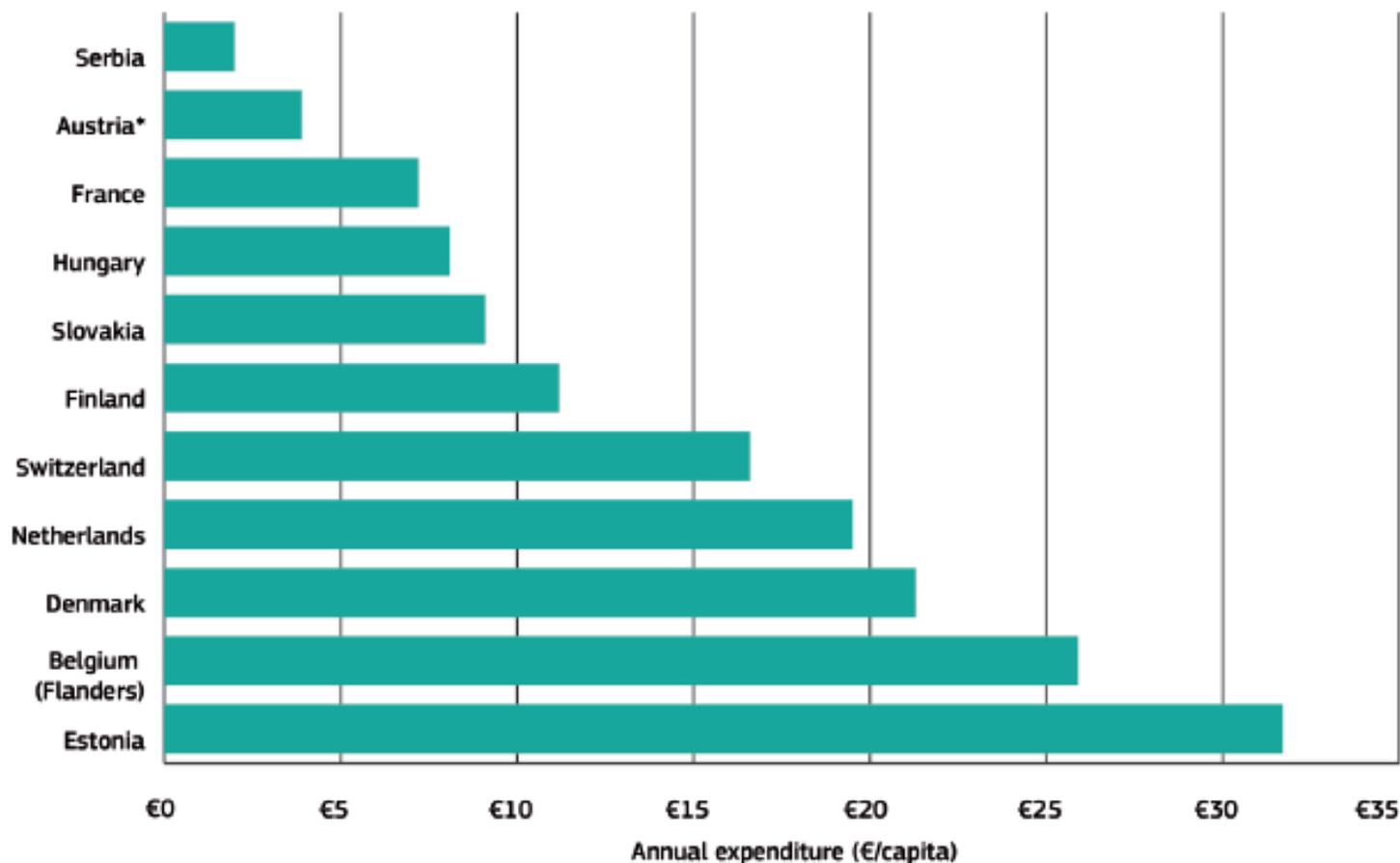
[European Commission Joint Research Centre, 2014]

Allocazione di spese pubblica e privata per la gestione dei siti contaminati



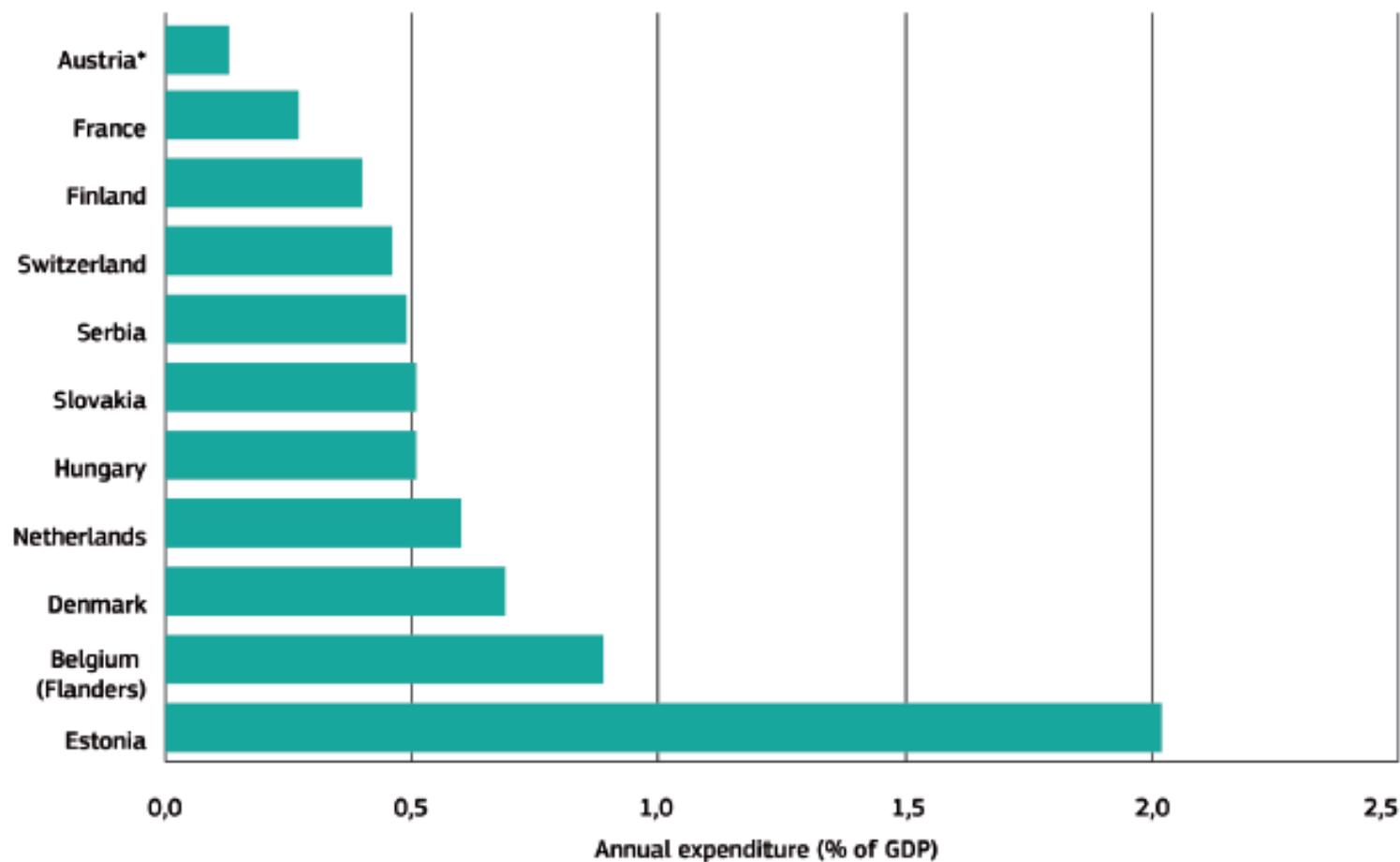
[European Commission Joint Research Centre, 2014]

Costi di gestione dei siti contaminati nel 2011



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

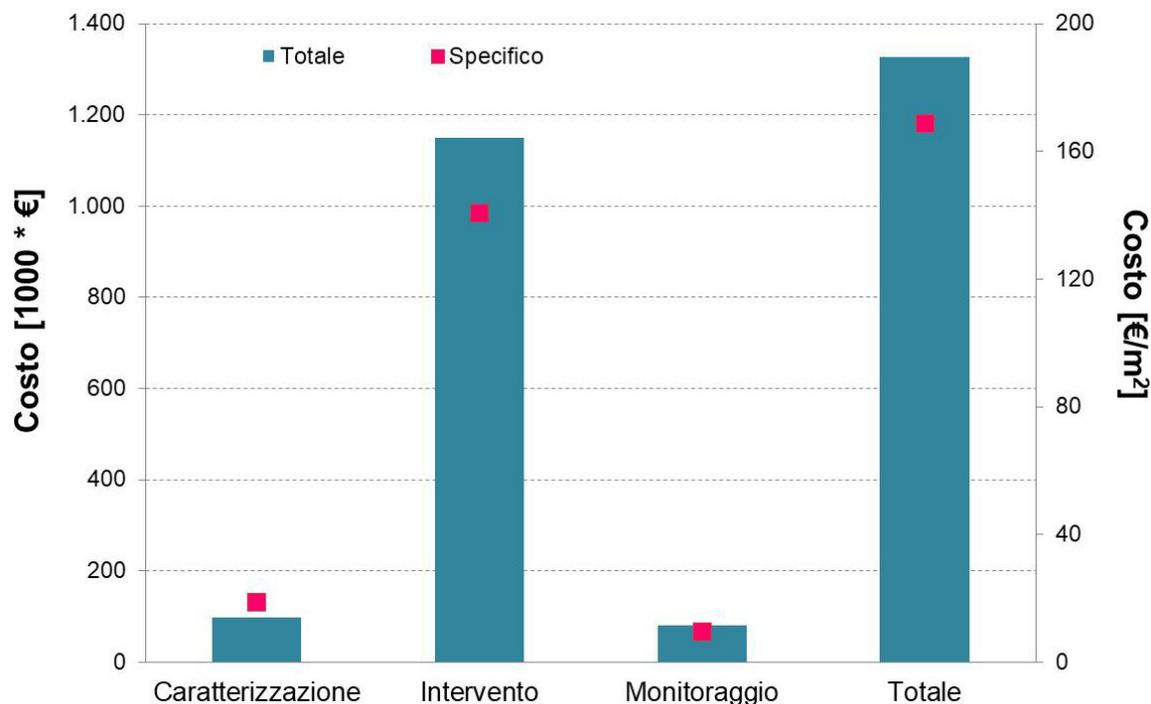
Costi di gestione dei siti contaminati nel 2011



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

I costi dei trattamenti di bonifica in Italia

Analisi dei dati riferiti a 48 SIN



6.700 - 540.000 €
(0,6 - 100 €/m²)

20.000 - 11.000.000 €
(5,6 - 1.000 €/m²)

30.000 - 12.000.000 €
(7,5 - 1.100 €/m²)

6.500 - 4.000.000 €
(0,6 - 35 €/m²)

[Rosasco et al., 2016]

Classificazione degli interventi di bonifica

- Tipologia di intervento 
 - ✓ Trattamento
 - ✓ Estrazione
- Ubicazione del trattamento 
 - ✓ In situ
 - ✓ Ex situ (on site/off site)
- Matrici ambientali interessate 
 - ✓ Matrice solida
 - ✓ Acqua
 - ✓ Gas interstiziale
- Natura del processo 
 - ✓ Fisica (termica, ...)
 - ✓ Chimica
 - ✓ Biologica

Criteri di scelta degli interventi di bonifica

✓ **Efficacia dell'intervento**

Riduzione permanente e significativa della concentrazione e della mobilità delle sostanze inquinanti nelle matrici nonché degli effetti tossici.

✓ **Compatibilità ambientale**

L'intervento deve essere adeguato alle specifiche caratteristiche del sito (ambientali, pedologiche, geologiche, idrogeologiche, paesaggistiche) sia per non pregiudicare la sua efficacia sia per evitare di aggravare il degrado dell'ambiente e del paesaggio.

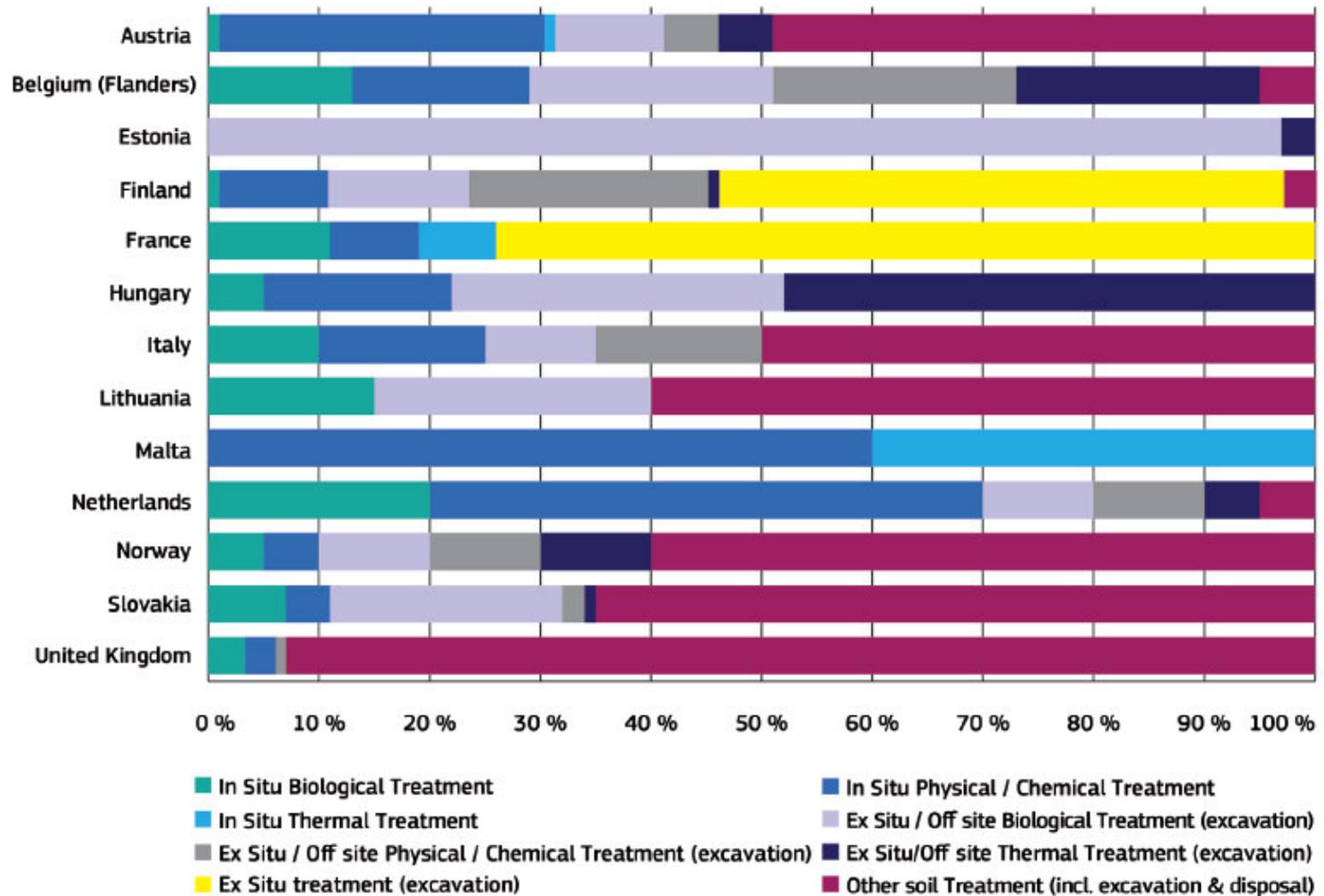
✓ **Privilegiare i trattamenti in-situ**

Si devono privilegiare le tecniche che favoriscano la riduzione della movimentazione, il trattamento nel sito ed il riutilizzo del suolo, del sottosuolo e dei materiali di riporto sottoposti a bonifica

✓ **Contenimento dei costi post-operam**

Si devono contenere i costi derivanti dalla gestione a lungo termine: gestione post operam, mancati redditi dovuti alle limitazioni alla destinazione d'uso dei suoli, etc.

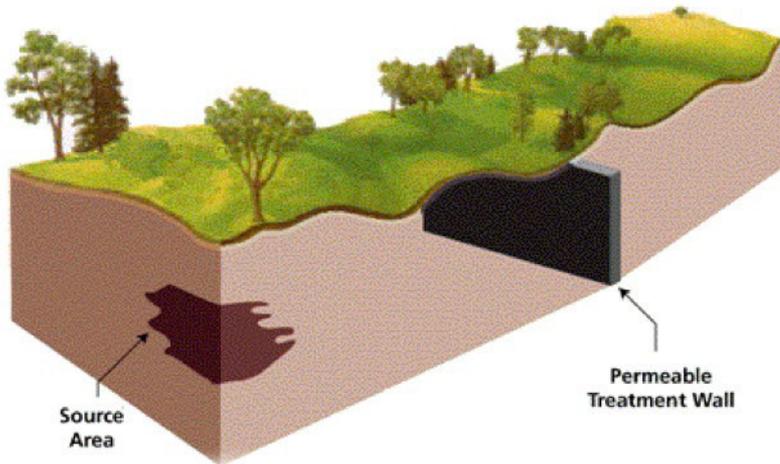
Le tecnologie di bonifica impiegate in Europa



[European Commission Joint Research Centre, 2014]

Interventi di bonifica

Barriere reattive permeabili

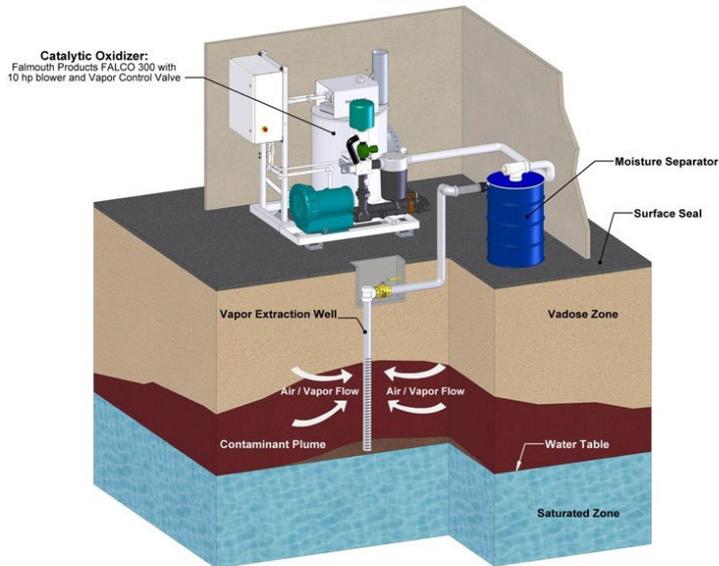


Solidificazione/Stabilizzazione



Interventi di bonifica

Soil Vapor Extraction (SVE)



REV 4-28-11

Soil washing

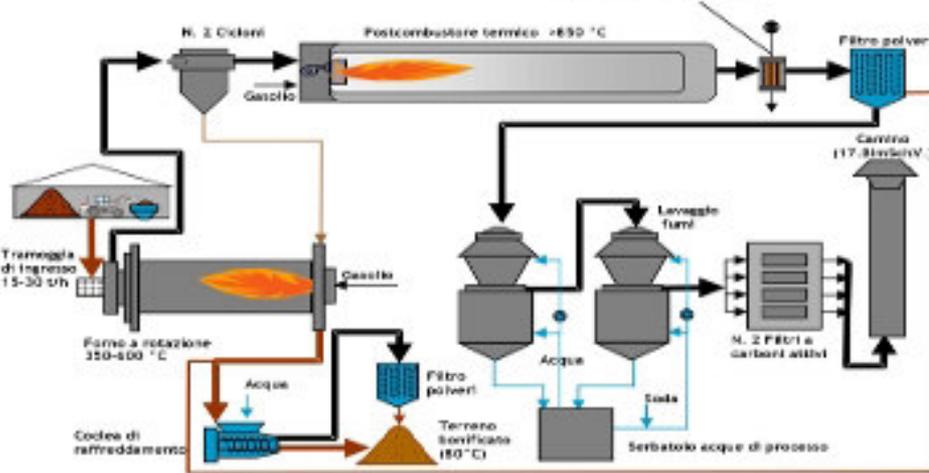


Interventi di bonifica

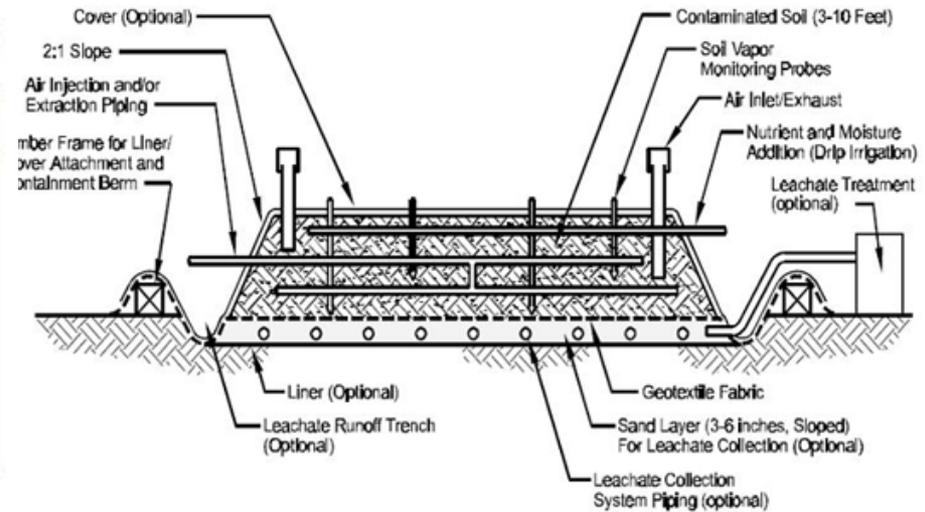
Desorbimento termico



N. 2 scambiatori di calore
850 °C = 160 °C



Biopile



Interventi di ripristino ambientale

Fonderie di rame
Anaconda, Montana



Contaminazione da Rame



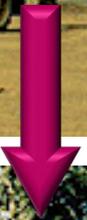
Campi da Golf



Industria hi-tech
Mountain View, California



Contaminazione da solventi

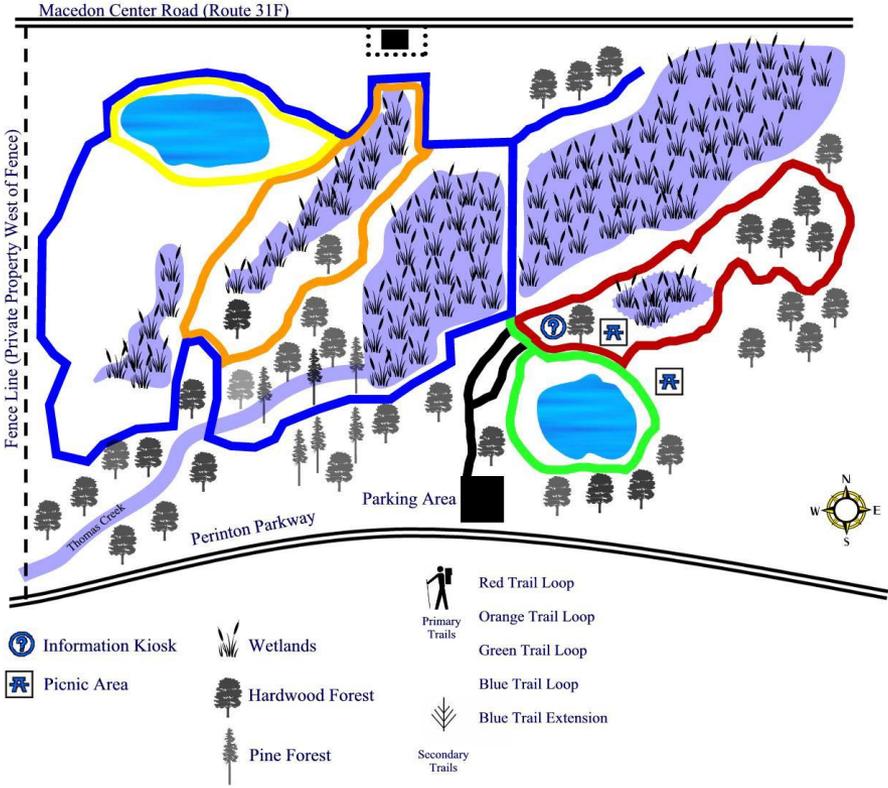


Campus Netscape



Interventi di ripristino ambientale

The Trails At High Acres Information and Trail Map



Discarica High Acres (Perinton Town, New York)

Interventi di ripristino ambientale



Discarica Mountain Gate (Los Angeles, California)

Interventi di ripristino ambientale



Discarica Shuen Wan (Hong Kong)

Considerazioni di sintesi

- ✓ **Grandi risorse economiche** destinate alla bonifica ed al ripristino dei siti contaminati.
- ✓ Elevato numero di siti in Italia, maggiormente aree industriali al centro nord, discariche non controllate al sud. **Interessanti spazi professionali.**
- ✓ Necessità dell'applicazione di procedure effettive di **Analisi di rischio.**
- ✓ **Ridotta competenza tecnica** contrapposta a un rischio elevato per la salute pubblica.
- ✓ Complessità delle **attività di campionamento** ed analisi su matrici solide.
- ✓ **Necessità di formazione specifica** multidisciplinare dei tecnici progettisti ed addetti al controllo ed alla verifica degli interventi.