

POLITECNICO DI TORINO

I Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

Recupero e valorizzazione di siti industriali dismessi:

**Analisi critica degli approcci normativi e
sviluppo di un Toolkit parametrico decisionale
a supporto della progettazione**



Luglio 2018

Indice

1	INTRODUZIONE	1
2	NORMATIVA	5
2.1	LEGISLAZIONE ITALIANA	6
2.1.1	PROCEDURE OPERATIVE ED AMMINISTRATIVE	7
2.2	LEGISLAZIONE SPAGNOLA	11
2.2.1	PROCEDURE OPERATIVE ED AMMINISTRATIVE	13
2.3	LEGISLAZIONE CANADESE	17
2.3.1	PROCEDURE OPERATIVE ED AMMINISTRATIVE	18
2.4	CONFRONTO CRITICO TRA LA NORMATIVA ITALIANA, SPAGNOLA E CANADESE	23
2.4.1	PROCEDURE OPERATIVE ED AMMINISTRATIVE	23
2.4.2	SCENARI DI UTILIZZO FUTURO DEL SUOLO E VALORI DI CONCENTRAZIONE LIMITE	24
2.4.3	VALORI DI CONCENTRAZIONE LIMITE AMMISSIBILI	24
3	ANALISI DI RISCHIO	27
3.1	PROCEDURA DI ANALISI DI RISCHIO SANITARIA AMBIENTALE	28
3.1.1	RACCOLTA E VALUTAZIONE DEI DATI	29
3.1.2	VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE	30
3.1.3	VALUTAZIONE TOSSICOLOGICA	37
3.1.4	CALCOLO DEL RISCHIO	37
3.2	ANALISI DI RISCHIO SUL SITO DI NITRASTUR	39
3.2.1	CARATTERIZZAZIONE DEL SITO	39
3.2.2	MODELLO CONCETTUALE DEL SITO	45
3.2.3	CALCOLO DELLA CONCENTRAZIONE AL PUNTO DI ESPOSIZIONE <i>CPOE</i>	45
3.2.4	CALCOLO DELLE DOSI GIORNALIERE SECONDO APAT	46
3.2.5	CALCOLO DELLE DOSI GIORNALIERE SECONDO US EPA	51
3.2.6	CALCOLO DEI PARAMETRI TOSSICOLOGICI	52
3.2.7	CALCOLO DEL RISCHIO	52
3.2.8	OSSERVAZIONI	62
4	ADAPTIVE REUSE	65
4.1	SUDDIVISIONE DELLA SUPERFICIE MEDIANTE GRIGLIA	71
4.1.1	SUDDIVISIONE DELLA SUPERFICIE MEDIANTE GRIGLIA SUL SITO DI NITRASTUR	71
4.2	INDIVIDUAZIONE DEI CONTAMINANTI PRESENTI SUL SITO E DELLA LORO CONCENTRAZIONE	72
4.2.1	INDIVIDUAZIONE DEI CONTAMINANTI PRESENTI SUL SITO DI NITRASTUR E DELLA LORO CONCENTRAZIONE	73
4.3	ORGANIZZAZIONE DEI DATI IN CLASSI DI CONCENTRAZIONE	74
4.3.1	ORGANIZZAZIONE DEI DATI IN CLASSI DI CONCENTRAZIONE SUL SITO DI NITRASTUR	75
4.4	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DEL TIPO DI CONTAMINANTI PRESENTI E DELLA MATRICE AMBIENTALE INTERESSATA	76
4.4.1	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DEL TIPO DI CONTAMINANTI PRESENTI E DELLA MATRICE AMBIENTALE INTERESSATA SUL SITO DI NITRASTUR	78
4.5	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DELLE CLASSI DI CONCENTRAZIONE	80
4.5.1	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DELLE CLASSI DI CONCENTRAZIONE SUL SITO DI NITRASTUR	80
4.6	INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI FISICI LIMITANTI	81

4.6.1	INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI FISICI LIMITANTI SUL SITO DI NITRASTUR	81
4.7	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE COMPATIBILI CON IL PROGETTO ARCHITETTONICO	81
4.7.1	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE COMPATIBILI CON IL PROGETTO ARCHITETTONICO SUL SITO DI NITRASTUR	82
4.8	TEMPI, COSTI E VARIAZIONI MORFOLOGICHE DEL TERRENO	85
4.8.1	TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE TECNICHE DI BONIFICA	85
4.8.2	COSTI DELLE TECNICHE DI BONIFICA	87
4.8.3	VARIAZIONI MORFOLOGICHE DEL TERRENO	90
4.9	IDENTIFICAZIONE DELLA TECNICHE DI BONIFICA MIGLIORE	90
4.9.1	IDENTIFICAZIONE DELLA TECNICA DI BONIFICA MIGLIORE SUL SITO DI NITRASTUR	90
4.10	SVILUPPI FUTURI DEL TOOLKIT	94
5	CONCLUSIONI	97
6	BIBLIOGRAFIA	99
7	ALLEGATI	101
7.1	RISCHIO INDIVIDUALE TOSSICO E CANCEROGENO SECONDO METODOLOGIA APAT	101
7.1.1	SCENARIO RESIDENZIALE	101
7.1.2	SCENARIO RICREATIVO	107
7.1.3	SCENARIO INDUSTRIALE	113
7.2	RISCHIO INDIVIDUALE TOSSICO E CANCEROGENO SECONDO METODOLOGIA US EPA	119
7.2.1	SCENARIO RESIDENZIALE	119
7.2.2	SCENARIO RICREATIVO	125
7.2.3	SCENARIO INDUSTRIALE	131
7.3	RISCHIO CUMULATIVO TOSSICO E CANCEROGENO SECONDO METODOLOGIA APAT	137
7.3.1	SCENARIO RESIDENZIALE	137
7.3.2	SCENARIO RICREATIVO	139
7.3.3	SCENARIO INDUSTRIALE	141
7.4	RISCHIO CUMULATIVO TOSSICO E CANCEROGENO SECONDO METODOLOGIA US EPA	143
7.4.1	SCENARIO RESIDENZIALE	143
7.4.2	SCENARIO RICREATIVO	145
7.4.3	SCENARIO INDUSTRIALE	147
7.5	FASI DEL PROCESSO DI SVILUPPO DEL TOOLKIT PARAMETRICO	149
7.5.1	INDIVIDUAZIONE CONTAMINANTI PRESENTI SUL SITO DI NITRASTUR E ORGANIZZAZIONE IN CLASSI DI CONCENTRAZIONE	149
7.5.2	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DEL TIPO DI CONTAMINANTI PRESENTI E DELLA MATRICE AMBIENTALE INTERESSATA	150
7.5.3	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DELLE CLASSI DI CONCENTRAZIONE	151
7.5.4	INDIVIDUAZIONE DELLE TECNICHE APPLICABILI IN FUNZIONE DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI	152
7.5.5	INDIVIDUAZIONE TECNICHE COMPATIBILI CON IL PROGETTO ARCHITETTONICO	153
7.5.6	INDIVIDUAZIONE TECNICHE COMPATIBILI CON I TEMPI DI REALIZZAZIONE	154
7.5.7	CALCOLO DELLE SUPERFICI E DEI VOLUMI DA BONIFICARE E DEI COSTI DELLE TECNICHE	155
7.5.8	INDIVIDUAZIONE TECNICHE CON COSTO MINORE E CALCOLO DEL COSTO DI REALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO DI BONIFICA TOTALE E PER OGNI SOTTO-SUPERFICIE	156
7.5.9	CALCOLO VARIAZIONI MORFOLOGICHE DEL TERRENO	157
7.5.10	CONVERSIONE DEI DATI RICAVATI PER LA RAPPRESENTAZIONE IN 3D	158
8	RINGRAZIAMENTI	159

1 Introduzione

A partire dalla fine del XVIII secolo e per tutto l'800 e gli inizi del '900 il processo di industrializzazione ha cambiato il volto del mondo Occidentale da un punto di vista sociale, economico, ma anche paesaggistico ed ecologico.

L'uso di nuovi combustibili per l'alimentazione delle macchine a vapore e la sostituzione delle braccia umane, oltre a portare all'aumento considerevole della produzione, ha portato a dei cambiamenti epocali nel modo di concepire il lavoro, nelle dinamiche economiche e nello stile di vita. Su quest'ultimo, in modo particolare, i cambiamenti hanno inciso a livello qualitativo nel senso del benessere economico (soprattutto dopo le lotte sociali per i diritti dei lavoratori), con la crescita delle aspettative di vita, ma hanno portato anche ad una crescita dei bisogni, con una conseguente ricaduta sulla produzione, tradotta poi in sfruttamento selvaggio del suolo, delle risorse della terra, antropizzazione dell'ambiente incontrollata, mettendo a dura prova la capacità di carico degli ecosistemi. In particolare, dopo lo sviluppo a scala mondiale del settore secondario, si è determinata un'impronta ecologica sempre più in negativo con grosse conseguenze sull'ambiente e quindi anche sull'uomo.

Negli ultimi scorcii del '900 e agli inizi del nuovo millennio il volto dell'economia si è rivoluzionato ulteriormente, imponendo una revisione globale delle scelte produttive, soprattutto nei paesi a industrializzazione matura, mettendo in atto un processo di riqualificazione e ristrutturazione industriale, con la nascita di impianti produttivi altamente sofisticati, ma anche con la delocalizzazione delle industrie. Questa evoluzione ha lasciato in eredità delle aree industriali dismesse, definite "brownfields", che nella maggior parte dei casi sono interessate da fenomeni di contaminazione del suolo e delle falde acquifere.

La presenza di un numero sempre più crescente di tali aree ha pertanto reso necessario per i vari organi competenti definire degli strumenti legislativi che possano regolamentare tali condizioni, ma soprattutto che garantiscano la salute dell'ambiente e dell'uomo, visto che sono molteplici i casi in cui, restringendosi le aree edificabili, si sceglie di realizzare edifici residenziali o strutture destinate ad uso ricreativo o commerciale in prossimità di *brownfields*.

Gli strumenti legislativi oggi permettono di definire le condizioni per le quali un dato sito contaminato può costituire un reale pericolo per l'uomo e per l'ambiente e forniscono dei mezzi per quantificare il rischio tossico e cancerogeno derivante dal contatto con l'area inquinata.

In tale ottica si sviluppa la prima parte del presente elaborato con l'intento di analizzare gli sviluppi normativi in materia di siti contaminati in Italia, Spagna e Canada.

La scelta dei tre Stati non è casuale, ma è dettata dalla volontà di realizzare un confronto tra gli strumenti normativi italiani e quelli spagnoli che regolamentano l'area oggetto del presente studio, ovvero Nitrastur, situata nelle Asturie in Spagna, e quelli canadesi che, pur non rientrando nel contesto europeo, presentano delle impostazioni di base molti simili a quelli europei e permettono di trattare il problema con uno spettro di osservazione più ampio.

Le disamine interesseranno non soltanto gli aspetti legislativi, ma anche le procedure tecniche ed amministrative, nonché quelle relative all'analisi di rischio, delle quali si fornirà una specifica applicazione.

L'attenzione data a questa prima parte è legata sostanzialmente al fatto che l'individuazione degli strumenti legislativi si pone come base per l'identificazione di strategie di bonifica che permettono di ripristinare i siti contaminati o comunque di raggiungere delle condizioni tali da non generare più rischio per l'uomo e per l'ambiente.

L'applicazione delle tecniche di bonifica richiede a monte degli studi specifici in cui la figura dell'ingegnere ambientale è essenziale al fine di definire tutti i parametri che possano influenzare l'efficacia di un dato intervento.

Va precisato comunque che data la complessità dei processi di bonifica dei siti contaminati, e considerando che tale azione è orientata a finalità varie, la sola presenza dell'ingegnere ambientale non è sufficiente, ma si richiede che vi sia una sinergica collaborazione fra diverse figure tecniche, ad ognuna delle quali compete una fondamentale parte del processo di riadattamento del sito.

È proprio in quest'ottica che si inseriscono i concetti di *Adaptive Reuse* e *Adaptive Remediation*, i quali delineano delle aree d'azione che vedono diversi protagonisti quali ad esempio l'ingegnere ambientale e il progettista architetto, che mettono a disposizione le proprie competenze con l'intento di definire un progetto di ripristino che tenga conto del contesto storico, della compatibilità ambientale dell'area industriale dismessa e della possibile integrazione tra conservazione e trasformazione dell'ambiente stesso.

Partendo da questa ottica multidisciplinare, una parte del presente elaborato si focalizzerà sulla necessità di creare un nuovo canale di dialogo che possa essere utile sia per l'ingegneria ambientale sia per l'architettura.

Ciò che tale lavoro intende definire e ciò che attualmente manca tra i mezzi a disposizione degli ingegneri ambientali e degli architetti per consentire un approccio multidisciplinare è uno strumento flessibile che tenga conto di esigenze diverse, che però sono orientate ad una medesima finalità, garantendo un'attiva partecipazione e collaborazione per accelerare e ottimizzare tutti i processi coinvolti.

Questo strumento è il *Toolkit*, che è stato progettato come una scatola nera che agisce su un sito specifico, in cui gli input sono delle variabili che tengono conto delle diverse esigenze tecniche del sito (sia dell'ingegnere ambientale sia del progettista architetto), mentre gli output sono delle liste di tecniche applicative che nello step finale forniranno delle indicazioni circa gli interventi di bonifica che meglio si adattano al sito, che minimizzano i costi di intervento e permettono agli *stakeholder* di trarre dei risultati con tempistiche ottimali.

Alla luce di quanto premesso, il presente elaborato si svilupperà su tre capitoli secondo il seguente schema.

Nel primo capitolo si affronterà la disamina della normativa italiana, spagnola e canadese con particolare attenzione rivolta alle procedure operative e amministrative sulle quali sarà improntato un confronto critico.

Nel capitolo secondo saranno descritte le procedure di analisi di rischio per l'Italia, per la Spagna e per il Canada e l'applicazione pratica sul sito di Nitrastur delle linee guida italiane e spagnole.

Il terzo capitolo affronterà i problemi di *Adaptive Reuse*, descrivendo in maniera dettagliata le fasi di sviluppo del *Toolkit* con riferimento all'applicazione sul sito spagnolo di Nitrastur, area industriale contaminata.

In appendice saranno riportate le tabelle relative ai calcoli affrontati in seguito all'applicazione della procedura di analisi di rischio, sia nel caso italiano che spagnolo, per le diverse destinazioni d'uso considerate e le tabelle relative alle diverse fasi di sviluppo del *Toolkit*.

2 Normativa

Un sito si dice contaminato quando “i valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR) determinati con la procedura di analisi di rischio [...] risultano superati ”.¹

Se da un lato il concetto esposto nel D.Lgs 152/06 del 3 Aprile 2006 può essere assunto in maniera universale, dall’altro lato esso non ha un carattere di assolutezza in quanto dipende dai livelli di riferimento stabiliti nelle normative delle diverse nazioni: ragion per cui uno stesso sito può essere classificato come contaminato sulla base di determinati limiti normativi, mentre invece può non rientrare nella definizione sopra se confrontato con indicatori di altre nazioni.

L’obbiettivo di tale capitolo sarà quello di descrivere e mettere a confronto gli approcci legislativi italiani, spagnoli e canadesi con l’intento di verificare se effettivamente quanto appena affermato è vero.

La disamina degli iter procedurali italiani e spagnoli è legata al sito oggetto del seguente studio, ubicato in Spagna, mentre la scelta della normativa canadese è giustificata dal fatto che essa ha un’impostazione di base molto simile a quelle italiana e spagnola, pur non rientrando nel contesto europeo.

Per ciascuna normativa, sarà dapprima realizzato un excursus storico circa l’evoluzione degli strumenti legislativi, per poi focalizzare l’attenzione sulle procedure operative ed amministrative da attuare in presenza di contaminazione.

Si procederà quindi con un confronto critico delle diverse legislazioni con l’intento di evidenziare i punti comuni e quelli discordanti relativamente alle procedure operative ed amministrative, in modo tale da valutare quanto quest’ultime possano influenzare il grado di tutela dell’uomo e dell’ambiente.

Il confronto verterà maggiormente sui metalli essendo considerati i maggiori responsabili dell’inquinamento del sito oggetto del presente elaborato.

¹ D.Lgs 152/06

2.1 Legislazione italiana

In Italia, il primo documento legislativo che pone l'attenzione sugli *“scarichi di qualsiasi tipo, pubblici e privati, diretti ed indiretti, in tutte le acque superficiali e sotterranee, interne e marine, sia pubbliche che private, nonché in fognature, sul suolo e nel sottosuolo”* è la Legge n. 319 del 10/05/1976, nota anche come Legge Merli. Essa definisce dei limiti di accettabilità relativi agli scarichi di sostanze in acqua² al fine di valutare le concentrazioni dei contaminanti scaricati e di poter limitare il fenomeno di contaminazione ambientale associato ad essi. Con il DPR n.915 del 10/11/1982 invece si pone l'attenzione sullo smaltimento dei rifiuti con lo scopo di *“evitare ogni danno o pericolo per la salute, l'incolumità, il benessere e la sicurezza della collettività e dei singoli ”*e garantire *“il rispetto delle esigenze igienico-sanitarie”* ed evitare *“ogni rischio di inquinamento dell'aria, dell'acqua, del suolo e del sottosuolo [...]”*.

La Legge n. 349 del 08/07/1986 e s.m.i., definisce per la prima volta le aree ad elevato rischio di crisi ambientale come *“gli ambiti territoriali e gli eventuali tratti marittimi prospicienti caratterizzati da gravi alterazioni degli equilibri ambientali nei corpi idrici, nell'atmosfera o nel suolo, e che comportano rischio per l'ambiente e la popolazione [...]”*. Si inizia in tal modo a porre l'attenzione sulla valutazione del potenziale rischio sanitario-ambientale dovuto a fenomeni di contaminazione di tutte le matrici ambientali legati alle attività che si svolgono prevalentemente su siti di tipo industriale.

L'emanazione dei due decreti legge, convertiti nelle Leggi n. 441 del 29/12/1986 e n. 475 del 9/11/1988, ha lo scopo di far fronte a delle situazioni di emergenza ambientale legate allo smaltimento di rifiuti industriali ed urbani.

Il concetto di sito inquinato si amplia in seguito al D.Lgs 22/1997³ (decreto Ronchi) poiché non ci si riferisce più solo a vaste aree industriali in attività, ma anche a aree industriali dismesse, o da dismettere, e ad aree di smaltimento rifiuti; tuttavia la prima normativa nazionale che affronta in modo organico il tema della bonifica dei siti contaminati è il DM 471/99 *“Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati”*, attuazione del D.Lgs n. 22/97.

Il DM 471/99 fornisce la prima definizione di *“sito inquinato”* associando tale aggettivo a delle aree in cui viene misurata una concentrazione superiore a quella limite individuata nella normativa sulla base di criteri *“tabellari”* e definita attraverso una procedura di analisi di rischio sanitaria.

Il Decreto, costituito da 18 articoli e 5 allegati tecnici, si pone come obiettivo quello 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;

le procedure di riferimento per il prelievo e l'analisi dei campioni;

i criteri generali per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati, nonché per la redazione dei relativi progetti;

i criteri per le operazioni di bonifica di suoli e falde acquifere che facciano ricorso a batteri, a ceppi batterici mutanti, a stimolanti di batteri naturalmente presenti nel suolo;

² Art.9 Legge 08/07/1986.

³ Art.17 D.Lgs 22/1997

i criteri per l'individuazione dei siti inquinati di interesse nazionale".⁴

Con l'entrata in vigore del D.Lgs 152/2006, noto anche come Testo Unico Ambientale, si è osservato un radicale cambiamento dell'approccio tecnico per l'individuazione e la gestione dei siti contaminanti. *“La parte quarta del presente decreto disciplina la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati anche in attuazione delle direttive comunitarie, in particolare della direttiva 2008/98/CE, prevedendo misure volte a proteggere l'ambiente e la salute umana, prevedendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell'uso delle risorse e migliorandone l'efficacia”*.

Gli aspetti inerenti la bonifica e il ripristino ambientale sono trattati nel titolo V della parte quarta secondo quanto riportato: *“il presente titolo 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 l'eliminazione delle sorgenti dell'inquinamento e comunque per la riduzione delle concentrazioni di sostanze inquinanti, in armonia con i principi e le norme comunitari, con particolare riferimento al principio ‘chi inquina paga’”*⁵.

Nello specifico, nel testo, oltre alla definizione di sito, vengono anche introdotti i concetti di Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) e le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR) da intendere rispettivamente come *“livelli di contaminazione delle matrici ambientali che costituiscono valori al di sopra dei quali è necessaria la caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio sito specifica [...]”* e *“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 quarta del presente decreto e sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, il cui superamento richiede la messa in sicurezza e la bonifica. I livelli di concentrazione così definiti costituiscono i livelli di accettabilità per il sito”*⁵.

Il decreto apporta numerose modifiche all'iter definito dalle normative precedenti poiché, oltre a dare delle chiare definizioni dei termini introdotti dal Decreto Ronchi, definisce due soglie di concentrazione che permettono di individuare una metodologia di azione non più basata sulla consultazione di valori tabellari, ma su una procedura sito-specifica che permetta di determinare l'eventuale necessità di bonifica e di identificare le migliori tecnologie disponibili, anche in funzione dei costi.

2.1.1 Procedure operative ed amministrative

La procedura operativa ed amministrativa da applicarsi ai siti contaminati è quella proposta dal D.Lgs 152/06.

Secondo quanto riportato dall'art 242, in presenza di un evento in grado di contaminare il sito, sarà il “responsabile dell'inquinamento” a dover effettuare delle indagini preliminari sulle matrici oggetto della contaminazione con lo scopo di accertare o meno il superamento delle CSC. In caso si richieda che venga impostata la procedura di analisi di rischio sito-specifica dalla quale determinare le CSR il metodo suggerito dall'Allegato I alla parte VI è quello definito dall'ISPRA.

Se dalla procedura di analisi di rischio emerge che le concentrazioni dei contaminanti sono superiori ai valori di CSR, allora *“il soggetto responsabile sottopone alla regione, nei*

⁴ Art.1 DM 25/10/1999

⁵ D.Lgs 152/06

successivi sei mesi dall'approvazione del documento di analisi di rischio, il progetto operativo degli interventi di bonifica o di messa in sicurezza, operativa o permanente, e, ove necessario, le ulteriori misure di riparazione e di ripristino ambientale, al fine di minimizzare e ricondurre ad accettabilità il rischio derivante dallo stato di contaminazione presente nel sito”.⁶ Se invece risulta che la concentrazione dei contaminanti nel sito è inferiore alle CSR allora il procedimento si conclude e la conferenza dei servizi prescrive un programma di monitoraggio con l'intento di controllare il sito.

Sulla base dei valori delle CSC e delle CSR sarà possibile pervenire alla definizione di:

- “sito potenzialmente contaminato: un sito nel quale uno o più valori di concentrazione delle sostanze inquinanti rilevati nelle matrici ambientali risultino superiori ai valori di concentrazione soglia di contaminazione (CSC), in attesa di espletare le operazioni di caratterizzazione e di analisi di rischio sanitario e ambientale sito specifica, che ne permettano di determinare lo stato o meno di contaminazione sulla base delle concentrazioni soglia di rischio (CSR)”;
- “sito contaminato: un sito nel quale i valori delle concentrazioni soglia di rischio (CSR), determinati con l'applicazione della procedura di analisi di rischio di cui all'Allegato 1 alla parte quarta del presente decreto sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, risultano superati”;
- “sito non contaminato: un sito nel quale la contaminazione rilevata nelle matrici ambientali risulti inferiore ai valori di concentrazione soglia di contaminazione (CSC) oppure, se superiore, risulti comunque inferiore ai valori di concentrazione soglia di rischio (CSR) determinate a seguito dell'analisi di rischio sanitario e ambientale sito specifica”.

I valori di CSC, ricavati sia per le acque sotterranee che per i terreni nelle diverse destinazioni d'uso (uso verde pubblico, privato e residenziale e uso commerciale e industriale) sono riportate in Tabella 2.1

Tabella 2.1 Valori tabellari della concentrazione soglia limite per le acque sotterranee e per i terreni definiti dal D.Lgs 152/06 (Fonte: D.Lgs 152/06)

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL D.LGS 152/06			
	<i>ACQUE SOTTERRANEE</i>	<i>TERRENI</i>	
<i>Sostanze</i>	<i>Valori limite (µ/l)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>
		<i>Uso verde pubblico, privato e residenziale</i>	<i>Uso commerciale e industriale</i>
Metalli			
Alluminio	200		
Antimonio	5	10	30
Argento	10		
Arsenico	10	20	50
Berillio	4	2	10
Cadmio	5	2	15
Cobalto	50	20	250
Cromo totale	50	150	800
Cromo VI	5	2	15

⁶ Art. 242 comma 7 D.Lgs 152/2006.

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL D.LGS 152/06			
	<i>ACQUE SOTTERRANEE</i>	<i>TERRENI</i>	
<i>Sostanze</i>	<i>Valori limite (µ/l)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>
		<i>Uso verde pubblico, privato e residenziale</i>	<i>Uso commerciale e industriale</i>
Ferro	200		
Manganese	50		
Mercurio	1	1	5
Nichel	20	120	500
Piombo	10	100	1000
Rame	1000	120	600
Selenio	10	3	15
Stagno		1	350
Tallio	2	1	10
Vinadio		90	250
Zinco	3000	150	1500
Inquinanti inorganici			
Boro	1000		
Cianuri liberi	50	1	100
Fluoruri	1500	100	2000
Nitriti	500		
Solfati (mg/litro)	250		
Composti organici aromatici			
Benzene	1	0,1	2
Etilbenzene	50	0,5	50
Stirene	25	0,5	50
Toluene	15	0,5	50
Para-xilene	10		
Xilene		0,5	50
Sommatoria organici aromatici		1	100
Policiclici aromatici			
Benzo(a)antracene	0,1	0,5	10
Benzo(a)pirene	0,01	0,1	10
Benzo(b)fluorantene	0,1	0,5	10
Benzo(k)fluorantene	0,05	0,5	10
Benzo(g, h, i)perilene	0,01	0,1	10
Crisene	5	5	50
Dibenzo(a,h)antracena	0,01	0,1	10
Indeno(1, 2, 3, -c, d)pirene	0,1	0,1	5
Pirene	50	5	50
Sommatoria (32,32,33,36)	0,1	10	100
Alifatici clorurati cancerogeni			
Clorometano	1,5	0,1	5
Triclorometano	0,15	0,1	5
Cloruro di Vinile	0,5	0,01	0,1

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL D.LGS 152/06			
	<i>ACQUE SOTTERRANEE</i>	<i>TERRENI</i>	
<i>Sostanze</i>	<i>Valori limite (µ/l)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>
		<i>Uso verde pubblico, privato e residenziale</i>	<i>Uso commerciale e industriale</i>
1,2-Dicloroetano	3	0,2	5
1,1-Dicloroetilene	0,05	0,1	1
Tricloroetilene	1,5	1	10
Tetracloroetilene	1,1	0,5	20
Esaclorobutadiene	0,15		
Sommatoria organoalogenati	10		
Alifatici clorurati non cancerogeni			
1,1-Dicloroetano	810	0,5	30
1,2-Dicloroetilene	60	0,3	15
1,2-Dicloropropano	0,15	0,3	5
1,1,1-Tricloroetano		0,5	30
1,1,2-Tricloroetano	0,2	0,5	15
1,2,3-Tricloropropano	0,001	1	10
1,1,2,2-Tetracloroetano	0,05	0,5	10
Alifatici alogenati cancerogeni			
Tribromometano	0,3	0,5	10
1,2-Dibromoetano	0,001	0,01	0,1
Dibromoclorometano	0,13	0,5	10
Bromodiclorometano	0,17	0,5	10
Nitrobenzeni			
Nitrobenzene	3,5	0,5	30
1,2-Dinitrobenzene	15	0,2	25
1,3-Dinitrobenzene	3,7	0,1	25
Cloronitrobenzeni (ognuno)	0,5	0,1	10
Clorobenzeni			
Monoclorobenzene	40	0,5	50
1,2-Diclorobenzene	270	1	50
1,4-Diclorobenzene	0,5	0,1	10
1,2,4-Triclorobenzene	190	1	50
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	1,8	1	25
Pentaclorobenzene	5	0,1	50
Esaclorobenzene	0,01	0,05	5
Fenoli non clorurati			
Metilfenolo		0,1	25
Fenolo		1	60
2-Clorofenolo	180	0,5	25
2,4-Diclorofenolo	110	0,5	50
2,4,5-Triclorofenolo	5	0,01	5
Pentaclorofenolo	0,5	0,01	5
Ammine aromatiche			

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL D.LGS 152/06			
	<i>ACQUE SOTTERRANEE</i>	<i>TERRENI</i>	
<i>Sostanze</i>	<i>Valori limite (µ/l)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>	<i>Valori limite (mg/kg)</i>
		<i>Uso verde pubblico, privato e residenziale</i>	<i>Uso commerciale e industriale</i>
Anilina	10	0,05	5
o-Anisidina		0,1	10
m,p-Anisidina		0,1	10
Difenilamina	910	0,1	10
p-toluidina	0,35	0,1	5
Sommatoria Ammine Aromatiche		0,5	25
Fitofarmaci			
Aclor	0,1	0,01	1
Aldrin	0,03	0,01	0,1
Atrazina	0,3	0,01	1
Alfa-esacloroesano	0,1	0,01	0,1
Beta-esacloroesano	0,1	0,01	0,5
Gamma-esacloroesano	0,1	0,01	0,5
Clordano	0,1	0,01	0,1
DDD, DDT,DDE	0,1	0,01	0,1
Dieldrin	0,03	0,01	0,1
Endrin	0,1	0,01	2
Sommatoria fitofarmaci	0,5		
Diossine e furani			
Sommatoria PCDD, PCDF	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Altre sostanze			
PCB	0,01	0,06	5
Acrilammide	0,1		
Idrocarburi totali	350		
Acido para-ftalico	37000		
Amianto (fibre A>10 mm)	da definire	1000	1000
Idrocarburi			
Idrocarburi leggeri C < 12		10	250
Idrocarburi pesanti C > 12		50	750

2.2 Legislazione spagnola

Il quadro giuridico ambientale spagnolo include sia leggi relative a particolari industrie e attività, sia leggi riguardanti la protezione dell'ambiente e la gestione degli agenti contaminanti.

La maggior parte derivano o sono influenzate dalla legislazione dell'UE; vengono applicate dallo Stato, dalle Comunità Autonome o dalle autorità locali che hanno specifiche responsabilità a livello ambientale.

Il primo documento legislativo inerente i rifiuti e i siti contaminati è la Legge n.10 del 21/04/1998, poiché fino ad allora la legislazione spagnola non aveva fornito strumenti

adeguati per garantire che i terreni fossero protetti efficacemente sulla base di una metodologia standardizzata e tecnicamente rigorosa.

*“La legge 10/1998, del 21 aprile, sui rifiuti, nei suoi articoli 27 e 28, regola gli aspetti ambientali dei terreni contaminati e prevede che il governo, previa consultazione delle comunità autonome, stabilisca i criteri e gli standard che consentono di valutare i rischi che possono incidere sulla salute umana e sull'ambiente, tenendo conto della natura e degli usi del terreno. Applicando questi criteri e standard, le comunità autonome dichiareranno, delimiteranno e realizzeranno un inventario dei suoli contaminati esistenti nei loro territori e stabiliranno un elenco di priorità per le azioni basate sul maggiore o minore rischio per la salute umana e l'ambiente”.*⁷

Il 14 Gennaio 2005 entra in vigore il Regio Decreto n.9, che ratifica le disposizioni della legge sui rifiuti, previa consultazione con le comunità autonome. Esso fornisce maggiori precisazioni sulla definizione di “suolo contaminato”, riportato nella Legge 10/1998⁸, assegnando tale aggettivo ai siti caratterizzati dalla *“presenza di sostanze chimiche pericolose di origine umana che sono in grado di alterare le caratteristiche chimiche, fisiche o biologiche del suolo, e che costituiscono pertanto un rischio che deve essere quantificato al fine di valutare eventuali danni che potrebbero derivare alla salute umana e all'ambiente”*. Nello stesso Decreto si legge che *“i siti devono essere dichiarati contaminati da espressa decisione se, in conformità con le norme stabilite nel presente Regio Decreto, tale rischio è ritenuto inaccettabile per la salute umana e l'ambiente”*.

Unitamente al Regio Decreto, la normativa spagnola in materia di siti contaminati fa riferimento anche alla legge 22/2011, del 28 luglio, che nasce come recepimento della Direttiva Europea del 19 novembre 2008. Essa modifica la legge sui rifiuti con lo scopo di *“aggiornare il quadro giuridico per la gestione della produzione dei rifiuti sulla base dell'esperienze acquisite, delle lacune individuate e dell'evoluzione e modernizzazione della politica sui rifiuti”*.

I suoli contaminati vengono trattati al titolo V, e per essi si prevede che gli operatori forniscano periodicamente dati sul sito alle autorità competenti circa lo stato di contaminazione o meno del terreno. Le documentazioni acquisite dalle Comunità Autonome serviranno a redigere un inventario delle aree di competenza interessate da inquinamento e per le quali si dovrà procedere con delle attività di bonifica in modo tale da riportare la concentrazione degli inquinanti a dei valori a un livello tale da non costituire pericolo per l'uomo e per l'ambiente.

Secondo quanto riportato dall'articolo 36, l'attuazione delle operazioni di bonifica spetta al “soggetto inquinatore” in primo luogo e successivamente ai proprietari dei suoli contaminati. Nel caso in cui i siti contaminati fossero dei beni di pubblico possesso, in assenza di chi ha causato il danno, sarà il responsabile del rapporto di concessione, cioè l'Ente che secondo contratto concede ad un privato la possibilità di utilizzare una data area di suolo pubblico per poter svolgere delle attività proprie a dover assumere tale onere.

⁷ Real Decreto 9/2005.

⁸ Per "suolo contaminato" si intende qualsiasi matrice le cui caratteristiche fisiche, chimiche o biologiche sono state alterate negativamente dalla presenza di componenti di natura pericolosa di origine umana, in una concentrazione tale da costituire un rischio per la salute umana o per l'ambiente, conformemente ai criteri e agli standard che sono determinati dal governo (Art. 3 Legge n.10 del 21/04/1998).

2.2.1 Procedure operative ed amministrative

Le procedure operative ed amministrative da attuarsi sui suoli spagnoli sono definite dal Real Decreto 9/2005.

Secondo quanto previsto, in caso di attività potenzialmente inquinanti, i responsabili dovranno far pervenire agli Enti competenti un rapporto preliminare che riporti delle informazioni circa le concentrazioni presenti in sito delle diverse sostanze, secondo i criteri e gli standard definiti nel decreto. Facendo riferimento all'allegato III, un suolo sarà dichiarato contaminato quando saranno individuati *“rischi inaccettabili per la protezione della salute umana o, se del caso, degli ecosistemi, a causa della presenza in esso di una delle sostanze inquinanti elencate negli allegati V e VI o di un altro contaminante chimico”*.

Il Real Decreto pone attenzione anche ai casi in cui non è possibile procedere con delle valutazioni del rischio. In tal caso la condizione di sito contaminato sarà determinata al verificarsi delle seguenti circostanze:

- a) la protezione della salute umana sia considerata una priorità, ovvero:
 - i. la concentrazione nel suolo delle sostanze riportate nell'allegato V supera 100 o più volte i livelli di riferimento generici stabiliti in funzione dell'uso del suolo;
 - ii. la concentrazione nel suolo delle sostanze chimiche non riportate nell'allegato V supera 100 o più volte i valori di riferimento calcolati sulla base dell'allegato VII.
- b) la protezione degli ecosistemi sia considerata una priorità, cioè:
 - i. la concentrazione letale o media effettiva per gli organismi del suolo ricavata dalle prove di tossicità è inferiore a 10 mg di terreno contaminato/g di terreno;
 - ii. la concentrazione letale o media effettiva per gli organismi acquatici ottenuti nelle prove di tossicità è inferiore a 10 ml di percolato/l d'acqua.

I valori di concentrazione riportati agli allegati V e VI del Decreto fanno riferimento rispettivamente alla protezione della salute umana e alla protezione degli ecosistemi.

Nel primo caso è adottata una suddivisione in funzione dei diversi usi del suolo: industriale, urbana e altro; nel caso dell'ecosistema la distinzione viene fatta sulla base degli elementi interessati: suolo, acqua o vertebrati (Tabella 2.2).

I siti per i quali i livelli di concentrazione sono superiori ai livelli di riferimento generici saranno sottoposti ad una valutazione dettagliata dei rischi che questi possono comportare per la salute umana o per gli ecosistemi. Le procedure di analisi di rischio che il Regio Decreto suggerisce di adottare sono quelle fornite dall'US EPA (United States Environmental Protection Agency).

Dopo aver effettuato la valutazione del rischio, il proprietario dell'attività, o eventualmente il proprietario del terreno, informeranno l'organo competente della comunità autonoma, il quale dichiarerà il terreno contaminato o meno. Nel caso di dichiarata contaminazione, i terreni saranno sottoposti a degli interventi di bonifica, con l'intento di risanare il sito o comunque riportare i livelli di rischio a livelli accettabili in relazione all'uso contestuale del suolo o agli usi futuri.

Nei casi in cui ciò non fosse possibile, sarà necessario adottare delle misure di intervento che permettano di ridurre l'esposizione mediante contenimento e confinamento dei suoli interessati.

Tabella 2.2 Valori tabellari della concentrazione soglia limite definiti dal Regio Decreto 9/2005 (Fonte: Real Decreto 9/2005)

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL REGIO DECRETO 9/2005						
SOSTANZE	TERRENI			ECOSISTEMA		
	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Organismi del suolo (mg/kg)	Organismi acquatici (mg/kg)	Vertebrati terrestri (mg/kg)
	Uso industriale	Uso urbano	Altri usi			
Inquinanti inorganici						
Boro						
Cianuri liberi						
Fluoruri				11	0,29	3,7
Nitriti						
Solfati (mg/litro)						
Composti organici aromatici						
Benzene	10	1	0,1	1	0,2	0,11
Etilbenzene	100	20	2		0,08	4,6
Acenaftene	100	60	6		0,02	4,85
Stirene	100	100	20	0,68	0,25	1000
Toluene	100	30	3	0,3	0,24	13,5
Para-xilene						
Xilene	100	100	35		0,07	
Naftalene	10	8	1	0,1	0,05	0,06
Policiclici aromatici						
Benzo(a)antracene	20	2	0,2	3,8	0,01	
Benzo(a)pirene	2	0,2	0,02	0,15	0,01	
Benzo(b)fluorantene	20	2	0,2			
Benzo(k)fluorantene	100	20	5			
Benzo(g, h, i)perilene						
Crisene	100	100	20			
Dibenzo(a,h)antracene	3	0,3	0,03			
Indeno (1, 2, 3, -c, d)pirene	30	3	0,3			
Pirene	100	60	6		0,01	1,2
Flourene	100	50	5	0,22	0,02	2,84
Antracene	100	100	45		0,01	22
Fluorantene	100	80	8	1	0,3	1,96
Alifatici clorurati cancerogeni						
Clorometano						
Diclorometano	60	6	0,6			
Triclorometano	5	3	0,07			
Cloruro di Vinile	1	0,1	0,01			
1,2-Dicloroetano	5	0,5	0,05		0,16	0,24
1,1-Dicloroetilene	1	0,1	0,01			
Tricloroetilene	70	7	0,7		0,21	0,45
Esaclorobutadiene	10	1	0,1		0,01	
Tetracloruro	1	0,5	0,05			

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL REGIO DECRETO 9/2005						
SOSTANZE	TERRENI			ECOSISTEMA		
	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Organismi del suolo (mg/kg)	Organismi acquatici (mg/kg)	Vertebrati terrestri (mg/kg)
	Uso industriale	Uso urbano	Altri usi			
di metano						
Tetracloruro di carbonio	1	0,5	0,05		0,12	
Endosulfano	60	6	0,6	0,01	0,01	0,04
Tetracloroetilene	10	1	0,1	0,01	0,06	0,15
Alifatici clorurati non cancerogeni						
1,1-Dicloroetano	100	70	7		0,06	4,18
1,1-Dicloroetano	100	70	7		0,06	4,18
1,2-Dicloroetilene						
1,2-Dicloropropano	4	0,5	0,05	4,24	0,07	0,43
1,3 Dicloropropeno	7	0,7	0,07			
1,1,1-Tricloroetano						
1,1,2-Tricloroetano	10	1	0,1		0,16	0,3
1,2,3-Tricloropropano						
1,1,2,2-Tetracloroetano	3	0,3	0,03		0,03	0,04
Alifatici alogenati cancerogeni						
Tribromometano						
1,2-Dibromoetano						
Dibromoclorometano						
Bromodiclorometano						
Nitrobenzeni						
Nitrobenzene						
1,2-Dinitrobenzene						
1,3-Dinitrobenzene						
Cloronitrobenzeni (ognuno)						
Clorobenzeni						
Monoclorobenzene	35	10	1	1	0,03	7,66
1,2-Diclorobenzene	100	70	7		0,11	3,15
1,4-Diclorobenzene	40	4	0,4	0,1	0,16	0,53
1,2,4-Triclorobenzene	90	9	0,9	0,05	0,79	0,94
1,2,4,5-Tetraclorobenzene						
Pentaclorobenzene						
Esaclorobenzene	1	0,1	0,01	5,7	0,01	0,01
Fenoli non clorurati						
Metilfenolo	100	40	4			
Fenolo	100	70	7	0,27	0,03	23,7
Fenoli e clorofenoli						
2-Clorofenolo	100	10	1	0,04	0,01	0,12
2,4-Diclorofenolo	10	1	0,1	0,2	0,06	0,02
2,4,5-Triclorofenolo	100	100	10	0,05	0,09	3,3
2,4,6 -Triclorofenolo	90	9	0,9	0,4	0,012	0,03

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL REGIO DECRETO 9/2005						
SOSTANZE	TERRENI			ECOSISTEMA		
	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Organismi del suolo (mg/kg)	Organismi acquatici (mg/kg)	Vertebrati terrestri (mg/kg)
	Uso industriale	Uso urbano	Altri usi			
Pentaclorofenolo	1	0,1	1	0,02	0,01	0,01
Nonilfenolo				0,34	0,031	0,78
Ammine aromatiche						
Anilina						
o-Anisidina						
m,p-Anisidina						
Difenilamina						
p-toluidina						
p-Cloroanilina	30	3	0,3	0,14	0,01	0,09
Fitofarmaci						
Alaclor						
Aldrin	1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01
Atrazina						
Alfa-esacloroesano	1	0,1	0,01		0,25	0,05
Beta-esacloroesano	1	0,1	0,01		0,38	0,01
Fitofarmaci						
Gamma-esacloroesano	1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,23
Clordano	1	0,1	0,011	0,04	0,01	0,01
DDD	70	7	0,7			
DDE	60	6	0,6	0,14	0,01	0,01
DDT	20	2	0,2		0,01	0,01
Dieldrin	1	0,1	0,01	0,13	0,01	0,01
Endrin	1	0,1	0,01		0,01	0,01
Diossine e furani						
Sommatoria PCDD, PCDF						
Altre sostanze						
PCB	0,8	0,08	0,01			
Acrilammide						
Idrocarburi totali						
Acido para-ftalico						
Amianto (fibre A>10 mm)						
Scambiatore di etere					2,66	59,7
Pentabrono difenil etere				0,32	5,18	0,01
Octabrono Difenil etere					0,51	0,24
Idrocarburi						
Idrocarburi leggeri C < 12						
Idrocarburi pesanti C > 12						

Per i valori di concentrazione limite per i metalli pesanti è necessario far riferimento ai parametri definiti dalle singole comunità autonome, in quanto ad esse compete stabilirne le soglie: in conseguenza di ciò i valori di riferimento limite per le concentrazioni di metalli pesanti differiscono da un luogo all'altro. In Italia e in Canada invece i valori di concentrazione limite per i metalli sono comuni a tutto il territorio nazionale.

Facendo riferimento all'ubicazione del sito oggetto dello studio, che si trova presso il Principato dell'Asturie, si riportano in Tabella 2.3 i valori di concentrazione limite dei metalli relativi a tale area forniti dal Bollettino Ufficiale n. 91 del 21/04/2014.

Tabella 2.3 Valori limiti tabellari per i metalli pesanti definiti dal Principato delle Asturie (Fonte: Bollettino Ufficiale del Principato delle Asturie n.91 del 21/04/2014).

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE PER I METALLI PESANTI DEFINITI DAL PRINCIPATO DELLE ASTURIE				
Sostanze	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)
	Uso industriale	Uso Ricreativo	Uso Residenziale	Altri usi
Metalli				
Alluminio	295	120	25	5
Antimonio	200	40	40	40
Argento	10000	10000	10000	1540
Arsenico	105	140	30	20
Berillio	100	20	20	2
Cadmio	300	105	25	25
Cobalto	4000	400	400	55
Cromo totale	10000	10000	10000	100000
Cromo VI	50	35	5	2
Ferro	10000	10000	10000	4360
Manganese	9365	4970	2135	2135
Mercurio	100	10	10	1
Nichel	600	60	60	6
Piombo	6500	4150	650	65
Rame	200	20	20	2
Selenio	800	400	400	70
Stagno	2500	1740	250	25
Tallio	10	3	1	1
Vinadio	1505	845	190	50
Zinco	10000	4550	4550	455

2.3 Legislazione canadese

In Canada l'interesse legislativo in materia di siti contaminati può essere inteso come una risposta da parte delle Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) alla crescente preoccupazione dell'opinione pubblica per i potenziali effetti sull'ambiente e sulla salute umana associati alla presenza di aree contaminate.

Nel 1989 viene avviato il National Contaminated Site Remediation Program (NCSRP), un programma quinquennale nazionale, con l'obiettivo di fornire un quadro comune e degli strumenti scientifici per la valutazione, la gestione e la bonifica dei siti contaminati.

Tra il 1991 e il 1996, i sottocomitati relativi alla classificazione dei siti contaminati (*Subcommittee on the Classification of Contaminated Sites*) e ai criteri di qualità ambientale per siti contaminati (*Subcommittee on Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites*) hanno definito una serie di strumenti scientifici e legislativi che negli anni hanno permesso di ridurre notevolmente il numero delle aree contaminate.

Gli Interim Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites rappresentano il primo strumento normativo canadese in materia. Essi definiscono due tipi di criteri per definire la qualità dell'acqua e del suolo: criteri di valutazione e criteri di bonifica.

I criteri di valutazione definiscono dei limiti analitici approssimativi per i contaminanti nel suolo e nell'acqua. Il limite di rilevamento analitico è definito come la concentrazione più bassa che può essere abitualmente misurata con un adeguato livello di accuratezza e riproducibilità in sito.

I criteri di bonifica possono essere utilizzati come parametri di riferimento per valutare la necessità di realizzare ulteriori indagini o misure correttive in relazione a un determinato uso del suolo. Nei casi in cui, a causa di vincoli tecnici o di altro tipo, non sia possibile bonificare il sito, tali criteri forniscono delle indicazioni circa le restrizioni di uso del territorio o altre forme di gestione del rischio per proteggere la salute umana e l'ambiente.

Nel 1996, il CCME ha pubblicato "Un protocollo per la derivazione delle linee guida sulla qualità del suolo per la salute umana e ambientale" (CCME 1996), che è stato revisionato e ripubblicato nel 2006. Il protocollo si poneva come obiettivo quello di sostituire i criteri di bonifica con delle linee guida generiche che avessero maggiore valenza scientifica e che si basassero su dati riferiti alle caratteristiche chimico-fisiche dei contaminati nonché alla tossicità e al comportamento ambientale di ciascuna sostanza.

Nel marzo 1997 il CCME ha introdotto le "Linee guida canadesi per la qualità del suolo", documento tecnico contenente le linee guida sulla qualità del suolo per 20 sostanze e quattro tipi di usi del suolo derivati dal protocollo. Le linee guida del 1997 erano intese a sostituire, per queste 20 sostanze (es Arsenico, Xilene ect.), quanto espresso dagli Interim Criteria.

Nel 1999 è stato pubblicato il Canadian Environmental Quality Guidelines con lo scopo di fornire indicazioni per un numero maggiore di sostanze (non soltanto 20). Essi non riguardavano solo la qualità dell'acqua, ma anche quella dei sedimenti, del suolo e dell'aria. Oggi tali valori di riferimento possono essere consultati sul portale del CCME, il quale permette di ricavare diverse informazioni su un vasto *database* di sostanze.

L'applicazione negli anni di tutte questi strumenti legislativi e scientifici ha permesso al Canada di ridurre in maniera esponenziale la probabilità di formazioni di nuovi siti contaminanti.

Anche in Canada, il governo federale promuove il principio "chi inquina paga". Le compagnie private sono solitamente responsabili dei costi di bonifica dei terreni che contaminano. Le province, i territori e il governo federale sono generalmente responsabili per il costo della gestione della contaminazione nei siti di loro proprietà o in affitto.

2.3.1 Procedure operative ed amministrative

La procedura operativa ed amministrativa utilizzata in Canada, è quella definita dal piano d'azione per i siti contaminati federali (FCSAP), che adotta un approccio che implica la valutazione dei rischi per la salute umana e per l'ambiente nonché la definizione del grado di priorità degli interventi di bonifica.

Il FCSAP si sviluppa secondo diversi step:

- **Identificazione del sito sospetto:** si procede con l'individuazione di un sito potenzialmente contaminato sulla base dell'analisi delle attività passate o presenti che hanno interessato il sito o le aree prossime ad esso. Si focalizza l'attenzione sugli usi e le attività in modo tale da determinare se esiste o meno un potenziale rischio per la salute umana e/o per l'ambiente.
- **Revisione storica:** i siti ritenuti potenzialmente contaminati, sono interessati da attività di revisioni storiche circa le attività che hanno interessato il sito e che possono essere ritenute potenzialmente responsabili della contaminazione.
- **Definizione di un programma di prova iniziale:** si indaga sulle reali condizioni del sito con l'intento di fornire una valutazione preliminare del grado, della natura e dell'entità della contaminazione. Se si ritiene opportuno, in alcuni casi è possibile associare un passaggio facoltativo che permette di incrementare la scala di indagine sul sito.
- **Definizione di un programma di prova dettagliato:** nei caso in cui dalle analisi precedenti emerga un superamento delle linee guida o dei livelli di fondo definiti dalla normativa (Tabella 2.4) per le concentrazioni dei contaminanti, risulta necessario incrementare la scala di dettaglio dell'analisi mediante la realizzazione di un test specifico.
- **Classificazione del sito:** sulla base di quanto ricavato dal programma di prova dettagliato, è possibile procedere con la classificazione del sito. Si considerano 3 classi: 1,2 e 3 in cui la classe 1 è quella per la quale si ha la priorità di azione più alta.
- **Sviluppo di strategie di bonifica:** una volta che è stata accertato il rischio di contaminazione, è necessario definire delle strategie di bonifica. Se il sito rientra in Classe 1 o in Classe 2 allora per esso le attività di bonifica saranno finanziate dal FCSAP. Nel definire in generale le attività di bonifica che si dovranno realizzare sui siti, si dovrà cercare di tenere in considerazione diversi aspetti quali i costi, l'efficacia della tecnica e gli obiettivi da raggiungere.
- **Implementazione delle attività di bonifica:** dopo aver definito le procedure da applicare sul sito, si procede con l'implementazione delle strategie definite con le opportune documentazioni, in modo tale da verificare il rispetto degli obiettivi di bonifica imposti dalla normativa.
- **Analisi dei risultati:** si procede con la verifica del raggiungimento degli obiettivi di bonifica a seguito dell'attuazione delle misure messe in atto. Dall'analisi dei risultati ottenuti, si potrà valutare se sul sito devono essere realizzate delle ulteriori attività di bonifica oppure se esso presenta dei valori di concentrazione tali da non rappresentare più un rischio per la salute e per l'ambiente.
- **Definizione attività di monitoraggio:** nei siti in cui sono stati raggiunti gli obiettivi di bonifica vengono definite delle attività di monitoraggio a lungo termine. Tali attività non interessano necessariamente tutti i siti, ma risultano necessarie per quelli in cui in seguito ad interventi di bonifica non sono stati rimossi completamente i contaminati ma si è riusciti a minimizzare il rischio.

Tabella 2.4 Valori tabellari della concentrazione soglia limite per la protezione del suolo definiti dal CCME (Fonte: Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement)

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL CCME				
SOSTANZE	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)
	Uso agricolo	Uso residenziale	Uso commerciale	Uso industriale
Metalli				
Alluminio				
Antimonio	20	20	40	40
Argento	20	20	40	40
Arsenico	12	12	12	12
Bario	750	500	2000	
Berillio	4	4	8	8
Cadmio	1,4	10	22	22
Cobalto	40	50	300	300
Cromo totale	64	64	87	87
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	1,4
Ferro				
Manganese				
Mercurio	6,6	6,6	24	50
Nichel	45	45	89	89
Piombo	70	140	260	600
Rame	63	63	91	91
Selenio	1	1	2,9	2,9
Stagno	5	50	300	300
Tallio	1	1	1	1
Uranio	23	23	33	300
Vinadio	130	130	130	130
Zinco	200	200	360	360
Inquinanti inorganici				
Boro	2			
Cianuri liberi	0,9	0,9	8	8
Fluoruri	200	400	2000	2000
Nitriti				
Solfati (mg/litro)				
Composti organici aromatici				
Benzene	table	table	table	table
Etilbenzene	table	table	table	table
Acenaftene	table	table	table	table
Stirene				
Toluene				
Para-xilene				
Xilene				
Naftalene				
Policiclici aromatici				
Benzo(a)antracene	table	table	table	table

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL CCME				
SOSTANZE	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)
	Uso agricolo	Uso residenziale	Uso commerciale	Uso industriale
Benzo(a)pirene	table	table	table	table
Benzo(b)fluorantene	table	table	table	table
Benzo(k)fluorantene	table	table	table	table
Benzo(g, h, i)perilene				
Crisene	table	table	table	table
Dibenzo(a,h)antracene	table	table	table	table
Indeno (1, 2, 3, -c, d) pirene	table	table	table	table
Pirene				
Flourene				
Antracene	table	table	table	table
Fluorantene				
Alifatici clorurati cancerogeni				
Clorometano				
Diclorometano	0,1	5	50	50
Triclorometano				
Cloruro di Vinile				
1,2-Dicloroetano	0,1	5	50	50
1,1-Dicloroetilene	0,1	5	50	50
Tricloroetilene	0,01	0,01	0,01	0,01
Esaclorobutadiene				
Tetracloruro di metano				
Tetracloruro di carbonio				
Endosulfano				
Tetracloroetilene	0,1	5		
Alifatici clorurati non cancerogeni				
1,1-Dicloroetano	0,1	5	50	50
1,2-Dicloroetilene	0,1	5	50	50
1,2-Dicloropropano	0,1	5	50	50
1,3 Dicloropropeno				
1,1,1-Tricloroetano	0,1	5	50	50
1,1,2-Tricloroetano	0,1	5	50	50
1,2,3-Tricloropropano				
1,1,2,2-Tetracloroetano	0,1	5	50	50
Alifatici alogenati cancerogeni				
Tribromometano				
1,2-Dibromoetano				
Dibromoclorometano				
Bromodiclorometano				
Nitrobenzeni				
Nitrobenzene				
1,2-Dinitrobenzene				

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL CCME				
SOSTANZE	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)
	Uso agricolo	Uso residenziale	Uso commerciale	Uso industriale
1,3-Dinitrobenzene				
Cloronitrobenzeni (ognuno)				
Clorobenzeni				
Monoclorobenzene				
1,2-Diclorobenzene	0,1	1	10	10
1,4-Diclorobenzene	0,1	1	10	10
1,2,4-Triclorobenzene	0,05	2	10	10
1,2,4,5-Tetraclorobenzene	0,05	2	10	100
Pentaclorobenzene				
Esaclorobenzene	0,05	2	10	10
Fenoli non clorurati				
Metilfenolo				
Fenolo				
Fenoli e clorofenoli				
2-Clorofenolo				
2,4-Diclorofenolo	0,05	0,5	5	5
2,4,5-Triclorofenolo	0,05	0,5	5	5
2,4,6 -Triclorofenolo	0,05	0,5	5	5
Pentaclorofenolo				
Nonilfenolo				
Anilina				
o-Anisidina				
m,p-Anisidina				
Difenilamina				
p-toluidina				
p-Cloroanilina				
Fitofarmaci				
Alaclor				
Aldrin				
Atrazina				
Alfa-esacloroesano				
Beta-esacloroesano				
Gamma-esacloroesano				
Clordano				
DDD				
DDE				
DDT	0,7	0,7	12	12
Dieldrin				
Endrin				
Diossine e furani				
Sommatoria PCDD, PCDF				

VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE DEFINITI DAL CCME				
SOSTANZE	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)	Valori limite (mg/kg)
	Uso agricolo	Uso residenziale	Uso commerciale	Uso industriale
(conversione TEF)				
Altre sostanze				
PCB				
Acrilammide				
Idrocarburi totali				
Acido para-ftalico				
Amianto (fibre A>10 mm)				
Scambiatore di etere				
Pentabrano difenil etere				
Octabrano difenil etere				
Idrocarburi				
Idrocarburi leggeri C < 12				
Idrocarburi pesanti C > 12				

2.4 Confronto critico tra la normativa italiana, spagnola e canadese

Dopo aver analizzato le singole legislazioni si vuole di seguito procedere con un confronto critico sui seguenti punti:

- procedure operative ed amministrative;
- scenari di utilizzo futuro del suolo e valori di concentrazione limite ammissibili;
- valori di concentrazione limite ammissibili.

2.4.1 Procedure operative ed amministrative

Secondo quanto definito dal D.Lgs 152/06 per l'Italia e dal CCME 1996 per il Canada, è possibile osservare come i valori di concentrazione limite sono stati definiti ponendo sullo stesso piano la salute umana e la protezione degli ecosistemi.

La normativa spagnola definisce invece dei differenti valori di concentrazione limite a seconda che si consideri come ricettore l'uomo o l'ambiente.

Entrando maggiormente nel dettaglio delle procedure operative ed amministrative, è possibile notare un differente approccio delle tre normative.

Quella italiana definisce la condizione di sito contaminato in seguito al superamento di valori di concentrazione prima di tipo tabellare e poi ricavati mediante analisi sito-specifica. La normativa spagnola identifica un sito come contaminato se la concentrazione dei contaminanti supera quella definita dai valori tabellari oppure se vi sono delle condizioni particolari, definite al paragrafo precedente, a cui ci si riferisce nei casi in cui non è possibile implementare sul sito un'analisi di rischio.

La normativa canadese ha un approccio differente che si articola in diversi step e per il quale la definizione di sito contaminato è riferita al superamento dei valori definiti da determinate

linee guida. La legislazione canadese inoltre definisce una serie di operazioni che vanno dall'individuazione del sito potenzialmente contaminato, alla sua definizione, alle attività di monitoraggio.

In tutte e tre i casi la condizione di contaminazione è definita in seguito al superamento dei valori di concentrazione dei contaminati rispetto a dei valori che possono essere definiti sia mediante limiti tabellari oppure analisi sito-specifica. L'analisi sito-specifica naturalmente permette di raggiungere una scala di dettaglio maggiore perché riflette le reali caratteristiche del sito studiato.

2.4.2 Scenari di utilizzo futuro del suolo e valori di concentrazione limite

La normativa italiana raggruppa le tipologie di uso del suolo in due settori: siti destinati al verde pubblico, ad uso privato e residenziale e siti ad uso commerciale ed industriale. Quella spagnola, ed in particolare quella del Principato delle Asturie, si riferisce a quattro diversi impieghi: industriale, ricreativo, residenziale e utilizzi vari. Anche la legislazione canadese prende in considerazione quattro scenari: agricolo, residenziale/ricreativo, industriale e commerciale.

Il fatto di considerare diversi scenari di utilizzo del suolo permette di avere un maggior grado di differenziazione, poiché ad ogni tipologia d'uso saranno associati differenti valori di concentrazione limite.

In Spagna l'ambito residenziale insieme a quello relativo al campo "altri usi" avranno dei valori limite molto bassi e quindi più restrittivi rispetto allo scenario industriale e ricreativo, così come in Canada l'uso agricolo e quello residenziale/ricreativo hanno valori di concentrazione più bassi rispetto a quelli industriali e commerciali.

Questa condizione può essere giustificata dal fatto che il tempo di esposizione che si va a considerare in ambito residenziale è maggiore. Il rischio quindi a parità di concentrazione limite sarebbe molto alto. Nei casi in cui l'esposizione è minore si assumono dei valori limite di concentrazione meno restrittivi. Questa scelta è dovuta al tempo di contatto tra bersaglio e matrice contaminata.

Tali considerazioni possono essere fatte anche per quanto riguarda la normativa italiana, pur avendo solo due contesti da considerare, infatti i valori di concentrazione limite dei siti ad uso residenziale/ricreativo sono considerevolmente più bassi rispetto ai suoli ad uso industriali.

2.4.3 Valori di concentrazione limite ammissibili

Altro elemento chiave sul quale ci si può soffermare e sul quale si impronta sostanzialmente il presente capitolo è la differenza dei valori di concentrazione limite considerati dalle tre normative.

I valori di massima concentrazione ammissibile definiti dalla legge canadese sono molto più bassi rispetto a quelli accettati dalla normativa spagnola e italiana. La normativa canadese è quindi molto più restrittiva rispetto a quella spagnola e italiana.

La normativa spagnola però presenta valori di concentrazione limite ammissibili maggiori in tutti gli scenari rispetto a quella italiana e canadese che sono molto simili soprattutto relativamente a determinate sostanze.

Per quanto riguarda i metalli, che sono stati identificati come maggiore “fattore contaminante” nel sito oggetto dello studio, una prima considerazione da fare riguarda il diverso approccio che la normativa spagnola ha rispetto a quella italiana e canadese.

Infatti mentre sia in Italia che in Canada, i valori limite di concentrazione ammissibile per i metalli sono validi su tutto il territorio nazionale, in Spagna invece è necessario far riferimento ai dati che le singole Comunità Autonome forniscono.

In tal caso, essendo il sito di Nitrastur appartenente alla regione delle Asturie, è stato necessario consultare quanto riportato dal Bollettino Ufficiale del Principato delle Asturie.

Dall’analisi dei valori riportati in Tabella 2.5 è possibile fare delle considerazioni su:

- *sostanze considerate*: come è possibile notare non tutte le aree associate ad un determinato metallo sono complete. Questo è dovuto sostanzialmente al tipo di studio condotto. In particolare nel caso italiano, vi sono delle voci che presentano dei valori di concentrazione soltanto nel caso della falda o del terreno; tuttavia è possibile che i dati mancanti siano dovuti ad una non completa analisi degli effetti che una data sostanza ha sull’uomo e sull’ambiente in una determinata matrice ambientale.
- *usi del suolo*: il diverso numero di usi del suolo contemplato dalle normative implica una differente scala di dettaglio, la quale genera delle differenze nell’approccio ai problemi connessi al rischio di contatto dell’uomo e dell’ambiente con la contaminazione.
- *valori limite*: confrontando i diversi valori di concentrazione limite definiti è chiaro come la normativa spagnola sia quella meno cautelativa rispetto a quella italiana e canadese i cui valori sono orientativamente dello stesso ordine di grandezza. Tale considerazione va a confermare che quanto affermato in calce al presente capitolo è vero; pur partendo da una definizione di sito contaminato applicabile universalmente dal punto di vista teorico, dal punto di vista pratico appare evidente come tale condizione risenta fortemente dei valori a cui ci si riferisce.

Tabella 2.5 Confronto tra i valori di concentrazione soglia limite per i metalli pesanti per le normative italiana, spagnola e canadese

CONFRONTO TRA VALORI TABELLARI CONCENTRAZIONE SOGLIA LIMITE PER I METALLI PESANTI PER LE NORMATIVE ITALIANA, SPAGNOLA E CANADESE											
	NORMATIVA ITALIANA			NORMATIVA SPAGNOLA				NORMATIVA CANADESE			
	FALDA	SUOLO		SUOLO				SUOLO			
	$(\frac{\mu}{l})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$	$(\frac{mg}{kg})$
		Uso verde pubblico privato e residenziale	Uso commerciale e industriale	Uso industriale	Uso Ricreativo	Uso Residenziale	Altri usi	Uso agricolo	Uso residenziale	Uso commerciale	Uso industriale
Alluminio	200			295	120	25	5				
Antimonio	5	10	30	200	40	40	40	20	20	40	40
Argento	10			10000	10000	10000	1540	20	20	40	40
Arsenico	10	20	50	105	140	30	20	12	12	12	12
Bario								750	500	2000	
Berillio	4	2	10	100	20	20	2	4	4	8	8
Cadmio	5	2	15	300	105	25	25	1.4	10	22	22
Cobalto	50	20	250	4000	400	400	55	40	50	300	300
Cromo totale	50	150	800	10000	10000	10000	100000	64	64	87	87
Cromo VI	5	2	15	50	35	5	2	0,4	0,4	1,4	1,4
Ferro	200			10000	10000	10000	4360				
Manganese	50			9365	4970	2135	2135				
Mercurio	1	1	5	100	10	10	1	6,6	6,6	24	50
Nichel	20	120	500	600	60	60	6	45	45	89	89
Piombo	10	100	1000	6500	4150	650	65	70	140	260	600
Rame	1000	120	600	200	20	20	2	63	63	91	91
Selenio	10	3	15	800	400	400	70	1	1	2,9	2,9
Stagno		1	350	2500	1740	250	25	5	50	300	300
Tallio	2	1	10	10	3	1	1	1	1	1	1
Uranio								23	23	33	300
Vinadio		90	250	1505	845	190	50	130	130	130	130
Zinco	3000	150	1500	10000	4550	4550	455	200	200	360	360

3 Analisi di rischio

L'analisi di rischio sanitario ambientale è la procedura scientificamente e tecnicamente più avanzata per determinare i possibili impatti che la contaminazione ha sui soggetti potenzialmente esposti e per definirne le priorità di intervento (di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale). *“Tale approccio permette di quantificare i reali pericoli per la salute dell'uomo e dell'ambiente connessi al rilascio di inquinanti e di supportare le strategie di gestione dei rischi individuati con metodologie rigorose, evitando di disperdere risorse economiche in situazioni che non comportino effettivi rischi per la salute umana”*.⁹

La procedura, introdotta per la prima volta negli Stati Uniti alla fine degli anni '80, trova naturale applicazione nei casi in cui in una o più matrici ambientali si verifichi il superamento dei valori di concentrazione limite imposti dalla normativa.

In termini generali, secondo quanto riportato nel documento “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” redatto dall'APAT, *“il rischio può essere inteso come la concomitanza della probabilità di accadimento di un evento dannoso (P) e dell'entità del danno provocato dall'evento stesso”*:

$$R = P \cdot D,$$

dove, il *“danno conseguente all'evento incidentale (D), a sua volta, può essere dato dal prodotto tra un fattore di pericolosità (Fp), dipendente dall'entità del possibile danno, e un fattore di contatto (Fe), funzione della durata di esposizione”*:

$$D = F_p \cdot F_e$$

“Il rischio sanitario ambientale è invece la quantificazione del danno tossicologico prodotto all'uomo o all'ambiente per effetto della presenza di una sorgente inquinante, i cui rilasci possono giungere, attraverso vie di migrazione diverse, ad un soggetto recettore potenzialmente esposto”.⁹ Analiticamente lo si può esprimere mediante la seguente espressione:

$$R = E \cdot T, \quad (3.1)$$

dove E rappresenta l'assunzione cronica giornaliera del contaminante misurata in mg/(kg · giorno) e T la tossicità dello stesso espressa in [mg/(kg · giorno)]⁻¹.

Nei paragrafi successivi si illustreranno le procedure di analisi di rischio sanitario-ambientale utilizzate in Italia, Spagna e Canada per poi applicare al sito di Nitrastur le procedure italiane e spagnole, valutandone le differenze.

⁹ Di Molfetta-Sethi “Ingegneria degli Acquiferi”.

3.1 Procedura di analisi di rischio sanitaria ambientale

In Italia le linee guida per lo sviluppo dell'analisi di rischio sono fornite dall'APAT (Associazione per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici), in Spagna ci si riferisce a quelle proposte dall'US EPA (United States Environmental Protection Agency) mentre in Canada si utilizza la procedura definita dal Health Canada nell'ambito del Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP).

Le tre procedure presentano delle impostazioni di base molto simili.

L'APAT e dall'US EPA, applicano la Risk-Basic Corrective Action (RBCA), la quale si basa su tre livelli di valutazione in cui il passaggio tra uno step e l'altro richiede l'esecuzione di procedure di caratterizzazione del sito sempre più accurate, che implicano il superamento progressivo delle ipotesi conservative di base. Il passaggio di livello aumenta il grado di conoscenza del sito, ma non quello di protezione della salute e dell'ambiente e richiede un incremento del numero di dati e indagini, nonché della quantità di risorse e dell'efficacia economica degli interventi correttivi.

L'analisi di rischio condotta al **livello 1**, consiste nel confrontare i valori di concentrazione dei contaminanti in sito con dei valori di screening. Si considerano i percorsi di esposizione diretti o indiretti, i fattori di esposizione conservativi e le equazioni di trasporto di tipo prettamente analitico in modo tale da ricavare i Risk Based Screening Levels (RBSL), ossia dei livelli di screening delle concentrazioni nelle matrici ambientali. In questa fase si assume che la posizione del punto di esposizione sia coincidente con la sorgente di contaminazione e pertanto vengono considerati soltanto i bersagli on-site.

Il **livello 2** si riferisce a condizioni sito-specifiche in cui si ha una maggiore scala di dettaglio. Tale step prevede che siano utilizzati dei modelli analitici per la stima della concentrazione al punto di esposizione considerando un mezzo omogeneo e isotropo. Si ricavano quindi i Site Specific Target Levels (SSTL), che sono dei valori di concentrazione nelle matrici ambientali suolo insaturo e saturo che possono essere considerati come obiettivi di bonifica. In tale fase si richiede una quantità di dati maggiore rispetto all'analisi di livello 1, poiché vengono considerati più scenari e parametri di esposizione sito-specifici; la posizione del punto di esposizione è quella effettiva o potenziale (bersagli "on site" e "off site").

Il **livello 3** definisce un'analisi che permette di realizzare una valutazione sito-specifica con maggiore dettaglio. Si utilizzano modelli numerici e analisi probabilistiche in modo tale da poter considerare l'eterogeneità del sistema e generalizzare la geometria della sorgente inquinante e delle condizioni al contorno. Per poter applicare il livello 3, è necessario realizzare una fase di "site assessment" più approfondita in cui vengono trattati quantità di dati molto consistenti al fine di poter ricavare i Site Specific Target Levels. Anche in tal caso, la posizione del punto di esposizione è quella effettiva o potenziale.

Di seguito si farà riferimento all'analisi di Livello 2, la quale rappresenta un buon compromesso tra l'utilizzo dei valori tabellari e l'uso di modelli numerici complessi.

Nel caso del Canada la procedura di rischio si sviluppa su due approcci, che vengono definiti rispettivamente Preliminary Quantitative Risk Assessments (PQRA) e Detailed Quantitative Risk Assessments.

Il DQRA può essere particolarmente appropriato in quelle situazioni in cui si dispone di un numero di informazioni maggiori in termini di uso del suolo, di tipo di contaminanti e delle concentrazioni, della qualità del suolo e di altre caratteristiche del sito. Il PQRA invece è quello che viene utilizzato nei casi in cui pur non disponendo di informazioni molto

dettagliate si vuole definire il rischio per l'uomo e per l'ambiente. L'aumento del dettaglio e della complessità di un DQRA ridurrà generalmente il grado di incertezza associato a un PQRA, con una conseguente quantificazione più accurata, precisa, realistica e affidabile dei rischi per la salute umana.

Tali approcci inoltre devono essere intesi non come due procedure a sé, ma come un'unica linea d'azione che permette di incrementare la qualità dei risultati ottenuti; infatti quando in seguito all'applicazione di un PQRA si determina che per una data esposizione è possibile che sussistano dei rischi potenzialmente inaccettabili per la salute umana, prima di definire opzioni correttive o di gestione del rischio può essere opportuno intraprendere un DQRA.

Nel proseguo la trattazione si riferirà alle procedure di analisi di rischio di secondo livello per l'Italia e la Spagna e a quella di PQRA nel caso del Canada.

La procedura di analisi di rischio può essere schematizzata in delle fasi fondamentali come illustrato nello schema in Figura 3.1.

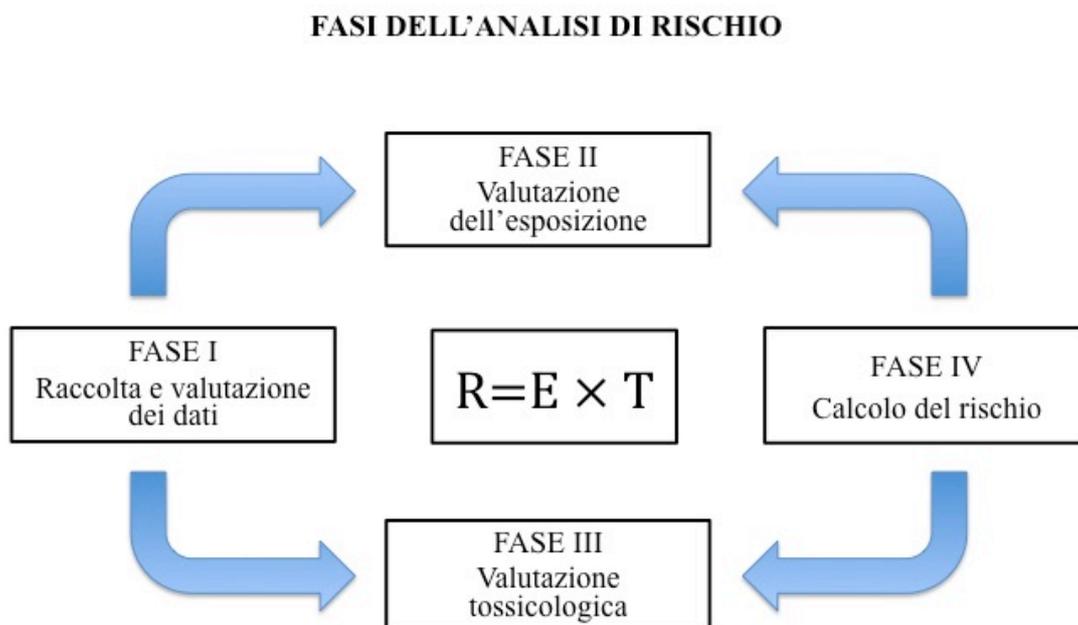


Figura 3.1 Fasi dell'analisi di rischio

Le singole fasi saranno brevemente definite nei paragrafi successivi; essendo, per molti punti, le procedure molto simili tra di loro, si evidenzieranno soltanto le differenze.

3.1.1 Raccolta e valutazione dei dati

La prima fase dell'analisi di rischio è mirata a raccogliere tutte le informazioni sul sito in modo tale che in seguito ad una valutazione dei risultati ottenuti sia possibile improntare le linee di intervento. Le operazioni che interessano questa fase si focalizzano sulla caratterizzazione del sito.

3.1.1.1 Caratterizzazione del sito

L'acquisizione di tali informazioni avviene grazie a operazioni quali la ricerca di dati ed informazioni storiche e il campionamento e l'analisi del sito.

3.1.1.1.1 Analisi e ricerca di dati storici del sito

L'analisi e la ricerca di dati storici relativi al sito d'interesse costituiscono un elemento chiave per la fase di caratterizzazione. La presenza di dati che attestino le attività che sono state realizzate sull'area costituisce un elemento prezioso poiché a partire da tali informazioni è possibile innanzitutto tracciare un quadro generale del sito. Le informazioni storiche potranno essere sia dei documenti che descrivano le attività antropiche sul sito in funzione della destinazione d'uso (presenza di attività industriali etc.) sia dei report di analisi e di campionamento.

3.1.1.1.2 Campionamento e analisi del sito

Il campionamento è volto a valutare le concentrazioni di contaminanti nelle matrici ambientali interessate e a valutare le caratteristiche chimico-fisiche del sito. Per definire le strategie di campionamento è possibile far riferimento ai dati esistenti, i quali permettono di determinare quale livello e tipo di indagini sono più appropriati.

Le strategie di campionamento prevalentemente adottate sono:

- Campionamento ragionato (secondo i poligoni di Thiessen, Figura 3.3a)
- Campionamento sistematico (celle a maglia regolare Figura 3.3b)

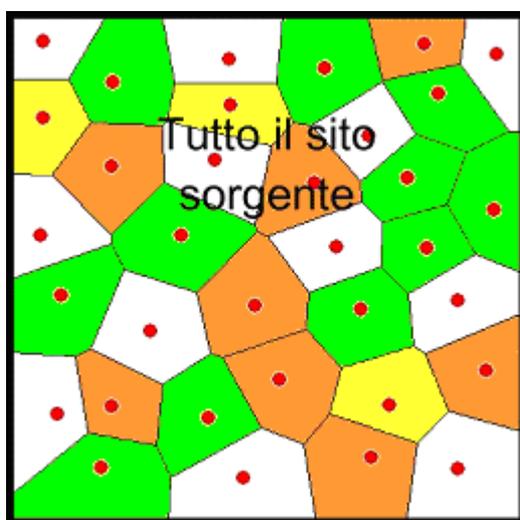


Figura 3.3a - Poligoni di Thiessen (Fonte: Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati-APAT)

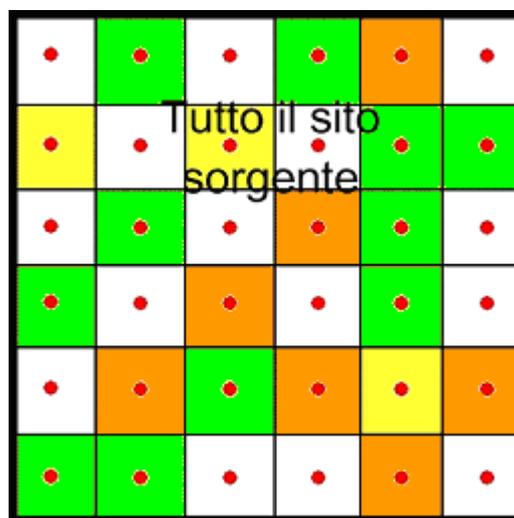


Figura 3.3b- Celle della maglia regolare (Fonte: Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati-APAT)

Una volta che le strategie di campionamento sono state sviluppate ed implementate, i campioni vengono analizzati.

3.1.2 Valutazione dell'esposizione

La fase di valutazione è mirata a stimare l'entità delle esposizioni umane effettive e/o potenziali, la frequenza e la durata e i percorsi a cui i soggetti interessati sono potenzialmente

esposti. Punto di partenza per questa fase è la definizione di un modello concettuale del sito MCS.

3.1.2.1 Modello Concettuale del Sito

Lo sviluppo del modello concettuale di un sito (MCS) è un passo fondamentale nella procedura di analisi di rischio. L'elaborazione viene eseguita sulla base dei risultati della caratterizzazione del sito che include la realizzazione di indagini ed analisi e porta all'individuazione di tre componenti:

- *sorgente di contaminazione;*
- *vie di migrazione;*
- *bersagli della contaminazione.*

3.1.2.1.1 Sorgenti di contaminazione

Le sorgenti di contaminazione si differenziano in sorgente primaria e secondaria; la prima si riferisce “*all'elemento che è causa di inquinamento (es. accumulo di rifiuti)*”¹⁰, la seconda è “*identificata con il comparto ambientale oggetto di contaminazione (suolo, acqua, aria)*”¹⁰. La procedura di rischio si applica alla sorgente secondaria di contaminazione.

Per poter delineare una o più sorgenti all'interno di un sito contaminato, si suddivide quest'ultimo in poligoni di influenza, secondo la strategia di campionamento adottata.

Le sorgenti di contaminazione a cui ci si può riferire sono sostanzialmente le matrici ambientali che possono essere interessate dalla presenza di sostanze inquinanti. Nelle procedure analizzate si considerano le seguenti sorgenti secondarie.

- *suolo superficiale;*
- *suolo profondo;*
- *falda;*
- *aria.*

3.1.2.1.2 Vie di esposizione

“*Si ha una esposizione diretta se la via di esposizione coincide con la sorgente di contaminazione; si ha una esposizione indiretta nel caso in cui il contatto del recettore con la sostanza inquinante avviene a seguito della migrazione dello stesso e quindi avviene ad una certa distanza dalla sorgente*”¹⁰. Per ogni sorgente di contaminazione vi possono essere più vie di esposizione:

- Suolo profondo e superficiale:
 - ingestione,
 - contatto dermico.
- Aria indoor e outdoor:
 - inalazione di polveri,
 - inalazioni di vapori.
- Falda:
 - rischio per la falda al punto di conformità.

¹⁰ “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”- APAT

3.1.2.1.3 Bersagli della contaminazione e scenari

I bersagli sono differenziati in funzione:

- della loro localizzazione:
 - bersagli on-site, se posti in corrispondenza della sorgente di contaminazione;
 - bersagli off-site, se posti ad una certa distanza da questa.
- della destinazione d'uso del suolo:
 - residenziale, corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;
 - ricreativo, corrispondono bersagli umani sia adulti che bambini;
 - industriale/commerciale, si fa riferimento solo a bersagli adulti.

La condizione di bambino si riferisce ad individui di età compresa tra 0 e 6 anni.

La categoria **residenziale** definisce un sito all'interno del quale sono presenti degli alloggi che sono o potranno essere abitati. In tale contesto, i residenti sono in frequente contatto con gli inquinanti presenti, l'assunzione di sostanze tossiche o cancerogene è giornaliera (24 ore) e a lungo termine e pertanto si hanno maggiori probabilità di generare elevati rischi di esposizione.

Nello scenario di esposizione **commerciale/industriale** i soggetti sottoposti al rischio di contaminazione sono i lavoratori presenti nel sito per i quali si considera una frequenza di esposizione praticamente giornaliera di circa 8 ore (tipico giorno lavorativo).

Per scenario **ricreativo** si intende un qualsiasi sito in cui la gente trascorre un limitato periodo di tempo giocando, pescando, cacciando o svolgendo una qualsiasi attività esterna. Poiché possono essere incluse attività molto differenti tra loro è necessario disporre di una descrizione sito-specifica, in modo da definire i range dei vari coefficienti di esposizione che entrano in gioco nel processo di analisi di rischio, che possono essere anche molto differenti tra loro.

3.1.2.2 *Calcolo dell'assunzione cronica giornaliera*

Ai fini del calcolo del rischio mediante l'espressione (3.1) è necessario ricavare l'assunzione cronica giornaliera E in $mg/(kg \text{ giorno})$.

Per il calcolo dell'assunzione cronica giornaliera la procedura italiana imposta il calcolo di E come prodotto di due fattori: la concentrazione del contaminante in una matrice ambientale nel punto di esposizione C_{POE} e la portata effettiva di esposizione EM che rappresenta la quantità giornaliera di matrice contaminata alla quale il recettore è esposto per unità di peso corporeo:

$$E = C_{POE} \cdot EM. \quad (3.2)$$

I termini che compaiono nell'espressione (3.2) si ricavano dopo aver definito il modello concettuale del sito.

La procedura spagnola e quella canadese invece affrontano direttamente il calcolo dell'assunzione cronica giornaliera che viene definita per le diverse vie di contatto.

Nel caso spagnolo, si considereranno le seguenti espressioni:

• **Acque sotterranee e superficiali**

- ingestione di acque sotterranee o superficiali utilizzate come acqua potabile:

$$INTAKE[mg/kg \text{ giorno}] = \frac{CW \cdot IR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT};$$
- ingestione accidentale di acque superficiali durante il nuoto:

$$INTAKE[mg/kg \text{ giorno}] = \frac{CW \cdot IR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT};$$
- contatto cutaneo con acqua di falda o acque superficiali:

$$AD[mg/kg \text{ giorno}] = \frac{CW \cdot SA \cdot PC \cdot ET \cdot EF \cdot ED \cdot CF}{BW \cdot AT}.$$

• **Suolo sotterraneo e superficiale**

- ingestione accidentale: $CI[mg/kg \text{ giorno}] = \frac{CS \cdot IR \cdot CF \cdot FI \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT};$ (3.3)

- contatto cutaneo: $AD[mg/kg \text{ giorno}] = \frac{CS \cdot CF \cdot SA \cdot AF \cdot ABS \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT};$ (3.4)

- inalazione: $PE[mg/m^3] = \frac{CS \cdot EF \cdot ED \cdot \frac{1}{PEF}}{AT}.$ (3.5)

• **Aria**

- inalazione di sostanze chimiche in fase vapore e in fase particellare:

$$INTAKE[mg/kg \text{ giorno}] = \frac{CA \cdot IR \cdot ET \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT}.$$

Di seguito si definiscono i termini che sono presenti nelle espressioni per il calcolo dell'assunzione cronica secondo le linee guida spagnole.

- $BW \rightarrow$ *Peso corporeo (kg);*
- $ATc \rightarrow$ *Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene (giorno);*
- $ATn \rightarrow$ *Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene (giorno);*
- $Cw \rightarrow$ *Concentrazione in acqua (mg / kg giorno);*
- $Cs \rightarrow$ *Concentrazione chimica nel suolo (mg / kg giorno);*
- $CA \rightarrow$ *Concentrazione in aria (mg / m³);*
- $IR \rightarrow$ *Rapporto di ingestione:*
 - *acqua (mg / l);*
 - *suolo (mg / giorno);*
 - *aria (m³ / ora);*
- $EF \rightarrow$ *Frequenza di esposizione (l/ giorno);*
- $ED \rightarrow$ *Durata esposizione (giorno);*
- $SA \rightarrow$ *Superficie di pelle esposta per il contatto (cm²);*
- $PC \rightarrow$ *Costante di permeabilità cutanea specifica chimica (cm/ora);*
- $ET \rightarrow$ *Tempo di esposizione (ora/ giorno);*
- $CF \rightarrow$ *Fattore di conversione volumetrico dall'acqua (l/cm³);*
- $FI \rightarrow$ *Frazione ingerita della fonte contaminata (-);*
- $AF \rightarrow$ *Fattore di aderenza suolo-pelle (mg/cm²);*
- $ABS \rightarrow$ *Fattore di assorbimento(-);*
- $PEF \rightarrow$ *Fattore di emissione di particolato (m³/kg).*

Per la procedura canadese invece l'assunzione cronica giornaliera viene definita nel seguente modo:

- *ingestione accidentale di suolo contaminato:*

$$DOSE \left[\frac{mg\ bw}{kg\ giorno} \right] = \frac{C_S \cdot IR_S \cdot RAF_{Oral} \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}{BW \cdot LE},$$
- *inalazione di polveri:*

$$DOSE \left[\frac{mg\ bw}{kg\ giorno} \right] = \frac{C_S \cdot P_{Air} \cdot IR_A \cdot RAF_{Inh} \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}{BW \cdot LE},$$
- *inalazione di sostanze volatili:*

$$DOSE \left[\frac{mg\ bw}{kg\ giorno} \right] = \frac{C_A \cdot IR_A \cdot RAF_{Inh} \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}{BW \cdot LE},$$
- *ingestione di acqua contaminata:*

$$DOSE \left[\frac{mg\ bw}{kg\ giorno} \right] = \frac{C_W \cdot IR_W \cdot RAF_{Oral} \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}{BW \cdot LE},$$
- *contatto dermico:*

$$DOSE \left[\frac{mg\ bw}{kg\ giorno} \right] = \frac{(C_S \cdot SA_H \cdot SL_H) + (C_S \cdot SA_O \cdot SL_O) \cdot RAF_{Derm} \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}{BW \cdot LE}.$$

I parametri che figurano nelle formule precedenti sono:

- BW → Peso corporeo (*kg*);
- C_w → Concentrazione acqua (*mg / kg giorno*);
- C_s → Concentrazione chimica nel suolo (*mg / kg*);
- C_A → Concentrazione aria (*mg / m³*);
- IR → Rapporto di ingestione:
 - IR_w acqua (*mg / l*);
 - IR_s suolo (*kg / giorno*);
 - IR_A aria (*m³ / giorno*);
- SL → Fattore di aderenza suolo-pelle (*Kg/cm²*):
 - SL_H mani (*mg/cm²*);
 - SL_O altre parti del corpo (*Kg/cm²*);
- RAF_{Oral} Fattore di assorbimento orale (-);
- RAF_{Inh} Fattore di assorbimento inalazione (-);
- RAF_{Derm} Fattore di assorbimento dermico (-);
- P_{Air} → Concentrazione di particolato in aria (*kg / m³*);
- D₁ → Esposizione in ore al giorno calcolata su 24 ore;
- D₂ → Esposizione giornaliera per mese calcolata su 7 giorni;
- D₃ → Esposizione mensile per anno calcolata su 52 settimane;
- D₄ → Esposizione per anni totali (da utilizzare solo per la valutazione del rischio cancerogeno);
- LE → Aspettativa di vita.

3.1.2.2.1 Determinazione della concentrazione al punto di esposizione

Nota la concentrazione alla sorgente C_S , la concentrazione al punto di esposizione C_{POE} la si ricava mediante la seguente espressione:

$$C_{POE} = FT \cdot C_S \quad (3.6)$$

- C_S → concentrazione alla sorgente (mg/kg);
- C_{POE} → concentrazione al punto di esposizione;
- FT → fattore di trasporto.

Il fattore di trasporto FT tiene conto dei fenomeni di attenuazione che intervengono durante la migrazione dei contaminanti sia verso bersagli on-site sia verso quelli out-site.

Tali fenomeni svolgono un ruolo fondamentale nella valutazione delle esposizioni nel caso in cui i contaminanti possono raggiungere i bersagli solo attraverso la migrazione dal comparto ambientale in cui vi è la sorgente della contaminazione. La considerazione dei fattori di trasporto è molto importante nell'analisi di rischio perché in caso contrario si può rischiare di sottostimare o sovrastimare i valori del rischio e degli obiettivi di bonifica.

I fattori di trasporto che si possono considerare in un'analisi di rischio di Livello 2 sono:

- LF → Fattore di lisciviazione in falda da suolo superficiale e/o profondo;
- DAF → Fattore di attenuazione in falda;
- VF_{SS} → Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo superficiale;
- VF_{samb} → Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da suolo profondo;
- VF_{wamb} → Fattore di volatilizzazione di vapori outdoor da falda;
- PEF → Emissione di particolato outdoor da suolo superficiale;
- PEF → Emissione di particolato indoor da suolo superficiale;
- $VF_{se,sp}$ → Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da suolo (Suolo Superficiale, SS e Suolo Profondo, SP);
- $VF_{w,esp}$ → Fattore di volatilizzazione di vapori indoor da falda;
- ADF → Fattore di dispersione in aria outdoor.

Per poter quantificare tali fattori, a livello due dell'analisi di rischio, si fanno delle assunzioni:¹¹

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

3.1.2.2.2 Calcolo della portata effettiva di esposizione

Il calcolo della portata effettiva di esposizione permette di ricavare la dose giornaliera di matrice ambientale assunta dai ricettori umani.

¹¹ “Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta di rischio ai siti contaminati” – APAT.

$$\blacksquare \text{ contatto dermico} \rightarrow EM \left[\frac{mg}{kg \text{ giorno}} \right] = \frac{SA \cdot AF \cdot ABS \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}; \quad (3.7)$$

$$\blacksquare \text{ ingestione di suolo} \rightarrow EM \left[\frac{mg}{kg \text{ giorno}} \right] = \frac{IR \cdot FI \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}; \quad (3.8)$$

$$\blacksquare \text{ inalazione di vapori e polveri outdoor} \rightarrow EM \left[\frac{m^3}{kg \text{ giorno}} \right] = \frac{B_o \cdot EF_g \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}; \quad (3.9)$$

$$\blacksquare \text{ inalazioni di vapori e polveri indoor} \rightarrow EM \left[\frac{m^3}{kg \text{ giorno}} \right] = \frac{B_i \cdot EF_g \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}. \quad (3.10)$$

I parametri che figurano nelle formule precedenti sono i seguenti:

- BW → Peso corporeo (*kg*);
- AT_c → Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene (*anni*);
- AT_n → Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene (*anni*);
- IR → Rapporto di ingestione suolo (*mg / giorno*);
- EF → Frequenza di esposizione (*giorni/ anno*);
- EF_{go} → Frequenza giornaliera di esposizione:
 - outdoor (*ore/giorno*);
 - indoor (*ore/giorno*);
- ED → Durata esposizione (*anni*);
- SA → Superficie di pelle esposta per il contatto (*cm²*);
- FI → Frazione ingerita della fonte contaminata (-);
- AF → Fattore di aderenza suolo-pelle (*mg/cm²*);
- ABS Fattore di assorbimento(-);
- PEF Fattore di emissione di particolato (*m³/kg*);
- BO → Inalazione outdoor (*m³/ora*);
- BI → Inalazione indoor (*$\frac{m^3}{ora}$*);
- Fsd → Frazione indoor di particelle di suolo nella polvere (-).

Nel caso della durata di esposizione *ED*, si assume per l'ambito residenziale/ricreativo un valore pari a 6 anni per il rischio tossico e di 24+6 per il rischio cancerogeno per tutte e tre le sorgenti considerate (suolo superficiale e profondo e falda). Per l'ambito industriale si considera invece sia per il rischio cancerogeno che per quello tossico un valore di durata dell'esposizione pari a 25 per tutte le sorgenti.

Nell'ambito residenziale/ricreativo la portata effettiva di esposizione si ricava pertanto nel seguente modo:

$$EM_{adj} = EM_{bambino} + EM_{adulto}.$$

È possibile notare come per tutte e tre le procedure il tempo medio di esposizione viene espresso sia per le sostanze cancerogene AT_c sia per quelle non tossiche AT_n. È possibile affermare che per le sostanze cancerogene l'esposizione è calcolata sulla durata media della vita assunta pari a 70 anni, mentre nel caso delle sostanze non cancerogene ci si riferisce al periodo effettivo di esposizione e quindi AT_n = ED.

3.1.3 Valutazione tossicologica

Questa fase è mirata a definire i parametri tossicologici che entrano in gioco nell'analisi di rischio. I parametri tossicologici possono essere distinti a seconda che ci si riferisca al rischio tossico o cancerogeno.

Nel caso di rischio tossico, si considera come parametro la Reference Dose RfD, la quale dà un'informazione circa l'esposizione media giornaliera per cui non si hanno effetti nocivi sull'organismo umano nell'arco della vita. Nella procedura di analisi di rischio si considerano tre diversi valori di Reference Dose:

- **Oral chronic RfD:** è usato per valutare il potenziale effetto tossico conseguente al contatto per ingestione. I valori forniti sono riferiti a esposizioni che durano più di 7 anni; la forma sub-cronica invece fornisce dei valori riferiti ad esposizioni che durano da 2 settimane a 7 anni.
- **Inhalation chronic RfD:** permette di valutare il potenziale effetto tossico in caso in contatto per inalazione.
- **Dermal chronic RfD:** è usato per stimare il potenziale effetto tossico sistemico dovuto al contatto dermico. Tale valore si ricava a partire dall'Oral Chronic RfD e del fattore di assorbimento cutaneo.

Nel caso di rischio cancerogeno il parametro tossicologico che si utilizza è lo Slope Factor SF che indica la probabilità che l'individuo contragga un tumore nella vita per unità di dose di contatto. Così come nel caso della Reference Dose, anche per lo Slope Factor è possibile considerare:

- **Oral Slope Factor:** permette di stimare la probabilità di aumento dell'incidenza del cancro nell'arco della vita associato al contatto per ingestione.
- **Inhalation Slope Factor:** permette di stimare la probabilità di aumento dell'incidenza del cancro nell'arco della vita associato al contatto per inalazione. Tale valore è funzione dell'Oral Slope Factor.
- **Dermal Slope Factor:** si usa per stimare la probabilità di aumento dell'incidenza del cancro nell'arco della vita associato al contatto dermico. Tale valore si ricava dividendo lo Slope Factor orale per il fattore di assorbimento cutaneo.

3.1.4 Calcolo del rischio

Il rischio per la salute umana può essere di tipo individuale o cumulativo; nel primo caso si fa riferimento al rischio dovuto ad un singolo contaminante per una o più vie di esposizione, mentre nel secondo caso ci si riferisce al rischio dovuto all'effetto cumulativo di più sostanze per una o più vie di esposizione.

Un'ulteriore distinzione può essere fatta in funzione degli effetti che la sostanza può avere sull'uomo, in tal caso si parlerà di rischio cancerogeno e non cancerogeno (tossico).

Per le sostanze tossiche il rischio individuale si ricava come:

$$HQ = \frac{E}{RfD} \quad (3.11)$$

In questo caso si parla di quoziente di rischio (Hazard Quozient); tale valore, adimensionale, indica di quanto “l’esposizione ad una data sostanza supera la dose tollerabile o di riferimento in un arco di tempo pari a quello effettivo di esposizione”.

Il rischio R , adimensionale, è definito come “la probabilità di casi incrementali di tumore nel corso di vita, causati dall’esposizione alla sostanza rispetto alle condizioni di vita usali”; esso si ricava come prodotto dell’assunzione cronica giornaliera E mediata su un periodo di esposizione di 70 anni e dello Slope Factor SF espresso in mg/kg giorno,

$$R = E \cdot SF \quad (3.12)$$

Per ottenere i valori cumulativi di rischio cancerogeno e tossico è possibile considerare una stima conservativa dell’esposizione ad una contaminazione multipla sommando il rischio di ogni singola specie chimica contaminante; in alcuni casi questa operazione può portare ad una sovrastima dell’effettivo rischio associato all’esposizione multipla.

Alla luce di ciò sono di seguito riportate le espressioni da utilizzare per il calcolo del rischio cumulativo:

- $R_T = \sum_{i=1}^n R_i;$ (3.13)
- $HQ_T = \sum_{i=1}^n HQ_i.$ (3.14)

3.1.4.1 Criterio di accettabilità del rischio

Una volta stimato il rischio cancerogeno e tossico bisogna definire un “criterio di accettabilità del rischio”, cioè un valore di soglia al di sotto del quale lo si ritiene tollerabile. Poiché l’analisi di rischio può essere condotta sia secondo la modalità *forward* sia secondo la modalità *backward*, nel primo caso il valore di rischio accettabile è utilizzato a valle della procedura di calcolo come termine da porre a confronto con il valore di rischio calcolato, mentre nel secondo caso esso è usato a monte di tutta la procedura per ricavare gli obiettivi di bonifica sito-specifica, noti anche come Concentrazioni Soglia Rischio CSR.

I valori di accettabilità differiscono leggermente per le diverse procedure. In Italia i valori di accettabilità sono forniti dall’Istituto Superiore di Sanità e sono riportati all’interno del D.Lgs 04/2008; si assume per il rischio cancerogeno il valore di accettabilità pari a 10^{-6} ; questo vuol dire che il rischio di contrarre il tumore è di 1 individuo su 1.000.000. Se il rischio per la salute umana è uguale o inferiore alla soglia di 10^{-6} , allora esso viene considerato accettabile. Per il rischio tossico, il valore di riferimento che si considera è 1. Nel caso di rischio cancerogeno cumulato, il valore di tollerabilità è pari a 10^{-5} mentre nel caso di effetti tossici cumulativi, tale valore è pari a 1.

Nel caso della procedura spagnola il valore di $1 \cdot 10^{-6}$ è stato stabilito come rischio accettabile di cancro per contaminanti individuali mentre l’intervallo di $10^{-6} - 10^{-4}$ è impostato come livello accettabile di rischio di cancro cumulativo per la combinazione di sostanze chimiche. Per il rischio tossico, si considera accettabile il valore di 1 sia nel caso individuale che cumulativo.

La procedura canadese assume accettabili sia per il rischio cancerogeno individuale che cumulato i valori al di sotto di 10^{-5} . Per il rischio tossico individuale la procedura canadese assume valori differenti a seconda se si utilizza una PQRA oppure se nell'analisi di rischio vengono considerati anche i bersagli off-site. Nel primo caso si assume un valore pari a 0,2 sia per il rischio individuale che cumulativo mentre nel secondo caso si considerano accettabili i valori al di sotto di 1 in entrambi i casi.

3.2 Analisi di rischio sul sito di Nitrastur

Il complesso industriale dell'Iberian Nitrogen Society (SIN) è situato nel comune asturiano di Langreo in Spagna (Figura 3.4). Popolarmente noto come El Nitrógeno, esso oltre alla sua importanza storico-industriale, è uno dei più grandi complessi industriali abbandonanti in Spagna, con un'estensione di 20 ha.

La città, che consta di 46.000 abitanti, in passato era uno dei centri minerari e metallurgici più importanti in Spagna e anche se oggi non vanta più una notevole attività industriale, numerosi sono gli impianti che ancora sono in funzione.

Nei paragrafi successivi saranno sviluppate le analisi di rischio sul sito di Nitrastur secondo le linee guida delle metodologie descritte al paragrafo 3.1. Essendo le due metodiche molto simili in termini di impostazione, verranno messe in evidenza gli elementi discordanti in maniera tale da rendere più scorrevole l'esposizione delle operazioni fatte.

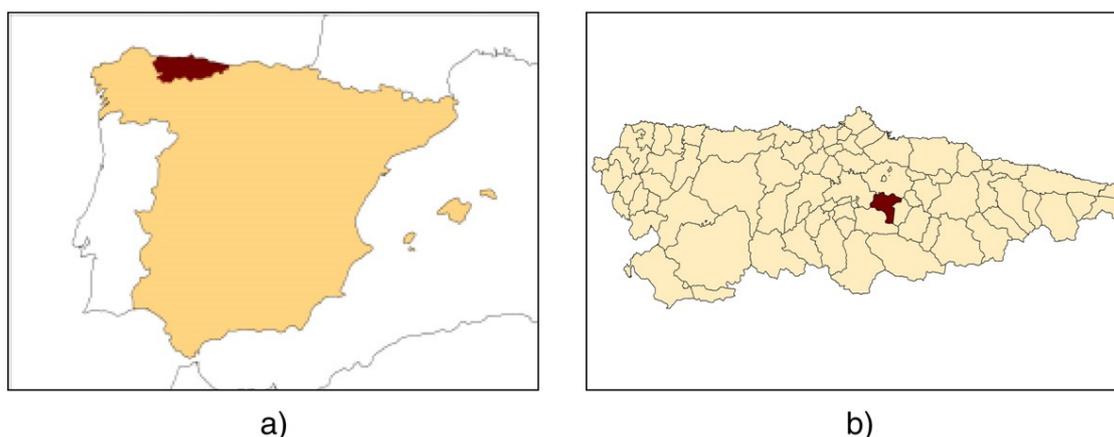


Figura 3.4 - Localizzazione del sito di Nitrastur b) Città di Langreo (Fonte: Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites - Eleonora Wcislo, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego).

3.2.1 Caratterizzazione del sito

3.2.1.1 Storia del sito di Nitrastur

Il complesso industriale di Nitrastur è stato eretto intorno al 1923 come linea di utilizzo dei sottoprodotti del carbone presso la località Vega. All'epoca la fabbrica apparteneva all'Unión de Explosivos Río Tinto. Grazie allo sviluppo ferroviario della società FFCC del Nord verso la città di Gijón, dell'industria siderurgica della compagnia Duro e della presenza di diversi pozzi minerari, la società concentrò la propria attività chimica sulla produzione di ammoniaca sintetica dei gas residui delle cokerie provenienti dalle fonderie felguerine. Con l'esplosione della guerra civile nel 1936 e fino ai primi anni '40, la produzione registrò una drastica riduzione della domanda. Durante il dopo guerra, come conseguenza della necessità di dare un nuovo impulso all'agricoltura nazionale e di rispondere alla carenza di acido nitrico per

l'armamento, la politica del governo autarchico sviluppò tra il 1939 e il 1961 il "Piano per l'azoto". L'obiettivo di tale piano era quello di definire delle linee di protezione e promozione dei fertilizzanti azotati in modo tale da poterne incrementare la produzione. Per contrastare la scarsa produzione che vi era in quel periodo si pensò di incrementare le strutture presenti e di trovare nuove vie di espansione. Nel 1950 fu realizzato un nuovo complesso di strutture chiamato Iberian Nitrogen Society (SIN9). La nuova società era specializzata nella produzione di ammoniaca, acido nitrico, acido solforico, nitrato di ammonio e nuovi fertilizzanti per l'agricoltura.

Negli ultimi anni di attività il nome della società diventò Asturian Nitrates (Nitrastur) fino al 1997, anno in cui le attività di produzione sono cessate (Figura 3.5); a seguito del termine delle attività il sito è stato lasciato in balia dell'abbandono. Negli anni sono state effettuati alcuni interventi di demolizione nel sito.

Il complesso industriale di Nitrastur può essere concepito come una piccola città chiusa in cui tra i diversi edifici presenti si individuano la grande torre di raffreddamento ed un certo numero di grandi magazzini, alcuni dei quali sono soggetti a vincolo architettonico. Condizione necessaria per un futuro riutilizzo del sito è quello di realizzare delle attività di bonifica.



Figura 3.5 Foto del complesso industriale di Nitrastur nel 1997 (Fonte: <http://covarios.com/>)

3.2.1.2 Descrizione del grado di inquinamento e delle attività di campionamento

Sulla base dei dati storici relativi alle attività industriali svolte nel sito e alle prove di screening, si è potuto identificare come potenziali fonti di contaminazione del suolo le ceneri di pirite, le scorie metallurgiche e i rifiuti di carbone. La porzione di sito maggiormente contaminata ha un'estensione di circa 7 ha.

Per poter descrivere il grado di contaminazione sono state realizzate delle attività di campionamento in seguito alle quali si è osservato che nella zona più colpita si evidenzia la presenza di un filler superficiale, con spessore variabile da 2 a 3 m, costituito da diversi strati composti principalmente da detriti di costruzione mescolati con suoli naturali e ceneri di pirite. Questa miscela è stata sottoposta ad un intenso degrado meteorologico per oltre 25 anni; la presenza di polveri di pirite anche in aree non interessate dalle attività della fabbrica può essere giustificata dal fatto che la miscela di terreno e polvere negli anni ha subito dei

processi di sospensione-deposizione che hanno comportano l'ampia distribuzione superficiale. Per impostare le attività di campionamento, si è scelto di considerare le principali fonti di contaminazione identificate e i risultati ricavati dalle indagini precedenti condotte nel sito¹².

I contaminati considerati ai fini della procedura di analisi di rischio sono:

- Arsenico (As);
- Cadmio (Cd);
- Cromo totale (Cr);
- Rame (Cu);
- Nichel (Ni);
- Mercurio come sali di mercurio (Hg);
- Zinco (Zn);
- Piombo (Pb).

Nel 2013 è stato effettuato un intervento di campionamento per il quale si è scelto di suddividere il sito in un sistema a griglia a maglia regolare con elementi di superficie pari a un ettaro (100 m x 100 m) ciascuno.

Delle quaranta unità, venti coprono più del 95% del sito di Nitrastur e su di esse sono state maggiormente concentrate le attività di campionamento (Figura 3.6 e Figura 3.7) che ha interessato prevalentemente lo strato superficiale del suolo, fino alla profondità di 0,5 m. Si è assunto infatti che tale strato fosse sufficientemente profondo per permettere di valutare la futura esposizione della contaminazione.

Per ciascuna griglia sono stati considerati 5 punti di campionamento e per ognuno di essi sono stati ricavati tre campioni di terreno contaminato.



Figura 3.6 Vista aerea del sito di Nitrastur (Fonte: Insights into a 20-ha multi-contaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach J.R. Gallego, E. Rodríguez-Valdés, N. Esquinas, A. Fernández-Braña, E. Afif)

¹² Principado de Asturias, 2001-Sierra et al., 2010



Figura 3.7 Griglia di campionamento e schematizzazione ubicazione punti di campionamento (Fonte: Insights into a 20-ha multi-contaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach J.R. Gallego, E. Rodríguez-Valdés, N. Esquinas, A. Fernández-Braña, E. Afif)

Dalla caratterizzazione dei rifiuti, si sono ricavate tre classi (Figura 3.8):

- **Scorie:** diversi tipi di scorie sono presenti nel sito di studio. Questi prodotti di scarto provenivano dall'industria dell'acciaio, attiva da decenni nell'area circostante, e sono stati utilizzati come riempitivi per la costruzione di nuovi impianti industriali. Il tipo più abbondante è una massiccia e pesante scoria (ghiaia) composta principalmente da silicati complessi. Questa scoria presenta concentrazioni non significative di oligoelementi.
- **Rifiuti di carbone:** l'estrazione del carbone è attiva da oltre un secolo nell'area. Di conseguenza i rifiuti delle centrali di lavaggio del carbone sono stati utilizzati anche come materiale riempitivo in molte aree, incluso il sito di studio. I rifiuti di carbone trovati sono neri, a grana fine, prodotti leggeri composti principalmente di carbonio e di alcuni minerali con una bassa concentrazione di potenziali contaminanti inorganici. Probabilmente sono state originate come scorie in un processo di preparazione del carbone. A questo proposito nelle vicinanze del sito sono oggi situate alcune miniere di carbone sotterranee e a cielo aperto, un impianto di lavaggio del carbone e una centrale elettrica a carbone.
- **Cenere pirite:** nascono come sottoprodotto di minerali di solfuro di torrefazione, che sono stati utilizzati in un vecchio impianto situato molto vicino a Nitrastur al fine di produrre acido solforico, successivamente utilizzato per la produzione di solfato di ammonio. I rifiuti derivati dalla tostatura della pirite (cioè le ceneri di pirite) sono stati utilizzati come riempitivi all'interno del sito di studio e dei suoi dintorni, ad esempio per le fondazioni degli edifici. Questo residuo rossastro ha un basso pH e presenta alti livelli di metalloidi associati alla predominanza di ossidi di ferro. Le ceneri di pirite sono costituite principalmente da ossidi e idrossidi di ferro e altri metalloidi; sono considerate il rifiuto più problematico a causa dei livelli elevati di elementi tossici come As e Pb. Le unità di mappatura in cui si registrano i valori più elevati di Arsenico e Piombo sono ubicati in prossimità delle aree in cui si ha la miscela di cenere di pirite con il terreno.

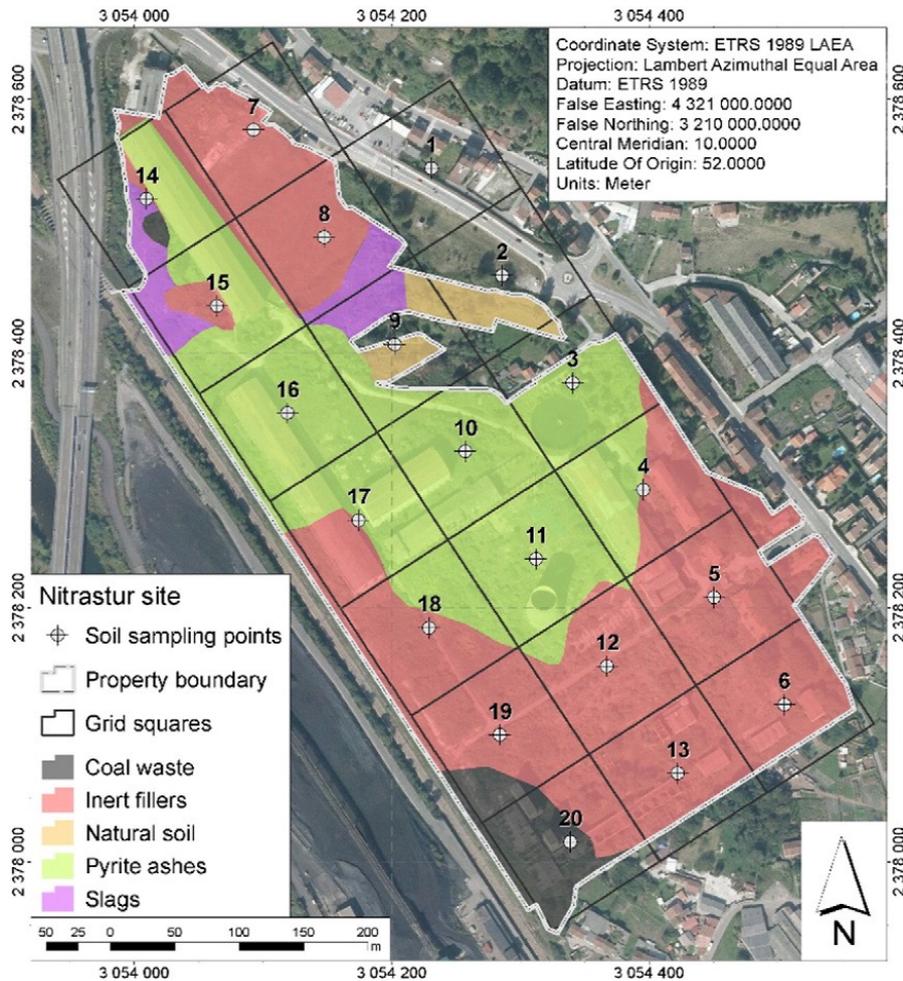


Figura 3.8 Distribuzione rifiuti solidi sul sito di Nitrastur (Fonte: Insights into a 20-ha multi-contaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach J.R. Gallego, E. Rodríguez-Valdés, N. Esquinas, A. Fernández-Braña, E. Afif)

In Figura 3.9 è riportata la distribuzione delle concentrazioni di arsenico e piombo mentre in Tabella 3.1 si riportano i risultati delle analisi condotte mediante il metodo delle statistiche univariate per 28 elementi analizzati nelle 20 unità di mappatura studiate.

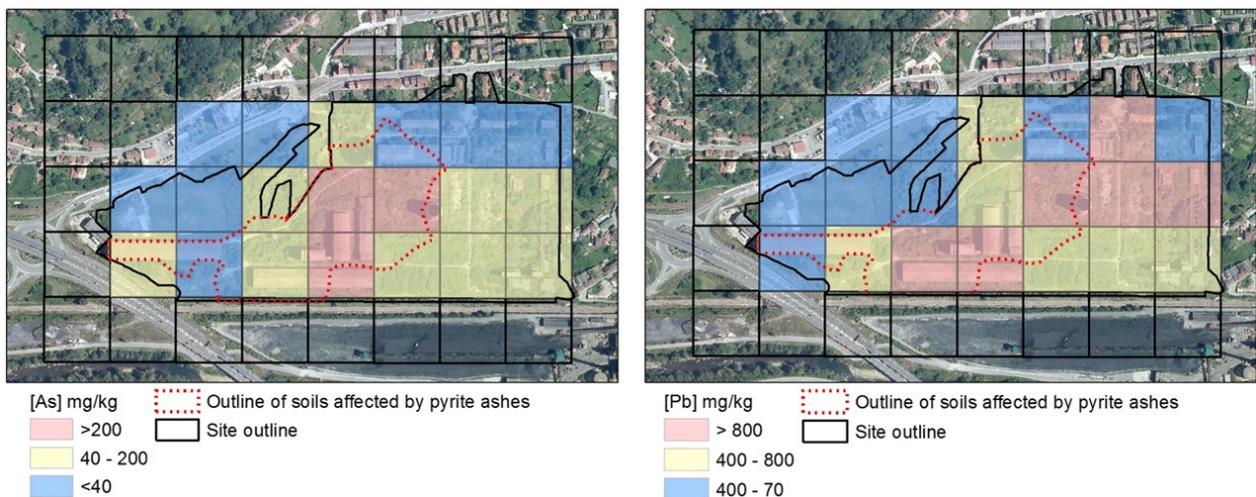


Figura 3.9 - Distribuzione delle concentrazioni di Arsenico e Piombo (Fonte: Insights into a 20-ha multi-contaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach J.R. Gallego, E. Rodríguez-Valdés, N. Esquinas, A. Fernández-Braña, E. Afif)

Element	Statistics (mg/kg)					SSLs (mg/kg)			Mapping units above SSLs		
	Av.	Std. dev.	CV (%)	Max.	Min.	Ind	Urb	NS	Ind	Urb	NS
Ag	2.4	3.3	133.7	13.8	0.1	200	20	20	0	0	0
Al	25,830.6	5706.0	22.1	37,572.7	15,610.0	-	-	-	-	-	-
As	457.6	1611.3	352.1	7268.3	20.6	200	40	40	3	8	8
B	17.3	5.3	30.5	31.7	10.6	-	-	-	-	-	-
Ba	430.8	264.2	61.3	1359.9	153.0	10,000	10,000	1540	0	0	0
Ca	39,029.2	28,276.2	72.4	140,128.5	17,105.2	-	-	-	-	-	-
Cd	1.9	1.2	65.5	4.4	0.2	200	20	2	0	0	9
Co	13.2	5.0	38.0	24.7	7.6	300	25	25	0	0	0
Cr	85.1	89.1	104.7	364.9	24.7	10,000	10,000	10,000	0	0	0
Cu	323.8	292.1	90.2	1106.5	30.8	4000	400	55	0	6	19
Fe	51,420.4	32,768.9	63.7	159,989.7	19,847.5	-	-	-	-	-	-
Hg	10.5	19.5	186.9	79.5	0.6	100	10	1	0	3	18
K	4824.0	1558.1	32.3	7730.9	2327.8	-	-	-	-	-	-
Mg	3095.1	2528.6	81.7	13,538.5	1814.3	-	-	-	-	-	-
Mn	641.3	251.9	39.3	1235.2	323.7	9635	2135	2135	0	0	0
Mo	4.5	5.7	126.3	26.0	0.8	600	60	6	0	0	0
Na	430.2	127.2	29.6	658.4	254.1	-	-	-	-	-	-
Ni	36.9	21.8	59.1	109.7	17.8	6500	4150	65	0	0	2
Pb	931.2	1124.0	120.7	4548.0	107.4	800	400	70	5	12	20
Sb	47.6	108.7	228.1	489.0	3.8	295	120	5	1	2	19
Se	5.3	10.2	194.3	45.3	1.0	2500	1740	25	0	0	1
Sn	36.0	33.3	92.7	141.3	4.3	10,000	10,000	10,000	0	0	0
Sr	116.5	70.1	60.1	384.5	60.9	-	-	-	-	-	-
Ti	363.9	81.5	22.4	543.7	226.3	-	-	-	-	-	-
Tl	2.4	4.8	197.4	20.3	0.3	10	1	1	2	8	8
U	3.3	3.8	117.8	17.8	1.0	-	-	-	-	-	-
V	49.7	10.9	21.9	77.5	36.6	1505	190	50	0	0	4
Zn	668.2	394.9	59.1	1336.1	109.4	10,000	4550	4550	0	0	0

Tabella 3.1 Risultati dell'attività di campionamento mediante analisi univariate (Fonte: Insights into a 20-ha multi-contaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach J.R. Gallego, E. Rodriguez-Valdés, N. Esquinas, A. Fernández-Braña, E. Affif)

Nella prima colonna della tabella sono indicati gli elementi analizzati, mentre nella seconda sono riportati i relativi valori statistici. Nella terza colonna vi sono gli SSL (Livelli di screening del suolo stabiliti dalla legge spagnola) nel caso di scenario industriale (Ind), urbano (Urb) e suolo naturale (NS). Nell'ultima colonna è indicato il numero di griglie che presentano livelli di concentrazione superiori agli SSL.

Dalla fase di caratterizzazione si ricavano i valori di concentrazione dei contaminanti indice per ogni cella della maglia da inserire come dati di input nell'analisi di rischio sanitario ambientale (Tabella 3.2).

Tabella 3.2 Concentrazione degli elementi nel suolo del sito di Nitrastur

CONCENTRAZIONI DEGLI ELEMENTI NEL SUOLO DEL SITO DI NITRASTUR (mg/kg)										
	ARSENICO	CADMIO	CROMO TOTALE	CROMO (III)	CROMO (VI)	RAME	MERCURIO	NICHEL	PIOMBO	ZINCO
1	34,5	0,8	32,1	32,0	0,09	204,8	1,2	26,2	187,5	386,4
2	64,6	2,7	29	28,9	0,08	500,8	1,8	15,9	331,7	949,2
3	68,6	4,4	59,8	59,6	0,17	602,4	1,6	30	515,1	1108,5
4	28,4	1	24,7	24,6	0,07	124,3	1,1	17,8	155,6	331,7
5	20,6	0,9	57,3	57,1	0,16	83,1	13,6	34,1	2026,9	371,6
6	24,9	1,6	62,2	62,0	0,17	73,3	5	46,4	314,1	459,8
7	24,8	0,2	37,6	37,5	0,11	30,8	0,6	21,8	107,4	119,5
8	24,9	0,5	38	37,9	0,11	64,9	2,5	24,1	182,3	183,1
9	40,9	1,3	65,2	65,0	0,18	122,6	2,3	46,2	219,4	405
10	220,6	4,3	182,6	182,1	0,51	1106,5	3,4	35,1	606,1	1093,7

CONCENTRAZIONI DEGLI ELEMENTI NEL SUOLO DEL SITO DI NITRASTUR (mg/kg)										
	ARSENICO	CADMIO	CROMO TOTALE	CROMO (III)	CROMO (VI)	RAME	MERCURIO	NICHEL	PIOMBO	ZINCO
11	1997,2	7,8	60,3	60,1	0,17	1824,2	14,6	29,5	15008,2	3488,2
12	45,5	2,3	52,8	52,7	0,15	319,1	4,2	30,9	837,5	782,6
13	103,8	2,6	44,2	44,1	0,12	714,1	2,4	31	1384,6	1334,5
14	26,3	0,4	61,7	61,5	0,17	49,7	1	36,4	175	219,4
15	28	1,6	173,3	172,8	0,49	128,1	4,5	109,7	471,1	1336,1
16	74,9	2,1	38,7	38,6	0,11	288,3	5,3	37	1819,7	800,8
17	7268,3	3,4	364,9	363,9	1,02	716,2	79,5	60,5	4548	1168,1
18	93	2,5	58,2	58,0	0,16	484,9	7,1	29,7	763,3	773,6
19	115,6	1,5	43,8	43,7	0,12	334,4	11,8	25,1	605,3	686,2
20	61,5	2,4	251,1	250,4	0,70	195,7	10	69,5	767,3	620,7

3.2.2 Modello Concettuale del Sito

La definizione del modello concettuale nel caso del sito di Nitrastur viene effettuata seguendo quanto detto al 3.1.2.1. La sorgente di contaminazione considerata ai fini dell'analisi di rischio è il *suolo superficiale*. Tale scelta è fatta sulla base di quanto riportato negli studi di Wcisło et al.¹³ i quali decidono di operare nel seguente modo perché ipotizzano che gli utilizzi futuri del suolo non interagiranno con la falda presente. Pertanto essa può non essere considerata nell'analisi di rischio.

Le vie di migrazione che si analizzano sono relative al contatto dermico, ingestione ed inalazione delle polveri outdoor.

I bersagli della contaminazione on-site sono, nel caso di scenario residenziale e ricreativo, sia adulti che bambini; in particolare gli effetti tossici vengono valutati considerando i bambini mentre per quelli cancerogeni si fa riferimento all'effetto cumulativo dei due soggetti.

Nel caso di scenario industriale on-site invece si considerano come bersagli della contaminazione i lavoratori adulti, sia per quanto riguarda gli effetti tossici sia che per gli effetti cancerogeni.

3.2.3 Calcolo della concentrazione al punto di esposizione C_{POE}

La concentrazione al punto di esposizione si ricava mediante l'espressione (3.6) si utilizzano come valori di concentrazione nel suolo quelli riportate in Tabella 3.2, mentre i valori dei fattori di attenuazione che si considerano si differenziano a seconda delle vie di migrazione considerate:

- contatto dermico: $FT = 10^{-6} \text{ kg/mg}$

¹³ "Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites"- Eleonora Wcisło, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego.

- contatto per ingestione $FT = 10^{-6} \text{ kg/mg}$;
- contatto per inalazione $FT = PEF$ i cui valori sono stati calcolati sulla base delle caratteristiche del suolo delle diverse griglie. Per tale ragione i valori di PEF sono differenziati per ciascuna griglia e sono riportati in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 Valori del fattore di trasporto delle polveri per ogni griglia della maglia considerata (Fonte: Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites - Eleonora Wcislo, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego)

	PEF (m³/kg)		PEF (m³/kg)
1	1,30E+12	11	2,57E+12
2	5,70E+11	12	8,93E+12
3	5,70E+11	13	1,07E+13
4	8,93E+12	14	4,72E+10
5	8,93E+12	15	4,72E+10
6	8,93E+12	16	2,85E+10
7	1,30E+12	17	2,85E+10
8	1,30E+12	18	2,57E+12
9	2,56E+11	19	9,59E+12
10	2,56E+11	20	9,59E+12

3.2.4 Calcolo delle dosi giornaliere secondo APAT

Al fine di ricavare il rischio tossico e cancerogeno con le espressioni (3.11) e (3.12) si procede con il calcolo dell'assunzione cronica giornaliera mediante l'espressione (3.2). Per i diversi scenari, industriale, residenziale e ricreativo si calcola per ogni via di migrazione il valore della portata effettiva di esposizione con le espressioni (3.7), (3.8), (3.9).

Si analizzano quindi separatamente i diversi scenari.

3.2.4.1 Scenario residenziale

Nel caso di scenario residenziale, i bersagli da considerare sono bambini e adulti; sono di seguito riportati i valori dei parametri necessari per il calcolo della portata effettiva di esposizione EM .

I valori dei parametri da utilizzare per il calcolo della portata effettiva di esposizione nel caso delle diverse vie di migrazione (ingestione, contatto dermico e inalazione di polveri out-door) sono riportati in Tabella 3.4.

Per il calcolo di EM bisogna considerare altri due termini, frazione di suolo ingerita e frazione di assorbimento cutaneo, che non sono riportati in Tabella 3.4 perché variano a seconda del tipo di contaminante considerato (Tabella 3.5),

Tabella 3.4 Valori dei parametri impiegati per il calcolo della portata effettiva di esposizione nel caso di contatto per ingestione nello scenario residenziale

SCENARIO RESIDENZIALE							
		INGESTIONE		CONTATTO DERMICO		INALAZIONE	
		BAMBINI	ADULTI	BAMBINI	ADULTI	BAMBINI	ADULTI
Frequenza di accadimento	EF (giorni/anno)	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02
Durata di accadimento	ED (anni)	6,0E+00	2,4E+01	6,0E+00	2,4E+01	6,0E+00	2,4E+01
Peso medio corporeo	BW (kg)	1,5E+01	7,0E+01	1,5E+01	7,0E+01	1,5E+01	7,0E+01
Periodo in cui l'esposizione è mediata	AT _n (giorni)	2,19E+03	8,76E+03	2,19E+03	8,76E+03	2,19E+03	8,76E+03
Periodo in cui l'esposizione è mediata	AT _c (giorni)	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04
Tasso di ingestione del suolo	IR (mg/giorno)	2,00E+02	1,00E+02				
Superficie di pelle esposta	SA (cm ²)			2,80E+03	5,70E+03		
Fattori di aderenza dermica del suolo	AF (mg/(cm ² giorno))			2,00E-01	7,00E-02		
Inalazione outdoor	Bo (m ³ /ora)					1,00E+00	1,50E+00
Frequenza giornaliera di esposizione	Ef _g (ore/giorno)					2,40E+01	2,40E+01

Tabella 3.5 Valori di frazione di suolo ingerita e di assorbimento cutaneo per i diversi contaminanti indice

	Frazione di suolo ingerita	Frazione di assorbimento cutaneo
	FI (-)	ABS _d (-)
Arsenico	6,00E-01	3,00E-02
Cadmio	1,00E+00	1,00E-03
Cromo III	1,00E+00	1,00E-02
Cromo VI	1,00E+00	1,00E-02
Rame	1,00E+00	1,00E-02
Mercurio	1,00E+00	1,00E-02
Nichel	1,00E+00	1,00E-02
Piombo	1,00E+00	1,00E-02
Zinco	1,00E+00	1,00E-02

Si riportano di seguito in Tabella 3.6 i valori della portata effettiva di esposizione ricavati per le diverse vie di migrazione.

Tabella 3.6 Valori della portata effettiva di esposizione nel caso di scenario industriale per le diverse vie di migrazione

EM (mg/kg giorno)	INGESTIONE		CONTATTO DERMICO		INALAZIONE POLVERI OUTDOOR	
	Non Cancerogeno	Cancerogeno	Non Cancerogeno	Cancerogeno	Non Cancerogeno	Cancerogeno
Arsenico	7,7E+00	9,4E-01	1,1E+00	1,5E-01	1,5E+00	3,0E-01
Cadmio	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-02	3,1E-03	1,5E+00	3,0E-01
Cromo III	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Cromo VI	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Rame	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Mercurio	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Nichel	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Piombo	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Zinco	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01

Dopo aver calcolato la portata effettiva di esposizione si valuta l'assunzione cronica giornaliera mediante l'espressione (3.2) tenendo in considerazione i valori della concentrazione al punto di esposizione ricavati in funzione dei fattori di trasporto.

3.2.4.2 Scenario industriale

Nel caso di scenario industriale, i bersagli da considerare sono solo gli adulti; sono di seguito riportati i valori dei parametri necessari per il calcolo della portata effettiva di esposizione *EM*.

I valori considerati nel caso delle diverse vie di migrazione (ingestione, contatto dermico e inalazione di polveri out-door) sono riportati in Tabella 3.7.

Per il calcolo di *EM* bisogna considerare altri due termini, frazione di suolo ingerita e frazione di assorbimento cutaneo, che non sono riportati in Tabella 3.4 perché variano a seconda del tipo di contaminante considerato (Tabella 3.5).

Tabella 3.7 Valori dei parametri impiegati per il calcolo della portata effettiva di esposizione nel caso di contatto per ingestione nello scenario industriale

SCENARIO INDUSTRIALE				
		INGESTIONE	CONTATTO DERMICO	INALAZIONE
		ADULTI	ADULTI	ADULTI
Frequenza di accadimento	EF (giorni/anno)	2,5E+02	2,5E+02	2,5E+02
Durata di accadimento	ED (anni)	2,5E+01	2,5E+01	2,5E+01
Peso medio corporeo	BW (kg)	7,0E+01	7,0E+01	7,0E+01
Periodo in cui l'esposizione è mediata	AT _n (giorni)	9,1E+03	9,1E+03	9,13E+03
Periodo in cui l'esposizione è mediata	AT _c (giorni)	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04
Tasso di ingestione del suolo	IR (mg/giorno)	5,0E+01		
Superficie di pelle esposta	SA (cm ²)		3,3E+03	
Fattori di aderenza dermica del suolo	AF (mg/(cm ² giorno))		2,0E-01	
Inalazione outdoor	Bo (m ³ /ora)			1,50E+00
Frequenza giornaliera di esposizione	Ef _g (ore/giorno)			8,00E+00

Si riportano di seguito in Tabella 3.8 i valori della portata effettiva di esposizione ricavati per le diverse vie di migrazione.

Tabella 3.8 Valori della portata effettiva di esposizione nel caso di scenario industriale per le tre diverse vie di migrazione

EM (mg/kg giorno)	INGESTIONE		CONTATTO DERMICO		INALAZIONE POLVERI OUTDOOR	
	Non Cancerogeno	Cancerogeno	Non Cancerogeno	Cancerogeno	Non Cancerogeno	Cancerogeno
Arsenico	2,9E-07	1,0E-07	1,9E-07	6,9E-08	1,2E-01	4,2E-02
Cadmio	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-09	2,3E-09	1,2E-01	4,2E-02
Cromo III	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02
Cromo VI	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02
Rame	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02
Mercurio	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02
Nichel	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02
Piombo	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02
Zinco	4,9E-07	1,7E-07	6,5E-08	2,3E-08	1,2E-01	4,2E-02

Dopo aver calcolato la portata effettiva di esposizione si valuta l'assunzione cronica giornaliera mediante l'espressione (3.2) tenendo in considerazione i valori della concentrazione al punto di esposizione ricavati in funzione dei fattori di trasporto.

3.2.4.3 Scenario ricreativo

Nel caso di scenario industriale, i bersagli da considerare sono sia i bambini che gli adulti; sono di seguito riportati i valori dei parametri necessari per il calcolo della portata effettiva di esposizione EM . I valori dei parametri da utilizzare per il calcolo della portata effettiva di esposizione nel caso delle diverse vie di migrazione (ingestione, contatto dermico e inalazione di polveri out-door) sono riportati in Tabella 3.9. Per il calcolo di EM bisogna considerare altri due termini, frazione di suolo ingerita e frazione di assorbimento cutaneo, che non sono riportati in Tabella 3.4 perché variano a seconda del tipo di contaminante considerato (Tabella 3.5).

Tabella 3.9 Valori dei parametri impiegati per il calcolo della portata effettiva di esposizione nel caso di contatto per ingestione nello scenario ricreativo

SCENARIO RICREATIVO							
		INGESTIONE		CONTATTO DERMICO		INALAZIONE	
		BAMBINI	ADULTI	BAMBINI	ADULTI	BAMBINI	ADULTI
Frequenza di accadimento	EF (giorni/anno)	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02	3,5E+02
Durata di accadimento	ED (anni)	6,0E+00	2,4E+01	6,0E+00	2,4E+01	6,0E+00	2,4E+01
Peso medio corporeo	BW (kg)	1,5E+01	7,0E+01	1,5E+01	7,0E+01	1,5E+01	7,0E+01
Periodo in cui l'esposizione è mediata	AT _n (giorni)	2,19E+03	8,76E+03	2,19E+03	8,76E+03	2,19E+03	8,76E+03
Periodo in cui l'esposizione è mediata	AT _c (giorni)	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04	2,6E+04
Tasso di ingestione del suolo	IR (mg/giorno)	2,00E+02	1,00E+02				
Superficie di pelle esposta	SA (cm ²)			2,80E+03	5,70E+03		
Fattori di aderenza dermica del suolo	AF (mg/(cm ² giorno))			2,00E-01	7,00E-02		
Inalazione outdoor	Bo (m3/ora)					1,00E+00	1,50E+00
Frequenza giornaliera di esposizione	Ef _g (ore/giorno)					2,40E+01	2,40E+01

Si riportano di seguito in Tabella 3.10 i valori della portata effettiva di esposizione ricavati per le diverse vie di migrazione.

Tabella 3.10 Valori della portata effettiva di esposizione nel caso di scenario ricreativo per le tre diverse vie di migrazione

EM (mg/kg giorno)	INGESTIONE		CONTATTO DERMICO		INALAZIONE POLVERI OUTDOOR	
	Non Cancerogeno	Cancerogeno	Non Cancerogeno	Cancerogeno	Non Cancerogeno	Cancerogeno
Arsenico	7,7E+00	9,4E-01	1,1E+00	1,5E-01	1,5E+00	3,0E-01
Cadmio	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-02	3,1E-03	1,5E+00	3,0E-01
Cromo III	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Cromo VI	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Rame	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Mercurio	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Nichel	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Piombo	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01
Zinco	1,3E+01	1,6E+00	3,6E-01	3,1E-02	1,5E+00	3,0E-01

Dopo aver calcolato la portata effettiva di esposizione si valuta l'assunzione cronica giornaliera mediante l'espressione (3.2) tenendo in considerazione i valori della concentrazione al punto di esposizione ricavati in funzione dei fattori di trasporto.

3.2.5 Calcolo delle dosi giornaliere secondo US EPA

Per il calcolo delle dosi giornaliere per le diverse vie di migrazione si fa riferimento alle espressioni (3.3), (3.4), (3.5). I parametri necessari per applicare le espressioni sono riportati in Tabella 3.11.

Tabella 3.11 Valori dei parametri usati per il calcolo dell'esposizione secondo la metodologia US EPA

		SCENARIO RESIDENZIALE		SCENARIO INDUSTRIALE	SCENARIO RICREATIVO	
		BAMBINO	ADULTO	ADULTO	BAMBINO	ADULTO
Frequenza di esposizione	EF (days/year)	3,50E+02	3,50E+02	2,40E+02	1,50E+02	1,50E+02
Rapporto di ingestione	IRo (mg/day)	2,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	2,00E+02	1,00E+02
Fattore di conversione	$CF1$ (kg/mg)	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06
Peso del corpo	BW (kg)	1,50E+01	7,00E+01	7,00E+01	1,50E+01	7,00E+01
Tempo medio esposizione per sostanze non cancerogene	ATn (days)	2,19E+03	8,76E+03	1,46E+04	2,19E+03	8,76E+03
Tempo medio esposizione per sostanze cancerogene	ATc (days)	2,56E+04	2,56E+04	2,56E+04	2,56E+04	2,56E+04
Superficie della pelle esposta	SA (cm ²)	2,80E+03	5,70E+03	3,30E+03	2,80E+03	5,70E+03
Fattore di aderenza suolo- pelle	AF (mg/cm ² day)	2,00E-01	7,00E-02	2,00E-01	2,00E-01	7,00E-02
Durata esposizione	ED (years)	6,00E+00	2,40E+01	4,00E+01	6,00E+00	2,40E+01
Tempo esposizione	ET (h/h)	1,00E+00	1,00E+00	3,30E-01	8,30E-02	8,30E-02

Nel caso della procedura US EPA non si riporta il valore della portata effettiva di esposizione, ma si procede direttamente con il calcolo, per i diversi scenari e per le vie di migrazione, del rischio.

3.2.6 Calcolo dei parametri tossicologici

Per poter applicare le espressioni per il calcolo del rischio tossico $HQ = \frac{E}{RfD}$ e cancerogeno $R = E \cdot SF$ è necessario ricavare i valori del *Reference Dose RfD* e dello *Slope Factor SF*, mediante la consultazione della banca dati RAIS (<http://rais.ornl.gov/>). I valori ottenuti sono riportati in Tabella 3.12. È possibile notare che sono presenti tre diversi valori di Reference Dose e di Slope Factor in funzione delle vie di migrazione assunte.

I termini di RfD e di SF nel caso di contatto dermico non sono forniti direttamente dalla banca dati ma devono essere ricavati a partire da quelli relativi al contatto per ingestione; la Reference Dose per contatto dermico si ricava moltiplicando RfD orale per un fattore di assorbimento gastrointestinale ABSG, mentre lo Slope Factor si ottiene dividendo lo SF orale per ABSG (Tabella 3.12).

Tabella 3.12 Valori del fattore di assorbimento gastrointestinale ABSG

	Arsenico	Cadmio	Cromo III	Cromo VI	Rame	Mercurio	Nichel	Piombo	Zinco
ABSG (-)	1,00E+00	2,50E-02	1,30E-02	1,00E+00	1,00E+00	7,00E-02	4,00E-02	1,00E+00	1,00E+00

Tabella 3.13 Valori di Reference Dose e Slope Factor per le diverse vie di migrazione

	Chronic Oral Reference Dose (mg/kg-day)	Chronic Inhalation Reference Concentration (mg/m ³)	Chronic Dermal Reference Dose (mg/kg-day)	Oral Slope Factor (mg/kg-day) ⁻¹	Inhalation Unit Risk (μg/m ³) ⁻¹	Dermal Slope Factor (mg/kg-day) ⁻¹
	RfD _o	RfD _c	RfD _d	SF _o	IUR	SF _d
Arsenico	3,00E-04	1,50E-05	3,00E-04	1,50E+00	4,30E+00	3,49E-06
Cadmio	1,00E-03	1,00E-05	2,50E-05	-	1,80E+00	-
Cromo III	1,50E+00	-	1,95E-02	-	-	-
Cromo VI	3,00E-03	1,00E-04	3,00E-03	5,00E-01	8,40E+01	1,19E-06
Rame	4,00E-02	-	4,00E-02	-	-	-
Mercurio	3,00E-04	3,00E-04	2,10E-05	-	-	-
Nichel	2,00E-02	9,00E-05	8,00E-04	-	2,60E-01	-
Piombo	3,50E-03	3,50E-03	1,23E-02	8,50E-03	1,20E-05	-
Zinco	3,00E-01	-	3,00E-01	-	-	-

3.2.7 Calcolo del rischio

Definiti i diversi parametri, si procede con il calcolo del rischio tossico e cancerogeno individuale a partire dall'espressioni 3.11 e 3.12 sia nell'ambito della metodologia APAT che dell'US EPA e successivamente con la valutazione del rischio tossico e cancerogeno cumulativo mediante le formule 3.13 e 3.14.

I valori ricavati sono riportati in allegato.

La verifica dei criteri di tollerabilità del rischio si effettua mediante le espressioni descritte al 3.1.4.1.

Un ulteriore step che viene considerato in questo caso consiste nel ricavare un valore univoco di rischio cancerogeno e tossico per ogni cella al fine di poter fare delle considerazioni riguardanti i risultati ottenuti utilizzando le due metodiche.

Volendo fornire un quadro d'insieme dei diversi valori di rischio tossico e cancerogeno ricavati usando le linee guida APAT e US EPA, se ne riportano i risultati a confronto nelle Tabella 3.14, Tabella 3.15 e Tabella 3.16 per gli scenari considerati.

Questa comparazione permetterà di poter fare delle considerazioni circa i valori assunti evidenziando i punti comuni e quelli discordanti.

Tabella 3.14 Valori di rischio tossico e cancerogeno rappresentativo di tutti i contaminanti indice per scenario residenziale

	SCENARIO RESIDENZIALE			
	RISCHIO TOSSICO		RISCHIO CANCEROGENO	
	APAT	US EPA	APAT	US EPA
1	1,9	1,2	5,9E-05	5,6E-05
2	3,5	2,3	1,1E-04	1,1E-04
3	4,3	2,4	1,2E-04	1,1E-04
4	1,6	1,0	4,9E-05	4,6E-05
5	8,9	1,5	6,2E-05	3,4E-05
6	2,3	1,1	4,6E-05	4,1E-05
7	1,2	0,8	4,3E-05	4,1E-05
8	1,6	0,9	4,4E-05	4,1E-05
9	2,3	1,5	7,1E-05	6,7E-05
10	9,4	7,2	3,7E-04	3,6E-04
11	114,8	60,0	3,5E-03	3,3E-03
12	4,8	1,8	8,6E-05	7,4E-05
13	8,6	3,5	1,9E-04	1,7E-04
14	1,5	0,9	4,6E-05	4,3E-05
15	3,1	1,3	5,5E-05	4,6E-05
16	9,4	2,7	1,5E-04	1,2E-04
17	233,7	217,1	1,2E-02	1,2E-02
18	6,2	3,4	1,6E-04	1,5E-04
19	6,5	4,3	2,0E-04	1,9E-04
20	5,4	2,6	1,2E-04	1,0E-04

Tabella 3.15 Valori di rischio tossico e cancerogeno rappresentativo di tutti i contaminanti indice per scenario ricreativo

	SCENARIO RICREATIVO			
	RISCHIO TOSSICO		RISCHIO CANCEROGENO	
	APAT	US EPA	APAT	US EPA
1	1,9	0,5	5,94E-05	2,4E-05
2	3,4	1,0	1,10E-04	4,5E-05
3	4,3	1,05	1,20E-04	4,8E-05
4	1,5	0,4	4,89E-05	2,0E-05
5	9,0	0,6	6,16E-05	1,4E-05
6	2,3	0,5	4,59E-05	1,7E-05

	SCENARIO RICREATIVO			
	RISCHIO TOSSICO		RISCHIO CANCEROGENO	
	APAT	US EPA	APAT	US EPA
7	1,2	0,3	4,26E-05	1,7E-05
8	1,6	0,4	4,37E-05	1,7E-05
9	2,3	0,6	7,08E-05	2,9E-05
10	9,4	3,1	3,71E-04	1,5E-04
11	115,8	25,7	3,46E-03	1,4E-03
12	4,9	0,8	8,63E-05	3,2E-05
13	8,6	1,5	1,89E-04	7,3E-05
14	1,5	0,4	4,64E-05	1,8E-05
15	3,0	0,6	5,51E-05	2,0E-05
16	9,4	1,2	1,47E-04	5,2E-05
17	233,9	93	1,19E-02	5,1E-03
18	6,2	1,5	1,63E-04	6,5E-05
19	6,5	1,8	1,97E-04	8,1E-05
20	5,4	1,1	1,15E-04	4,3E-05

Tabella 3.16 Valori di rischio tossico e cancerogeno rappresentativo di tutti i contaminanti indice per scenario industriale

	SCENARIO INDUSTRIALE			
	RISCHIO TOSSICO		RISCHIO CANCEROGENO	
	APAT	US EPA	APAT	US EPA
1	0,10	0,11	9,81E-06	2,2E-05
2	0,17	0,20	1,83E-05	4,1E-05
3	0,21	0,22	2,01E-05	4,4E-05
4	0,08	0,09	8,08E-06	1,8E-05
5	0,40	0,15	1,39E-05	1,3E-05
6	0,12	0,12	7,85E-06	1,6E-05
7	0,06	0,08	6,95E-06	1,6E-05
8	0,08	0,09	7,29E-06	1,6E-05
9	0,12	0,14	1,16E-05	2,6E-05
10	0,49	0,62	6,02E-05	1,4E-04
11	5,55	5,16	5,84E-04	1,3E-03
12	0,23	0,17	1,54E-05	2,9E-05
13	0,40	0,31	3,29E-05	6,7E-05
14	0,08	0,09	7,64E-06	2,0E-05
15	0,15	0,15	9,40E-06	1,8E-05
16	0,42	0,25	2,71E-05	4,8E-05
17	12,87	18,7	1,92E-03	4,6E-03
18	0,31	0,31	2,75E-05	6,0E-05
19	0,34	0,38	3,27E-05	7,4E-05
20	0,27	0,25	1,94E-05	4,0E-05

Per avere una migliore visione grafica dei risultati ottenuti, si è realizzato in ambiente GIS una mappatura del rischio ricavato per i diversi scenari e le diverse procedure (Figura 3.12, Figura 3.14, Figura 3.14, Figura 3.15, Figura 3.16, Figura 3.17, Figura 3.18, Figura 3.19, Figura 3.20 e Figura 3.21).

Nel caso dello scenario ricreativo e industriale sono stati definiti sia per il rischio cancerogeno sia per quello tossico tre diverse classi di rischio, mentre nel caso dello scenario residenziale sono state definite quattro diverse classi.

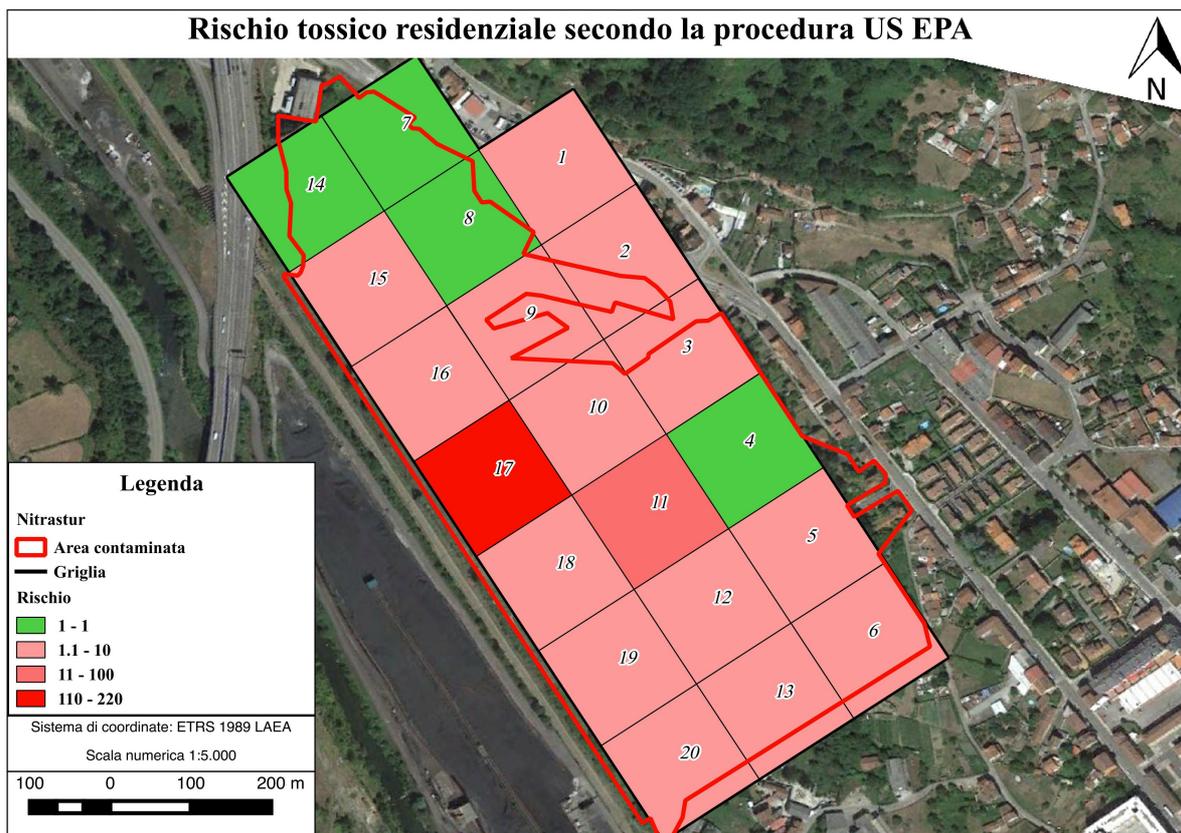


Figura 3.10 Mappa del rischio tossico per lo scenario residenziale secondo la procedura US EPA



Figura 3.11 Mappa del rischio per lo scenario residenziale secondo la procedura APAT

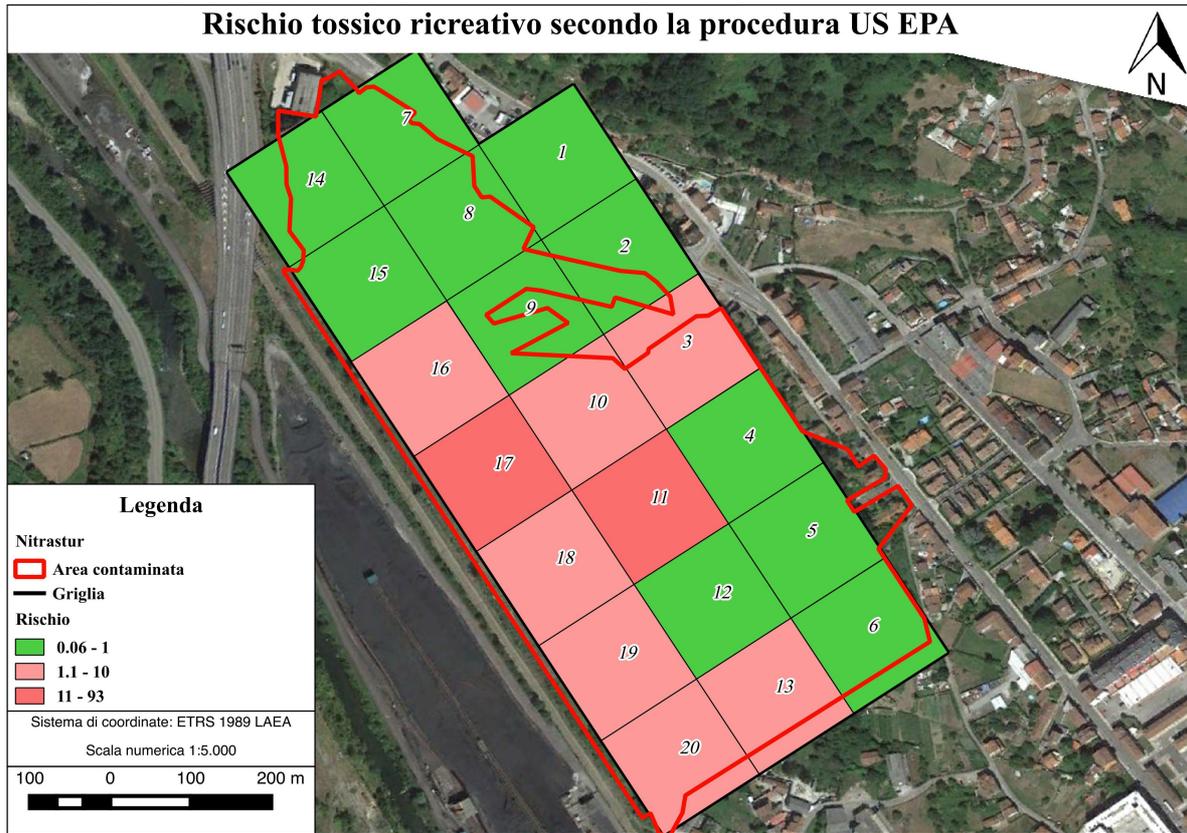


Figura 3.12 Mappa del rischio tossico per lo scenario ricreativo secondo la procedura US EPA

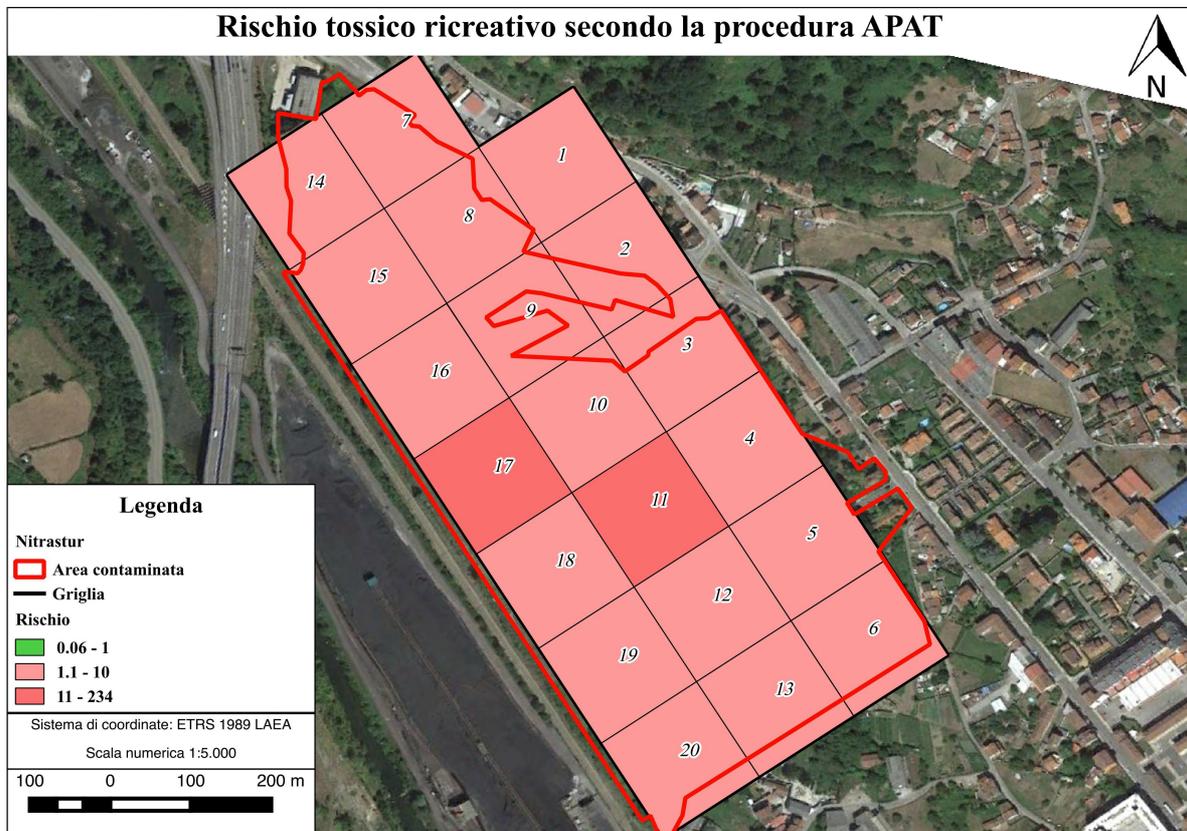


Figura 3.13 Mappa del rischio tossico per lo scenario ricreativo secondo la procedura APAT



Figura 3.14 Mappa del rischio tossico per lo scenario industriale secondo la procedura US EPA



Figura 3.15 Mappa del rischio per lo scenario industriale secondo la procedura APAT

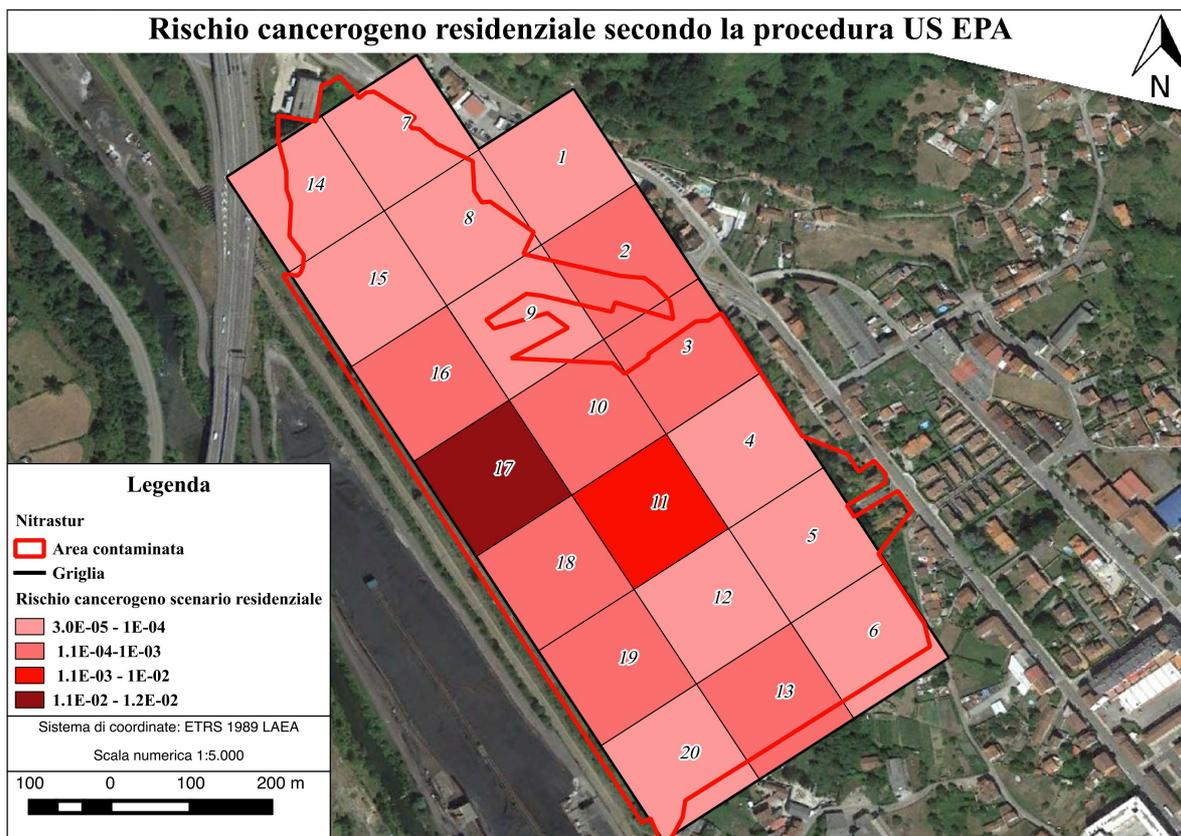


Figura 3.16 Mappa del rischio cancerogeno per lo scenario residenziale secondo la procedura US EPA

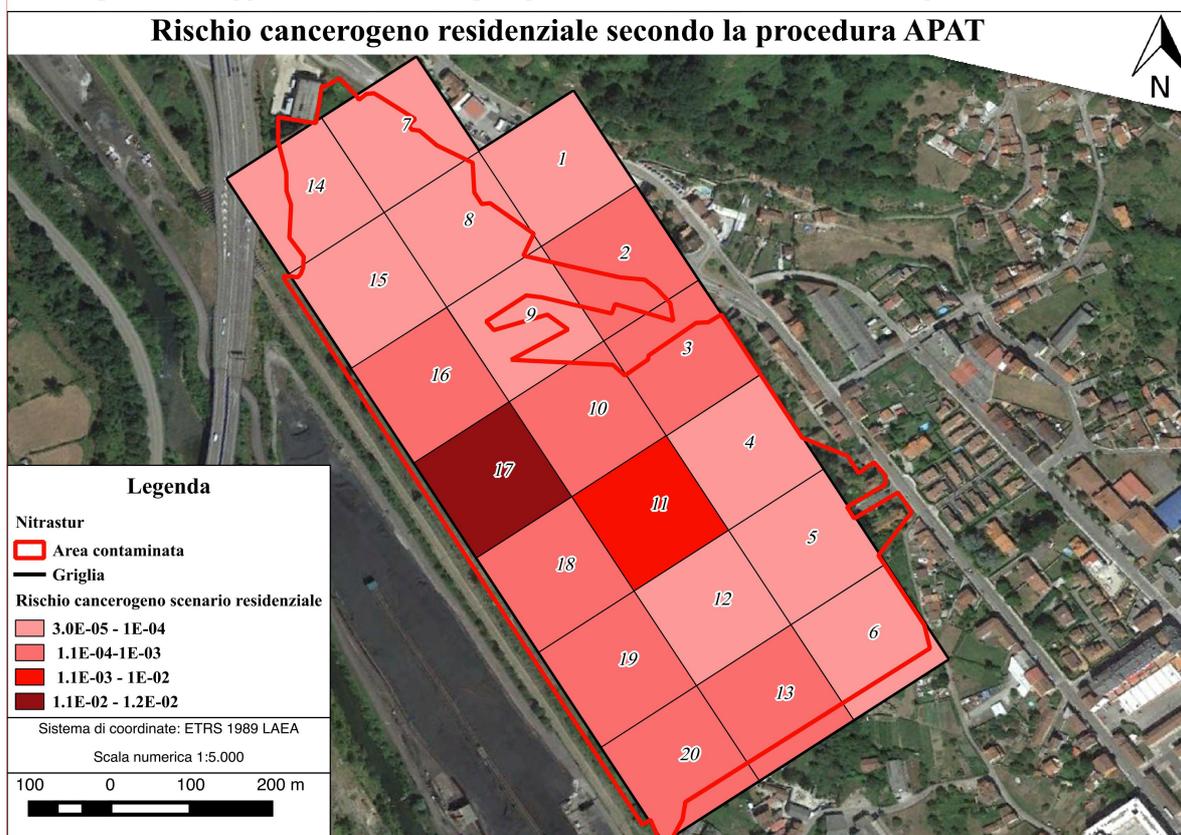


Figura 3.17 Mappa del rischio cancerogeno per lo scenario residenziale secondo la procedura APAT

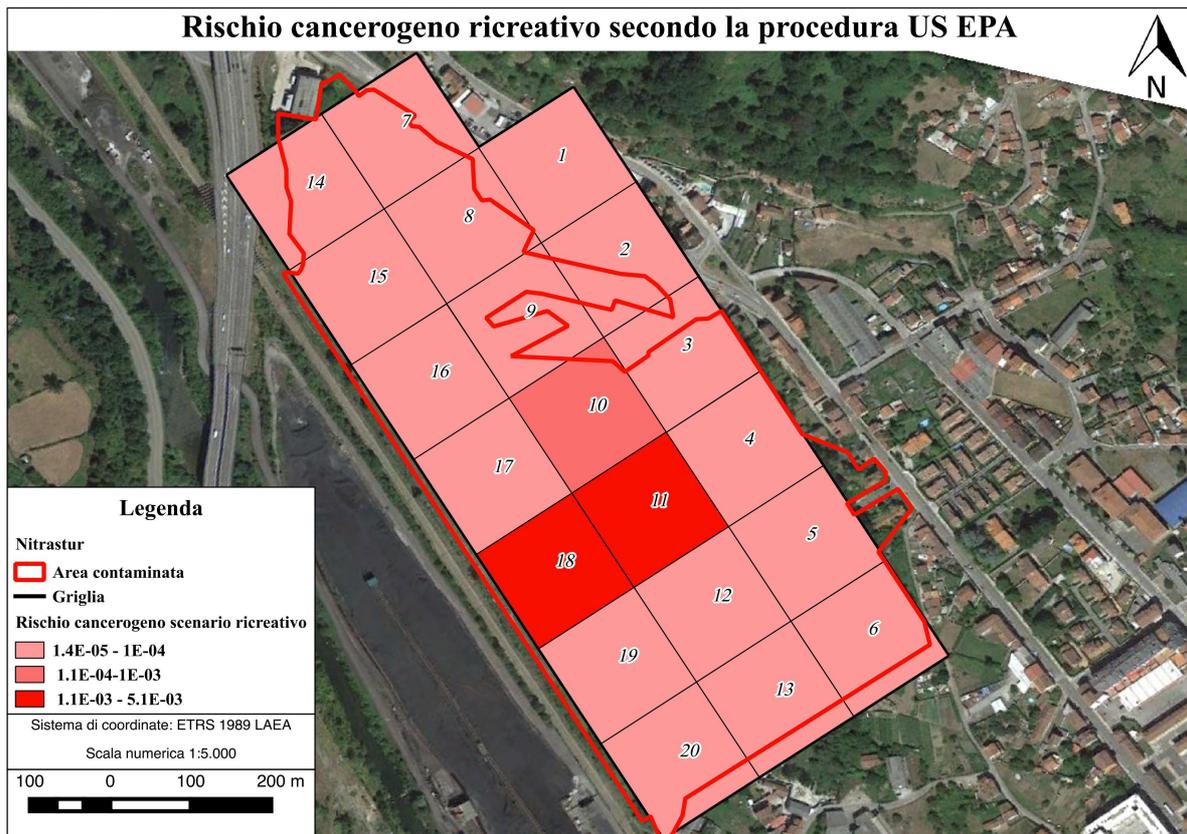


Figura 3.18 Mappa del rischio cancerogeno per lo scenario ricreativo secondo la procedura US EPA



Figura 3.19 Mappa del rischio cancerogeno per lo scenario ricreativo secondo la procedura APAT

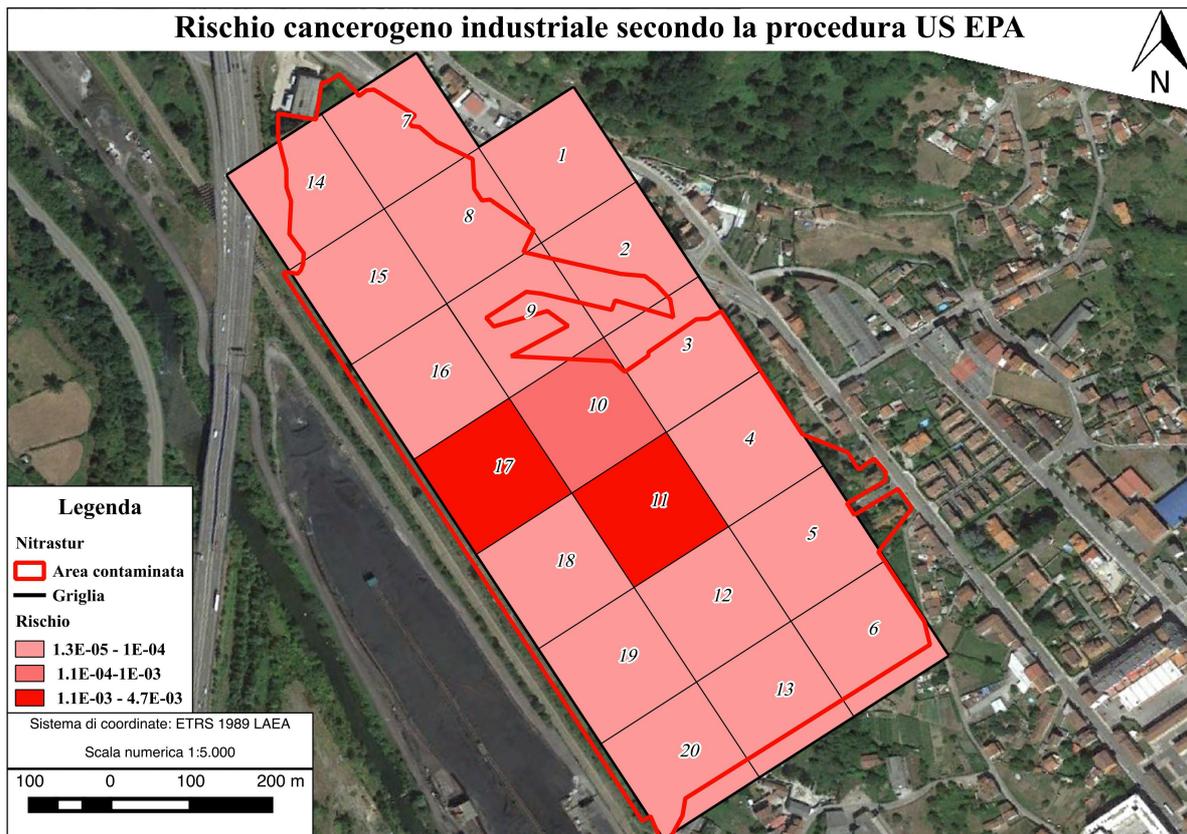


Figura 3.20 Mappa del rischio cancerogeno per lo scenario industriale secondo la procedura US EPA



Figura 3.21 Mappa del rischio cancerogeno per lo scenario industriale secondo la procedura APAT

3.2.8 Osservazioni

Alla luce dell'applicazione delle due metodologie precedentemente descritte, è possibile fare delle considerazioni circa i risultati ottenuti, che vengono proposti in un quadro d'insieme in Tabella 3.17.

Tabella 3.17 Quadro d'insieme dei valori di rischio tossico e cancerogeno ottenuti dall'applicazione delle procedure di analisi di rischio APAT e US EPA sul sito di Nitrastur per i diversi scenari

	SCENARIO RESIDENZIALE				SCENARIO RICREATIVO				SCENARIO INDUSTRIALE			
	RISCHIO CANCEROGENO		RISCHIO TOSSICO		RISCHIO CANCEROGENO		RISCHIO TOSSICO		RISCHIO CANCEROGENO		RISCHIO TOSSICO	
	APAT	US EPA	APAT	US EPA	APAT	US EPA	APAT	US EPA	APAT	US EPA	APAT	US EPA
1	1,9	1,2	5,9E-05	5,6E-05	1,9	0,5	5,94E-05	2,4E-05	0,10	0,11	9,81E-06	2,2E-05
2	3,5	2,3	1,1E-04	1,1E-04	3,4	1,0	1,10E-04	4,5E-05	0,17	0,20	1,83E-05	4,1E-05
3	4,3	2,4	1,2E-04	1,1E-04	4,3	1,05	1,20E-04	4,8E-05	0,21	0,22	2,01E-05	4,4E-05
4	1,6	1,0	4,9E-05	4,6E-05	1,5	0,4	4,89E-05	2,0E-05	0,08	0,09	8,08E-06	1,8E-05
5	8,9	1,5	6,2E-05	3,4E-05	9,0	0,6	6,16E-05	1,4E-05	0,40	0,15	1,39E-05	1,3E-05
6	2,3	1,1	4,6E-05	4,1E-05	2,3	0,5	4,59E-05	1,7E-05	0,12	0,12	7,85E-06	1,6E-05
7	1,2	0,8	4,3E-05	4,1E-05	1,2	0,3	4,26E-05	1,7E-05	0,06	0,08	6,95E-06	1,6E-05
8	1,6	0,9	4,4E-05	4,1E-05	1,6	0,4	4,37E-05	1,7E-05	0,08	0,09	7,29E-06	1,6E-05
9	2,3	1,5	7,1E-05	6,7E-05	2,3	0,6	7,08E-05	2,9E-05	0,12	0,14	1,16E-05	2,6E-05
10	9,4	7,2	3,7E-04	3,6E-04	9,4	3,1	3,71E-04	1,5E-04	0,49	0,62	6,02E-05	1,4E-04
11	114,8	60,0	3,5E-03	3,3E-03	115,8	25,7	3,46E-03	1,4E-03	5,55	5,16	5,84E-04	1,3E-03
12	4,8	1,8	8,6E-05	7,4E-05	4,9	0,8	8,63E-05	3,2E-05	0,23	0,17	1,54E-05	2,9E-05
13	8,6	3,5	1,9E-04	1,7E-04	8,6	1,5	1,89E-04	7,3E-05	0,40	0,31	3,29E-05	6,7E-05
14	1,5	0,9	4,6E-05	4,3E-05	1,5	0,4	4,64E-05	1,8E-05	0,08	0,09	7,64E-06	2,0E-05
15	3,1	1,3	5,5E-05	4,6E-05	3,0	0,6	5,51E-05	2,0E-05	0,15	0,15	9,40E-06	1,8E-05
16	9,4	2,7	1,5E-04	1,2E-04	9,4	1,2	1,47E-04	5,2E-05	0,42	0,25	2,71E-05	4,8E-05
17	233,7	217,1	1,2E-02	1,2E-02	233,9	93	1,19E-02	5,1E-03	12,87	18,7	1,92E-03	4,6E-03
18	6,2	3,4	1,6E-04	1,5E-04	6,2	1,5	1,63E-04	6,5E-05	0,31	0,31	2,75E-05	6,0E-05
19	6,5	4,3	2,0E-04	1,9E-04	6,5	1,8	1,97E-04	8,1E-05	0,34	0,38	3,27E-05	7,4E-05
20	5,4	2,6	1,2E-04	1,0E-04	5,4	1,1	1,15E-04	4,3E-05	0,27	0,25	1,94E-05	4,0E-05

Per lo *scenario residenziale* i valori di rischio tossico e cancerogeno ricavati utilizzando la procedura APAT sono molto più elevati rispetto a quelli ottenuti dall'US EPA. Queste variazioni possono essere giustificate dal fatto che la procedura italiana considera anche il Piombo mentre invece in Spagna tale metallo non è incluso nell'analisi di rischio (vedi 3.2.8.1).

Anche nel caso di *scenario ricreativo* si evidenziano risultati discordanti con valori più alti per l'Italia. Questo può essere giustificato sia dal fatto che in Italia si considera il Piombo sia dal fatto che i valori dei parametri di input nel calcolo della portata effettiva di esposizione suggeriti dalle due metodologie sono differenti; in particolare il parametro che differisce è:

- *frequenza di esposizione*: l'US EPA suggerisce di utilizzare un valori di EF pari a 150 *giorni/anno* mentre l'APAT pone $EF = 350$ *giorni/anno*.

Nel caso di **scenario industriale** è possibile notare come per il rischio tossico i valori siano molto simili tra di loro. Nel caso di rischio cancerogeno si hanno valori di rischio più alti nel caso spagnolo rispetto a quello italiano.

Ciò è connesso con i valori differenti dei parametri impiegati come dati di input per il calcolo della portata effettiva di esposizione EM.

Si riscontrano in particolare delle differenze per quanto riguarda:

- *rapporto di ingestione*: l'US EPA assume un valore di $IR_o = 100$ *mg/giorno* mentre l'APAT considera $IR_o = 50$ *mg/giorno*;
- *frequenza di esposizione*: il valore di EF assunto dall'US EPA è pari a 240 *giorni/anno* mentre per l'APAT $EF = 250$ *giorni/anno*;
- *durata dell'esposizione*: secondo l'US EPA $ED = 40$ *anni* mentre per l'APAT suggerisce di utilizzare $ED = 25$ *anni*.

Un ulteriore elemento che deve essere sottolineato è relativo al fatto che in tutti gli scenari si sono osservate due celle in particolare in cui si registrano dei valori di rischio molto più elevati rispetto alle restanti aree; si tratta della cella 17 (valori di rischio maggiori) e la cella 11.

Queste aree sono quelle che destano maggiore preoccupazione e riguardano gli effetti che la contaminazione potrà avere sui bersagli.

3.2.8.1 Caso Piombo

Si parla di caso piombo perché si vuole sottolineare un aspetto molto interessante dell'analisi di rischio eseguita secondo procedura US EPA. Nel condurre l'analisi di rischio secondo la normativa spagnola tra i contaminanti non si è considerato il Piombo, ottenendo di conseguenza valori di rischio sia tossico che cancerogeno minori rispetto a quelli ricavati secondo la linea guida APAT.

Tale scelta è legata al fatto che l'EPA non ha sviluppato dei valori di concentrazione di riferimento RfD per il piombo inorganico (e composti di piombo) poiché si è osservato che “*gli effetti di salute associati all'esposizione al piombo si verificano a livelli così bassi da essere sostanzialmente privi di soglia*”¹⁴.

Alla luce di ciò, per valutare l'esposizione al piombo l'EPA suggerisce l'applicazione di modelli che consentano all'utente di inserire dati specifici del sito e prevedere le concentrazioni di piombo nel sangue.

Queste concentrazioni forniscono un'indicazione dell'esposizione al piombo associata ai bersagli attuali e futuri.

¹⁴ Regulations and Advisories (EPA)

4 Adaptive Reuse

Nei capitoli precedenti si è affrontato il tema della contaminazione dei siti e degli iter procedurali che bisogna adottare per valutare gli effetti che la presenza di determinati contaminanti hanno sull'uomo e sull'ambiente.

Come ampiamente evidenziato, lo stato di contaminazione di un sito implica necessariamente degli interventi di risanamento che permettano di riportare i livelli di concentrazione al di sotto dei limiti normativi. Tali interventi richiedono la presenza ed il lavoro di professionalità differenti che possano tenere in considerazione i diversi aspetti che entrano in gioco nell'iter progettuale e realizzativo delle attività di decontaminazione in previsione di un utilizzo futuro del sito.

Oggi la bonifica è intesa come un “*passaggio tra due fasi normate dall'urbanistica e dai regolamenti edilizi*”¹⁵, isolata dal prima e dal dopo, con l'obiettivo di “*ripulire integralmente il sito dai residui dell'uso passato, per consegnarlo come sito pulito all'uso futuro*”. I dati storici servono soltanto ad improntare le attività di decontaminazione senza porre alcuna limitazione circa quella che sarà la destinazione futura del sito. Il ripristino dello stato naturale o comunque di condizioni compatibili con l'attività umana è l'obiettivo primario degli interventi di bonifica che devono essere inseriti in un progetto più complesso in cui tali attività rappresentano il punto di partenza per lo sviluppo e la definizione di una nuova destinazione d'uso del sito.

In tale contesto si inseriscono i concetti di *adaptive reuse* e di *adaptive remediation*, i quali definiscono due diversi approcci che dovrebbero essere inseriti nella pratica operativa.

L'*adaptive reuse* differisce dalle usuali attività di riuso poiché definisce le modalità di trasformazione di un edificio/sito preesistente in modo da minimizzare gli interventi necessari al riuso; analogamente l'*adaptive remediation* delinea una strategia di bonifica in cui le condizioni del sito diventano fondamentali per definire il progetto del suo riuso, che dovrà essere concepito in modo tale da ridurre il costo degli interventi di bonifica necessari, a parità di condizioni di sicurezza garantite ai cittadini e alle comunità locali.

Le attività di bonifica devono essere programmate ed eseguite nello spazio e nel tempo all'interno di un progetto a cui fanno fronte diverse figure professionali con l'intento di contenere i costi, di distribuire le attività in funzione delle necessità tecniche e progettuali.

In tale scenario e nell'ambito del laboratorio FULL (Future Urban Legacy Lab) si sviluppa la progettazione del Toolkit parametrico, oggetto del presente capitolo, che nasce con l'intento di supportare l'iter decisionale delle tecniche di bonifica da attuare su dei siti che sono interessati da multicontaminazione.

¹⁵ “Adaptive Reuse-La bonifica appropriata, nel quadro di una strategia integrata di rigenerazione urbana o territoriale” Matteo Robiglio

Il Future Urban Legacy Lab (FULL) è un gruppo di ricerca a cui fanno capo diversi dipartimenti del Politecnico di Torino e ricercatori di altre università. Nell'ottica di un contesto nazionale ed internazionale, FULL assume una visione complessa e aperta degli spazi urbani per interpretare le principali sfide poste da un mondo in rapida urbanizzazione. È un luogo di sperimentazione su progetti e scenari, con l'intento di definire un approccio interdisciplinare e trasversale alla progettazione urbana. Gli obiettivi principali dei ricercatori di FULL sono quelli di collegare la conoscenza del passato e le visioni future nel regno urbano, progettare scenari di innovazione socio-tecnologica per le sfide urbane globali rilevanti e supportare i processi decisionali.

Il Toolkit, elaborato su Grasshopper (sistema di Visual Programming Language o VPL plugin di Rhinoceros per la modellazione parametrica per nodi) permette di eseguire delle operazioni parametriche, nonché di ottenere delle rappresentazioni grafiche circa le variazioni morfologiche che il sito subisce a seguito dell'applicazione di una data tecnica di bonifica. Il risultato che lo strumento fornisce non è altro che l'output finale di un complesso sistema decisionale in cui vengono considerate diverse variabili quali gli scenari di utilizzo del suolo, i contaminanti presenti e la loro concentrazione, le priorità d'azione e i costi.

Il Toolkit parametrico è stato sviluppato secondo gli step schematizzati in Figura 4.1.

Punto di partenza del modello decisionale è la superficie del sito contaminato che viene suddivisa in sotto-aree in modo tale da creare una griglia. Per ciascuna maglia della griglia vengono definiti una serie di elementi quali:

- *tipologia di contaminanti presenti;*
- *parametri fisici del sito che possono influenzare la scelta delle tecniche (conducibilità idraulica, potenziale redox, etc.);*
- *concentrazione di contaminanti sul sito.*

Questi elementi permettono di filtrare tra tutte le tecniche disponibili quelle che possono essere applicate in presenza di una multicontaminazione ovvero nel caso in cui vi sia la presenza di più sostanze inquinanti in uno stesso sito. Dopo questa prima fase di screening, nel modello parametrico sono implementate le soluzioni o proposte progettuali definite dall'architetto, le quali costituiscono un'ulteriore discriminante nella fase di selezione e permettono di restringere il range di tecniche applicabili in un dato sito. L'elenco di tecniche ottenuto come output sarà sottoposto ad un'ulteriore fase di selezione in cui si considerano i costi, le priorità di intervento e le variazioni morfologiche connessi all'applicazione di uno dato intervento sul sito. Per quanto riguarda i costi, si assume di considerare come discriminante il costo minimo, mentre per le priorità di intervento ci si riferisce a diverse classi in funzione delle necessità tecniche, progettuali e realizzative del progetto di *reuse*. Le variazioni morfologiche connesse all'applicazione di una data tecnica modellano la superficie del sito, della quale è possibile realizzare delle rappresentazioni grafiche.

Di seguito verranno descritti nel dettaglio i diversi step con un'applicazione su un *brownfield* presso la località di Nitrastur in Spagna.

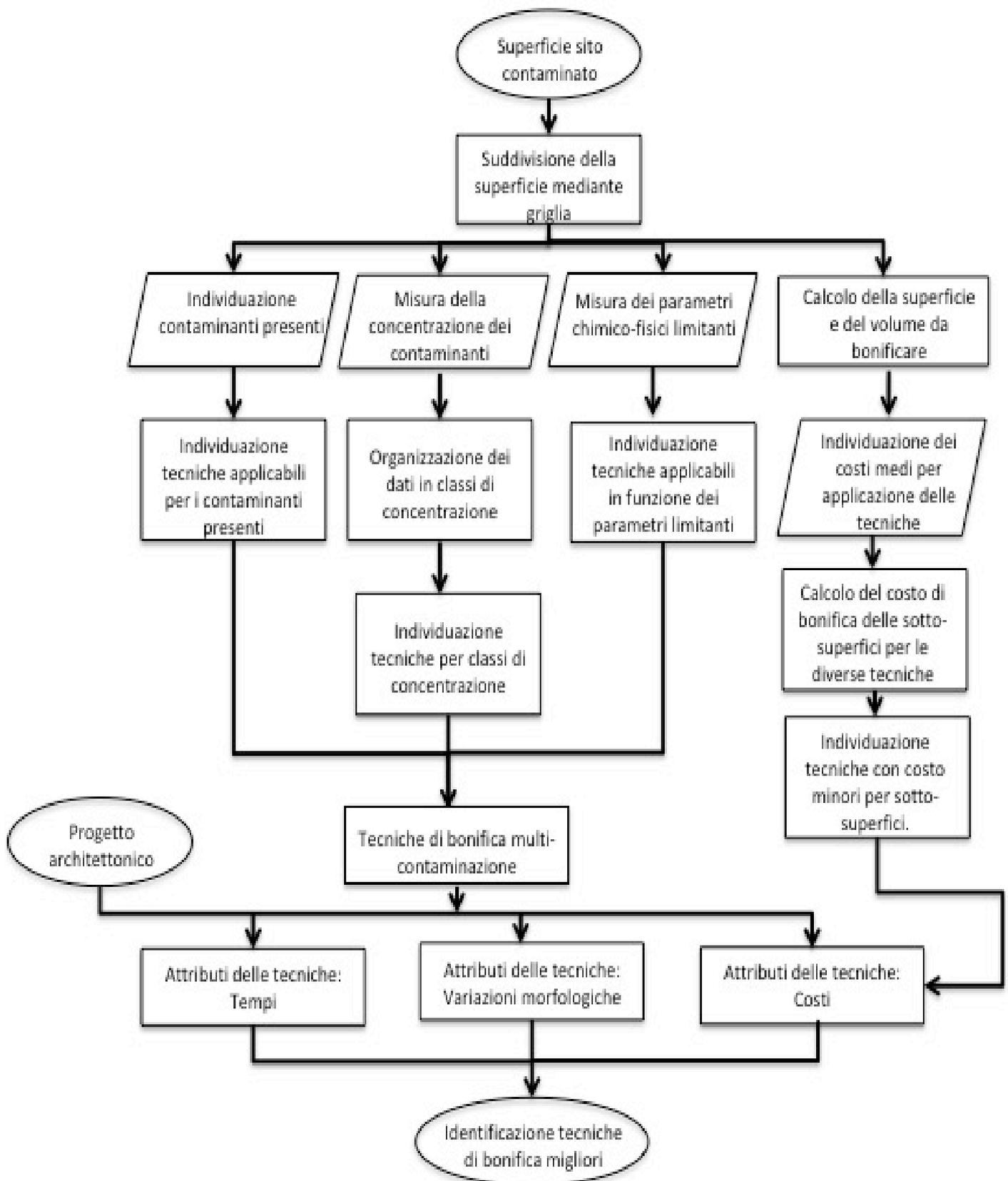


Figura 4.1 Fasi di calcolo decisionale elaborate all'interno del Toolkit parametrico

In Figura 4.2 si riporta la panoramica delle operazioni sviluppate dal Toolkit in Grasshopper. In allegato sono riportati per ogni fase di calcolo le parti di algoritmo interessati con i rispettivi input e output. Gli input sono colorati in verde.

4.1 Suddivisione della superficie mediante griglia

La scelta di suddividere la superficie del sito in sotto-aree permette di incrementare la scala di dettaglio del software considerando ogni maglia come una componente individuale. La suddivisione può essere eseguita mediante griglia a maglie regolari oppure secondo particolari mappature. La scelta sarà funzione del tipo di dati che le attività di campionamento rileveranno.

4.1.1 Suddivisione della superficie mediante griglia sul sito di Nitrastur

Il sito di Nitrastur presenta un'estensione di 20 ha e su di esso è stata realizzata una suddivisione mediante griglia a maglie regolari di dimensioni 100 m x 100 m per un totale di 20 sotto-superfici (Figura 4.3). Tale scelta riprende la suddivisione adottata dagli studi condotti sul sito¹⁶ e permette l'applicazione dei dati di concentrazione dei contaminanti ricavati grazie alle operazioni di campionamento.

All'interno del software Rhinoceros è stata riportata la superficie del sito suddivisa in sotto-aree con gli edifici in essa presenti (Figura 4.3). Ad ogni sotto-area è stato assegnato un codice identificativo numerico (S00-S19).



Figura 4.3 Vista planare superficie di Nitrastur suddivisa in sotto-aree in ambiente QGIS

¹⁶ Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites”- Eleonora Wcisło, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego.

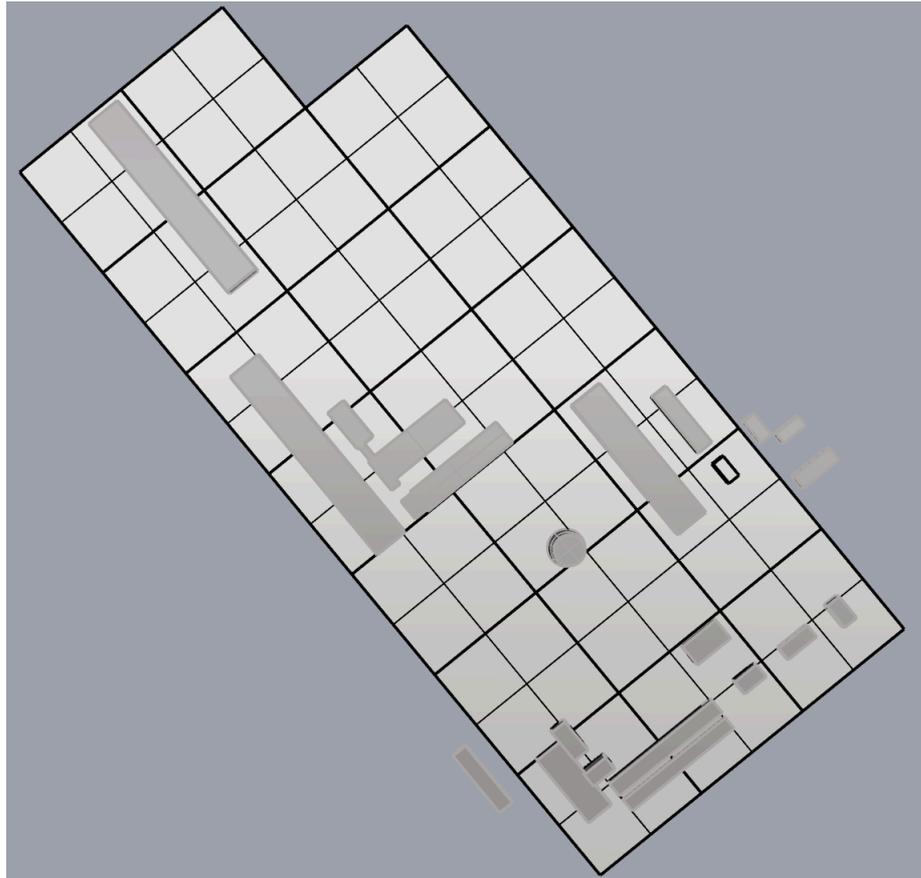


Figura 4.4 Vista planare superficie di Nitrastur suddivisa in sotto-aree in ambiente Rhinoceros

Su Grasshopper le sotto-aree sono state richiamate mediante la funzione *Surface*, che permette di creare un link tra le superfici modellate su Rhinoceros e i *panels* di dati con cui opera il *plugin* e sui quali il Toolkit realizzerà le diverse operazioni parametriche. I *panels* sono degli strumenti di Grasshopper che possono essere utilizzati per inserire dei dati e per visualizzare gli output durante l'iter decisionale.

4.2 Individuazione dei contaminanti presenti sul sito e della loro concentrazione

Realizzata la suddivisione della superficie del sito, si procede con l'individuazione dei contaminanti in essi presenti. Tale step può essere eseguito soltanto a valle di operazioni di campionamento in sito che permettano di rilevare il tipo di contaminazione e le concentrazioni degli inquinanti.

È possibile in tal senso considerare un elenco generalizzato dei possibili contaminanti presenti (Tabella 4.1) che possono essere suddivisi in due macrogruppi:

- *composti inorganici;*
- *composti organici.*

Tale semplificazione sarà successivamente adottata anche per l'individuazione delle tecniche applicabili per contaminante.

Tabella 4.1 Possibili contaminanti presenti sul sito inquinato

Composti inorganici	Composti organici
Arsenico	Idrocarburi Aromatici
Cadmio	Idrocarburi Policiclici Aromatici
Cromo	Idrocarburi Alifatici clorurati cancerogeni
Piombo	Idrocarburi Alifatici clorurati non cancerogeni
Mercurio	Idrocarburi Alifatici alogenati cancerogeni
Zinco	Nitrobenzeni
Altri metalli e composti inorganici	Clorobenzeni
	Fenoli non clorurati
	Fenoli clorurati
	Ammine aromatiche
	Fitofarmaci
	Diossine e furani

4.2.1 Individuazione dei contaminanti presenti sul sito di Nitrastur e della loro concentrazione

Sul sito di Nitrastur i dati relativi ai contaminanti presenti e alle loro concentrazioni sono stati ricavati dagli studi condotti da E. Wcisło et al.¹⁷

Gli inquinanti responsabili della contaminazione sono dei composti inorganici in percentuale variabile anche da maglia a maglia:

- Arsenico;
- Cadmio;
- Cromo;
- Rame;
- Mercurio;
- Nichel;
- Piombo;
- Zinco.

Per ognuno di essi è stato ricavato un valore di concentrazione espresso in mg/kg e riportato in Tabella 4.2.

¹⁷ Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites"- Eleonora Wcisło, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego.

Tabella 4.2 Concentrazioni degli elementi nel suolo del sito di Nitrastur (mg/kg). (Fonte: Supplementary Data- E. Wcislo et al. / Environment International 94 (2016) 436–448)

	Arsenico [mg/kg]	Cadmio [mg/kg]	Cromo totale [mg/kg]	Rame [mg/kg]	Mercurio [mg/kg]	Nichel [mg/kg]	Piombo [mg/kg]	Zinco [mg/kg]
S00	34,5	0,8	32,1	204,8	1,2	26,2	187,5	386,4
S01	64,6	2,7	29	500,8	1,8	15,9	331,7	949,2
S02	68,6	4,4	59,8	602,4	1,6	30	515,1	1108,5
S03	28,4	1	24,7	124,3	1,1	17,8	155,6	331,7
S04	20,6	0,9	57,3	83,1	13,6	34,1	2026,9	371,6
S05	24,9	1,6	62,2	73,3	5	46,4	314,1	459,8
S06	24,8	0,2	37,6	30,8	0,6	21,8	107,4	119,5
S07	24,9	0,5	38	64,9	2,5	24,1	182,3	183,1
S08	40,9	1,3	65,2	122,6	2,3	46,2	219,4	405
S09	220,6	4,3	182,6	1106,5	3,4	35,1	606,1	1093,7
S10	1997,2	7,8	60,3	1824,2	14,6	29,5	15008,2	3488,2
S11	45,5	2,3	52,8	319,1	4,2	30,9	837,5	782,6
S12	103,8	2,6	44,2	714,1	2,4	31	1384,6	1334,5
S13	26,3	0,4	61,7	49,7	1	36,4	175	219,4
S14	28	1,6	173,3	128,1	4,5	109,7	471,1	1336,1
S15	74,9	2,1	38,7	288,3	5,3	37	1819,7	800,8
S16	7268,3	3,4	364,9	716,2	79,5	60,5	4548	1168,1
S17	93	2,5	58,2	484,9	7,1	29,7	763,3	773,6
S18	115,6	1,5	43,8	334,4	11,8	25,1	605,3	686,2
S19	61,5	2,4	251,1	195,7	10	69,5	767,3	620,7

4.3 Organizzazione dei dati in classi di concentrazione

Uno dei discriminanti nella scelta della tecnica di bonifica da applicare nel *tool* è la classe di concentrazione di ciascun contaminante per ciascuna sotto-area.

A tale scopo si individuano quattro diverse classi che indentificano le seguenti condizioni:

- *a*: concentrazione al di sotto dei limiti tabellari;
- *b*: concentrazione medio-bassa;
- *c*: concentrazione medio-alta;
- *d*: concentrazione altissima.

Tali range sono variabili a seconda del tipo di contaminante considerato: il passaggio dalla classe *a* a quella *b* è definito dai valori di concentrazione soglia limite proposti dalle diverse normative in funzione dell'uso del suolo.

Il passaggio dalla classe *b* a quella *c* è stato assunto sulla base dei valori di concentrazione nociva alle piante e per la quale non si rende applicabile la Phytoremediation.¹⁸

La classe *d* sarà definita per ogni contaminante sulla base del valore di concentrazione per cui si ha passaggio alla fase libera o comunque valori di concentrazione molto elevate.

Per quanto riguarda i valori di concentrazione soglia di contaminazione CSC che delineano il range al di sotto del quale non si ha la necessità di bonificare (classe *a*) si è scelto di considerare per lo sviluppo del Toolkit quelli relativi allo scenario residenziale forniti dalla normativa italiana. Tale scelta deriva dal fatto che i limiti residenziali sono quelli più restrittivi rispetto a quelli relativi ad altre destinazioni d'uso del suolo e permettono pertanto di poter lavorare in condizioni maggiormente cautelative indipendentemente da quelle che saranno le destinazioni future.

4.3.1 Organizzazione dei dati in classi di concentrazione sul sito di Nitrastur

Il sito di Nitrastur, come osservato precedentemente, è interessato da una contaminazione imputabile alla polvere di pirite, legata prevalentemente alla presenza di Arsenico e Piombo, cui si aggiungono altri composti inorganici (Cadmio, Cromo, Rame, Mercurio, Nichel e Zinco).

Si riportano per tali contaminanti i limiti utilizzati per definire le diverse classi di concentrazione (Tabella 4.3).

Tabella 4.3 Limiti classi di concentrazione degli inquinanti presenti sul sito di Nitrastur

Inquinanti	CSC (mg/kg)	Soglia minima (mg/kg)	Soglia massima (mg/kg)
Arsenico	20	100	1000
Cadmio	2	5	15
Cromo	150	200	300
Rame	120	150	250
Mercurio	1	5	20
Nichel	120	150	250
Piombo	100	200	500
Zinco	150	250	500

Sulla base dei valori definiti in Tabella 4.3, si riporta in Tabella 4.4 la suddivisione in classi (*a, b, c, d*) per i diversi contaminanti e le diverse sotto-superfici.

¹⁸ www.ibaf.cnr.it/phytoremediation/fitorimedio.pdf

Tabella 4.4 Suddivisione delle sotto-superfici per classi di concentrazione

	Arsenico	Cadmio	Cromo totale	Rame	Mercurio	Nichel	Piombo	Zinco
S00	b	a	a	c	a	a	a	c
S01	b	a	a	d	a	a	c	d
S02	b	a	a	d	a	a	d	d
S03	b	a	a	a	a	a	a	c
S04	b	a	a	a	c	a	d	c
S05	b	a	a	a	b	a	c	c
S06	b	a	a	a	a	a	a	a
S07	b	a	a	a	a	a	a	a
S08	b	a	a	a	a	a	c	c
S09	c	a	a	d	a	a	d	d
S10	d	c	a	d	c	a	d	d
S11	b	a	a	d	a	a	d	d
S12	c	a	a	d	a	a	d	d
S13	b	a	a	a	a	a	a	a
S14	b	a	a	a	a	a	c	d
S15	b	a	a	d	c	a	d	d
S16	d	a	d	d	d	a	d	d
S17	b	a	a	d	c	a	d	d
S18	c	a	a	d	c	a	d	d
S19	b	a	c	c	c	a	d	d

4.4 Individuazione delle tecniche applicabili in funzione del tipo di contaminanti presenti e della matrice ambientale interessata

Oltre al tipo di matrice ambientale interessata e al grado di concentrazione presente, anche (e soprattutto) il tipo di contaminante presente in sito ha un'influenza significativa sulle diverse tecniche di bonifica che possono essere applicate.

Per le tecniche che possono essere applicate in funzione del tipo di contaminante, ci si può riferire alla matrice di screening (Figura 4.5) suggerita dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

I colori che sono riportati nella matrice definiscono l'efficienza della tecnica in funzione del tipo di contaminante e della matrice ambientale interessata. Il rosso indica "Efficienza non dimostrata", il giallo "Limitata efficienza" e il verde "Efficienza dimostrata".

	Composti Inorganici								Composti Organici												Tempi
	Arsenico	Cadmio	Cromo	Piombo	Mercurio	Zinco	Altri metalli e composti inorganici	Idrocarburi Aromatici	Idrocarburi Policiclici Aromatici	Idrocarburi Alifatici clorurati cancerogeni	Idrocarburi Alifatici clorurati non cancer.	Idrocarburi Alifatici alogenati cancer.	Nitrobenzeni	Clorobenzeni	Fenoli non clorurati	Fenoli clorurati	Ammine aromatiche	Fitofarmaci	Diossine e furani		
Suolo, sedimenti																					
- trattamento biologico in situ																					
- Bioventing	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Bioremediation	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Phytoremediation	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento chimico-fisico in situ																					
- Ossidazione chimica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Ossidazione elettrochimica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Separazione elettrocinetica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Soil Flushing	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Soil Vapour Extraction	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Solidificazione/Stabilizzazione	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento termico in situ																					
- Trattamento termico	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento biologico ex situ (con escavazione)																					
- Biopile	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Compostaggio	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Landfarming	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Bioreattori	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento chimico-fisico ex situ (con escavazione)																					
- Estrazione chimica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Ossidazione/riduzione chimica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Soil Washing	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Solidificazione/Stabilizzazione	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento termico ex situ (con escavazione)																					
- Incenerimento/Pirolisi	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Desorbimento termico	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- altro																					
- Copertura superficiale (Capping)	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Scavo e smaltimento in discarica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
Acque sotterranee, acque superficiali																					
- trattamento biologico in situ																					
- Bioremediation	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Attenuazione naturale monitorata	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Phytoremediation	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento chimico-fisico in situ																					
- Air Sparging	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Ossidazione chimica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Ossidazione elettrochimica	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- In-Well Air Stripping	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Dual/Multi Phase Extraction	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Barriere permeabili reattive	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento biologico ex situ																					
- Bioreattori	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Lagunaggi	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- trattamento chimico-fisico ex situ (con estrazione delle acque e conferimento in idoneo impianto)																					
- Processi di ossidazione avanzata	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Air Stripping	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Carboni attivi	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Pump and treat	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	
- Scambio ionico	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	

Figura 4.5 Matrice di screening delle tecnologie di bonifica (Fonte: ISPRA)

Ai fini dell'implementazione di tale matrice nel *tool* si è scelto di considerare come accettabili sia le tecniche con efficienza dimostrata sia quelle con limitata efficienza.

4.4.1 Individuazione delle tecniche applicabili in funzione del tipo di contaminanti presenti e della matrice ambientale interessata sul sito di Nitrastur

Gli studi di E. Wcisło et al. sull'area di Nitrastur indicano che le matrici ambientali contaminate sono sia il suolo che la falda. Tuttavia, a titolo esemplificativo della procedura qui sviluppata, in questo studio si farà riferimento solo allo strato di suolo al di sopra della falda, in cui la contaminazione si sviluppa per uno spessore medio di 2,5 m dal piano campagna.

La scelta di considerare solo il suolo è supportata anche da considerazioni di carattere più generale, relative al sito di Nitrastur, *"perché il futuro utilizzo delle acque sotterranee per l'approvvigionamento idrico non è stato pianificato in base agli scenari di utilizzo del suolo sviluppati"*.¹⁹

Sulla base di quanto riportato dalla Figura 4.5, è stato possibile ricavare le tecniche applicabili per ciascun inquinante (Tabella 4.5).

Per effettuare le diverse operazioni di screening sono utilizzate all'interno di Grasshopper delle specifiche funzioni che permettano, mediante linguaggio Python di programmare un dato step di screening. Gli script Python sviluppati, basati prevalentemente su cicli *for* e comandi *if*, ammettono come input le liste di dati impostate all'interno di Grasshopper.

Il primo step di scelta permette di individuare quelle tecniche che possono essere impiegate nel caso di una multicontaminazione dovuta alla copresenza di più inquinanti nella stessa matrice ambientale.

Tenendo conto che le tecniche di bonifica si applicano in presenza di contaminazione, tradotta come superamento delle concentrazioni soglia di contaminanti CSC, è possibile che per una data sotto-area non si debbano considerare tutti i contaminanti, ma solo quelli che presentano una classe di concentrazione del tipo *b*, *c* o *d*.

Il dato di output di questa fase sarà pertanto un elenco in cui per ogni sotto-area saranno definite una o più tecniche di bonifica.

¹⁹ "Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites"- Eleonora Wcisło, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego.

Tabella 4.5 Tecniche applicabili sul sito di Nitrastur in funzione del tipo di contaminante

Arsenico	Cadmio	Cromo	Nichel	Mercurio	Rame	Piombo	Zinco
Phytoremediation	Phytoremediation	Separazione elettrocinetica	Phytoremediation	Phytoremediation	Separazione elettrocinetica	Separazione elettrocinetica	Separazione elettrocinetica
Soil Flushing	Separazione elettrocinetica	Soil Flushing	Separazione elettrocinetica	Soil Flushing	Soil Flushing	Soil Flushing	Soil Flushing
Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Soil Flushing	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Soil Flushing	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ
Soil Washing	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Riduzione Chimica	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Soil Washing	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Soil Washing	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ
Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Soil Washing	Soil Washing	Soil Washing	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Scavo e smaltimento in discarica	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Scavo e smaltimento in discarica
Scavo e smaltimento in discarica	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Scavo e smaltimento in discarica	Capping	Scavo e smaltimento in discarica	Capping
Capping	Scavo e smaltimento in discarica	Scavo e smaltimento in discarica	Scavo e smaltimento in discarica	Desorbimento termico	Capping	Capping	
	Capping	Capping	Capping	Capping			

4.5 Individuazione delle tecniche applicabili in funzione delle classi di concentrazione

Partendo dal dato di output ottenuto mediante la procedura descritta al 4.4, si procede realizzando una seconda fase di selezione in cui il discriminante è rappresentato dalle diverse classi di concentrazione; ciò permetterà di ottenere una lista di tecniche applicabili in ciascuna sotto-area in funzione del grado di contaminazione presente sul sito.

Se la concentrazione di uno o più contaminanti rientra in classe *a*, ciò comporta che, per quei dati inquinanti, la soluzione da adottare è quella della non bonifica, secondo quanto definito dalle Normative.

4.5.1 Individuazione delle tecniche applicabili in funzione delle classi di concentrazione sul sito di Nitrastur

Per individuare le tecniche applicabili in funzione delle classi di concentrazione sul sito di Nitrastur, è stata fatta un'analisi qualitativa dei campi di applicabilità delle diverse procedure di intervento poiché non è possibile definire delle soglie ben definite ma soltanto dei range indicativi di concentrazione per i quali una o più tecniche presentano una buona efficienza.

Le tecniche individuate per ciascuna classe sono riportate in Tabella 4.6.

Tabella 4.6 Tecniche di bonifica applicabili per classi di concentrazione

Tecniche di bonifica: concentrazione medio-bassa	Tecniche di bonifica: concentrazione medio-alta	Tecniche di bonifica: concentrazione altissima
Phytoremediation	Separazione elettrocinetica	Separazione elettrocinetica
Separazione elettrocinetica	Soil Flushing	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ
Soil Flushing	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Riduzione Chimica
Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Soil Washing	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ
Soil Washing	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Scavo e smaltimento in discarica
Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	Scavo e smaltimento in discarica	Desorbimento termico
Riduzione Chimica	Riduzione Chimica	Capping
Capping	Desorbimento termico	
	Capping	

4.6 Individuazione dei parametri fisici limitanti

Ulteriori discriminanti nel processo decisionale possono essere i parametri fisici che caratterizzano il sito e che hanno un'importante influenza circa l'applicabilità e l'efficienza delle tecniche di bonifica.

Molteplici sono i parametri che possono essere considerati quali:

- pH;
- Capacità di scambio ionico;
- Potenziale redox (Eh);
- Conducibilità idraulica;
- Tipo di terreno.

4.6.1 Individuazione dei parametri fisici limitanti sul sito di Nitrastur

Analizzando la lista delle tecniche applicabili sul sito di Nitrastur e le rispettive condizioni di applicabilità, si è deciso di considerare come parametro fisico limitante la conducibilità idraulica avendo essa una grossa influenza sulla possibilità di successo della tecnica di Soil Flushing.

L'efficacia del Soil Flushing aumenta con la conducibilità e pertanto, in siti in cui tale parametro è basso, potrebbero non essere raggiunti i risultati attesi.

Alla luce di ciò si è definito un valore di conducibilità al di sotto del quale la tecnica non è applicata, pari a $K = 1 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$.²⁰

Il sito di Nitrastur è caratterizzato da valori di conducibilità idraulica pari a $K = 2,57 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$; ciò rende l'area non adatta all'applicazione della tecnica del Soil Flushing e per tale motivo mediante opportuna operazione di filtraggio si procede con l'esclusione di quest'ultima dall'elenco delle soluzioni da adottare in condizioni di multicontaminazione.

4.7 Individuazione delle tecniche compatibili con il progetto architettonico

Conclusi gli step descritti, come dato di output si ricava una lista delle tecniche che potranno essere applicate in presenza di una multicontaminazione.

Parallelamente a tale risultato legato a nozioni di ingegneria ambientale, il progettista architetto può fornire diverse soluzioni progettuali da applicare al sito in oggetto, che permetteranno di introdurre ulteriori elementi discriminanti nel processo decisionale.

Al fine di "incontrare" le richieste del progettista non tutte le soluzioni potranno essere applicate e per tale motivo che lo step successivo sarà quello di ricavare una lista di tecniche che rispondano alle esigenze del progetto architettonico, compatibilmente con i risultati ricavati precedentemente.

Al fine di semplificare il processo decisionale, si è scelto di strutturare il progetto architettonico mediante quattro diverse voci:

- Parcheggi interrati/edifici/scavi (P);

²⁰ "Corso di tecniche di bonifica dei siti contaminati" –Zanetti M. e Aglietto I.

- Superfici impermeabili (I);
- Aree con pre-esistenze (E)
- Altro (A);

La voce *parcheggi interrati/edifici/scavi* fa riferimento a tutti quegli interventi per i quali è richiesta l'escavazione di un dato volume di materiale e per la quale risulterebbero compatibili le tecniche di bonifica ex situ, ovvero le soluzioni che richiedono un trattamento non in loco.

Tale scelta permetterebbe di ammortizzare i costi di scavo per la realizzazione ad esempio di opere interrate o di fondazioni per l'edificazione di edifici, riducendo la spesa totale.

Con il termine *superfici impermeabili* ci si riferisce al caso in cui si vuole semplicemente isolare la contaminazione mediante la realizzazione di coperture che impediscano il contatto con la matrice contaminata. Per tale soluzione si prevede come "tecnica applicabile" quella di "non bonifico". Tale scelta tuttavia non definisce una situazione tale per cui non vi è necessità di bonificare ma si sceglie di operare in questo modo poiché nell'ottica di un progetto che include sia le soluzioni progettuali che le attività di bonifica, tale opzione permette di ottimizzare il rapporto sinergico delle diverse realtà (ingegneria ed architettura). Infatti in un'applicazione pratica tale situazione potrebbe risolversi ad esempio con la realizzazione di uno strato asfaltato o di un rivestimento impermeabili, che non rende necessario l'esecuzione delle tecniche di bonifica.

La soluzione *altro*, corrisponde a tutte le proposte progettuali che si differenziano da quelle precedentemente elencate. Tra le possibili condizioni vi possono essere quelle che richiedono un'interazione con il terreno contaminato come la realizzazione di un parco o di coperture permeabili.

La voce *aree con preesistenze*, è adottata nel caso in cui gran parte della superficie disponibile è interessata da edifici preesistenti. Tale soluzione può essere intesa come un caso particolare della voce *altro* perché per essa sono applicabili le stesse tecniche di bonifica ad eccezione del Capping. Tale scelta è giustificata perché l'applicazione del Capping in presenza di un numero consistente di edifici potrebbe comportare ulteriori costi di progetto di adattamento delle strutture per far fronte dell'innalzamento del piano campagna.

Ogni progetto architettonico conterrà per ciascuna delle sotto-aree una sola delle voci sopra descritte, in modo tale che ad esso possa corrispondere una lista di tecniche applicabili sul sito. Il progettista potrà utilizzare i risultati ottenuti dal Toolkit per ottimizzare il progetto di base o per sviluppare nuove alternative.

4.7.1 Individuazione delle tecniche compatibili con il progetto architettonico sul sito di Nitrastur

Al fine di testare le potenzialità del modello, si è scelto di considerare due diversi progetti architettonici sul sito di Nitrastur (Figura 4.6 e Figura 4.7).

Rispettando quanto affermato al 4.7, per ogni sotto-area si è definita una sola voce progettuale che è riportata in Tabella 4.7.

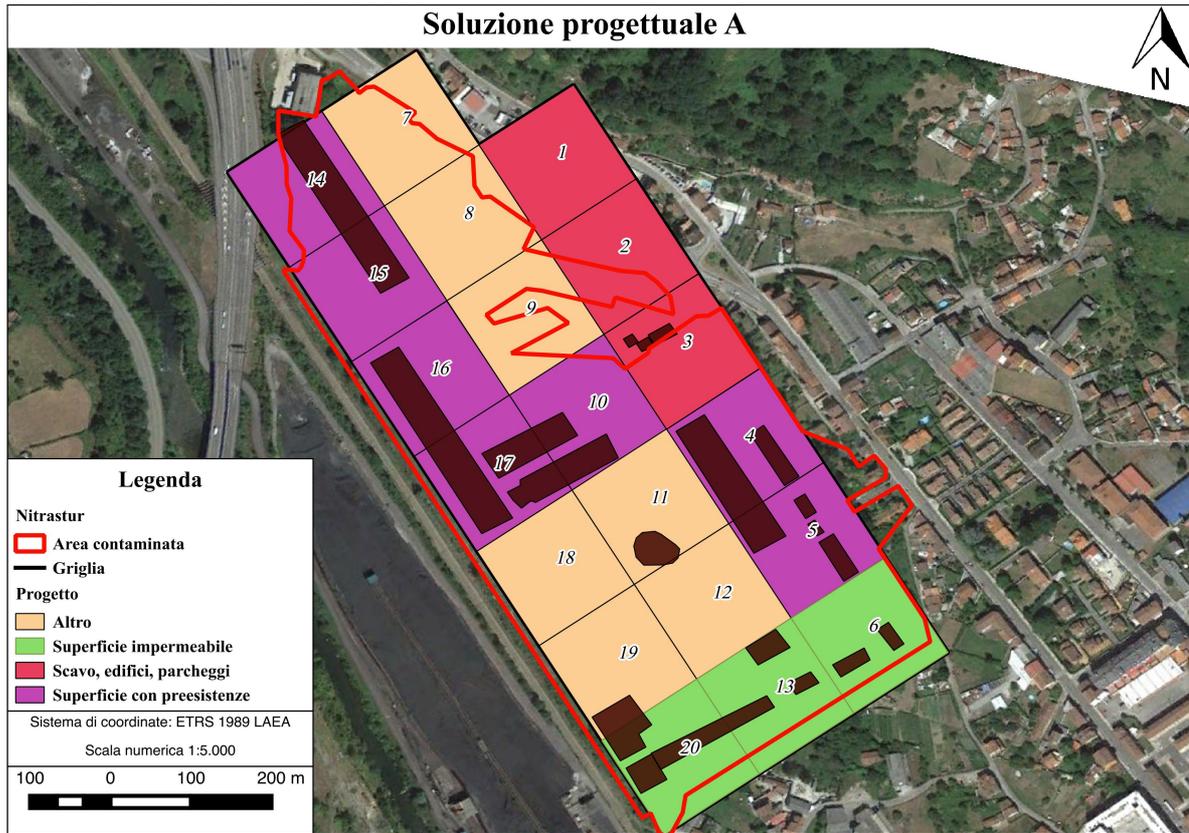


Figura 4.6 Soluzione progettuale A

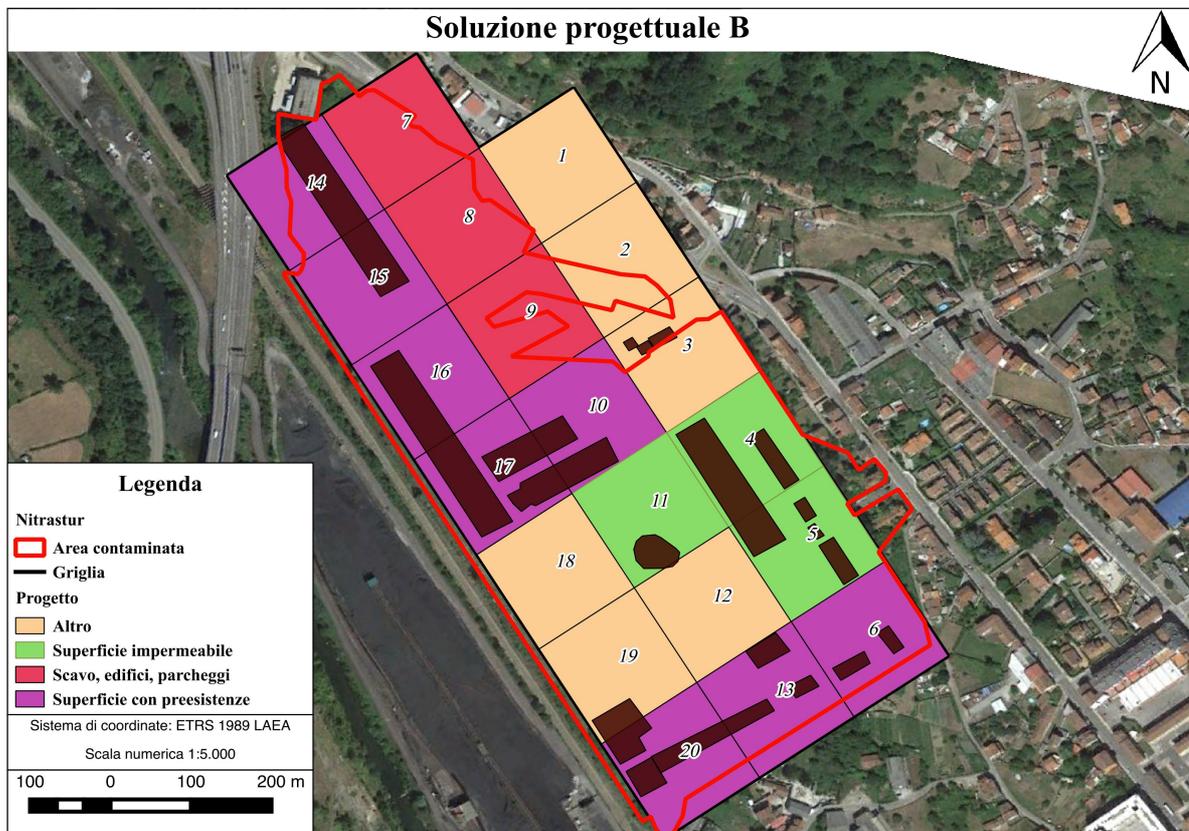


Figura 4.7 Soluzione progettuale B

Tabella 4.7 Schematizzazione dei progetti architettonici da attuare sul sito di Nitrastur

Superficie	Progetto A	Progetto B
S00	P	A
S01	P	A
S02	P	A
S03	E	I
S04	E	I
S05	I	A
S06	A	P
S07	A	P
S08	A	P
S09	E	E
S10	A	I
S11	A	A
S12	I	A
S13	E	E
S14	E	E
S15	E	E
S16	E	E
S17	A	A
S18	A	A
S19	I	A

Per ciascuna voce è fornita una lista di tecniche applicabili riportata in Tabella 4.8. La definizione dei due progetti architettonici ha tenuto conto della presenza degli edifici sull'ex area industriale soggetti a vincolo architettonico²¹ e per i quali non è possibile procedere con la demolizione.

Tabella 4.8 Tecniche applicabili sul sito di Nitrastur in funzione delle quattro diverse voci progettuali

Parcheggi interrati, edifici, scavi (P)	Superfici impermeabili (I)	Altro (A)	Superfici con preesistenze (E)
Soil Washing	Non bonifico	Phytoremediation	Phytoremediation
Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ		Separazione elettrocinetica	Separazione elettrocinetica
Scavo e smaltimento in discarica		Soil Flushing	Soil Flushing
		Soil Washing	Soil Washing

²¹ Recuperación ambiental, de baldíos industriales: el caso de la Sociedad Ibérica del Nitrógeno en Langreo di Madrid Yáñez Aller

Parcheggi interrati, edifici, scavi (P)	Superfici impermeabili (I)	Altro (A)	Superfici con preesistenze (E)
		Desorbimento termico	Desorbimento termico
		Separazione elettrocinetica	Separazione elettrocinetica
		Soil Flushing	Soil Flushing
		Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ
		Desorbimento termico	Desorbimento termico
		Capping	

4.8 Tempi, costi e variazioni morfologiche del terreno

Definite le tecniche compatibili con le esigenze del progettista e dell'ingegnere ambientale, per poter completare il processo decisionale è necessario tenere conto di quelli che sono gli attributi di ciascuna soluzione (tempo, costo e variazione morfologica del terreno) in modo tale da valutare la compatibilità con le richieste del progetto (importo disponibile, aree con alta priorità di utilizzo e morfologie richieste).

Queste tre voci come precedentemente sottolineato, sono degli attributi di ciascuna tecnica, ovvero variano al variare delle diverse soluzioni di bonifica.

4.8.1 Tempi di realizzazione delle tecniche di bonifica

Ciascuna tecnica di bonifica richiede diversi intervalli di tempo affinché le concentrazioni dei contaminanti rientrino al di sotto delle CSC che definiscono un sito non contaminato.

Al fine di implementare la variabile tempo all'interno del Toolkit, si è scelto di adottare i tre range temporali proposti dall'ISPRA (Figura 4.5). Ogni range tiene conto della tipologia di tecnica e della matrice ambientale interessata (suolo in situ, suolo ex-situ e acque). I colori corrispondono ai range (Tabella 4.9) come segue:

- verde: breve termine;
- giallo: medio termine;
- rosso: lungo termine.

Tabella 4.9 Intervalli temporali definiti nella matrice di screening (Fonte: ISPRA)

Tipo di tecnica e matrice interessata	Breve termine	Medio termine	Lungo termine
Suolo in situ	Meno di 1 anno	Da 1 a 3 anni	Oltre 3 anni
Suolo ex situ	Meno di 0,5 anni	Da 0,5 a 1 anno	Oltre 1 anno
Acque	Meno di 3 anni	Da 3 a 10 anni	Oltre 10 anni

I tempi associati alla voce "Suolo ex situ" in Tabella 4.9 si riferiscono solo ai casi in cui in seguito alle operazioni di scavo e trattamento si vuole riportare il materiale nuovamente in

sito; se invece ci si riferisce a delle operazioni di scavo e smaltimento in un altro loco allora in tal caso si considera solo il tempo di scavo che si sviluppa nel breve termine.

4.8.1.1 *Tempi di realizzazione delle tecniche di bonifica sul sito di Nitrastur*

Sulla base di quanto affermato e delle tecniche applicabili sul sito, sono state individuate tre classi temporali e per ognuna di esse sono state definite delle tecniche (Tabella 4.10). È possibile notare come nessuna delle tecniche applicabili rientri in classe “medio termine”.

Tabella 4.10 Tecniche applicabili in funzione dei tempi richiesti

Breve termine	Medio termine	Lungo termine
Solidificazione/Stabilizzazione in situ		Phytoremediation
Riduzione chimica		Separazione elettrocinetica
Soil Washing		Soil Flushing
Solidificazione/Stabilizzazione ex situ		Capping
Scavo e smaltimento in discarica		
Desorbimento termico		
Non bonifico		

All'interno del Toolkit, si è indicato il breve termine con la voce “0” mentre il medio e il lungo rispettivamente con “1” e “2”. Si riportano in Tabella 4.11 le richieste temporali compatibili con le richieste del progettista per ciascuna sotto-superficie.

Tabella 4.11 Richieste temporali applicazione interventi di bonifica per sotto-superfici

Superficie	Progetto A	Progetto B
S00	0	2
S01	0	2
S02	0	2
S03	0	0
S04	0	0
S05	0	0
S06	2	0
S07	2	0
S08	2	0
S09	0	0
S10	2	0
S11	2	2
S12	0	2
S13	0	0
S14	0	0

Superficie	Progetto A	Progetto B
S15	0	0
S16	0	0
S17	0	2
S18	2	2
S19	0	2

4.8.2 Costi delle tecniche di bonifica

Per implementare il parametro relativo ai costi è necessario conoscere sia il costo di applicazione di ciascuna tecnica nonché il volume o la superficie che deve essere trattata. Ricavare il costo di ciascuna tecnica non è qualcosa di immediato poiché bisogna tenere in considerazione molteplici parametri legati al tipo di matrice e al tipo di contaminante da trattare.

Sono stati consultati a tal proposito diversi testi della letteratura tecnica²² per poter individuare dei valori indicativi del costo, per tutti i tipi di contaminanti e per tutte le matrici considerate. Per determinare il volume o la superficie da bonificare si è scelto di considerare solo la porzione di sito non interessata dagli edifici esistenti. Dopo aver riportato la planimetria del sito in ambiente GIS, si misurano le superfici degli edifici presenti e si ricava la superficie da bonificare mediante sottrazione dell'area di ciascuna griglia con quella misurata nel caso di edifici che non saranno demoliti.

Ottenuta la superficie da bonificare, si valuta lo spessore di matrice ambientale interessata da contaminazione che potrà essere intesa in termini di valore medio, oppure si potrà assumere un valore differente per ciascuna sotto superficie.

Poiché è possibile che per ogni progetto e per ogni sotto-superficie siano applicabili più tecniche, si darà priorità alla tecnica che a parità di tutte le altre condizioni precedentemente definite sarà caratterizzata da costo minore. In tal senso come output si otterrà per ogni progetto una lista contenente il costo di intervento per ciascuna sotto-superficie e un valore di costo totale.

4.8.2.1 Costi delle tecniche di bonifica sul sito di Nitrastur

A partire dai testi di letteratura citati, è stato possibile ricavare i costi espressi in €/m³ o in €/m² per ogni tecnica applicabile (Tabella 4.12). È molto importante specificare che tali valori rappresentano dei costi medi, poiché nella realtà pratica l'importo necessario alla realizzazione di un dato intervento dipende da molti fattori che in questo caso non sono stati considerati, quali il tipo di granulometria da trattare, i materiali impiegati da ogni tecnica, etc.

Si rimandano tali implementazioni a una fase successiva di sviluppo del Tool.

²² “Prezzario delle bonifiche” di G.P. Beretta, Aldo Bertelle. - “Prezzario Regione Piemonte” 2014. – “La valutazione dei costi unitari di bonifica nei suoli” di Ing. Simona De Arcangelis.

Tabella 4.12 Costi per tecniche di bonifica

Tecnica	Costo
Phytoremediation	10 €/m ²
Separazione elettrocinetica	250 €/m ³
Soil Flushing	300 €/m ³
Solidificazione/Stabilizzazione in situ	100 €/m ³
Riduzione Chimica	340 €/m ³
Soil Washing	220 €/m ³
Solidificazione/Stabilizzazione ex situ	200 €/m ³
Scavo e smaltimento in discarica	400 €/m ³
Desorbimento termico	1000 €/m ³
Capping	20 €/m ²

Per ogni maglia è stata misurata su QGIS l'area degli edifici presenti; considerando che ogni superficie ha un'estensione areale di 1 ha, sono stati ricavati i valori di superficie effettiva da trattare, mentre per ottenere il volume, si è considerato un valore medio di spessore di terreno contaminato pari a 2,5 m (Tabella 4.13). In questo caso si è ipotizzato che l'area sotto gli edifici non fosse interessata dalla contaminazione. Si assume di non demolire le costruzioni preesistenti, essendo queste sottoposte a vincolo artitettonico.

L'implementazione della possibilità di scelta circa la demolizione degli edifici si rimanda a una fase successiva di sviluppo del *Tool*.

Tabella 4.13 Superfici e volumi da bonificare per ogni sotto-superficie

Superficie	Superficie da bonificare [m²]	Volume da bonificare [m³]
S00	29922.00	161134.90
S01	6473.00	34858.17
S02	6693.00	36042.91
S03	6392.00	34421.97
S04	8024.50	43211.40
S05	9387.00	50550.54
S06	6940.00	37373.04
S07	9877.00	53189.27
S08	10000.00	53851.65
S09	8040.00	43296.72
S10	9294.00	50049.72
S11	10000.00	53851.65
S12	8564.00	46118.55
S13	5917.00	31864.02
S14	8299.00	44691.48

Superficie	Superficie da bonificare [m ²]	Volume da bonificare [m ³]
S15	7480.00	40281.03
S16	4480.00	24125.54
S17	10000.00	53851.65
S18	9191.50	49495.78
S19	7435.00	40038.70

Facendo riferimento ai due progetti proposti e ai costi delle tecniche, sono stati ricavati gli importi per la realizzazione delle due soluzioni progettuali sia totali sia per singole sotto-superfici, considerando la tecnica con costo minore (Tabella 4.14).

Tabella 4.14 Costo di realizzazione tecniche di bonifica per ogni sotto-superficie e costo totale per le due soluzioni progettuali considerate

Superficie	Progetto A	Costo per sotto-superficie €	Progetto B	Costo per sotto- superficie €
S00	P	1.496.000,00	A	59.840,00
S01	P	3.236.500,00	A	129.460,00
S02	P	3.346.500,00	A	133.860,00
S03	E	1.598.000,00	I	0,00
S04	E	2.006.000,00	I	0,00
S05	I	0,00	A	2.346.750,00
S06	A	138.800,00	P	3.470.000,00
S07	A	197.540,00	P	4.938.500,00
S08	A	200.000,00	P	10.000.000,00
S09	E	2.010.000,00	E	2.010.000,00
S10	A	185.880,00	I	0,00
S11	A	200.000,00	A	200.000,00
S12	I	0,00	E	2.141.000,00
S13	E	1.479.250,00	E	1.479.250,00
S14	E	2.074.750,00	E	2.074.750,00
S15	E	1.870.000,00	E	1.870.000,00
S16	E	1.120.000,00	E	1.120.000,00
S17	A	2.500.000,00	A	200.000,00
S18	A	183.820,00	A	183.820,00
S19	I	0,00	E	1.858.750,00
	Costo totale	23.843.040,00 €	Costo totale	34.215.980,00 €

4.8.3 Variazioni morfologiche del terreno

L'ultimo step del processo decisionale sviluppato è quello in cui si tiene conto delle variazioni morfologiche che le tecniche selezionate comportano al sito, le quali si traducono in abbassamento, innalzamento del piano campagna etc.

4.8.3.1 Variazioni morfologiche del terreno sul sito di Nitrastur

Sulla base dell'elenco di tecniche che in seguito a tutte le operazioni di filtraggio sono state ottenute si avranno ad esse associate delle variazioni della morfologia.

Si è scelto di considerare dei valori di abbassamento e innalzamento medi per ogni tecnica (Tabella 4.15).

Tabella 4.15 Variazioni morfologiche del piano campagna per le diverse tecniche di bonifica

Tecnica	Variazione morfologica
Non bonifico	0 m
Phytoremediation	0 m
Separazione elettrocinetica	0 m
Soil Flushing	0 m
Solidificazione/Stabilizzazione in situ	0 m
Riduzione Chimica	0 m
Soil Washing	-2,5 m
Solidificazione/Stabilizzazione ex situ	-2,5 m
Scavo e smaltimento in discarica	-2,5 m
Desorbimento termico	0 m
Capping	+1 m

4.9 Identificazione della tecniche di bonifica migliore

A conclusione del processo selettivo da parte del Toolkit, è possibile ricavare una lista di tecniche di bonifica che meglio rispondono alle richieste del progettista e dell'ingegnere ambientale e che tra le opzioni presentano un costo minore.

4.9.1 Identificazione della tecnica di bonifica migliore sul sito di Nitrastur

Sulla base di quanto definito al 4.9, il Toolkit applicato sul sito di Nitrastur fornisce come output finale una lista in cui per ogni sotto-superficie è indicata la tecnica di bonifica che rispecchia tutte le richieste introdotte nei step precedenti. Avendo considerato sul sito due diverse soluzioni progettuali, si ottengono in definitiva due liste (Tabella 4.16 e Tabella 4.17) che riportano per ogni sotto-area la tecnica risultante e gli attributi ad essa connessi (costi, tempi e variazioni morfologiche).

Tabella 4.16 Risultato del processo decisionale fornito dal Toolkit in seguito all'applicazione della proposta progettuale A sul sito di Nitrastur

PROGETTO A					
Superficie	Soluzioni progettuali	Tempo realizzazione	Tecnica con costo minore	Costo per sotto-superficie [€]	Variazioni Morfologiche [m]
S00	P	0	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	1.496.000,00	-2.5
S01	P	0	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	3.236.500,00	-2.5
S02	P	0	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	3.346.500,00	-2.5
S03	E	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.598.000,00	0
S04	E	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.006.000,00	0
S05	I	0	Non bonifico	0,00	0
S06	A	0	Capping	138.800,00	1
S07	A	0	Capping	197.540,00	1
S08	A	2	Capping	200.000,00	1
S09	E	2	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.010.000,00	0
S10	A	2	Capping	185.880,00	1
S11	A	0	Capping	200.000,00	1
S12	I	2	Non bonifico	0,00	0
S13	E	2	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.479.250,00	0
S14	E	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.074.750,00	0
S15	E	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.870.000,00	0
S16	E	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.120.000,00	0
S17	A	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.500.000,00	0
S18	A	0	Capping	183.820,00	1
S19	I	0	Non bonifico	0,00	0
Costo totale: 23.843.040,00 €					

Tabella 4.17 Risultato del processo decisionale fornito dal Toolkit in seguito all'applicazione della proposta progettuale A sul sito di Nitrastur

PROGETTO B					
Superficie	Soluzioni progettuali	Tempo realizzazione	Tecnica con costo minore	Costo per sotto-superficie [€]	Variazioni Morfologiche [m]
S00	A	2	Capping	59.840,00	1
S01	A	2	Capping	129.460,00	1
S02	A	2	Capping	133.860,00	1
S03	I	0	Non bonifico	0,00	0
S04	I	0	Non bonifico	0,00	0
S05	P	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.346.750,00	0
S06	P	0	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	3.470.000,00	-2.5
S07	P	0	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	4.938.500,00	-2.5
S08	A	0	Solidificazione/ Stabilizzazione ex situ	10.000.000,00	-2.5
S09	I	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.010.000,00	0
S10	A	0	Non bonifico	0,00	0
S11	A	0	Capping	200.000,00	1
S12	A	2	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.141.000,00	0
S13	A	2	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.479.250,00	0
S14	A	2	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	2.074.750,00	0
S15	A	2	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.870.000,00	0
S16	A	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.120.000,00	0
S17	A	0	Capping	200.000,00	1
S18	A	0	Capping	183.820,00	1
S19	A	0	Solidificazione/ Stabilizzazione in situ	1.858.750,00	0
Costo totale: 34.215.980,00 €					

Si riportano in Figura 4.8 e Figura 4.9 le rappresentazioni grafiche dei risultati forniti da Rhinoceros per le due soluzioni progettuali. Le figure contengono sia una visione assonometrica della superficie di Nitrastur orientata a SO sia una vista in pianta. I colori presenti in leggenda permettono di individuare le aree a diverse quote perché nelle figure le variazioni sono poco percettibili in quanto si è rispettata la proporzione di 1:1.

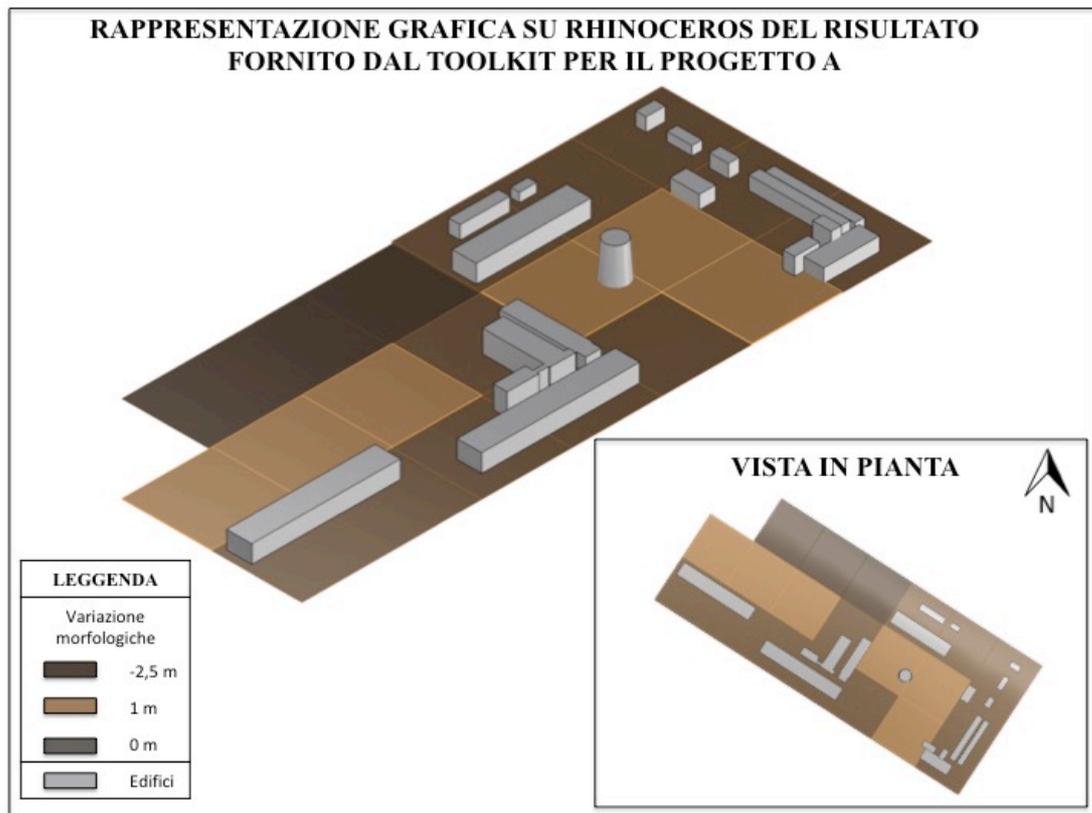


Figura 4.8 Rappresentazione grafica del risultato fornito dal Toolkit su Rhinoceros per il progetto A

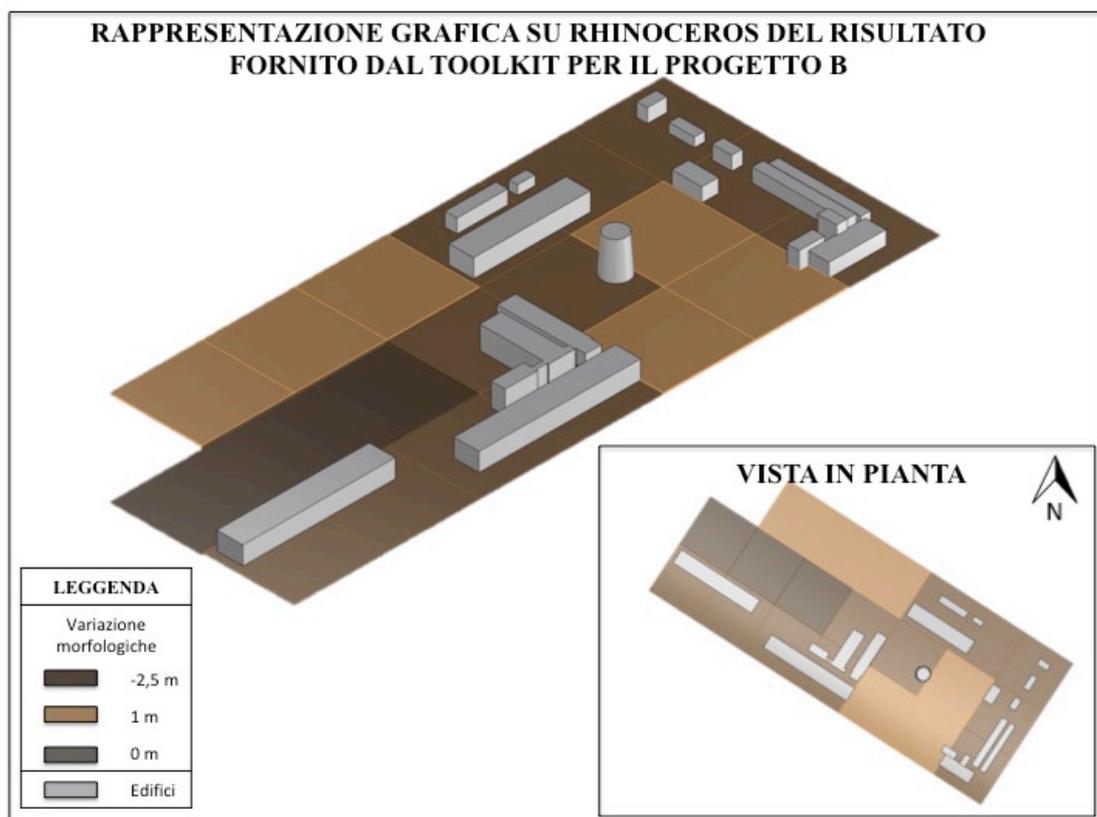


Figura 4.9 Rappresentazione grafica del risultato fornito dal Toolkit su Rhinoceros per il progetto B

4.10 Sviluppi futuri del Toolkit

Il Toolkit ha un carattere sperimentale ed è stato maturato all'interno di un progetto interdisciplinare. In questa fase di sperimentazione è stato necessario fare diverse assunzioni di base circa i parametri da considerare. Appare chiara pertanto la necessità di sottoporre lo strumento a dei successivi perfezionamenti al fine di poter implementare molte più variabili e arricchire la scala di dettaglio delle soluzioni fornite.

Di seguito sarà riportato e commentato un elenco di possibili implementazioni che potranno essere adottate all'interno del Tool.

- **Utilizzo di un sistema di database**

Uno dei principali limiti di Grasshopper è il non disporre di un sistema di database all'interno del quale inserire i risultati ottenuti oppure i parametri di input. Allo stato attuale nel modello i parametri di input sono forniti manualmente dopo aver consultato la letteratura tecnica in materia di siti contaminati. La possibilità di disporre di un database potrebbe facilitare notevolmente l'utilizzo del Tool poiché si potrebbe far riferimento ai dati già presenti in memoria.

Tale implementazione tuttavia implicherà il ricorso ad un software di programmazione differente, che possa coniugare il calcolo parametrico con la visualizzazione grafica; tra le soluzioni adottabili vi potrebbe essere ad esempio quella di “*trasferire*” il modello su GIS.

- **Influenza delle aree contigue**

Il modello attuale, per come è stato progettato, associa i diversi step decisionali ad ogni singola sotto-superficie, in modo tale che ognuna di essa costituisca un elemento indipendente. Questo potrebbe comportare che il modello restituisca come risultato una serie di tecniche che non abbiano una continuità spaziale sul sito ma che piuttosto siano distribuite in maniera disomogenea rendendo l'applicazione pratica piuttosto complessa.

Ad oggi tale inconveniente è stato in parte affrontato in fase di definizione delle soluzioni progettuali, le quali sono state impostate in modo tale che i risultati forniti dallo strumento non siano vincolati a richieste di trasformazione difficilmente controllabili.

In uno sviluppo futuro tuttavia sarebbe utile implementare una funzione che, tenendo in considerazione le soluzioni selezionate per le superfici contigue, fornisca come risultato delle tecniche che siano distribuite sul sito entro aree il più possibile coerenti.

- **Economia di scala**

Nell'ottica di un processo di ottimizzazione dello strumento si potrebbe pensare di migliorare la parte relativa all'analisi economica.

Attualmente il modello opera la scelta delle tecniche basandosi su costi unitari costanti ma in uno sviluppo futuro si potrebbe pensare di improntare la selezione nell'ottica dell'economia di scala oppure sulla base di considerazioni economiche che tengano conto delle caratteristiche del sito, delle diverse applicazioni delle diverse tecniche e anche dell'integrazione dei costi per la realizzazione del progetto architettonico. La possibilità di valutare l'estensione dell'applicazione di una data tecnica a delle aree limitrofe permetterebbe ad esempio di ridurre i costi necessari all'allestimento del cantiere per la realizzazione dell'intervento.

- **Preesistenze**

Come già accennato le preesistenze costituiscono un'ulteriore voce che potrebbe essere implementata nel Tool. In questa fase di progettazione tale voce non è stata inserita poiché si è assunto di considerare soltanto la porzione di sito non interessata da edifici, nell'ipotesi che la contaminazione non interessi l'area al di sotto, di essi e in tale caso si è scelto in fase di definizione del progetto di ricorrere alle tecniche applicabili per la voce *superficie con preesistenze*. Inoltre, sulla base di quanto ricavato dalla lettura degli studi condotti, è emerso che gli edifici presenti sull'area di Nitrastur hanno vincolo architettonico e pertanto in questo caso la demolizione sarebbe stata molto complessa dal punto di vista pratico e burocratico.

Tuttavia in generale la presenza o meno di edifici su un sito da bonificare è molto importante e influenza sia le tecniche da applicare che le soluzioni progettuali. La possibilità di poter scegliere tra la voce “demolisco” o “non demolisco” costituirebbe un importante sviluppo per lo strumento.

- **Valori di soglia**

Per poter definire le classi di concentrazione dei contaminanti presenti è stato necessario definire delle soglie. Attualmente le soglie considerate riguardano il limite normativo italiano di concentrazione nel caso di scenario residenziale, i valori di concentrazione per le quali non si rende più efficace la tecnica di Phytoremediation e quelli per le quali ragionevolmente si ha fase libera o comunque sono molto alti.

Un possibile miglioramento dello strumento potrebbe riguardare la possibilità di considerare diversi limiti normativi in modo da confrontare i risultati legati alla realizzazione di un dato progetto su siti regolamentati da diverse legislazioni. Questo permetterebbe di valutare praticamente quanto una data normativa influenza la realizzabilità di un progetto di bonifica sulla base di quanto emerso anche dai confronti realizzati nella prima parte del presente elaborato. La scelta della destinazione d'uso da considerare potrebbe anche comportare delle variazioni dei risultati dal momento che i valori limite differiscono anche nel caso in cui si considera la stessa normativa di riferimento. In questa prima fase si è scelto di adottare i limiti normativi italiani per lo scenario residenziale perché rispetto a quello industriale presenta dei valori più bassi ed è quindi il più cautelativo.

5 Conclusioni

Questo lavoro di tesi è stato realizzato con l'obiettivo di sviluppare un Toolkit parametrico da adottare durante il processo decisionale delle tecniche di bonifica, nell'ottica di un approccio pluridisciplinare alla progettazione degli interventi di riuso di siti contaminati.

Considerando che la fase di scelta delle tecniche di bonifica fa parte di un complesso processo a cui fanno capo sia aspetti normativi che tecnici, è stato necessario innanzitutto valutare gli iter legislativi in materia di siti contaminati, per poi soffermarsi sulle procedure di analisi di rischio, dalle quali si ricavano le indicazioni circa il reale pericolo a cui l'uomo e l'ambiente sono soggetti nel caso di contatto con aree inquinate.

La disamina degli iter legislativi italiani, spagnoli e canadesi ha permesso di realizzare un confronto critico sui seguenti punti:

- procedure operative ed amministrative;
- scenari di utilizzo futuro del suolo e valori di concentrazione limite ammissibili;
- valori di concentrazione limite ammissibili.

Per quanto riguarda le procedure operative ed amministrative, è emerso che la normativa canadese e quella italiana considerano sullo stesso piano la salute umana e la protezione dell'ambiente, mentre nel caso della Spagna vi sono degli approcci differenti. Per tutte e tre le normative la condizione di contaminazione è definita in seguito al superamento dei valori di concentrazione dei contaminati presenti rispetto a dei limiti normativi che, nel caso italiano sono ricavati mediante analisi-sito specifica, nel caso spagnolo sono tabellati, mentre in Canada si ricavano mediante un approccio sviluppato per step successivi riferiti al sito in oggetto. Inoltre, nel caso della normativa spagnola, sono definiti delle procedure che permettono di classificare un sito contaminato nell'ipotesi in cui su di esso non possa essere applicata la procedura di analisi di rischio.

I valori limite di concentrazioni ricavati sono diversificati in funzione del tipo di scenario di utilizzo del suolo. In tale ottica è emerso che le tre normative considerano diversi scenari; nel caso italiano gli utilizzi futuri del suolo sono: siti destinati al verde pubblico, ad uso privato e residenziale e siti ad uso commerciale ed industriale, per la Spagna ed in particolare per il Principato delle Asturie si assumono quattro diversi impieghi: industriale, ricreativo, residenziale e utilizzi vari mentre invece la legislazione canadese prende in considerazione gli scenari agricolo, residenziale/ricreativo, industriale e commerciale.

Ad ognuno di tali scenari sono associati diversi valori limite di concentrazione, variabili a seconda della legislazione considerata. In Spagna l'ambito residenziale insieme a quello relativo al campo "altri usi" presentano dei valori limite molto bassi e quindi più restrittivi rispetto allo scenario industriale e ricreativo, così come in Canada l'uso agricolo e quello residenziale/ricreativo hanno valori di concentrazione più bassi rispetto a quelli industriali e commerciali. In Italia i valori di concentrazione più bassi sono riferiti al contesto residenziale/ricreativo.

Tali risultati possono essere giustificati dal fatto che il tempo di esposizione che si va a considerare in ambito residenziale è maggiore rispetto agli altri casi e quindi il rischio a parità

di concentrazione limite sarebbe molto più alto. Ciò che emerge sostanzialmente è che la normativa canadese è molto più restrittiva rispetto a quella spagnola e italiana.

Tale condizione si riflette anche nel caso in cui l'attenzione si focalizza sui metalli, inquinanti oggetto del presente elaborato, in quanto dal confronto dei diversi valori di concentrazione limite, la normativa spagnola risulta essere meno cautelativa rispetto a quella italiana e canadese i cui valori sono ragionevolmente dello stesso ordine di grandezza. In quest'ottica un ulteriore aspetto da citare riguarda il diverso approccio che la normativa spagnola ha nei confronti dei metalli rispetto a quella italiana e canadese. Mentre in Italia e in Canada, i valori limite di concentrazione ammissibile per i metalli sono validi su tutto il territorio nazionale, in Spagna invece è necessario far riferimento ai dati che le singole Comunità Autonome forniscono.

Nella seconda parte dell'elaborato sono state ampiamente descritte le procedure di analisi di rischio adottate in Italia, Spagna e Canada e successivamente è stata sviluppata un'applicazione pratica sul sito di Nitrastur della linea guida italiana proposta dall'APAT e di quella spagnola secondo le indicazioni di US EPA. Alla luce dell'applicazione delle due metodologie è emerso che sia per lo scenario residenziale sia per quello ricreativo con la procedura APAT sono stati ricavati valori di rischio tossico e cancerogeno molto più elevati rispetto a quelli ottenuti dall'US EPA. Nel caso industriale invece con la procedura italiana si ricavano valori più alti rispetto a quelli spagnola nel caso di rischio cancerogeno, mentre per il rischio tossico i risultati ottenuti sono molto simili tra di loro. Queste variazioni possono essere giustificate sia dal fatto che la procedura italiana considera anche il Piombo, mentre in Spagna tale metallo non è incluso nell'analisi di rischio (sono utilizzati dei modelli numerici che tengono conto del rischio associato al Piombo), sia perché si assumono diversi valori dei parametri nei diversi scenari di uso del suolo.

Lo sviluppo del Toolkit ha interessato l'ultima parte della trattazione. Nel capitolo sono state descritte le diverse fasi del processo decisionale, gli input e gli output e per ogni step è stata illustrata anche l'applicazione pratica su un'ex area industriale altamente inquinata situata in Spagna. L'applicazione sul sito di Nitrastur ha permesso di testare la validità dello strumento e di ottenere dei risultati promettenti. Lo strumento progettato rappresenta oggi una buona base di partenza per la definizione di un *tool* completo che tenga conto di tutte le variabili che entrano in gioco nel processo decisionale per la scelta delle tecniche di bonifica da utilizzare per riqualificare le aree inquinate dismesse.

Nel fare una valutazione generale circa gli obiettivi raggiunti con il presente elaborato è possibile affermare che quanto previsto nella fase iniziale è stato ampiamente sviluppato. L'analisi e il confronto delle normative hanno evidenziato come effettivamente gli iter legislativi influenzino la condizione di sito contaminato così come le procedure di analisi di rischio definiscono diversi valori e quindi diversi approcci che si traducono con la messa in atto di tecniche di bonifica differenti. E proprio nell'ottica della complessa fase decisionale delle tecniche di bonifica nell'ambito dell' *adaptive reuse* che il Toolkit elaborato costituisce un ottimo strumento al quale l'ingegnere e l'architetto possono affidarsi per ottenere dei risultati che tengono conto sia degli aspetti ambientali sia di quelli architettonici, tecnologici, funzionali e sociali.

6 Bibliografia

- Agency, U.S. Environmental Protection. «Human Health Evaluation Manual (Part A).» In *Risk Assessment Guidance for Superfund*, di U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response, 1989.
- —. *Soil Screening Guidance: Technical Background Document*. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response, 1996.
- —. *Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund sites*. Washington, DC: Office of Emergency and Remedial Response , 2002.
- Ambiente, ISPRA. <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/siti-contaminati/analisi-di-rischio>.
- APAT. *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati*. Roma: APAT, 2008.
- *Boletín Oficial Del Principado De Asturias, núm. 91 de 21-IV-2014* .
- C. Boente, C. Sierra, E. Rodríguez-Valdes, J.M. Menendez-Aguado, J.R. Gallego. «Soil washing optimization by means of attributive analysis: Case study for the removal of potentially toxic elements from soil contaminated with pyrite ash.» *Journal of Cleaner Production*, 2017: 2693-2699.
- *Decreto del Presidente della Repubblica n.915 del 10 Settembre 1982*.
- *Decreto Legislativo n.152 del 3 Giugno 2006*.
- *Decreto Legislativo n.22 del 5 Febbraio 1997*.
- *Decreto Ministeriale n.471 del 25 Ottobre 1999* .
- Di Molfetta Antonio, Sethi Rajandrea. *Ingegneria degli acquiferi*. Springer Verlag, 2012.
- Division, Contaminated Sites. *Guidance on Human Health Preliminary Quantitative Risk assessment* . Ottawa : Health Canada , 2012.
- Dr. Ian Hers, Mr. Guy Patrick, Dr. Reidar Zapf-Gilje. «Guidance Manual .» In *Guidance manual for environmental site characterization in support of environmental and human health risk assessment*, di Canadian Council of Ministers of the Environment, 1-329. Canada: CCME, 2016.
- Eleonora Wcisło, Joachim Bronder, Anicenta Bubak, Eduardo Rodríguez-Valdés, José Luis R. Gallego. «Human health risk assessment in restoring safe and productive use of abandoned contaminated sites .» *Environment International* , 2016: 436–448 .
- Environment, Canadian Council of Ministers of the. *Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites / Prepared by the CCME Subcommittee on Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites*. Environment Canada, 1991.
- Environment, Canadian Council of Ministers of the. <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>.

-
- —. *A Framework for Ecological Risk Assessment: General Guidance*. Environment Canada, 1997.
 - —. *A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines*. Environment Canada, 1996.
 - —. *Guidance Manual for Developing Site-Specific Soil Quality Remediation Objectives for Contaminated Sites in Canada*. Environment Canada, 1996.
 - —. *National Classification System for Contaminated Sites - Guidance Document*. Environment Canada, 1992.
 - —. *National Classification System for Contaminated Sites Guidance Document*. Environment Canada, 2008.
 - —. *Subsurface assessment handbook for contaminated sites*. Environment Canada, 1994.
 - Giovanni Pietro Beretta, Aldo Bertelle. *Prezzario delle bonifiche*. Il Sole 24 Ore, 2009.
 - Human, U.S. Department of Health and. «Regulations and advisories.» In *Toxicological Profile for Lead*, di U.S. Department of Health and Human Service. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007.
 - J.R. Gallego, E. Rodríguez-Valdés, N. Esquinas, A. Fernández-Braña, E. Afif. «Insights into a 20-ha multi-contaminated brownfield megasite: An environmental forensics approach.» *Science of the Total Environment*, 2016: 683–692.
 - *Legge n.349 del 8 luglio 1986*.
 - *Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos*.
 - Presidencia, Ministerio de la. *Ley 22/2011, de 28 de julio*. BOE, 2011.
 - —. *Real Decreto 9/2005*. BOE, 2005.
 - Robiglio, Matteo. «Adaptive Reuse: la bonifica appropriata nel quadro di una strategia integrata di rigenerazione urbana o territoriale.» In *Adaptive Reuse: bonifiche e rigenerazione urbana*, di Golder Associates, Valentina Salati Emanuele Bobbio, 2014. 107-111.
 - Simona, De Arcangelis. *La valutazione dei costi unitari di bonifica dei suoli*. APAT, 2008.
 - Stefano Leoni, Edo Ronchi. «Bonifiche: Un confronto delle Normative in campo Internazionale.» In *La bonifica dei siti contaminati problemi attuativi e prospettive di riforma*, di APAT, 3-109. Regione Toscana: APAT, 2004.
 - System, The Risk Assessment Information. <https://rais.ornl.gov>.

7 Allegati

7.1 Rischio individuale tossico e cancerogeno secondo metodologia APAT

7.1.1 Scenario residenziale

7.1.1.1 Rischio tossico

Tabella 7.1 Valori del rischio tossico per ingestione per lo scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	8,8E-01	1,0E-02	2,7E-04	3,8E-04	6,5E-02	5,1E-02	1,7E-02	1,6E-02
2	1,7E+00	3,5E-02	2,5E-04	3,5E-04	1,6E-01	7,7E-02	1,0E-02	4,0E-02
3	1,8E+00	5,6E-02	5,1E-04	7,1E-04	1,9E-01	6,8E-02	1,9E-02	4,7E-02
4	7,3E-01	1,3E-02	2,1E-04	2,9E-04	4,0E-02	4,7E-02	1,1E-02	1,4E-02
5	5,3E-01	1,2E-02	4,9E-04	6,8E-04	2,7E-02	5,8E-01	2,2E-02	1,6E-02
6	6,4E-01	2,0E-02	5,3E-04	7,4E-04	2,3E-02	2,1E-01	3,0E-02	2,0E-02
7	6,3E-01	2,6E-03	3,2E-04	4,5E-04	9,8E-03	2,6E-02	1,4E-02	5,1E-03
8	6,4E-01	6,4E-03	3,2E-04	4,5E-04	2,1E-02	1,1E-01	1,5E-02	7,8E-03
9	1,0E+00	1,7E-02	5,5E-04	7,8E-04	3,9E-02	9,8E-02	3,0E-02	1,7E-02
10	5,6E+00	5,5E-02	1,6E-03	2,2E-03	3,5E-01	1,4E-01	2,2E-02	4,7E-02
11	5,1E+01	1,0E-01	5,1E-04	7,2E-04	5,8E-01	6,2E-01	1,9E-02	1,5E-01
12	1,2E+00	2,9E-02	4,5E-04	6,3E-04	1,0E-01	1,8E-01	2,0E-02	3,3E-02
13	2,7E+00	3,3E-02	3,8E-04	5,3E-04	2,3E-01	1,0E-01	2,0E-02	5,7E-02
14	6,7E-01	5,1E-03	5,2E-04	7,4E-04	1,6E-02	4,3E-02	2,3E-02	9,4E-03
15	7,2E-01	2,0E-02	1,5E-03	2,1E-03	4,1E-02	1,9E-01	7,0E-02	5,7E-02
16	1,9E+00	2,7E-02	3,3E-04	4,6E-04	9,2E-02	2,3E-01	2,4E-02	3,4E-02
17	1,9E+02	4,3E-02	3,1E-03	4,4E-03	2,3E-01	3,4E+00	3,9E-02	5,0E-02
18	2,4E+00	3,2E-02	4,9E-04	6,9E-04	1,5E-01	3,0E-01	1,9E-02	3,3E-02
19	3,0E+00	1,9E-02	3,7E-04	5,2E-04	1,1E-01	5,0E-01	1,6E-02	2,9E-02
20	1,6E+00	3,1E-02	2,1E-03	3,0E-03	6,3E-02	4,3E-01	4,4E-02	2,6E-02

Tabella 7.2 Valori del rischio tossico per contatto dermico per lo scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,2E-01	1,1E-03	5,9E-04	1,1E-05	1,8E-03	2,0E-02	1,2E-02	4,6E-04
2	2,3E-01	3,9E-03	5,3E-04	9,7E-06	4,5E-03	3,1E-02	7,1E-03	1,1E-03
3	2,5E-01	6,3E-03	1,1E-03	2,0E-05	5,4E-03	2,7E-02	1,3E-02	1,3E-03
4	1,0E-01	1,4E-03	4,5E-04	8,3E-06	1,1E-03	1,9E-02	8,0E-03	4,0E-04
5	7,4E-02	1,3E-03	1,0E-03	1,9E-05	7,4E-04	2,3E-01	1,5E-02	4,4E-04
6	8,9E-02	2,3E-03	1,1E-03	2,1E-05	6,6E-04	8,5E-02	2,1E-02	5,5E-04
7	8,9E-02	2,9E-04	6,9E-04	1,3E-05	2,8E-04	1,0E-02	9,8E-03	1,4E-04
8	8,9E-02	7,2E-04	7,0E-04	1,3E-05	5,8E-04	4,3E-02	1,1E-02	2,2E-04
9	1,5E-01	1,9E-03	1,2E-03	2,2E-05	1,1E-03	3,9E-02	2,1E-02	4,8E-04
10	7,9E-01	6,2E-03	3,3E-03	6,1E-05	9,9E-03	5,8E-02	1,6E-02	1,3E-03
11	7,1E+00	1,1E-02	1,1E-03	2,0E-05	1,6E-02	2,5E-01	1,3E-02	4,2E-03
12	1,6E-01	3,3E-03	9,7E-04	1,8E-05	2,9E-03	7,2E-02	1,4E-02	9,3E-04
13	3,7E-01	3,7E-03	8,1E-04	1,5E-05	6,4E-03	4,1E-02	1,4E-02	1,6E-03
14	9,4E-02	5,7E-04	1,1E-03	2,1E-05	4,4E-04	1,7E-02	1,6E-02	2,6E-04
15	1,0E-01	2,3E-03	3,2E-03	5,8E-05	1,1E-03	7,7E-02	4,9E-02	1,6E-03
16	2,7E-01	3,0E-03	7,1E-04	1,3E-05	2,6E-03	9,0E-02	1,7E-02	9,6E-04
17	2,6E+01	4,9E-03	6,7E-03	1,2E-04	6,4E-03	1,4E+00	2,7E-02	1,4E-03
18	3,3E-01	3,6E-03	1,1E-03	1,9E-05	4,3E-03	1,2E-01	1,3E-02	9,2E-04
19	4,1E-01	2,1E-03	8,0E-04	1,5E-05	3,0E-03	2,0E-01	1,1E-02	8,2E-04
20	2,2E-01	3,4E-03	4,6E-03	8,4E-05	1,8E-03	1,7E-01	3,1E-02	7,4E-04

Tabella 7.3 Valori del rischio tossico per inalazione di polveri outdoor per lo scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,7E-06	9,4E-08	-	1,1E-09	-	4,7E-09	3,4E-07	-
2	1,2E-05	7,3E-07	-	2,2E-09	-	1,6E-08	4,8E-07	-
3	1,2E-05	1,2E-06	-	4,5E-09	-	1,4E-08	9,0E-07	-
4	3,3E-07	1,7E-08	-	1,2E-10	-	6,3E-10	3,4E-08	-
5	2,4E-07	1,5E-08	-	2,8E-10	-	7,8E-09	6,5E-08	-
6	2,9E-07	2,7E-08	-	3,0E-10	-	2,9E-09	8,9E-08	-
7	2,0E-06	2,4E-08	-	1,2E-09	-	2,4E-09	2,9E-07	-
8	2,0E-06	5,9E-08	-	1,3E-09	-	9,8E-09	3,2E-07	-
9	1,6E-05	7,8E-07	-	1,1E-08	-	4,6E-08	3,1E-06	-
10	8,8E-05	2,6E-06	-	3,1E-08	-	6,8E-08	2,3E-06	-
11	7,9E-05	4,7E-07	-	1,0E-09	-	2,9E-08	2,0E-07	-
12	5,2E-07	4,0E-08	-	2,5E-10	-	2,4E-09	5,9E-08	-
13	9,9E-07	3,7E-08	-	1,8E-10	-	1,1E-09	4,9E-08	-
14	5,7E-05	1,3E-06	-	5,6E-08	-	1,1E-07	1,3E-05	-
15	6,1E-05	5,2E-06	-	1,6E-07	-	4,9E-07	4,0E-05	-
16	2,7E-04	1,1E-05	-	5,8E-08	-	9,5E-07	2,2E-05	-
17	2,6E-02	1,8E-05	-	5,5E-07	-	1,4E-05	3,6E-05	-
18	3,7E-06	1,5E-07	-	9,7E-10	-	1,4E-08	2,0E-07	-
19	1,2E-06	2,4E-08	-	2,0E-10	-	6,3E-09	4,5E-08	-
20	6,6E-07	3,8E-08	-	1,1E-09	-	5,3E-09	1,2E-07	-

7.1.1.2 *Rischio cancerogeno*

Tabella 7.4 Valori di rischio cancerogeno per ingestione per scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	4,9E-05	-	-	5,7E-07	-	-	-	-
2	9,1E-05	-	-	5,2E-07	-	-	-	-
3	9,7E-05	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
4	4,0E-05	-	-	4,4E-07	-	-	-	-
5	2,9E-05	-	-	1,0E-06	-	-	-	-
6	3,5E-05	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
7	3,5E-05	-	-	6,7E-07	-	-	-	-
8	3,5E-05	-	-	6,8E-07	-	-	-	-
9	5,8E-05	-	-	1,2E-06	-	-	-	-
10	3,1E-04	-	-	3,3E-06	-	-	-	-
11	2,8E-03	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
12	6,4E-05	-	-	9,5E-07	-	-	-	-
13	1,5E-04	-	-	7,9E-07	-	-	-	-
14	3,7E-05	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
15	3,9E-05	-	-	3,1E-06	-	-	-	-
16	1,1E-04	-	-	6,9E-07	-	-	-	-
17	1,0E-02	-	-	6,5E-06	-	-	-	-
18	1,3E-04	-	-	1,0E-06	-	-	-	-
19	1,6E-04	-	-	7,8E-07	-	-	-	-
20	8,7E-05	-	-	4,5E-06	-	-	-	-

Tabella 7.5 Valori di rischio cancerogeno per contatto dermico per scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	7,7E-06	-	-	2,2E-09	-	-	-	-
2	1,4E-05	-	-	2,0E-09	-	-	-	-
3	1,5E-05	-	-	4,1E-09	-	-	-	-
4	6,3E-06	-	-	1,7E-09	-	-	-	-
5	4,6E-06	-	-	4,0E-09	-	-	-	-
6	5,5E-06	-	-	4,3E-09	-	-	-	-
7	5,5E-06	-	-	2,6E-09	-	-	-	-
8	5,5E-06	-	-	2,6E-09	-	-	-	-
9	9,1E-06	-	-	4,5E-09	-	-	-	-
10	4,9E-05	-	-	1,3E-08	-	-	-	-
11	4,4E-04	-	-	4,2E-09	-	-	-	-
12	1,0E-05	-	-	3,7E-09	-	-	-	-
13	2,3E-05	-	-	3,1E-09	-	-	-	-
14	5,8E-06	-	-	4,3E-09	-	-	-	-
15	6,2E-06	-	-	1,2E-08	-	-	-	-
16	1,7E-05	-	-	2,7E-09	-	-	-	-
17	1,6E-03	-	-	2,5E-08	-	-	-	-
18	2,1E-05	-	-	4,0E-09	-	-	-	-
19	2,6E-05	-	-	3,0E-09	-	-	-	-
20	1,4E-05	-	-	1,7E-08	-	-	-	-

Tabella 7.6 Valori di rischio cancerogeno per inalazione di polveri secondo scenario residenziale APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER INALAZIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,4E-11	3,3E-13	-	8,9E-12	-	-	1,6E-12	-
2	1,5E-10	2,6E-12	-	1,8E-11	-	-	2,2E-12	-
3	1,6E-10	4,2E-12	-	3,8E-11	-	-	4,1E-12	-
4	4,1E-12	6,1E-14	-	1,0E-12	-	-	1,6E-13	-
5	3,0E-12	5,5E-14	-	2,3E-12	-	-	3,0E-13	-
6	3,6E-12	9,7E-14	-	2,5E-12	-	-	4,1E-13	-
7	2,5E-11	8,3E-14	-	1,0E-11	-	-	1,3E-12	-
8	2,5E-11	2,1E-13	-	1,1E-11	-	-	1,4E-12	-
9	2,1E-10	2,7E-12	-	9,2E-11	-	-	1,4E-11	-
10	1,1E-09	9,1E-12	-	2,6E-10	-	-	1,1E-11	-
11	1,0E-09	1,6E-12	-	8,5E-12	-	-	9,0E-13	-
12	6,6E-12	1,4E-13	-	2,1E-12	-	-	2,7E-13	-
13	1,3E-11	1,3E-13	-	1,5E-12	-	-	2,3E-13	-
14	7,2E-10	4,6E-12	-	4,7E-10	-	-	6,0E-11	-
15	7,7E-10	1,8E-11	-	1,3E-09	-	-	1,8E-10	-
16	3,4E-09	4,0E-11	-	4,9E-10	-	-	1,0E-10	-
17	3,3E-07	6,5E-11	-	4,6E-09	-	-	1,7E-10	-
18	4,7E-11	5,3E-13	-	8,2E-12	-	-	9,0E-13	-
19	1,6E-11	8,5E-14	-	1,6E-12	-	-	2,0E-13	-
20	8,3E-12	1,4E-13	-	9,4E-12	-	-	5,7E-13	-

7.1.2 Scenario ricreativo

7.1.2.1 Rischio tossico

Tabella 7.7 Valori del rischio tossico per ingestione per lo scenario ricreativo secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	8,8E-01	1,0E-02	2,7E-04	3,8E-04	6,5E-02	5,1E-02	1,7E-02	8,0E-03
2	1,7E+00	3,5E-02	2,5E-04	3,5E-04	1,6E-01	7,7E-02	1,0E-02	1,4E-02
3	1,8E+00	5,6E-02	5,1E-04	7,1E-04	1,9E-01	6,8E-02	1,9E-02	2,2E-02
4	7,3E-01	1,3E-02	2,1E-04	2,9E-04	4,0E-02	4,7E-02	1,1E-02	6,6E-03
5	5,3E-01	1,2E-02	4,9E-04	6,8E-04	2,7E-02	5,8E-01	2,2E-02	8,6E-02
6	6,4E-01	2,0E-02	5,3E-04	7,4E-04	2,3E-02	2,1E-01	3,0E-02	1,3E-02
7	6,3E-01	2,6E-03	3,2E-04	4,5E-04	9,8E-03	2,6E-02	1,4E-02	4,6E-03
8	6,4E-01	6,4E-03	3,2E-04	4,5E-04	2,1E-02	1,1E-01	1,5E-02	7,8E-03
9	1,0E+00	1,7E-02	5,5E-04	7,8E-04	3,9E-02	9,8E-02	3,0E-02	9,4E-03
10	5,6E+00	5,5E-02	1,6E-03	2,2E-03	3,5E-01	1,4E-01	2,2E-02	2,6E-02
11	5,1E+01	1,0E-01	5,1E-04	7,2E-04	5,8E-01	6,2E-01	1,9E-02	6,4E-01
12	1,2E+00	2,9E-02	4,5E-04	6,3E-04	1,0E-01	1,8E-01	2,0E-02	3,6E-02
13	2,7E+00	3,3E-02	3,8E-04	5,3E-04	2,3E-01	1,0E-01	2,0E-02	5,9E-02
14	6,7E-01	5,1E-03	5,2E-04	7,4E-04	1,6E-02	4,3E-02	2,3E-02	7,5E-03
15	7,2E-01	2,0E-02	1,5E-03	2,1E-03	4,1E-02	1,9E-01	7,0E-02	2,0E-02
16	1,9E+00	2,7E-02	3,3E-04	4,6E-04	9,2E-02	2,3E-01	2,4E-02	7,8E-02
17	1,9E+02	4,3E-02	3,1E-03	4,4E-03	2,3E-01	3,4E+00	3,9E-02	1,9E-01
18	2,4E+00	3,2E-02	4,9E-04	6,9E-04	1,5E-01	3,0E-01	1,9E-02	3,3E-02
19	3,0E+00	1,9E-02	3,7E-04	5,2E-04	1,1E-01	5,0E-01	1,6E-02	2,6E-02
20	1,6E+00	3,1E-02	2,1E-03	3,0E-03	6,3E-02	4,3E-01	4,4E-02	3,3E-02

Tabella 7.8 Valori del rischio tossico per contatto dermico per scenario ricreativo secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,2E-01	1,1E-03	5,9E-04	1,1E-05	1,8E-03	2,0E-02	1,2E-02	2,2E-04
2	2,3E-01	3,9E-03	5,3E-04	9,7E-06	4,5E-03	3,1E-02	7,1E-03	4,0E-04
3	2,5E-01	6,3E-03	1,1E-03	2,0E-05	5,4E-03	2,7E-02	1,3E-02	6,1E-04
4	1,0E-01	1,4E-03	4,5E-04	8,3E-06	1,1E-03	1,9E-02	8,0E-03	1,9E-04
5	7,4E-02	1,3E-03	1,0E-03	1,9E-05	7,4E-04	2,3E-01	1,5E-02	2,4E-03
6	8,9E-02	2,3E-03	1,1E-03	2,1E-05	6,6E-04	8,5E-02	2,1E-02	3,7E-04
7	8,9E-02	2,9E-04	6,9E-04	1,3E-05	2,8E-04	1,0E-02	9,8E-03	1,3E-04
8	8,9E-02	7,2E-04	7,0E-04	1,3E-05	5,8E-04	4,3E-02	1,1E-02	2,2E-04
9	1,5E-01	1,9E-03	1,2E-03	2,2E-05	1,1E-03	3,9E-02	2,1E-02	2,6E-04
10	7,9E-01	6,2E-03	3,3E-03	6,1E-05	9,9E-03	5,8E-02	1,6E-02	7,2E-04
11	7,1E+00	1,1E-02	1,1E-03	2,0E-05	1,6E-02	2,5E-01	1,3E-02	1,8E-02
12	1,6E-01	3,3E-03	9,7E-04	1,8E-05	2,9E-03	7,2E-02	1,4E-02	1,0E-03
13	3,7E-01	3,7E-03	8,1E-04	1,5E-05	6,4E-03	4,1E-02	1,4E-02	1,7E-03
14	9,4E-02	5,7E-04	1,1E-03	2,1E-05	4,4E-04	1,7E-02	1,6E-02	2,1E-04
15	1,0E-01	2,3E-03	3,2E-03	5,8E-05	1,1E-03	7,7E-02	4,9E-02	5,6E-04
16	2,7E-01	3,0E-03	7,1E-04	1,3E-05	2,6E-03	9,0E-02	1,7E-02	2,2E-03
17	2,6E+01	4,9E-03	6,7E-03	1,2E-04	6,4E-03	1,4E+00	2,7E-02	5,4E-03
18	3,3E-01	3,6E-03	1,1E-03	1,9E-05	4,3E-03	1,2E-01	1,3E-02	9,1E-04
19	4,1E-01	2,1E-03	8,0E-04	1,5E-05	3,0E-03	2,0E-01	1,1E-02	7,2E-04
20	2,2E-01	3,4E-03	4,6E-03	8,4E-05	1,8E-03	1,7E-01	3,1E-02	9,2E-04

Tabella 7.9 Valori del rischio tossico per inalazione di polveri outdoor per scenario ricreativo secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	6,4E-07	2,2E-08	-	2,5E-10	-	1,1E-09	8,2E-08	-
2	2,8E-06	1,7E-07	-	5,2E-10	-	3,8E-09	1,1E-07	-
3	2,9E-06	2,8E-07	-	1,1E-09	-	3,4E-09	2,1E-07	-
4	7,7E-08	4,1E-09	-	2,8E-11	-	1,5E-10	8,1E-09	-
5	5,6E-08	3,7E-09	-	6,5E-11	-	1,8E-09	1,5E-08	-
6	6,8E-08	6,5E-09	-	7,1E-11	-	6,8E-10	2,1E-08	-
7	4,6E-07	5,6E-09	-	3,0E-10	-	5,6E-10	6,8E-08	-
8	4,7E-07	1,4E-08	-	3,0E-10	-	2,3E-09	7,5E-08	-
9	3,9E-06	1,9E-07	-	2,6E-09	-	1,1E-08	7,3E-07	-
10	2,1E-05	6,1E-07	-	7,3E-09	-	1,6E-08	5,6E-07	-
11	1,9E-05	1,1E-07	-	2,4E-10	-	6,9E-09	4,6E-08	-
12	1,2E-07	9,4E-09	-	6,0E-11	-	5,7E-10	1,4E-08	-
13	2,4E-07	8,9E-09	-	4,2E-11	-	2,7E-10	1,2E-08	-
14	1,4E-05	3,1E-07	-	1,3E-08	-	2,6E-08	3,1E-06	-
15	1,4E-05	1,2E-06	-	3,7E-08	-	1,2E-07	9,4E-06	-
16	6,4E-05	2,7E-06	-	1,4E-08	-	2,3E-07	5,3E-06	-
17	6,2E-03	4,3E-06	-	1,3E-07	-	3,4E-06	8,6E-06	-
18	8,8E-07	3,5E-08	-	2,3E-10	-	3,4E-09	4,7E-08	-
19	2,9E-07	5,7E-09	-	4,7E-11	-	1,5E-09	1,1E-08	-
20	1,6E-07	9,1E-09	-	2,7E-10	-	1,3E-09	2,9E-08	-

7.1.2.2 *Rischio cancerogeno*

Tabella 7.10 Valori del rischio cancerogeno per ingestione per scenario ricreativo secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	4,9E-05	-	-	5,7E-07	-	-	-	-
2	9,1E-05	-	-	5,2E-07	-	-	-	-
3	9,7E-05	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
4	4,0E-05	-	-	4,4E-07	-	-	-	-
5	2,9E-05	-	-	1,0E-06	-	-	-	-
6	3,5E-05	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
7	3,5E-05	-	-	6,7E-07	-	-	-	-
8	3,5E-05	-	-	6,8E-07	-	-	-	-
9	5,8E-05	-	-	1,2E-06	-	-	-	-
10	3,1E-04	-	-	3,3E-06	-	-	-	-
11	2,8E-03	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
12	6,4E-05	-	-	9,5E-07	-	-	-	-
13	1,5E-04	-	-	7,9E-07	-	-	-	-
14	3,7E-05	-	-	1,1E-06	-	-	-	-
15	3,9E-05	-	-	3,1E-06	-	-	-	-
16	1,1E-04	-	-	6,9E-07	-	-	-	-
17	1,0E-02	-	-	6,5E-06	-	-	-	-
18	1,3E-04	-	-	1,0E-06	-	-	-	-
19	1,6E-04	-	-	7,8E-07	-	-	-	-
20	8,7E-05	-	-	4,5E-06	-	-	-	-

Tabella 7.11 Valori del rischio cancerogeno per contatto dermico per scenario ricreativo secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	7,7E-06	-	-	1,6E-08	-	-	-	-
2	1,4E-05	-	-	1,5E-08	-	-	-	-
3	1,5E-05	-	-	3,0E-08	-	-	-	-
4	6,3E-06	-	-	1,2E-08	-	-	-	-
5	4,6E-06	-	-	2,9E-08	-	-	-	-
6	5,5E-06	-	-	3,1E-08	-	-	-	-
7	5,5E-06	-	-	1,9E-08	-	-	-	-
8	5,5E-06	-	-	1,9E-08	-	-	-	-
9	9,1E-06	-	-	3,3E-08	-	-	-	-
10	4,9E-05	-	-	9,2E-08	-	-	-	-
11	4,4E-04	-	-	3,0E-08	-	-	-	-
12	1,0E-05	-	-	2,6E-08	-	-	-	-
13	2,3E-05	-	-	2,2E-08	-	-	-	-
14	5,8E-06	-	-	3,1E-08	-	-	-	-
15	6,2E-06	-	-	8,7E-08	-	-	-	-
16	1,7E-05	-	-	1,9E-08	-	-	-	-
17	1,6E-03	-	-	1,8E-07	-	-	-	-
18	2,1E-05	-	-	2,9E-08	-	-	-	-
19	2,6E-05	-	-	2,2E-08	-	-	-	-
20	1,4E-05	-	-	1,3E-07	-	-	-	-

Tabella 7.12 Valori del rischio cancerogeno per inalazioni di polveri outdoor per scenario ricreativo secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER INALAZIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	8,7E-12	8,5E-14	-	2,1E-12	-	-	4,0E-13	-
2	3,7E-11	6,5E-13	-	4,4E-12	-	-	5,5E-13	-
3	3,9E-11	1,1E-12	-	9,0E-12	-	-	1,0E-12	-
4	1,0E-12	1,5E-14	-	2,4E-13	-	-	4,0E-14	-
5	7,6E-13	1,4E-14	-	5,5E-13	-	-	7,6E-14	-
6	9,2E-13	2,5E-14	-	6,0E-13	-	-	1,0E-13	-
7	6,3E-12	2,1E-14	-	2,5E-12	-	-	3,3E-13	-
8	6,3E-12	5,3E-14	-	2,5E-12	-	-	3,7E-13	-
9	5,2E-11	7,0E-13	-	2,2E-11	-	-	3,6E-12	-
10	2,8E-10	2,3E-12	-	6,1E-11	-	-	2,7E-12	-
11	2,6E-10	4,2E-13	-	2,0E-12	-	-	2,3E-13	-
12	1,7E-12	3,5E-14	-	5,1E-13	-	-	6,9E-14	-
13	3,2E-12	3,3E-14	-	3,5E-13	-	-	5,7E-14	-
14	1,8E-10	1,2E-12	-	1,1E-10	-	-	1,5E-11	-
15	1,9E-10	4,7E-12	-	3,1E-10	-	-	4,6E-11	-
16	8,6E-10	1,0E-11	-	1,2E-10	-	-	2,6E-11	-
17	8,4E-08	1,6E-11	-	1,1E-09	-	-	4,2E-11	-
18	1,2E-11	1,3E-13	-	1,9E-12	-	-	2,3E-13	-
19	4,0E-12	2,1E-14	-	3,9E-13	-	-	5,2E-14	-
20	2,1E-12	3,4E-14	-	2,2E-12	-	-	1,4E-13	-

7.1.3 Scenario industriale

7.1.3.1 Rischio tossico

Tabella 7.13 Valori del rischio tossico per ingestione per lo scenario industriale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,4E-02	3,9E-04	1,0E-05	1,5E-05	2,5E-03	2,0E-03	6,4E-04	3,1E-04
2	6,3E-02	1,3E-03	9,4E-06	1,3E-05	6,1E-03	2,9E-03	3,9E-04	5,4E-04
3	6,7E-02	2,2E-03	1,9E-05	2,7E-05	7,4E-03	2,6E-03	7,3E-04	8,4E-04
4	2,8E-02	4,9E-04	8,0E-06	1,1E-05	1,5E-03	1,8E-03	4,4E-04	2,5E-04
5	2,0E-02	4,4E-04	1,9E-05	2,6E-05	1,0E-03	2,2E-02	8,3E-04	3,3E-03
6	2,4E-02	7,8E-04	2,0E-05	2,8E-05	9,0E-04	8,2E-03	1,1E-03	5,1E-04
7	2,4E-02	9,8E-05	1,2E-05	1,7E-05	3,8E-04	9,8E-04	5,3E-04	1,8E-04
8	2,4E-02	2,4E-04	1,2E-05	1,7E-05	7,9E-04	4,1E-03	5,9E-04	3,0E-04
9	4,0E-02	6,4E-04	2,1E-05	3,0E-05	1,5E-03	3,8E-03	1,1E-03	3,6E-04
10	2,2E-01	2,1E-03	5,9E-05	8,3E-05	1,4E-02	5,5E-03	8,6E-04	9,9E-04
11	2,0E+00	3,8E-03	2,0E-05	2,8E-05	2,2E-02	2,4E-02	7,2E-04	2,4E-02
12	4,5E-02	1,1E-03	1,7E-05	2,4E-05	3,9E-03	6,8E-03	7,6E-04	1,4E-03
13	1,0E-01	1,3E-03	1,4E-05	2,0E-05	8,7E-03	3,9E-03	7,6E-04	2,3E-03
14	2,6E-02	2,0E-04	2,0E-05	2,8E-05	6,1E-04	1,6E-03	8,9E-04	2,9E-04
15	2,7E-02	7,8E-04	5,6E-05	7,9E-05	1,6E-03	7,3E-03	2,7E-03	7,7E-04
16	7,3E-02	1,0E-03	1,3E-05	1,8E-05	3,5E-03	8,6E-03	9,1E-04	3,0E-03
17	7,1E+00	1,7E-03	1,2E-04	1,7E-04	8,8E-03	1,3E-01	1,5E-03	7,4E-03
18	9,1E-02	1,2E-03	1,9E-05	2,7E-05	5,9E-03	1,2E-02	7,3E-04	1,2E-03
19	1,1E-01	7,3E-04	1,4E-05	2,0E-05	4,1E-03	1,9E-02	6,1E-04	9,9E-04
20	6,0E-02	1,2E-03	8,2E-05	1,1E-04	2,4E-03	1,6E-02	1,7E-03	1,3E-03

Tabella 7.14 Valori del rischio tossico per contatto dermico per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,2E-02	2,1E-04	1,1E-04	1,9E-06	3,3E-04	3,7E-03	2,1E-03	4,0E-05
2	4,2E-02	7,0E-04	9,6E-05	1,7E-06	8,1E-04	5,5E-03	1,3E-03	7,1E-05
3	4,4E-02	1,1E-03	2,0E-04	3,6E-06	9,7E-04	4,9E-03	2,4E-03	1,1E-04
4	1,8E-02	2,6E-04	8,2E-05	1,5E-06	2,0E-04	3,4E-03	1,4E-03	3,3E-05
5	1,3E-02	2,3E-04	1,9E-04	3,5E-06	1,3E-04	4,2E-02	2,8E-03	4,4E-04
6	1,6E-02	4,1E-04	2,1E-04	3,7E-06	1,2E-04	1,5E-02	3,7E-03	6,8E-05
7	1,6E-02	5,2E-05	1,2E-04	2,3E-06	5,0E-05	1,8E-03	1,8E-03	2,3E-05
8	1,6E-02	1,3E-04	1,3E-04	2,3E-06	1,0E-04	7,7E-03	1,9E-03	3,9E-05
9	2,6E-02	3,4E-04	2,2E-04	3,9E-06	2,0E-04	7,1E-03	3,7E-03	4,7E-05
10	1,4E-01	1,1E-03	6,0E-04	1,1E-05	1,8E-03	1,0E-02	2,8E-03	1,3E-04
11	1,3E+00	2,0E-03	2,0E-04	3,6E-06	2,9E-03	4,5E-02	2,4E-03	3,2E-03
12	2,9E-02	5,9E-04	1,7E-04	3,2E-06	5,2E-04	1,3E-02	2,5E-03	1,8E-04
13	6,7E-02	6,7E-04	1,5E-04	2,7E-06	1,2E-03	7,4E-03	2,5E-03	3,0E-04
14	1,7E-02	1,0E-04	2,0E-04	3,7E-06	8,0E-05	3,1E-03	2,9E-03	3,8E-05
15	1,8E-02	4,1E-04	5,7E-04	1,0E-05	2,1E-04	1,4E-02	8,9E-03	1,0E-04
16	4,8E-02	5,4E-04	1,3E-04	2,3E-06	4,7E-04	1,6E-02	3,0E-03	3,9E-04
17	4,7E+00	8,8E-04	1,2E-03	2,2E-05	1,2E-03	2,4E-01	4,9E-03	9,8E-04
18	6,0E-02	6,5E-04	1,9E-04	3,5E-06	7,8E-04	2,2E-02	2,4E-03	1,6E-04
19	7,5E-02	3,9E-04	1,4E-04	2,6E-06	5,4E-04	3,6E-02	2,0E-03	1,3E-04
20	4,0E-02	6,2E-04	8,3E-04	1,5E-05	3,2E-04	3,1E-02	5,6E-03	1,7E-04

Tabella 7.15 Valori del rischio tossico per inalazione di polveri outdoor per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO HQ PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,1E-07	7,2E-09	-	2,9E-11	-	3,6E-10	2,6E-08	-
2	8,9E-07	5,6E-08	-	6,0E-11	-	1,2E-09	3,6E-08	-
3	9,4E-07	9,1E-08	-	1,2E-10	-	1,1E-09	6,9E-08	-
4	2,5E-08	1,3E-09	-	3,2E-12	-	4,8E-11	2,6E-09	-
5	1,8E-08	1,2E-09	-	7,5E-12	-	6,0E-10	5,0E-09	-
6	2,2E-08	2,1E-09	-	8,2E-12	-	2,2E-10	6,8E-09	-
7	1,5E-07	1,8E-09	-	3,4E-11	-	1,8E-10	2,2E-08	-
8	1,5E-07	4,5E-09	-	3,4E-11	-	7,5E-10	2,4E-08	-
9	1,3E-06	6,0E-08	-	3,0E-10	-	3,5E-09	2,4E-07	-
10	6,7E-06	2,0E-07	-	8,4E-10	-	5,2E-09	1,8E-07	-
11	6,1E-06	3,6E-08	-	2,8E-11	-	2,2E-09	1,5E-08	-
12	4,0E-08	3,0E-09	-	6,9E-12	-	1,8E-10	4,5E-09	-
13	7,6E-08	2,9E-09	-	4,9E-12	-	8,8E-11	3,8E-09	-
14	4,4E-06	1,0E-07	-	1,5E-09	-	8,3E-09	1,0E-06	-
15	4,6E-06	4,0E-07	-	4,3E-09	-	3,7E-08	3,0E-06	-
16	2,1E-05	8,7E-07	-	1,6E-09	-	7,3E-08	1,7E-06	-
17	2,0E-03	1,4E-06	-	1,5E-08	-	1,1E-06	2,8E-06	-
18	2,8E-07	1,1E-08	-	2,7E-11	-	1,1E-09	1,5E-08	-
19	9,4E-08	1,8E-09	-	5,4E-12	-	4,8E-10	3,4E-09	-
20	5,0E-08	2,9E-09	-	3,1E-11	-	4,1E-10	9,5E-09	-

7.1.3.2 *Rischio cancerogeno*

Tabella 7.16 Valori del rischio cancerogeno per ingestione per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,4E-06	-	-	2,2E-08	-	-	-	-
2	1,0E-05	-	-	2,0E-08	-	-	-	-
3	1,1E-05	-	-	4,1E-08	-	-	-	-
4	4,5E-06	-	-	1,7E-08	-	-	-	-
5	3,2E-06	-	-	3,9E-08	-	-	-	-
6	3,9E-06	-	-	4,3E-08	-	-	-	-
7	3,9E-06	-	-	2,6E-08	-	-	-	-
8	3,9E-06	-	-	2,6E-08	-	-	-	-
9	6,4E-06	-	-	4,5E-08	-	-	-	-
10	3,5E-05	-	-	1,3E-07	-	-	-	-
11	3,1E-04	-	-	4,1E-08	-	-	-	-
12	7,2E-06	-	-	3,6E-08	-	-	-	-
13	1,6E-05	-	-	3,0E-08	-	-	-	-
14	4,1E-06	-	-	4,2E-08	-	-	-	-
15	4,4E-06	-	-	1,2E-07	-	-	-	-
16	1,2E-05	-	-	2,7E-08	-	-	-	-
17	1,1E-03	-	-	2,5E-07	-	-	-	-
18	1,5E-05	-	-	4,0E-08	-	-	-	-
19	1,8E-05	-	-	3,0E-08	-	-	-	-
20	9,7E-06	-	-	1,7E-07	-	-	-	-

Tabella 7.17 Valori del rischio cancerogeno per contatto dermico per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,6E-06	-	-	2,9E-09	-	-	-	-
2	6,7E-06	-	-	2,6E-09	-	-	-	-
3	7,1E-06	-	-	5,4E-09	-	-	-	-
4	2,9E-06	-	-	2,2E-09	-	-	-	-
5	2,1E-06	-	-	5,2E-09	-	-	-	-
6	2,6E-06	-	-	5,6E-09	-	-	-	-
7	2,6E-06	-	-	3,4E-09	-	-	-	-
8	2,6E-06	-	-	3,4E-09	-	-	-	-
9	4,2E-06	-	-	5,9E-09	-	-	-	-
10	2,3E-05	-	-	1,7E-08	-	-	-	-
11	2,1E-04	-	-	5,5E-09	-	-	-	-
12	4,7E-06	-	-	4,8E-09	-	-	-	-
13	1,1E-05	-	-	4,0E-09	-	-	-	-
14	2,7E-06	-	-	5,6E-09	-	-	-	-
15	2,9E-06	-	-	1,6E-08	-	-	-	-
16	7,8E-06	-	-	3,5E-09	-	-	-	-
17	7,5E-04	-	-	3,3E-08	-	-	-	-
18	9,7E-06	-	-	5,3E-09	-	-	-	-
19	1,2E-05	-	-	4,0E-09	-	-	-	-
20	6,4E-06	-	-	2,3E-08	-	-	-	-

Tabella 7.18 Valori del rischio cancerogeno per inalazioni di polveri outdoor per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO R PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	4,8E-12	4,6E-14	-	2,4E-13	-	-	2,2E-13	-
2	2,0E-11	3,6E-13	-	5,0E-13	-	-	3,0E-13	-
3	2,2E-11	5,8E-13	-	1,0E-12	-	-	5,7E-13	-
4	5,7E-13	8,5E-15	-	2,7E-14	-	-	2,2E-14	-
5	4,2E-13	7,6E-15	-	6,3E-14	-	-	4,2E-14	-
6	5,0E-13	1,4E-14	-	6,9E-14	-	-	5,7E-14	-
7	3,4E-12	1,2E-14	-	2,9E-13	-	-	1,8E-13	-
8	3,5E-12	2,9E-14	-	2,9E-13	-	-	2,0E-13	-
9	2,9E-11	3,8E-13	-	2,5E-12	-	-	2,0E-12	-
10	1,6E-10	1,3E-12	-	7,0E-12	-	-	1,5E-12	-
11	1,4E-10	2,3E-13	-	2,3E-13	-	-	1,3E-13	-
12	9,2E-13	1,9E-14	-	5,8E-14	-	-	3,8E-14	-
13	1,7E-12	1,8E-14	-	4,1E-14	-	-	3,2E-14	-
14	1,0E-10	6,4E-13	-	1,3E-11	-	-	8,4E-12	-
15	1,1E-10	2,6E-12	-	3,6E-11	-	-	2,5E-11	-
16	4,7E-10	5,6E-12	-	1,3E-11	-	-	1,4E-11	-
17	4,6E-08	9,0E-12	-	1,3E-10	-	-	2,3E-11	-
18	6,5E-12	7,3E-14	-	2,2E-13	-	-	1,3E-13	-
19	2,2E-12	1,2E-14	-	4,5E-14	-	-	2,9E-14	-
20	1,2E-12	1,9E-14	-	2,6E-13	-	-	7,9E-14	-

7.2 Rischio individuale tossico e cancerogeno secondo metodologia US EPA

7.2.1 Scenario residenziale

7.2.1.1 Rischio tossico

Tabella 7.19 Valori del rischio tossico per ingestione per lo scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,78E-01	4,38E-03	1,17E-04	1,64E-04	2,81E-02	2,19E-02	7,18E-03	7,06E-03
2	7,08E-01	1,48E-02	1,06E-04	1,48E-04	6,86E-02	3,29E-02	4,36E-03	1,73E-02
3	7,52E-01	2,41E-02	2,18E-04	3,06E-04	8,25E-02	2,92E-02	8,22E-03	2,02E-02
4	3,11E-01	5,48E-03	9,00E-05	1,26E-04	1,70E-02	2,01E-02	4,88E-03	6,06E-03
5	2,26E-01	4,93E-03	2,09E-04	2,93E-04	1,14E-02	2,48E-01	9,34E-03	6,79E-03
6	2,73E-01	8,77E-03	2,27E-04	3,18E-04	1,00E-02	9,13E-02	1,27E-02	8,40E-03
7	2,72E-01	1,10E-03	1,37E-04	1,92E-04	4,22E-03	1,10E-02	5,97E-03	2,18E-03
8	2,73E-01	2,74E-03	1,38E-04	1,94E-04	8,89E-03	4,57E-02	6,60E-03	3,34E-03
9	4,48E-01	7,12E-03	2,38E-04	3,33E-04	1,68E-02	4,20E-02	1,27E-02	7,40E-03
10	2,42E+00	2,36E-02	6,65E-04	9,34E-04	1,52E-01	6,21E-02	9,62E-03	2,00E-02
11	2,19E+01	4,27E-02	2,20E-04	3,08E-04	2,50E-01	2,67E-01	8,08E-03	6,37E-02
12	4,99E-01	1,26E-02	1,92E-04	2,70E-04	4,37E-02	7,67E-02	8,47E-03	1,43E-02
13	1,14E+00	1,42E-02	1,61E-04	2,26E-04	9,78E-02	4,38E-02	8,49E-03	2,44E-02
14	2,88E-01	2,19E-03	2,25E-04	3,16E-04	6,81E-03	1,83E-02	9,97E-03	4,01E-03
15	3,07E-01	8,77E-03	6,31E-04	8,86E-04	1,75E-02	8,22E-02	3,01E-02	2,44E-02
16	8,21E-01	1,15E-02	1,41E-04	1,98E-04	3,95E-02	9,68E-02	1,01E-02	1,46E-02
17	7,97E+01	1,86E-02	1,33E-03	1,87E-03	9,81E-02	1,45E+00	1,66E-02	2,13E-02
18	1,02E+00	1,37E-02	2,12E-04	2,98E-04	6,64E-02	1,30E-01	8,14E-03	1,41E-02
19	1,27E+00	8,22E-03	1,60E-04	2,24E-04	4,58E-02	2,16E-01	6,88E-03	1,25E-02
20	6,74E-01	1,32E-02	9,15E-04	1,28E-03	2,68E-02	1,83E-01	1,90E-02	1,13E-02

Tabella 7.20 Valori del rischio tossico per contatto dermico per scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,2E-01	1,1E-03	5,9E-04	1,1E-05	1,8E-03	2,0E-02	1,2E-02	2,2E-04
2	2,3E-01	3,9E-03	5,3E-04	9,7E-06	4,5E-03	3,1E-02	7,1E-03	4,0E-04
3	2,5E-01	6,3E-03	1,1E-03	2,0E-05	5,4E-03	2,7E-02	1,3E-02	6,1E-04
4	1,0E-01	1,4E-03	4,5E-04	8,3E-06	1,1E-03	1,9E-02	8,0E-03	1,9E-04
5	7,4E-02	1,3E-03	1,0E-03	1,9E-05	7,4E-04	2,3E-01	1,5E-02	2,4E-03
6	8,9E-02	2,3E-03	1,1E-03	2,1E-05	6,6E-04	8,5E-02	2,1E-02	3,7E-04
7	8,9E-02	2,9E-04	6,9E-04	1,3E-05	2,8E-04	1,0E-02	9,8E-03	1,3E-04
8	8,9E-02	7,2E-04	7,0E-04	1,3E-05	5,8E-04	4,3E-02	1,1E-02	2,2E-04
9	1,5E-01	1,9E-03	1,2E-03	2,2E-05	1,1E-03	3,9E-02	2,1E-02	2,6E-04
10	7,9E-01	6,2E-03	3,3E-03	6,1E-05	9,9E-03	5,8E-02	1,6E-02	7,2E-04
11	7,1E+00	1,1E-02	1,1E-03	2,0E-05	1,6E-02	2,5E-01	1,3E-02	1,8E-02
12	1,6E-01	3,3E-03	9,7E-04	1,8E-05	2,9E-03	7,2E-02	1,4E-02	1,0E-03
13	3,7E-01	3,7E-03	8,1E-04	1,5E-05	6,4E-03	4,1E-02	1,4E-02	1,7E-03
14	9,4E-02	5,7E-04	1,1E-03	2,1E-05	4,4E-04	1,7E-02	1,6E-02	2,1E-04
15	1,0E-01	2,3E-03	3,2E-03	5,8E-05	1,1E-03	7,7E-02	4,9E-02	5,6E-04
16	2,7E-01	3,0E-03	7,1E-04	1,3E-05	2,6E-03	9,0E-02	1,7E-02	2,2E-03
17	2,6E+01	4,9E-03	6,7E-03	1,2E-04	6,4E-03	1,4E+00	2,7E-02	5,4E-03
18	3,3E-01	3,6E-03	1,1E-03	1,9E-05	4,3E-03	1,2E-01	1,3E-02	9,1E-04
19	4,1E-01	2,1E-03	8,0E-04	1,5E-05	3,0E-03	2,0E-01	1,1E-02	7,2E-04
20	2,2E-01	3,4E-03	4,6E-03	8,4E-05	1,8E-03	1,7E-01	3,1E-02	9,2E-04

Tabella 7.21 Valori del rischio tossico per inalazione di polveri outdoor per scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,7E-06	5,9E-08	-	6,6E-10	-	3,0E-09	2,1E-07	-
2	7,2E-06	4,5E-07	-	1,4E-09	-	1,0E-08	3,0E-07	-
3	7,7E-06	7,4E-07	-	2,8E-09	-	9,0E-09	5,6E-07	-
4	2,0E-07	1,1E-08	-	7,4E-11	-	3,9E-10	2,1E-08	-
5	1,5E-07	9,7E-09	-	1,7E-10	-	4,9E-09	4,1E-08	-
6	1,8E-07	1,7E-08	-	1,9E-10	-	1,8E-09	5,5E-08	-
7	1,2E-06	1,5E-08	-	7,8E-10	-	1,5E-09	1,8E-07	-
8	1,2E-06	3,7E-08	-	7,8E-10	-	6,1E-09	2,0E-07	-
9	1,0E-05	4,9E-07	-	6,8E-09	-	2,9E-08	1,9E-06	-
10	5,5E-05	1,6E-06	-	1,9E-08	-	4,2E-08	1,5E-06	-
11	5,0E-05	2,9E-07	-	6,3E-10	-	1,8E-08	1,2E-07	-
12	3,3E-07	2,5E-08	-	1,6E-10	-	1,5E-09	3,7E-08	-
13	6,2E-07	2,3E-08	-	1,1E-10	-	7,2E-10	3,1E-08	-
14	3,6E-05	8,1E-07	-	3,5E-08	-	6,8E-08	8,2E-06	-
15	3,8E-05	3,3E-06	-	9,9E-08	-	3,0E-07	2,5E-05	-
16	1,7E-04	7,1E-06	-	3,6E-08	-	5,9E-07	1,4E-05	-
17	1,6E-02	1,1E-05	-	3,4E-07	-	8,9E-06	2,3E-05	-
18	2,3E-06	9,3E-08	-	6,1E-10	-	8,8E-09	1,2E-07	-
19	7,7E-07	1,5E-08	-	1,2E-10	-	3,9E-09	2,8E-08	-
20	4,1E-07	2,4E-08	-	7,0E-10	-	3,3E-09	7,7E-08	-

7.2.1.2 *Rischio cancerogeno*

Tabella 7.22 Valori del rischio cancerogeno per ingestione per scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,0E+00	4,9E-05	-	-	7,0E-08	-	-	-
2	2,0E+00	9,1E-05	-	-	6,4E-08	-	-	-
3	3,0E+00	9,7E-05	-	-	1,3E-07	-	-	-
4	4,0E+00	4,0E-05	-	-	5,4E-08	-	-	-
5	5,0E+00	2,9E-05	-	-	1,3E-07	-	-	-
6	6,0E+00	3,5E-05	-	-	1,4E-07	-	-	-
7	7,0E+00	3,5E-05	-	-	8,2E-08	-	-	-
8	8,0E+00	3,5E-05	-	-	8,3E-08	-	-	-
9	9,0E+00	5,8E-05	-	-	1,4E-07	-	-	-
10	1,0E+01	3,1E-04	-	-	4,0E-07	-	-	-
11	1,1E+01	2,8E-03	-	-	1,3E-07	-	-	-
12	1,2E+01	6,4E-05	-	-	1,2E-07	-	-	-
13	1,3E+01	1,5E-04	-	-	9,7E-08	-	-	-
14	1,4E+01	3,7E-05	-	-	1,4E-07	-	-	-
15	1,5E+01	3,9E-05	-	-	3,8E-07	-	-	-
16	1,6E+01	1,1E-04	-	-	8,5E-08	-	-	-
17	1,7E+01	1,0E-02	-	-	8,0E-07	-	-	-
18	1,8E+01	1,3E-04	-	-	1,3E-07	-	-	-
19	1,9E+01	1,6E-04	-	-	9,6E-08	-	-	-
20	2,0E+01	8,7E-05	-	-	5,5E-07	-	-	-

Tabella 7.23 Valori del rischio cancerogeno per contatto dermico per scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,0E+00	7,7E-06	-	-	2,2E-09	-	-	-
2	2,0E+00	1,4E-05	-	-	2,0E-09	-	-	-
3	3,0E+00	1,5E-05	-	-	4,1E-09	-	-	-
4	4,0E+00	6,3E-06	-	-	1,7E-09	-	-	-
5	5,0E+00	4,6E-06	-	-	4,0E-09	-	-	-
6	6,0E+00	5,5E-06	-	-	4,3E-09	-	-	-
7	7,0E+00	5,5E-06	-	-	2,6E-09	-	-	-
8	8,0E+00	5,5E-06	-	-	2,6E-09	-	-	-
9	9,0E+00	9,1E-06	-	-	4,5E-09	-	-	-
10	1,0E+01	4,9E-05	-	-	1,3E-08	-	-	-
11	1,1E+01	4,4E-04	-	-	4,2E-09	-	-	-
12	1,2E+01	1,0E-05	-	-	3,7E-09	-	-	-
13	1,3E+01	2,3E-05	-	-	3,1E-09	-	-	-
14	1,4E+01	5,8E-06	-	-	4,3E-09	-	-	-
15	1,5E+01	6,2E-06	-	-	1,2E-08	-	-	-
16	1,6E+01	1,7E-05	-	-	2,7E-09	-	-	-
17	1,7E+01	1,6E-03	-	-	2,5E-08	-	-	-
18	1,8E+01	2,1E-05	-	-	4,0E-09	-	-	-
19	1,9E+01	2,6E-05	-	-	3,0E-09	-	-	-
20	2,0E+01	1,4E-05	-	-	1,7E-08	-	-	-

Tabella 7.24 Valori del rischio cancerogeno per inalazioni di polveri outdoor per scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,0E+00	4,7E-11	4,6E-13	-	2,4E-12	-	-	1,5E-11
2	2,0E+00	2,0E-10	3,5E-12	-	4,9E-12	-	-	6,2E-11
3	3,0E+00	2,1E-10	5,7E-12	-	1,0E-11	-	-	9,7E-11
4	4,0E+00	5,6E-12	8,3E-14	-	2,7E-13	-	-	1,9E-12
5	5,0E+00	4,1E-12	7,5E-14	-	6,2E-13	-	-	2,4E-11
6	6,0E+00	4,9E-12	1,3E-13	-	6,7E-13	-	-	3,8E-12
7	7,0E+00	3,4E-11	1,1E-13	-	2,8E-12	-	-	8,8E-12
8	8,0E+00	3,4E-11	2,8E-13	-	2,8E-12	-	-	1,5E-11
9	9,0E+00	2,8E-10	3,8E-12	-	2,5E-11	-	-	9,2E-11
10	1,0E+01	1,5E-09	1,2E-11	-	6,9E-11	-	-	2,5E-10
11	1,1E+01	1,4E-09	2,2E-12	-	2,3E-12	-	-	6,2E-10
12	1,2E+01	9,0E-12	1,9E-13	-	5,7E-13	-	-	1,0E-11
13	1,3E+01	1,7E-11	1,8E-13	-	4,0E-13	-	-	1,4E-11
14	1,4E+01	9,8E-10	6,3E-12	-	1,3E-10	-	-	4,0E-10
15	1,5E+01	1,0E-09	2,5E-11	-	3,5E-10	-	-	1,1E-09
16	1,6E+01	4,6E-09	5,5E-11	-	1,3E-10	-	-	6,8E-09
17	1,7E+01	4,5E-07	8,8E-11	-	1,2E-09	-	-	1,7E-08
18	1,8E+01	6,4E-11	7,2E-13	-	2,2E-12	-	-	3,2E-11
19	1,9E+01	2,1E-11	1,2E-13	-	4,4E-13	-	-	6,7E-12
20	2,0E+01	1,1E-11	1,9E-13	-	2,5E-12	-	-	8,5E-12

7.2.2 Scenario ricreativo

7.2.2.1 Rischio tossico

Tabella 7.25 Valori del rischio tossico per ingestione per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,78E-01	4,38E-03	1,17E-04	1,64E-04	2,81E-02	2,19E-02	7,18E-03	7,06E-03
2	7,08E-01	1,48E-02	1,06E-04	1,48E-04	6,86E-02	3,29E-02	4,36E-03	1,73E-02
3	7,52E-01	2,41E-02	2,18E-04	3,06E-04	8,25E-02	2,92E-02	8,22E-03	2,02E-02
4	3,11E-01	5,48E-03	9,00E-05	1,26E-04	1,70E-02	2,01E-02	4,88E-03	6,06E-03
5	2,26E-01	4,93E-03	2,09E-04	2,93E-04	1,14E-02	2,48E-01	9,34E-03	6,79E-03
6	2,73E-01	8,77E-03	2,27E-04	3,18E-04	1,00E-02	9,13E-02	1,27E-02	8,40E-03
7	2,72E-01	1,10E-03	1,37E-04	1,92E-04	4,22E-03	1,10E-02	5,97E-03	2,18E-03
8	2,73E-01	2,74E-03	1,38E-04	1,94E-04	8,89E-03	4,57E-02	6,60E-03	3,34E-03
9	4,48E-01	7,12E-03	2,38E-04	3,33E-04	1,68E-02	4,20E-02	1,27E-02	7,40E-03
10	2,42E+00	2,36E-02	6,65E-04	9,34E-04	1,52E-01	6,21E-02	9,62E-03	2,00E-02
11	2,19E+01	4,27E-02	2,20E-04	3,08E-04	2,50E-01	2,67E-01	8,08E-03	6,37E-02
12	4,99E-01	1,26E-02	1,92E-04	2,70E-04	4,37E-02	7,67E-02	8,47E-03	1,43E-02
13	1,14E+00	1,42E-02	1,61E-04	2,26E-04	9,78E-02	4,38E-02	8,49E-03	2,44E-02
14	2,88E-01	2,19E-03	2,25E-04	3,16E-04	6,81E-03	1,83E-02	9,97E-03	4,01E-03
15	3,07E-01	8,77E-03	6,31E-04	8,86E-04	1,75E-02	8,22E-02	3,01E-02	2,44E-02
16	8,21E-01	1,15E-02	1,41E-04	1,98E-04	3,95E-02	9,68E-02	1,01E-02	1,46E-02
17	7,97E+01	1,86E-02	1,33E-03	1,87E-03	9,81E-02	1,45E+00	1,66E-02	2,13E-02
18	1,02E+00	1,37E-02	2,12E-04	2,98E-04	6,64E-02	1,30E-01	8,14E-03	1,41E-02
19	1,27E+00	8,22E-03	1,60E-04	2,24E-04	4,58E-02	2,16E-01	6,88E-03	1,25E-02
20	6,74E-01	1,32E-02	9,15E-04	1,28E-03	2,68E-02	1,83E-01	1,90E-02	1,13E-02

Tabella 7.26 Valori del rischio tossico per contatto per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,29E-02	4,91E-04	2,52E-04	4,60E-06	7,86E-04	8,77E-03	5,02E-03	9,59E-05
2	9,91E-02	1,66E-03	2,28E-04	4,15E-06	1,92E-03	1,32E-02	3,05E-03	1,70E-04
3	1,05E-01	2,70E-03	4,69E-04	8,56E-06	2,31E-03	1,17E-02	5,75E-03	2,63E-04
4	4,36E-02	6,14E-04	1,94E-04	3,54E-06	4,77E-04	8,04E-03	3,41E-03	7,96E-05
5	3,16E-02	5,52E-04	4,50E-04	8,21E-06	3,19E-04	9,94E-02	6,54E-03	1,04E-03
6	3,82E-02	9,82E-04	4,88E-04	8,91E-06	2,81E-04	3,65E-02	8,90E-03	1,61E-04
7	3,80E-02	1,23E-04	2,95E-04	5,38E-06	1,18E-04	4,38E-03	4,18E-03	5,49E-05
8	3,82E-02	3,07E-04	2,98E-04	5,44E-06	2,49E-04	1,83E-02	4,62E-03	9,32E-05
9	6,28E-02	7,98E-04	5,12E-04	9,34E-06	4,70E-04	1,68E-02	8,86E-03	1,12E-04
10	3,38E-01	2,64E-03	1,43E-03	2,61E-05	4,24E-03	2,48E-02	6,73E-03	3,10E-04
11	3,06E+00	4,79E-03	4,73E-04	8,63E-06	7,00E-03	1,07E-01	5,66E-03	7,68E-03
12	6,98E-02	1,41E-03	4,14E-04	7,56E-06	1,22E-03	3,07E-02	5,93E-03	4,28E-04
13	1,59E-01	1,60E-03	3,47E-04	6,33E-06	2,74E-03	1,75E-02	5,95E-03	7,08E-04
14	4,04E-02	2,45E-04	4,84E-04	8,84E-06	1,91E-04	7,31E-03	6,98E-03	8,95E-05
15	4,30E-02	9,82E-04	1,36E-03	2,48E-05	4,91E-04	3,29E-02	2,10E-02	2,41E-04
16	1,15E-01	1,29E-03	3,04E-04	5,54E-06	1,11E-03	3,87E-02	7,10E-03	9,31E-04
17	1,12E+01	2,09E-03	2,86E-03	5,23E-05	2,75E-03	5,81E-01	1,16E-02	2,33E-03
18	1,43E-01	1,53E-03	4,57E-04	8,33E-06	1,86E-03	5,19E-02	5,70E-03	3,90E-04
19	1,77E-01	9,21E-04	3,44E-04	6,27E-06	1,28E-03	8,62E-02	4,81E-03	3,10E-04
20	9,44E-02	1,47E-03	1,97E-03	3,60E-05	7,51E-04	7,31E-02	1,33E-02	3,92E-04

Tabella 7.27 Valori del rischio tossico per inalazione per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	6,03E-08	2,10E-09	-	2,36E-11	-	1,05E-10	7,64E-09	-
2	2,58E-07	1,62E-08	-	4,86E-11	-	3,59E-10	1,06E-08	-
3	2,74E-07	2,63E-08	-	1,00E-10	-	3,19E-10	1,99E-08	-
4	7,23E-09	3,82E-10	-	2,64E-12	-	1,40E-11	7,55E-10	-
5	5,25E-09	3,44E-10	-	6,13E-12	-	1,73E-10	1,45E-09	-
6	6,34E-09	6,11E-10	-	6,65E-12	-	6,37E-11	1,97E-09	-
7	4,34E-08	5,25E-10	-	2,76E-11	-	5,25E-11	6,36E-09	-
8	4,36E-08	1,31E-09	-	2,79E-11	-	2,19E-10	7,03E-09	-
9	3,63E-07	1,73E-08	-	2,43E-10	-	1,02E-09	6,84E-08	-
10	1,96E-06	5,73E-08	-	6,81E-10	-	1,51E-09	5,20E-08	-
11	1,77E-06	1,04E-08	-	2,24E-11	-	6,46E-10	4,35E-09	-
12	1,16E-08	8,79E-10	-	5,65E-12	-	5,35E-11	1,31E-09	-
13	2,21E-08	8,29E-10	-	3,95E-12	-	2,55E-11	1,10E-09	-
14	1,27E-06	2,89E-08	-	1,25E-09	-	2,41E-09	2,92E-07	-
15	1,35E-06	1,16E-07	-	3,51E-09	-	1,08E-08	8,81E-07	-
16	5,98E-06	2,51E-07	-	1,30E-09	-	2,11E-08	4,92E-07	-
17	5,80E-04	4,07E-07	-	1,22E-08	-	3,17E-07	8,05E-07	-
18	8,23E-08	3,32E-09	-	2,16E-11	-	3,14E-10	4,38E-09	-
19	2,74E-08	5,34E-10	-	4,36E-12	-	1,40E-10	9,92E-10	-
20	1,46E-08	8,54E-10	-	2,50E-11	-	1,19E-10	2,75E-09	-

7.2.2.2 *Rischio cancerogeno*

Tabella 7.28 Valori del rischio cancerogeno per ingestione per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,08E-05	-	-	3,02E-08	-	-	-	-
2	3,90E-05	-	-	2,72E-08	-	-	-	-
3	4,14E-05	-	-	5,62E-08	-	-	-	-
4	1,71E-05	-	-	2,32E-08	-	-	-	-
5	1,24E-05	-	-	5,38E-08	-	-	-	-
6	1,50E-05	-	-	5,84E-08	-	-	-	-
7	1,50E-05	-	-	3,53E-08	-	-	-	-
8	1,50E-05	-	-	3,57E-08	-	-	-	-
9	2,47E-05	-	-	6,12E-08	-	-	-	-
10	1,33E-04	-	-	1,72E-07	-	-	-	-
11	1,21E-03	-	-	5,66E-08	-	-	-	-
12	2,75E-05	-	-	4,96E-08	-	-	-	-
13	6,27E-05	-	-	4,15E-08	-	-	-	-
14	1,59E-05	-	-	5,80E-08	-	-	-	-
15	1,69E-05	-	-	1,63E-07	-	-	-	-
16	4,52E-05	-	-	3,64E-08	-	-	-	-
17	4,39E-03	-	-	3,43E-07	-	-	-	-
18	5,62E-05	-	-	5,47E-08	-	-	-	-
19	6,98E-05	-	-	4,11E-08	-	-	-	-
20	3,71E-05	-	-	2,36E-07	-	-	-	-

Tabella 7.29 Valori del rischio cancerogeno per inalazioni di polveri outdoor per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,29E-06	-	-	9,52E-10	-	-	-	-
2	6,16E-06	-	-	8,60E-10	-	-	-	-
3	6,54E-06	-	-	1,77E-09	-	-	-	-
4	2,71E-06	-	-	7,32E-10	-	-	-	-
5	1,96E-06	-	-	1,70E-09	-	-	-	-
6	2,37E-06	-	-	1,84E-09	-	-	-	-
7	2,36E-06	-	-	1,12E-09	-	-	-	-
8	2,37E-06	-	-	1,13E-09	-	-	-	-
9	3,90E-06	-	-	1,93E-09	-	-	-	-
10	2,10E-05	-	-	5,41E-09	-	-	-	-
11	1,90E-04	-	-	1,79E-09	-	-	-	-
12	4,34E-06	-	-	1,57E-09	-	-	-	-
13	9,89E-06	-	-	1,31E-09	-	-	-	-
14	2,51E-06	-	-	1,83E-09	-	-	-	-
15	2,67E-06	-	-	5,14E-09	-	-	-	-
16	7,14E-06	-	-	1,15E-09	-	-	-	-
17	6,93E-04	-	-	1,08E-08	-	-	-	-
18	8,86E-06	-	-	1,73E-09	-	-	-	-
19	1,10E-05	-	-	1,30E-09	-	-	-	-
20	5,86E-06	-	-	7,45E-09	-	-	-	-

Tabella 7.30 Valori del rischio cancerogeno per inalazioni di polveri outdoor per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER INALAZIONE DI POLVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,67E-12	1,62E-14	-	8,49E-14	-	-	5,48E-13	-
2	7,12E-12	1,25E-13	-	1,75E-13	-	-	2,21E-12	-
3	7,57E-12	2,03E-13	-	3,61E-13	-	-	3,43E-12	-
4	2,00E-13	2,95E-15	-	9,51E-15	-	-	6,62E-14	-
5	1,45E-13	2,65E-15	-	2,21E-14	-	-	8,63E-13	-
6	1,75E-13	4,71E-15	-	2,39E-14	-	-	1,34E-13	-
7	1,20E-12	4,05E-15	-	9,94E-14	-	-	3,14E-13	-
8	1,20E-12	1,01E-14	-	1,01E-13	-	-	5,33E-13	-
9	1,00E-11	1,34E-13	-	8,76E-13	-	-	3,26E-12	-
10	5,42E-11	4,42E-13	-	2,45E-12	-	-	9,00E-12	-
11	4,88E-11	7,99E-14	-	8,07E-14	-	-	2,22E-11	-
12	3,20E-13	6,78E-15	-	2,03E-14	-	-	3,56E-13	-
13	6,10E-13	6,39E-15	-	1,42E-14	-	-	4,92E-13	-
14	3,50E-11	2,23E-13	-	4,49E-12	-	-	1,41E-11	-
15	3,73E-11	8,92E-13	-	1,26E-11	-	-	3,79E-11	-
16	1,65E-10	1,94E-12	-	4,67E-12	-	-	2,43E-10	-
17	1,60E-08	3,14E-12	-	4,40E-11	-	-	6,07E-10	-
18	2,27E-12	2,56E-14	-	7,79E-14	-	-	1,13E-12	-
19	7,58E-13	4,12E-15	-	1,57E-14	-	-	2,40E-13	-
20	4,03E-13	6,59E-15	-	9,00E-14	-	-	3,04E-13	-

7.2.3 Scenario industriale

7.2.3.1 Rischio tossico

Tabella 7.31 Valori del rischio tossico per ingestione per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	6,48E-02	7,51E-04	2,00E-05	2,81E-05	4,81E-03	3,76E-03	1,23E-03	1,21E-03
2	1,21E-01	2,54E-03	1,81E-05	2,54E-05	1,18E-02	5,64E-03	7,47E-04	2,97E-03
3	1,29E-01	4,13E-03	3,73E-05	5,24E-05	1,41E-02	5,01E-03	1,41E-03	3,47E-03
4	5,34E-02	9,39E-04	1,54E-05	2,17E-05	2,92E-03	3,44E-03	8,36E-04	1,04E-03
5	3,87E-02	8,45E-04	3,58E-05	5,02E-05	1,95E-03	4,26E-02	1,60E-03	1,16E-03
6	4,68E-02	1,50E-03	3,88E-05	5,45E-05	1,72E-03	1,57E-02	2,18E-03	1,44E-03
7	4,66E-02	1,88E-04	2,35E-05	3,30E-05	7,23E-04	1,88E-03	1,02E-03	3,74E-04
8	4,68E-02	4,70E-04	2,37E-05	3,33E-05	1,52E-03	7,83E-03	1,13E-03	5,73E-04
9	7,68E-02	1,22E-03	4,07E-05	5,72E-05	2,88E-03	7,20E-03	2,17E-03	1,27E-03
10	4,14E-01	4,04E-03	1,14E-04	1,60E-04	2,60E-02	1,06E-02	1,65E-03	3,42E-03
11	3,75E+00	7,33E-03	3,77E-05	5,29E-05	4,28E-02	4,57E-02	1,39E-03	1,09E-02
12	8,55E-02	2,16E-03	3,30E-05	4,63E-05	7,49E-03	1,32E-02	1,45E-03	2,45E-03
13	1,95E-01	2,44E-03	2,76E-05	3,88E-05	1,68E-02	7,51E-03	1,46E-03	4,18E-03
14	4,94E-02	3,76E-04	3,85E-05	5,41E-05	1,17E-03	3,13E-03	1,71E-03	6,87E-04
15	5,26E-02	1,50E-03	1,08E-04	1,52E-04	3,01E-03	1,41E-02	5,15E-03	4,18E-03
16	1,41E-01	1,97E-03	2,42E-05	3,39E-05	6,77E-03	1,66E-02	1,74E-03	2,51E-03
17	1,37E+01	3,19E-03	2,28E-04	3,20E-04	1,68E-02	2,49E-01	2,84E-03	3,66E-03
18	1,75E-01	2,35E-03	3,63E-05	5,10E-05	1,14E-02	2,22E-02	1,39E-03	2,42E-03
19	2,17E-01	1,41E-03	2,74E-05	3,84E-05	7,85E-03	3,69E-02	1,18E-03	2,15E-03
20	1,16E-01	2,25E-03	1,57E-04	2,20E-04	4,60E-03	3,13E-02	3,26E-03	1,94E-03

Tabella 7.32 Valori del rischio tossico per contatto per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,14E-02	1,98E-04	1,02E-04	1,86E-06	3,17E-04	3,54E-03	9,48E-03	3,87E-05
2	4,00E-02	6,70E-04	9,19E-05	1,68E-06	7,76E-04	5,31E-03	5,75E-03	6,85E-05
3	4,25E-02	1,09E-03	1,90E-04	3,46E-06	9,34E-04	4,72E-03	1,08E-02	1,06E-04
4	1,76E-02	2,48E-04	7,83E-05	1,43E-06	1,93E-04	3,25E-03	6,44E-03	3,22E-05
5	1,28E-02	2,23E-04	1,82E-04	3,32E-06	1,29E-04	4,01E-02	1,23E-02	4,19E-04
6	1,54E-02	3,97E-04	1,97E-04	3,60E-06	1,14E-04	1,48E-02	1,68E-02	6,49E-05
7	1,54E-02	4,96E-05	1,19E-04	2,18E-06	4,77E-05	1,77E-03	7,88E-03	2,22E-05
8	1,54E-02	1,24E-04	1,20E-04	2,20E-06	1,01E-04	7,38E-03	8,72E-03	3,77E-05
9	2,54E-02	3,22E-04	2,07E-04	3,77E-06	1,90E-04	6,79E-03	1,67E-02	4,53E-05
10	1,37E-01	1,07E-03	5,79E-04	1,06E-05	1,71E-03	1,00E-02	1,27E-02	1,25E-04
11	1,24E+00	1,93E-03	1,91E-04	3,49E-06	2,83E-03	4,31E-02	1,07E-02	3,10E-03
12	2,82E-02	5,70E-04	1,67E-04	3,06E-06	4,95E-04	1,24E-02	1,12E-02	1,73E-04
13	6,44E-02	6,45E-04	1,40E-04	2,56E-06	1,11E-03	7,09E-03	1,12E-02	2,86E-04
14	1,63E-02	9,92E-05	1,96E-04	3,57E-06	7,70E-05	2,95E-03	1,32E-02	3,62E-05
15	1,74E-02	3,97E-04	5,49E-04	1,00E-05	1,99E-04	1,33E-02	3,97E-02	9,74E-05
16	4,64E-02	5,21E-04	1,23E-04	2,24E-06	4,47E-04	1,56E-02	1,34E-02	3,76E-04
17	4,51E+00	8,43E-04	1,16E-03	2,11E-05	1,11E-03	2,35E-01	2,19E-02	9,40E-04
18	5,77E-02	6,20E-04	1,85E-04	3,37E-06	7,52E-04	2,10E-02	1,07E-02	1,58E-04
19	7,17E-02	3,72E-04	1,39E-04	2,53E-06	5,18E-04	3,48E-02	9,08E-03	1,25E-04
20	3,81E-02	5,95E-04	7,96E-04	1,45E-05	3,03E-04	2,95E-02	2,51E-02	1,59E-04

Tabella 7.33 Valori del rischio tossico per inalazione per industriale ricreativo secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO HQ PER INALAZIONE DI PLOVERI OUTDOOR								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	3,84E-07	1,34E-08	-	1,50E-10	-	6,68E-10	4,86E-08	-
2	1,64E-06	1,03E-07	-	3,09E-10	-	2,28E-09	6,73E-08	-
3	1,74E-06	1,67E-07	-	6,37E-10	-	2,03E-09	1,27E-07	-
4	4,60E-08	2,43E-09	-	1,68E-11	-	8,91E-11	4,81E-09	-
5	3,34E-08	2,19E-09	-	3,90E-11	-	1,10E-09	9,21E-09	-
6	4,03E-08	3,89E-09	-	4,23E-11	-	4,05E-10	1,25E-08	-
7	2,76E-07	3,34E-09	-	1,76E-10	-	3,34E-10	4,04E-08	-
8	2,77E-07	8,35E-09	-	1,78E-10	-	1,39E-09	4,47E-08	-
9	2,31E-06	1,10E-07	-	1,55E-09	-	6,50E-09	4,35E-07	-
10	1,25E-05	3,64E-07	-	4,33E-09	-	9,61E-09	3,31E-07	-
11	1,12E-05	6,59E-08	-	1,43E-10	-	4,11E-09	2,77E-08	-
12	7,37E-08	5,59E-09	-	3,59E-11	-	3,40E-10	8,34E-09	-
13	1,40E-07	5,27E-09	-	2,51E-11	-	1,62E-10	6,99E-09	-
14	8,06E-06	1,84E-07	-	7,94E-09	-	1,53E-08	1,86E-06	-
15	8,58E-06	7,36E-07	-	2,23E-08	-	6,90E-08	5,60E-06	-
16	3,80E-05	1,60E-06	-	8,25E-09	-	1,35E-07	3,13E-06	-
17	3,69E-03	2,59E-06	-	7,78E-08	-	2,02E-06	5,12E-06	-
18	5,23E-07	2,11E-08	-	1,38E-10	-	2,00E-09	2,79E-08	-
19	1,74E-07	3,39E-09	-	2,77E-11	-	8,90E-10	6,31E-09	-
20	9,28E-08	5,43E-09	-	1,59E-10	-	7,54E-10	1,75E-08	-

7.2.3.2 *Rischio cancerogeno*

Tabella 7.34 Valori del rischio cancerogeno per ingestione per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER INGESTIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,67E-05	-	-	2,41E-08	-	-	-	-
2	3,12E-05	-	-	2,18E-08	-	-	-	-
3	3,31E-05	-	-	4,49E-08	-	-	-	-
4	1,37E-05	-	-	1,86E-08	-	-	-	-
5	9,95E-06	-	-	4,31E-08	-	-	-	-
6	1,20E-05	-	-	4,67E-08	-	-	-	-
7	1,20E-05	-	-	2,83E-08	-	-	-	-
8	1,20E-05	-	-	2,86E-08	-	-	-	-
9	1,98E-05	-	-	4,90E-08	-	-	-	-
10	1,07E-04	-	-	1,37E-07	-	-	-	-
11	9,65E-04	-	-	4,53E-08	-	-	-	-
12	2,20E-05	-	-	3,97E-08	-	-	-	-
13	5,01E-05	-	-	3,32E-08	-	-	-	-
14	1,27E-05	-	-	4,64E-08	-	-	-	-
15	1,35E-05	-	-	1,30E-07	-	-	-	-
16	3,62E-05	-	-	2,91E-08	-	-	-	-
17	3,51E-03	-	-	2,74E-07	-	-	-	-
18	4,49E-05	-	-	4,37E-08	-	-	-	-
19	5,58E-05	-	-	3,29E-08	-	-	-	-
20	2,97E-05	-	-	1,89E-07	-	-	-	-

Tabella 7.35 Valori del rischio cancerogeno per contatto dermico per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER CONTATTO DERMICO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,50E-06	-	-	1,59E-09	-	-	-	-
2	1,03E-05	-	-	1,44E-09	-	-	-	-
3	1,09E-05	-	-	2,97E-09	-	-	-	-
4	4,53E-06	-	-	1,23E-09	-	-	-	-
5	3,28E-06	-	-	2,84E-09	-	-	-	-
6	3,97E-06	-	-	3,08E-09	-	-	-	-
7	3,95E-06	-	-	1,86E-09	-	-	-	-
8	3,97E-06	-	-	1,88E-09	-	-	-	-
9	6,52E-06	-	-	3,23E-09	-	-	-	-
10	3,52E-05	-	-	9,06E-09	-	-	-	-
11	3,18E-04	-	-	2,99E-09	-	-	-	-
12	7,25E-06	-	-	2,62E-09	-	-	-	-
13	1,65E-05	-	-	2,19E-09	-	-	-	-
14	4,19E-06	-	-	3,06E-09	-	-	-	-
15	4,46E-06	-	-	8,60E-09	-	-	-	-
16	1,19E-05	-	-	1,92E-09	-	-	-	-
17	1,16E-03	-	-	1,81E-08	-	-	-	-
18	1,48E-05	-	-	2,89E-09	-	-	-	-
19	1,84E-05	-	-	2,17E-09	-	-	-	-
20	9,80E-06	-	-	1,25E-08	-	-	-	-

Tabella 7.36 Valori del rischio cancerogeno per inalazioni di polveri outdoor per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO R PER INALAZIONE								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,41E-11	1,37E-13	-	7,20E-13	-	-	4,65E-12	-
2	6,04E-11	1,06E-12	-	1,48E-12	-	-	1,88E-11	-
3	6,42E-11	1,72E-12	-	3,06E-12	-	-	2,91E-11	-
4	1,70E-12	2,50E-14	-	8,07E-14	-	-	5,62E-13	-
5	1,23E-12	2,25E-14	-	1,87E-13	-	-	7,32E-12	-
6	1,49E-12	4,00E-14	-	2,03E-13	-	-	1,13E-12	-
7	1,02E-11	3,43E-14	-	8,43E-13	-	-	2,66E-12	-
8	1,02E-11	8,58E-14	-	8,52E-13	-	-	4,52E-12	-
9	8,52E-11	1,13E-12	-	7,43E-12	-	-	2,76E-11	-
10	4,59E-10	3,75E-12	-	2,08E-11	-	-	7,63E-11	-
11	4,14E-10	6,77E-13	-	6,84E-13	-	-	1,88E-10	-
12	2,72E-12	5,75E-14	-	1,72E-13	-	-	3,02E-12	-
13	5,17E-12	5,42E-14	-	1,20E-13	-	-	4,17E-12	-
14	2,97E-10	1,89E-12	-	3,81E-11	-	-	1,20E-10	-
15	3,16E-10	7,57E-12	-	1,07E-10	-	-	3,22E-10	-
16	1,40E-09	1,64E-11	-	3,96E-11	-	-	2,06E-09	-
17	1,36E-07	2,66E-11	-	3,73E-10	-	-	5,14E-09	-
18	1,93E-11	2,17E-13	-	6,60E-13	-	-	9,57E-12	-
19	6,43E-12	3,49E-14	-	1,33E-13	-	-	2,03E-12	-
20	3,42E-12	5,59E-14	-	7,64E-13	-	-	2,58E-12	-

7.3 Rischio cumulativo tossico e cancerogeno secondo metodologia APAT

7.3.1 Scenario residenziale

Tabella 7.37 Valori di rischio tossico cumulativo per scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,0E+00	1,1E-02	8,6E-04	3,9E-04	6,7E-02	7,2E-02	2,8E-02	1,7E-02
2	1,9E+00	3,8E-02	7,8E-04	3,6E-04	1,6E-01	1,1E-01	1,7E-02	4,2E-02
3	2,0E+00	6,3E-02	1,6E-03	7,3E-04	2,0E-01	9,5E-02	3,3E-02	4,9E-02
4	8,3E-01	1,4E-02	6,6E-04	3,0E-04	4,1E-02	6,6E-02	1,9E-02	1,5E-02
5	6,0E-01	1,3E-02	1,5E-03	7,0E-04	2,7E-02	8,1E-01	3,7E-02	1,6E-02
6	7,3E-01	2,3E-02	1,7E-03	7,6E-04	2,4E-02	3,0E-01	5,0E-02	2,0E-02
7	7,2E-01	2,8E-03	1,0E-03	4,6E-04	1,0E-02	3,6E-02	2,4E-02	5,2E-03
8	7,3E-01	7,1E-03	1,0E-03	4,7E-04	2,1E-02	1,5E-01	2,6E-02	8,0E-03
9	1,2E+00	1,8E-02	1,7E-03	8,0E-04	4,0E-02	1,4E-01	5,0E-02	1,8E-02
10	6,4E+00	6,1E-02	4,9E-03	2,2E-03	3,6E-01	2,0E-01	3,8E-02	4,8E-02
11	5,8E+01	1,1E-01	1,6E-03	7,4E-04	6,0E-01	8,7E-01	3,2E-02	1,5E-01
12	1,3E+00	3,3E-02	1,4E-03	6,5E-04	1,0E-01	2,5E-01	3,4E-02	3,4E-02
13	3,0E+00	3,7E-02	1,2E-03	5,4E-04	2,3E-01	1,4E-01	3,4E-02	5,8E-02
14	7,7E-01	5,7E-03	1,7E-03	7,6E-04	1,6E-02	6,0E-02	4,0E-02	9,6E-03
15	8,2E-01	2,3E-02	4,6E-03	2,1E-03	4,2E-02	2,7E-01	1,2E-01	5,9E-02
16	2,2E+00	3,0E-02	1,0E-03	4,7E-04	9,5E-02	3,2E-01	4,0E-02	3,5E-02
17	2,1E+02	4,8E-02	9,8E-03	4,5E-03	2,4E-01	4,7E+00	6,6E-02	5,1E-02
18	2,7E+00	3,6E-02	1,6E-03	7,1E-04	1,6E-01	4,2E-01	3,2E-02	3,4E-02
19	3,4E+00	2,1E-02	1,2E-03	5,4E-04	1,1E-01	7,0E-01	2,7E-02	3,0E-02
20	1,8E+00	3,4E-02	6,7E-03	3,1E-03	6,4E-02	6,0E-01	7,6E-02	2,7E-02

Tabella 7.38 Valori del rischio cancerogeno cumulativo per scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,6E-05	3,3E-13	-	5,8E-07	-	-	1,6E-12	-
2	1,1E-04	2,6E-12	-	5,2E-07	-	-	2,2E-12	-
3	1,1E-04	4,2E-12	-	1,1E-06	-	-	4,1E-12	-
4	4,6E-05	6,1E-14	-	4,4E-07	-	-	1,6E-13	-
5	3,4E-05	5,5E-14	-	1,0E-06	-	-	3,0E-13	-
6	4,1E-05	9,7E-14	-	1,1E-06	-	-	4,1E-13	-
7	4,0E-05	8,3E-14	-	6,8E-07	-	-	1,3E-12	-
8	4,1E-05	2,1E-13	-	6,8E-07	-	-	1,4E-12	-
9	6,7E-05	2,7E-12	-	1,2E-06	-	-	1,4E-11	-
10	3,6E-04	9,1E-12	-	3,3E-06	-	-	1,1E-11	-
11	3,3E-03	1,6E-12	-	1,1E-06	-	-	9,0E-13	-
12	7,4E-05	1,4E-13	-	9,5E-07	-	-	2,7E-13	-
13	1,7E-04	1,3E-13	-	7,9E-07	-	-	2,3E-13	-
14	4,3E-05	4,6E-12	-	1,1E-06	-	-	6,0E-11	-
15	4,6E-05	1,8E-11	-	3,1E-06	-	-	1,8E-10	-
16	1,2E-04	4,0E-11	-	7,0E-07	-	-	1,0E-10	-
17	1,2E-02	6,5E-11	-	6,6E-06	-	-	1,7E-10	-
18	1,5E-04	5,3E-13	-	1,0E-06	-	-	9,0E-13	-
19	1,9E-04	8,5E-14	-	7,9E-07	-	-	2,0E-13	-
20	1,0E-04	1,4E-13	-	4,5E-06	-	-	5,7E-13	-

7.3.2 Scenario ricreativo

Tabella 7.39 Valori di rischio tossico cumulativo per scenario ricreativo secondo APAT

	RISCHIO TOSSICO CUMULATIVO							
	ARSENICO	CADMIO	CROMO (III)	CROMO (VI)	RAME	MERCURIO	NICHEL	ZINCO
1	1,0E+00	1,1E-02	8,6E-04	3,9E-04	6,7E-02	7,2E-02	2,8E-02	8,2E-03
2	1,9E+00	3,8E-02	7,8E-04	3,6E-04	1,6E-01	1,1E-01	1,7E-02	1,5E-02
3	2,0E+00	6,3E-02	1,6E-03	7,3E-04	2,0E-01	9,5E-02	3,3E-02	2,3E-02
4	8,3E-01	1,4E-02	6,6E-04	3,0E-04	4,1E-02	6,6E-02	1,9E-02	6,8E-03
5	6,0E-01	1,3E-02	1,5E-03	7,0E-04	2,7E-02	8,1E-01	3,7E-02	8,9E-02
6	7,3E-01	2,3E-02	1,7E-03	7,6E-04	2,4E-02	3,0E-01	5,0E-02	1,4E-02
7	7,2E-01	2,8E-03	1,0E-03	4,6E-04	1,0E-02	3,6E-02	2,4E-02	4,7E-03
8	7,3E-01	7,1E-03	1,0E-03	4,7E-04	2,1E-02	1,5E-01	2,6E-02	8,0E-03
9	1,2E+00	1,8E-02	1,7E-03	8,0E-04	4,0E-02	1,4E-01	5,0E-02	9,6E-03
10	6,4E+00	6,1E-02	4,9E-03	2,2E-03	3,6E-01	2,0E-01	3,8E-02	2,7E-02
11	5,8E+01	1,1E-01	1,6E-03	7,4E-04	6,0E-01	8,7E-01	3,2E-02	6,6E-01
12	1,3E+00	3,3E-02	1,4E-03	6,5E-04	1,0E-01	2,5E-01	3,4E-02	3,7E-02
13	3,0E+00	3,7E-02	1,2E-03	5,4E-04	2,3E-01	1,4E-01	3,4E-02	6,1E-02
14	7,7E-01	5,7E-03	1,7E-03	7,6E-04	1,6E-02	6,0E-02	4,0E-02	7,7E-03
15	8,2E-01	2,3E-02	4,6E-03	2,1E-03	4,2E-02	2,7E-01	1,2E-01	2,1E-02
16	2,2E+00	3,0E-02	1,0E-03	4,7E-04	9,5E-02	3,2E-01	4,0E-02	8,0E-02
17	2,1E+02	4,8E-02	9,8E-03	4,5E-03	2,4E-01	4,7E+00	6,6E-02	2,0E-01
18	2,7E+00	3,6E-02	1,6E-03	7,1E-04	1,6E-01	4,2E-01	3,2E-02	3,3E-02
19	3,4E+00	2,1E-02	1,2E-03	5,4E-04	1,1E-01	7,0E-01	2,7E-02	2,7E-02
20	1,8E+00	3,4E-02	6,7E-03	3,1E-03	6,4E-02	6,0E-01	7,6E-02	3,4E-02

Tabella 7.40 Valori del rischio cancerogeno cumulativo per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,6E-05	8,5E-14	-	5,9E-07	-	-	4,0E-13	-
2	1,1E-04	6,5E-13	-	5,3E-07	-	-	5,5E-13	-
3	1,1E-04	1,1E-12	-	1,1E-06	-	-	1,0E-12	-
4	4,6E-05	1,5E-14	-	4,5E-07	-	-	4,0E-14	-
5	3,4E-05	1,4E-14	-	1,1E-06	-	-	7,6E-14	-
6	4,1E-05	2,5E-14	-	1,1E-06	-	-	1,0E-13	-
7	4,0E-05	2,1E-14	-	6,9E-07	-	-	3,3E-13	-
8	4,1E-05	5,3E-14	-	7,0E-07	-	-	3,7E-13	-
9	6,7E-05	7,0E-13	-	1,2E-06	-	-	3,6E-12	-
10	3,6E-04	2,3E-12	-	3,4E-06	-	-	2,7E-12	-
11	3,3E-03	4,2E-13	-	1,1E-06	-	-	2,3E-13	-
12	7,4E-05	3,5E-14	-	9,7E-07	-	-	6,9E-14	-
13	1,7E-04	3,3E-14	-	8,1E-07	-	-	5,7E-14	-
14	4,3E-05	1,2E-12	-	1,1E-06	-	-	1,5E-11	-
15	4,6E-05	4,7E-12	-	3,2E-06	-	-	4,6E-11	-
16	1,2E-04	1,0E-11	-	7,1E-07	-	-	2,6E-11	-
17	1,2E-02	1,6E-11	-	6,7E-06	-	-	4,2E-11	-
18	1,5E-04	1,3E-13	-	1,1E-06	-	-	2,3E-13	-
19	1,9E-04	2,1E-14	-	8,1E-07	-	-	5,2E-14	-
20	1,0E-04	3,4E-14	-	4,6E-06	-	-	1,4E-13	-

7.3.3 Scenario industriale

Tabella 7.41 Valori di rischio tossico cumulativo per scenario industriale secondo APAT

RISCHIO TOSSICO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,6E-02	6,0E-04	1,2E-04	1,7E-05	2,8E-03	5,6E-03	2,8E-03	3,5E-04
2	1,0E-01	2,0E-03	1,1E-04	1,5E-05	6,9E-03	8,5E-03	1,7E-03	6,1E-04
3	1,1E-01	3,3E-03	2,2E-04	3,1E-05	8,3E-03	7,5E-03	3,2E-03	9,5E-04
4	4,6E-02	7,5E-04	9,0E-05	1,3E-05	1,7E-03	5,2E-03	1,9E-03	2,9E-04
5	3,3E-02	6,7E-04	2,1E-04	3,0E-05	1,2E-03	6,4E-02	3,6E-03	3,7E-03
6	4,0E-02	1,2E-03	2,3E-04	3,2E-05	1,0E-03	2,4E-02	4,9E-03	5,8E-04
7	4,0E-02	1,5E-04	1,4E-04	1,9E-05	4,3E-04	2,8E-03	2,3E-03	2,0E-04
8	4,0E-02	3,7E-04	1,4E-04	2,0E-05	9,0E-04	1,2E-02	2,5E-03	3,4E-04
9	6,6E-02	9,7E-04	2,4E-04	3,4E-05	1,7E-03	1,1E-02	4,9E-03	4,1E-04
10	3,6E-01	3,2E-03	6,6E-04	9,4E-05	1,5E-02	1,6E-02	3,7E-03	1,1E-03
11	3,2E+00	5,8E-03	2,2E-04	3,1E-05	2,5E-02	6,9E-02	3,1E-03	2,8E-02
12	7,4E-02	1,7E-03	1,9E-04	2,7E-05	4,4E-03	2,0E-02	3,3E-03	1,5E-03
13	1,7E-01	1,9E-03	1,6E-04	2,3E-05	9,9E-03	1,1E-02	3,3E-03	2,6E-03
14	4,3E-02	3,0E-04	2,2E-04	3,2E-05	6,9E-04	4,7E-03	3,8E-03	3,2E-04
15	4,5E-02	1,2E-03	6,3E-04	9,0E-05	1,8E-03	2,1E-02	1,2E-02	8,7E-04
16	1,2E-01	1,6E-03	1,4E-04	2,0E-05	4,0E-03	2,5E-02	3,9E-03	3,4E-03
17	1,2E+01	2,5E-03	1,3E-03	1,9E-04	9,9E-03	3,7E-01	6,4E-03	8,4E-03
18	1,5E-01	1,9E-03	2,1E-04	3,0E-05	6,7E-03	3,3E-02	3,1E-03	1,4E-03
19	1,9E-01	1,1E-03	1,6E-04	2,3E-05	4,6E-03	5,6E-02	2,6E-03	1,1E-03
20	1,0E-01	1,8E-03	9,1E-04	1,3E-04	2,7E-03	4,7E-02	7,3E-03	1,4E-03

Tabella 7.42 Valori del rischio cancerogeno cumulativo per scenario residenziale

RISCHIO CANCEROGENO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	9,0E-06	4,6E-14	-	2,5E-08	-	-	2,2E-13	-
2	1,7E-05	3,6E-13	-	2,2E-08	-	-	3,0E-13	-
3	1,8E-05	5,8E-13	-	4,6E-08	-	-	5,7E-13	-
4	7,4E-06	8,5E-15	-	1,9E-08	-	-	2,2E-14	-
5	5,4E-06	7,6E-15	-	4,4E-08	-	-	4,2E-14	-
6	6,5E-06	1,4E-14	-	4,8E-08	-	-	5,7E-14	-
7	6,5E-06	1,2E-14	-	2,9E-08	-	-	1,8E-13	-
8	6,5E-06	2,9E-14	-	2,9E-08	-	-	2,0E-13	-
9	1,1E-05	3,8E-13	-	5,1E-08	-	-	2,0E-12	-
10	5,8E-05	1,3E-12	-	1,4E-07	-	-	1,5E-12	-
11	5,2E-04	2,3E-13	-	4,7E-08	-	-	1,3E-13	-
12	1,2E-05	1,9E-14	-	4,1E-08	-	-	3,8E-14	-
13	2,7E-05	1,8E-14	-	3,4E-08	-	-	3,2E-14	-
14	6,9E-06	6,4E-13	-	4,8E-08	-	-	8,4E-12	-
15	7,3E-06	2,6E-12	-	1,3E-07	-	-	2,5E-11	-
16	2,0E-05	5,6E-12	-	3,0E-08	-	-	1,4E-11	-
17	1,9E-03	9,0E-12	-	2,8E-07	-	-	2,3E-11	-
18	2,4E-05	7,3E-14	-	4,5E-08	-	-	1,3E-13	-
19	3,0E-05	1,2E-14	-	3,4E-08	-	-	2,9E-14	-
20	1,6E-05	1,9E-14	-	1,9E-07	-	-	7,9E-14	-

7.4 Rischio cumulativo tossico e cancerogeno secondo metodologia US EPA

7.4.1 Scenario residenziale

Tabella 7.43 Valori di rischio tossico cumulativo per scenario residenziale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	1,0E+00	1,1E-02	8,6E-04	3,9E-04	6,7E-02	7,2E-02	2,8E-02	1,7E-02
2	1,9E+00	3,8E-02	7,8E-04	3,6E-04	1,6E-01	1,1E-01	1,7E-02	4,1E-02
3	2,0E+00	6,3E-02	1,6E-03	7,3E-04	2,0E-01	9,5E-02	3,3E-02	4,8E-02
4	8,3E-01	1,4E-02	6,6E-04	3,0E-04	4,1E-02	6,6E-02	1,9E-02	1,4E-02
5	6,0E-01	1,3E-02	1,5E-03	7,0E-04	2,7E-02	8,1E-01	3,7E-02	1,8E-02
6	7,3E-01	2,3E-02	1,7E-03	7,6E-04	2,4E-02	3,0E-01	5,0E-02	2,0E-02
7	7,2E-01	2,8E-03	1,0E-03	4,6E-04	1,0E-02	3,6E-02	2,4E-02	5,2E-03
8	7,3E-01	7,1E-03	1,0E-03	4,7E-04	2,1E-02	1,5E-01	2,6E-02	8,0E-03
9	1,2E+00	1,8E-02	1,7E-03	8,0E-04	4,0E-02	1,4E-01	5,0E-02	1,8E-02
10	6,4E+00	6,1E-02	4,9E-03	2,2E-03	3,6E-01	2,0E-01	3,8E-02	4,7E-02
11	5,8E+01	1,1E-01	1,6E-03	7,4E-04	6,0E-01	8,7E-01	3,2E-02	1,7E-01
12	1,3E+00	3,3E-02	1,4E-03	6,5E-04	1,0E-01	2,5E-01	3,4E-02	3,4E-02
13	3,0E+00	3,7E-02	1,2E-03	5,4E-04	2,3E-01	1,4E-01	3,4E-02	5,9E-02
14	7,7E-01	5,7E-03	1,7E-03	7,6E-04	1,6E-02	6,0E-02	4,0E-02	9,6E-03
15	8,2E-01	2,3E-02	4,6E-03	2,1E-03	4,2E-02	2,7E-01	1,2E-01	5,8E-02
16	2,2E+00	3,0E-02	1,0E-03	4,7E-04	9,5E-02	3,2E-01	4,0E-02	3,6E-02
17	2,1E+02	4,8E-02	9,8E-03	4,5E-03	2,4E-01	4,7E+00	6,6E-02	5,5E-02
18	2,7E+00	3,6E-02	1,6E-03	7,1E-04	1,6E-01	4,2E-01	3,2E-02	3,4E-02
19	3,4E+00	2,1E-02	1,2E-03	5,4E-04	1,1E-01	7,0E-01	2,7E-02	3,0E-02
20	1,8E+00	3,4E-02	6,7E-03	3,1E-03	6,4E-02	6,0E-01	7,6E-02	2,7E-02

Tabella 7.44 Valori del rischio cancerogeno cumulativo per scenario residenziale secondo APAT

RISCHIO CANCEROGENO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	5,6E-05	4,6E-13	-	7,3E-08	-	-	1,5E-11	-
2	1,1E-04	3,5E-12	-	6,6E-08	-	-	6,2E-11	-
3	1,1E-04	5,7E-12	-	1,4E-07	-	-	9,7E-11	-
4	4,6E-05	8,3E-14	-	5,6E-08	-	-	1,9E-12	-
5	3,4E-05	7,5E-14	-	1,3E-07	-	-	2,4E-11	-
6	4,1E-05	1,3E-13	-	1,4E-07	-	-	3,8E-12	-
7	4,0E-05	1,1E-13	-	8,5E-08	-	-	8,8E-12	-
8	4,1E-05	2,8E-13	-	8,6E-08	-	-	1,5E-11	-
9	6,7E-05	3,8E-12	-	1,5E-07	-	-	9,2E-11	-
10	3,6E-04	1,2E-11	-	4,1E-07	-	-	2,5E-10	-
11	3,3E-03	2,2E-12	-	1,4E-07	-	-	6,2E-10	-
12	7,4E-05	1,9E-13	-	1,2E-07	-	-	1,0E-11	-
13	1,7E-04	1,8E-13	-	1,0E-07	-	-	1,4E-11	-
14	4,3E-05	6,3E-12	-	1,4E-07	-	-	4,0E-10	-
15	4,6E-05	2,5E-11	-	3,9E-07	-	-	1,1E-09	-
16	1,2E-04	5,5E-11	-	8,8E-08	-	-	6,8E-09	-
17	1,2E-02	8,8E-11	-	8,3E-07	-	-	1,7E-08	-
18	1,5E-04	7,2E-13	-	1,3E-07	-	-	3,2E-11	-
19	1,9E-04	1,2E-13	-	9,9E-08	-	-	6,7E-12	-
20	1,0E-04	1,9E-13	-	5,7E-07	-	-	8,5E-12	-

7.4.2 Scenario ricreativo

Tabella 7.45 Valori di rischio tossico cumulativo per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	4,3E-01	4,9E-03	3,7E-04	1,7E-04	2,9E-02	3,1E-02	1,2E-02	7,2E-03
2	8,1E-01	1,6E-02	3,3E-04	1,5E-04	7,1E-02	4,6E-02	7,4E-03	1,8E-02
3	8,6E-01	2,7E-02	6,9E-04	3,1E-04	8,5E-02	4,1E-02	1,4E-02	2,1E-02
4	3,5E-01	6,1E-03	2,8E-04	1,3E-04	1,8E-02	2,8E-02	8,3E-03	6,1E-03
5	2,6E-01	5,5E-03	6,6E-04	3,0E-04	1,2E-02	3,5E-01	1,6E-02	7,8E-03
6	3,1E-01	9,7E-03	7,1E-04	3,3E-04	1,0E-02	1,3E-01	2,2E-02	8,6E-03
7	3,1E-01	1,2E-03	4,3E-04	2,0E-04	4,3E-03	1,5E-02	1,0E-02	2,2E-03
8	3,1E-01	3,0E-03	4,4E-04	2,0E-04	9,1E-03	6,4E-02	1,1E-02	3,4E-03
9	5,1E-01	7,9E-03	7,5E-04	3,4E-04	1,7E-02	5,9E-02	2,2E-02	7,5E-03
10	2,8E+00	2,6E-02	2,1E-03	9,6E-04	1,6E-01	8,7E-02	1,6E-02	2,0E-02
11	2,5E+01	4,8E-02	6,9E-04	3,2E-04	2,6E-01	3,7E-01	1,4E-02	7,1E-02
12	5,7E-01	1,4E-02	6,1E-04	2,8E-04	4,5E-02	1,1E-01	1,4E-02	1,5E-02
13	1,3E+00	1,6E-02	5,1E-04	2,3E-04	1,0E-01	6,1E-02	1,4E-02	2,5E-02
14	3,3E-01	2,4E-03	7,1E-04	3,2E-04	7,0E-03	2,6E-02	1,7E-02	4,1E-03
15	3,5E-01	9,7E-03	2,0E-03	9,1E-04	1,8E-02	1,2E-01	5,1E-02	2,5E-02
16	9,4E-01	1,3E-02	4,4E-04	2,0E-04	4,1E-02	1,4E-01	1,7E-02	1,6E-02
17	9,1E+01	2,1E-02	4,2E-03	1,9E-03	1,0E-01	2,0E+00	2,8E-02	2,4E-02
18	1,2E+00	1,5E-02	6,7E-04	3,1E-04	6,8E-02	1,8E-01	1,4E-02	1,5E-02
19	1,4E+00	9,1E-03	5,0E-04	2,3E-04	4,7E-02	3,0E-01	1,2E-02	1,3E-02
20	7,7E-01	1,5E-02	2,9E-03	1,3E-03	2,8E-02	2,6E-01	3,2E-02	1,2E-02

Tabella 7.46 Valori del rischio cancerogeno cumulativo per scenario ricreativo secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,4E-05	1,6E-14	-	3,1E-08	-	-	5,5E-13	-
2	4,5E-05	1,2E-13	-	2,8E-08	-	-	2,2E-12	-
3	4,8E-05	2,0E-13	-	5,8E-08	-	-	3,4E-12	-
4	2,0E-05	2,9E-15	-	2,4E-08	-	-	6,6E-14	-
5	1,4E-05	2,7E-15	-	5,6E-08	-	-	8,6E-13	-
6	1,7E-05	4,7E-15	-	6,0E-08	-	-	1,3E-13	-
7	1,7E-05	4,0E-15	-	3,6E-08	-	-	3,1E-13	-
8	1,7E-05	1,0E-14	-	3,7E-08	-	-	5,3E-13	-
9	2,9E-05	1,3E-13	-	6,3E-08	-	-	3,3E-12	-
10	1,5E-04	4,4E-13	-	1,8E-07	-	-	9,0E-12	-
11	1,4E-03	8,0E-14	-	5,8E-08	-	-	2,2E-11	-
12	3,2E-05	6,8E-15	-	5,1E-08	-	-	3,6E-13	-
13	7,3E-05	6,4E-15	-	4,3E-08	-	-	4,9E-13	-
14	1,8E-05	2,2E-13	-	6,0E-08	-	-	1,4E-11	-
15	2,0E-05	8,9E-13	-	1,7E-07	-	-	3,8E-11	-
16	5,2E-05	1,9E-12	-	3,8E-08	-	-	2,4E-10	-
17	5,1E-03	3,1E-12	-	3,5E-07	-	-	6,1E-10	-
18	6,5E-05	2,6E-14	-	5,6E-08	-	-	1,1E-12	-
19	8,1E-05	4,1E-15	-	4,2E-08	-	-	2,4E-13	-
20	4,3E-05	6,6E-15	-	2,4E-07	-	-	3,0E-13	-

7.4.3 Scenario industriale

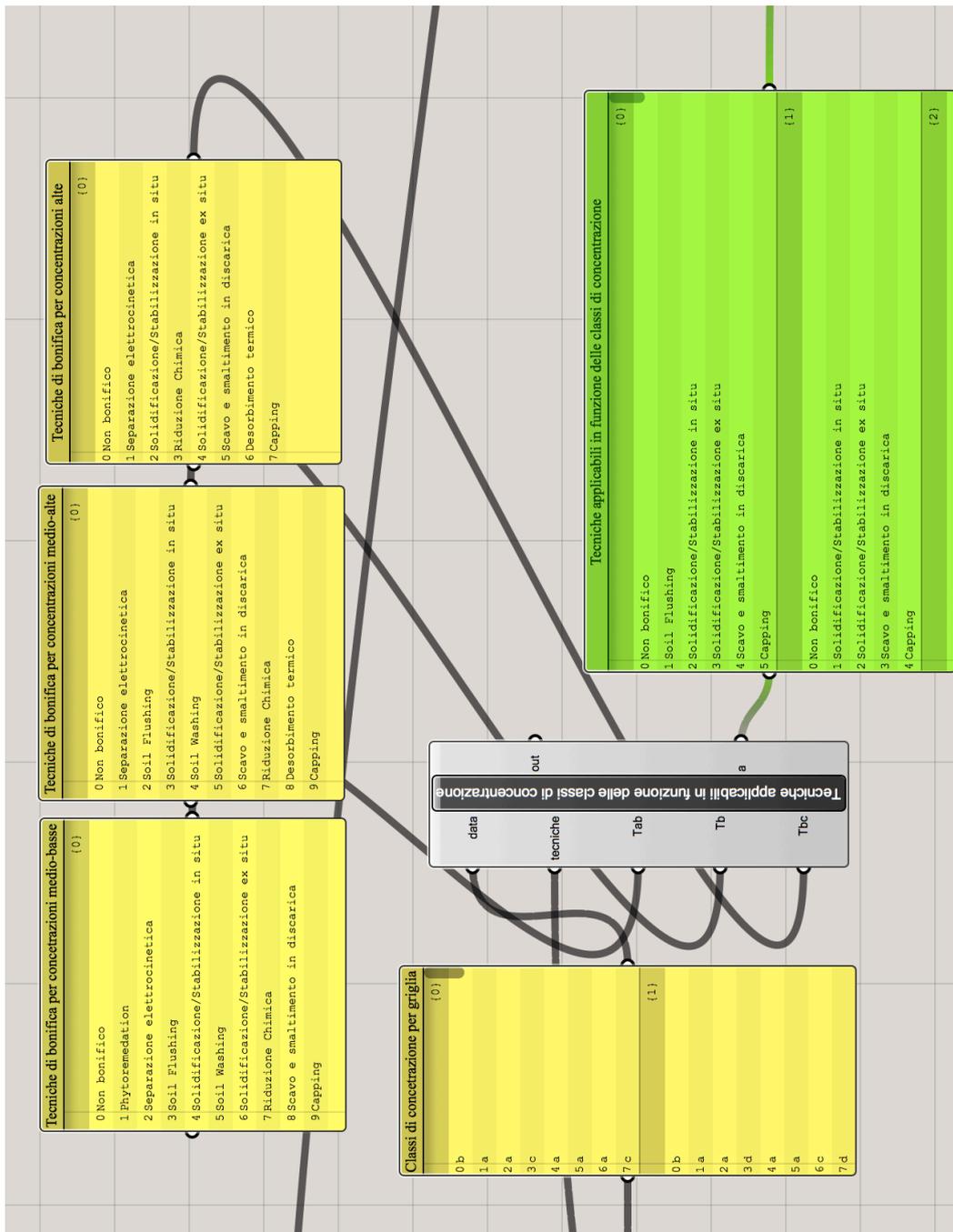
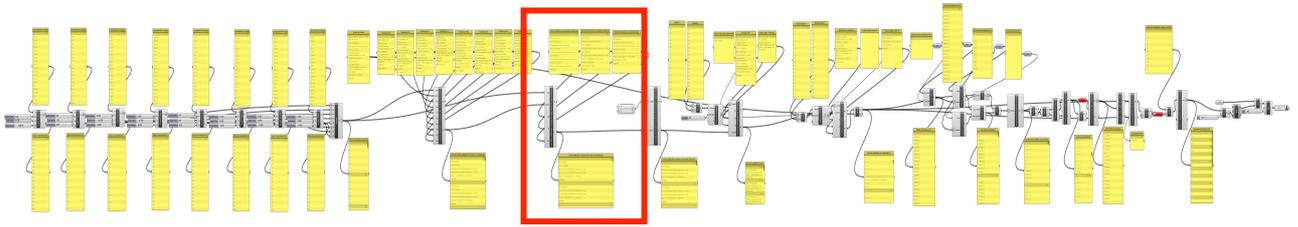
Tabella 7.47 Valori di rischio tossico cumulativo per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO TOSSICO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	8,6E-02	9,5E-04	1,2E-04	3,0E-05	5,1E-03	7,3E-03	1,1E-02	1,2E-03
2	1,6E-01	3,2E-03	1,1E-04	2,7E-05	1,3E-02	1,1E-02	6,5E-03	3,0E-03
3	1,7E-01	5,2E-03	2,3E-04	5,6E-05	1,5E-02	9,7E-03	1,2E-02	3,6E-03
4	7,1E-02	1,2E-03	9,4E-05	2,3E-05	3,1E-03	6,7E-03	7,3E-03	1,1E-03
5	5,1E-02	1,1E-03	2,2E-04	5,4E-05	2,1E-03	8,3E-02	1,4E-02	1,6E-03
6	6,2E-02	1,9E-03	2,4E-04	5,8E-05	1,8E-03	3,0E-02	1,9E-02	1,5E-03
7	6,2E-02	2,4E-04	1,4E-04	3,5E-05	7,7E-04	3,6E-03	8,9E-03	4,0E-04
8	6,2E-02	5,9E-04	1,4E-04	3,6E-05	1,6E-03	1,5E-02	9,8E-03	6,1E-04
9	1,0E-01	1,5E-03	2,5E-04	6,1E-05	3,1E-03	1,4E-02	1,9E-02	1,3E-03
10	5,5E-01	5,1E-03	6,9E-04	1,7E-04	2,8E-02	2,1E-02	1,4E-02	3,5E-03
11	5,0E+00	9,3E-03	2,3E-04	5,6E-05	4,6E-02	8,9E-02	1,2E-02	1,4E-02
12	1,1E-01	2,7E-03	2,0E-04	4,9E-05	8,0E-03	2,6E-02	1,3E-02	2,6E-03
13	2,6E-01	3,1E-03	1,7E-04	4,1E-05	1,8E-02	1,5E-02	1,3E-02	4,5E-03
14	6,6E-02	4,8E-04	2,3E-04	5,8E-05	1,2E-03	6,1E-03	1,5E-02	7,2E-04
15	7,0E-02	1,9E-03	6,6E-04	1,6E-04	3,2E-03	2,7E-02	4,5E-02	4,3E-03
16	1,9E-01	2,5E-03	1,5E-04	3,6E-05	7,2E-03	3,2E-02	1,5E-02	2,9E-03
17	1,8E+01	4,0E-03	1,4E-03	3,4E-04	1,8E-02	4,8E-01	2,5E-02	4,6E-03
18	2,3E-01	3,0E-03	2,2E-04	5,4E-05	1,2E-02	4,3E-02	1,2E-02	2,6E-03
19	2,9E-01	1,8E-03	1,7E-04	4,1E-05	8,4E-03	7,2E-02	1,0E-02	2,3E-03
20	1,5E-01	2,8E-03	9,5E-04	2,3E-04	4,9E-03	6,1E-02	2,8E-02	2,1E-03

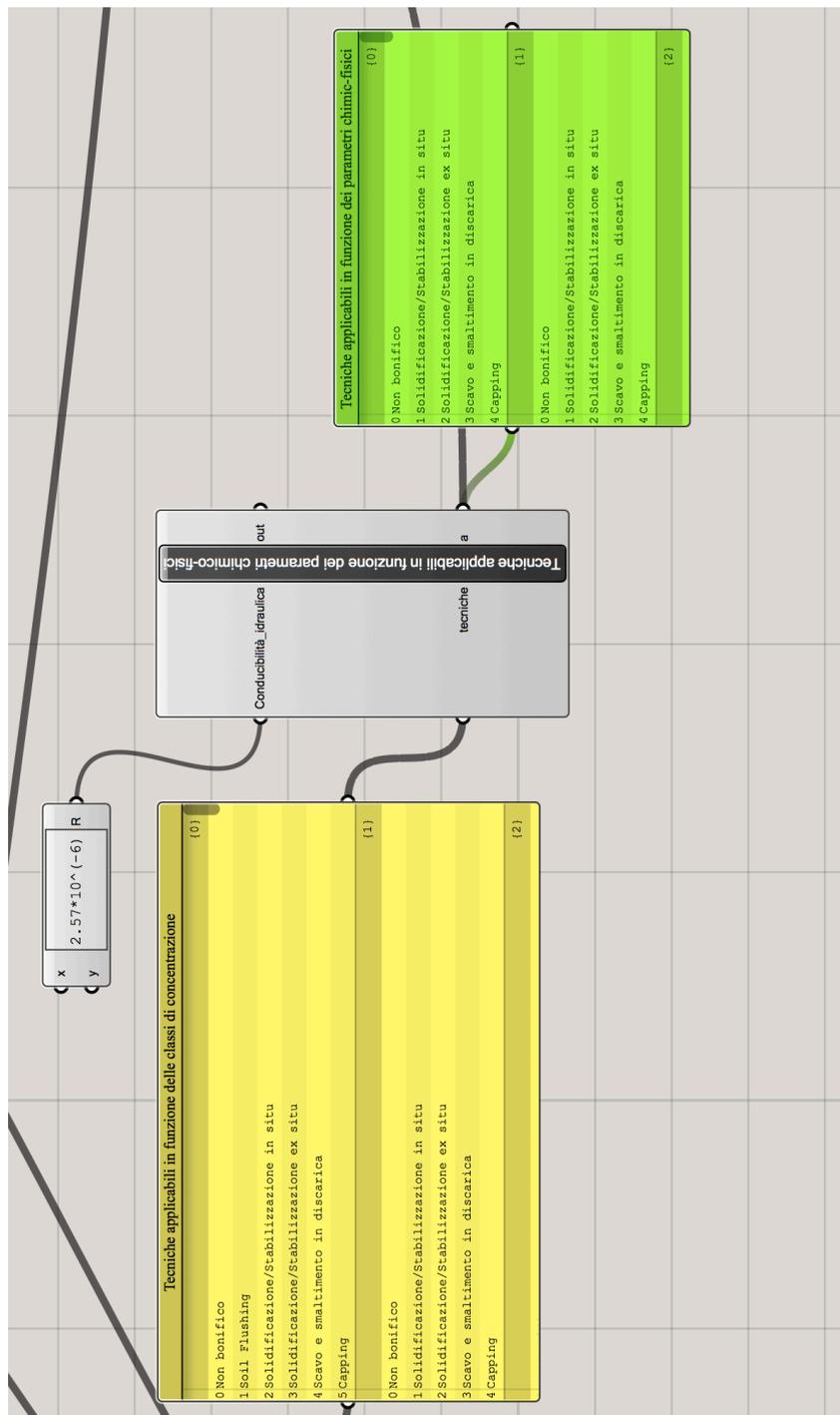
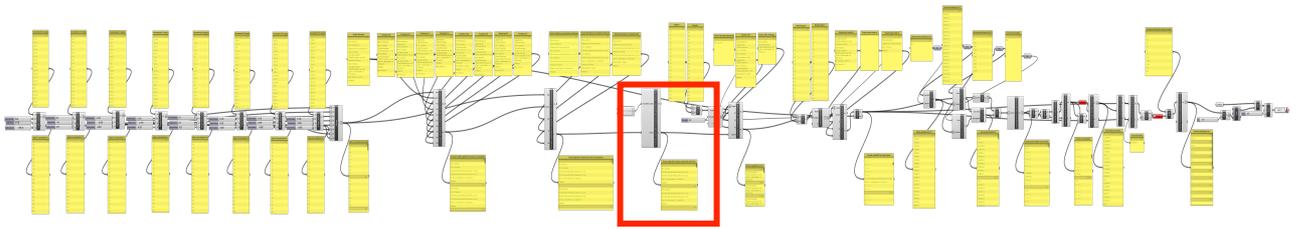
Tabella 7.48 Valori del rischio cancerogeno cumulativo per scenario industriale secondo US EPA

RISCHIO CANCEROGENO CUMULATIVO								
	<u>ARSENICO</u>	<u>CADMIO</u>	<u>CROMO (III)</u>	<u>CROMO (VI)</u>	<u>RAME</u>	<u>MERCURIO</u>	<u>NICHEL</u>	<u>ZINCO</u>
1	2,2E-05	1,4E-13	-	2,6E-08	-	-	4,6E-12	-
2	4,2E-05	1,1E-12	-	2,3E-08	-	-	1,9E-11	-
3	4,4E-05	1,7E-12	-	4,8E-08	-	-	2,9E-11	-
4	1,8E-05	2,5E-14	-	2,0E-08	-	-	5,6E-13	-
5	1,3E-05	2,2E-14	-	4,6E-08	-	-	7,3E-12	-
6	1,6E-05	4,0E-14	-	5,0E-08	-	-	1,1E-12	-
7	1,6E-05	3,4E-14	-	3,0E-08	-	-	2,7E-12	-
8	1,6E-05	8,6E-14	-	3,0E-08	-	-	4,5E-12	-
9	2,6E-05	1,1E-12	-	5,2E-08	-	-	2,8E-11	-
10	1,4E-04	3,7E-12	-	1,5E-07	-	-	7,6E-11	-
11	1,3E-03	6,8E-13	-	4,8E-08	-	-	1,9E-10	-
12	2,9E-05	5,7E-14	-	4,2E-08	-	-	3,0E-12	-
13	6,7E-05	5,4E-14	-	3,5E-08	-	-	4,2E-12	-
14	1,7E-05	1,9E-12	-	4,9E-08	-	-	1,2E-10	-
15	1,8E-05	7,6E-12	-	1,4E-07	-	-	3,2E-10	-
16	4,8E-05	1,6E-11	-	3,1E-08	-	-	2,1E-09	-
17	4,7E-03	2,7E-11	-	2,9E-07	-	-	5,1E-09	-
18	6,0E-05	2,2E-13	-	4,7E-08	-	-	9,6E-12	-
19	7,4E-05	3,5E-14	-	3,5E-08	-	-	2,0E-12	-
20	4,0E-05	5,6E-14	-	2,0E-07	-	-	2,6E-12	-

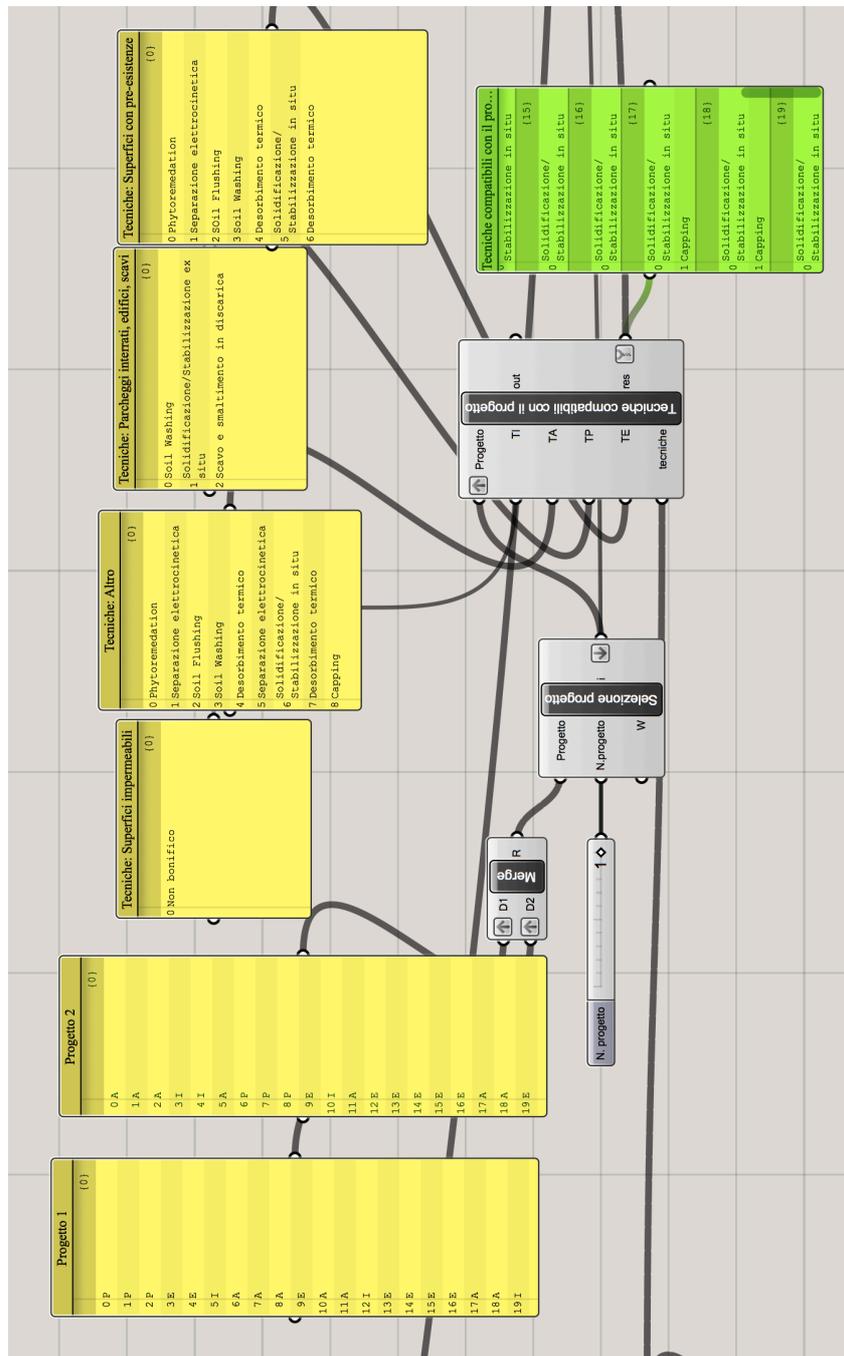
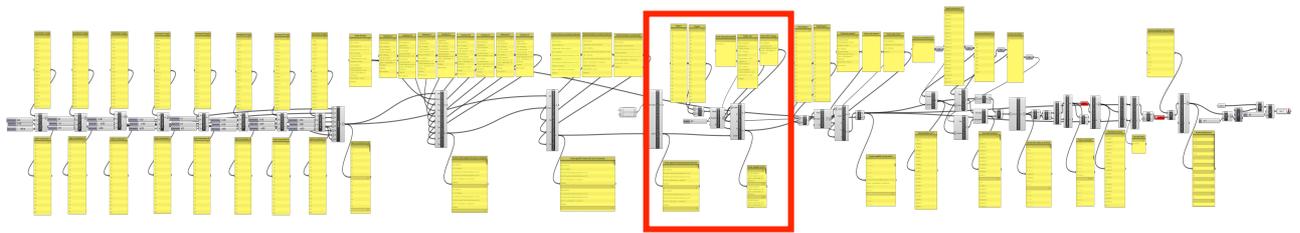
7.5.3 Individuazione delle tecniche applicabili in funzione delle classi di concentrazione



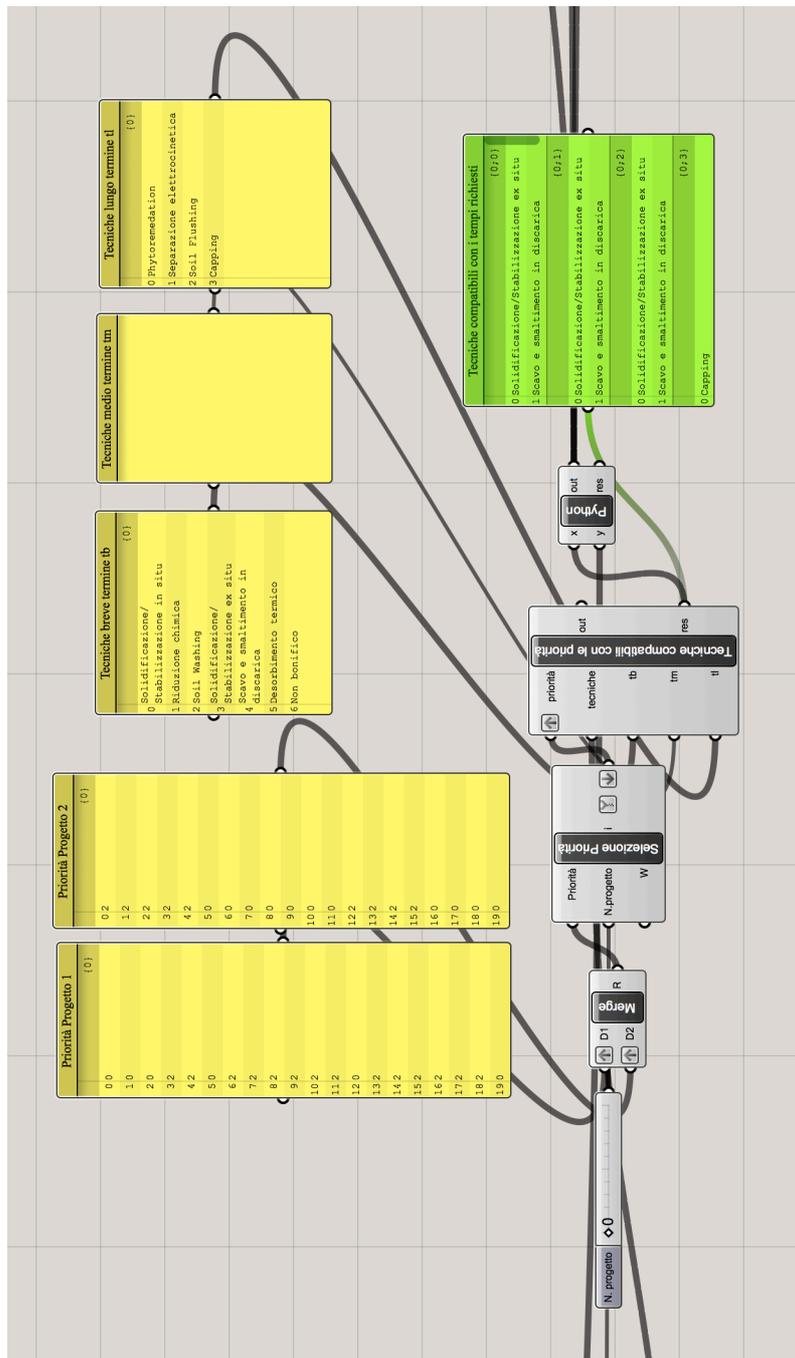
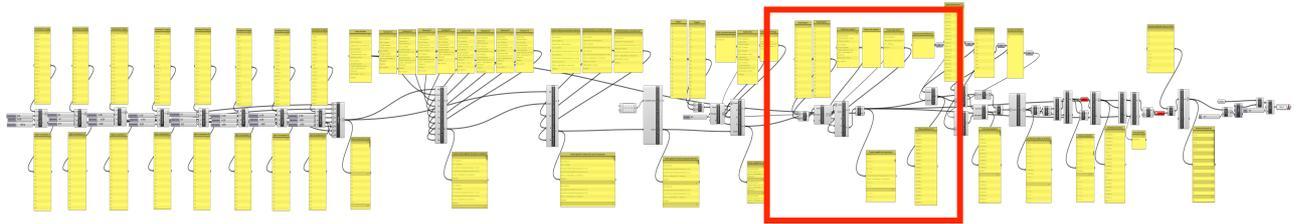
7.5.4 Individuazione delle tecniche applicabili in funzione dei parametri chimico-fisici



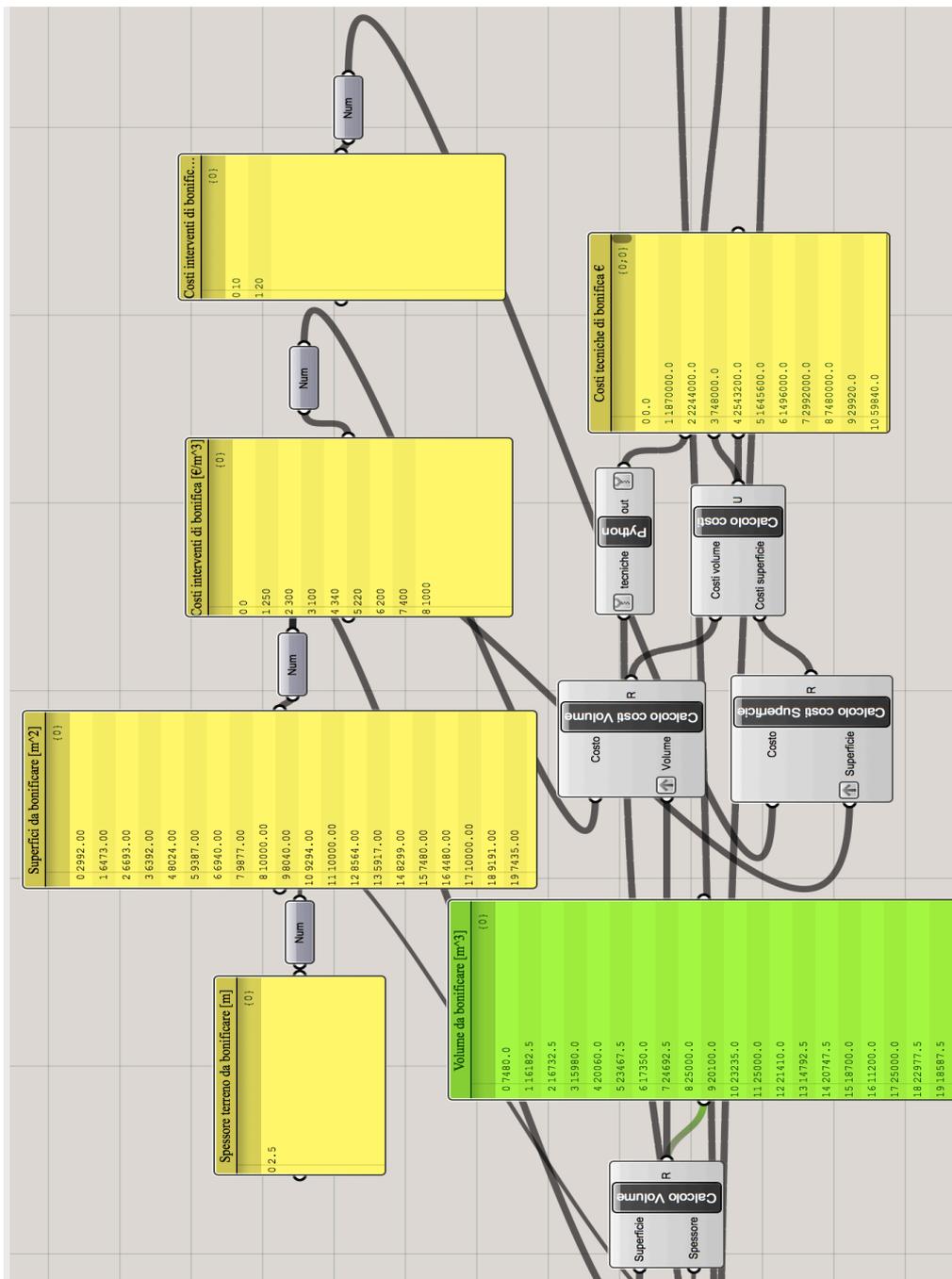
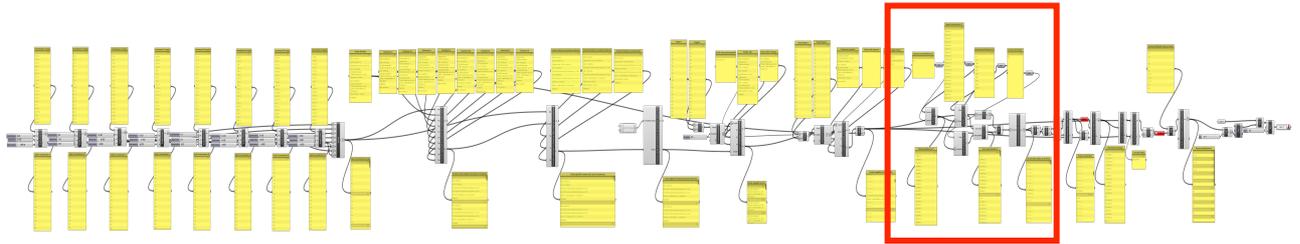
7.5.5 Individuazione tecniche compatibili con il progetto architettonico



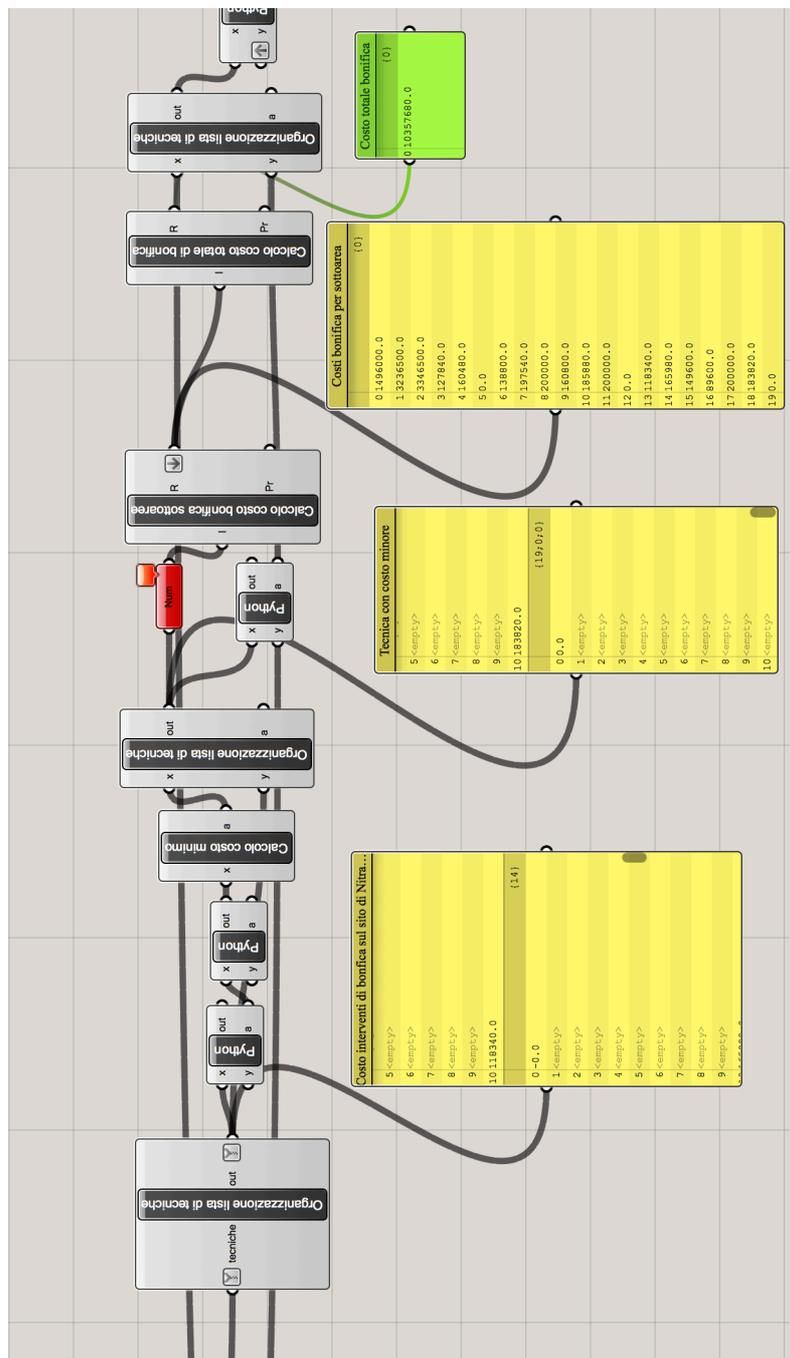
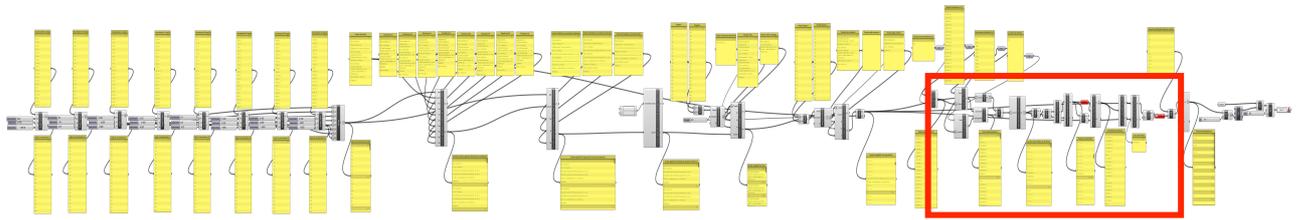
7.5.6 Individuazione tecniche compatibili con i tempi di realizzazione



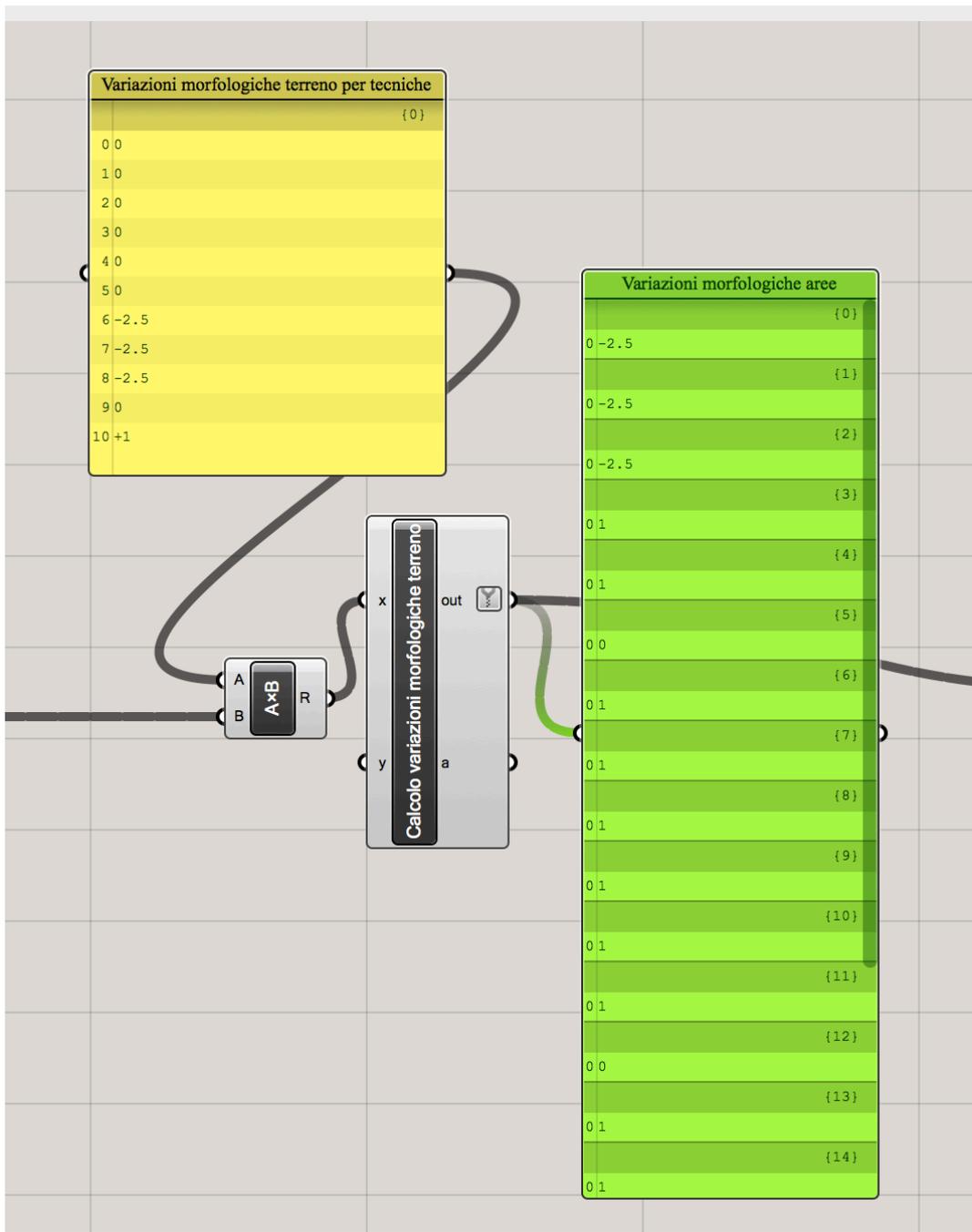
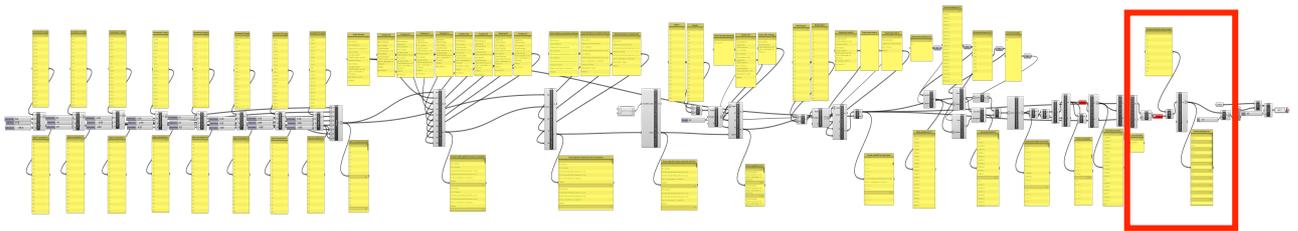
7.5.7 Calcolo delle superfici e dei volumi da bonificare e dei costi delle tecniche



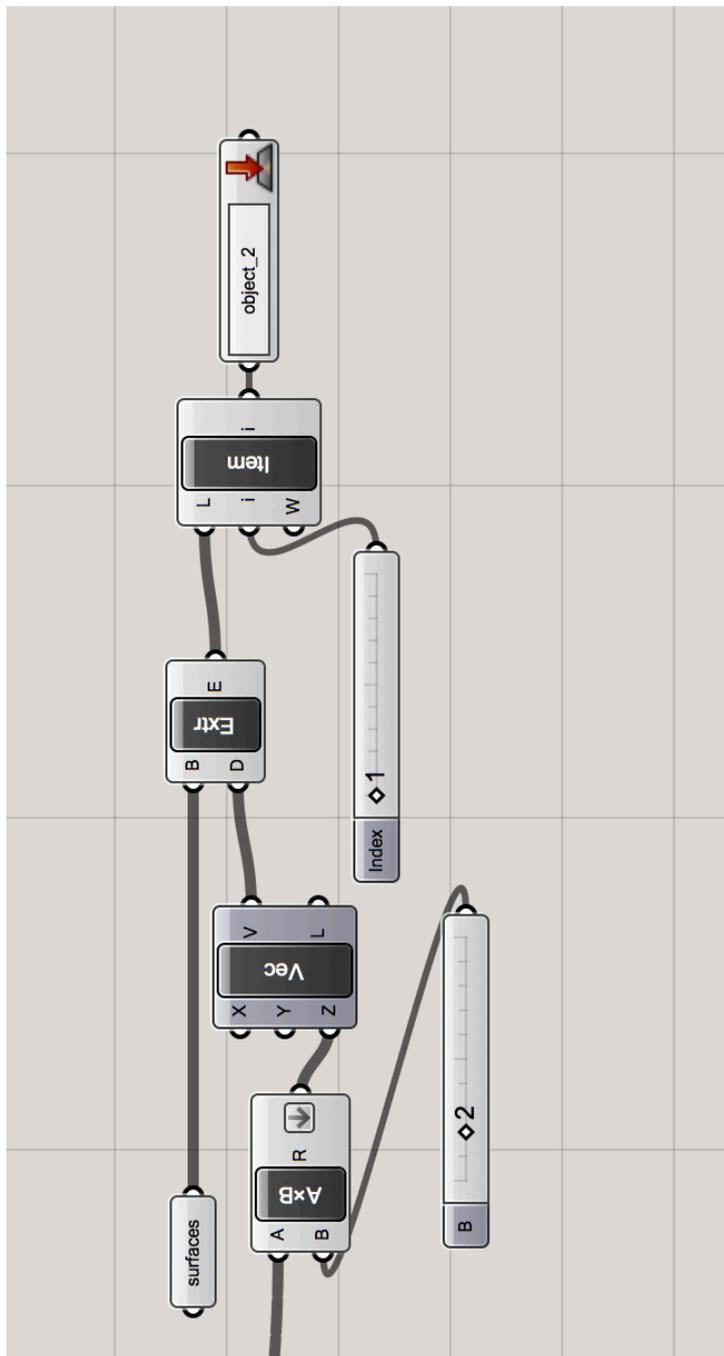
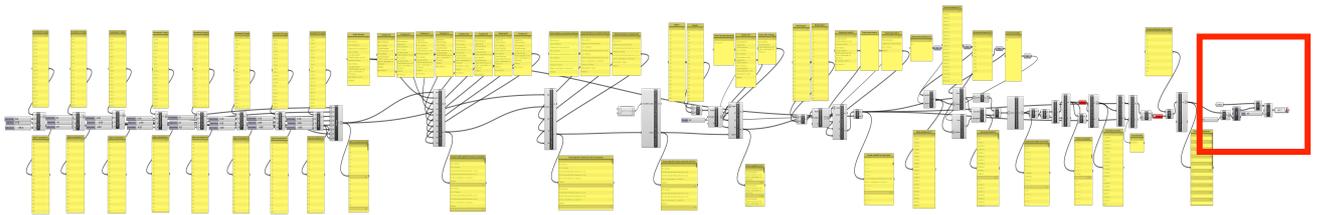
7.5.8 Individuazione tecniche con costo minore e calcolo del costo di realizzazione dell'intervento di bonifica totale e per ogni sotto-superficie



7.5.9 Calcolo variazioni morfologiche del terreno



7.5.10 Conversione dei dati ricavati per la rappresentazione in 3D



8 Ringraziamenti

Giunta alla conclusione di questo lavoro, volevo ringraziare innanzitutto il mio relatore Prof.ssa Tiziana Tosco e i miei correlatori, Prof. Matteo Robiglio e Dr. Valerio Palma, per avermi dato la possibilità di lavorare su una tematica stimolante che mi ha fatto crescere nelle competenze e mi ha permesso di mettere alla prova le mie conoscenze universitarie e le mie capacità.

Ciò per cui li ringrazio maggiormente è di avermi permesso di cimentarmi in un contesto interdisciplinare, dove ho avuto la possibilità di confrontarmi con delle figure professionali diverse dalla mia, ma in modo particolare di avermi seguito e supportato costantemente durante l'elaborazione e la stesura di questo elaborato.

Un sentito ringraziamento va alla mia famiglia e in particolare ai miei genitori che mi hanno sostenuto e incoraggiato nel mio percorso universitario ed in ogni momento della mia vita. Ringrazio il mio fidanzato con il quale ho condiviso gran parte della mia carriera universitaria, che mi ha sempre spronato a credere in me stessa e la cui presenza è stata preziosa per me.

Ringrazio inoltre tutti coloro che in questi anni universitari mi sono stati accanto e mi hanno aiutato, Zia Carmela per avermi sostenuto nella stesura di questo lavoro, mia suocera che con dolcezza mi è stata vicina nei miei successi e insuccessi, mio suocero che mi ha aiutato nei momenti di difficoltà e ha creduto nelle mie capacità, Vince per avere sempre “*scommesso*” sul miglior esito dei miei esami, Rossella con cui ho affrontato la prima parte del mio percorso, Vittoria e Mara che è stata per me un angelo qui al Politecnico.

Ringrazio ancora Chiara, Simona e Domenica che mi hanno sopportata negli ultimi due anni, mi hanno fatto sorridere e sono state per me una seconda famiglia, Francesca per essere stata il mio sfogo e una spalla amica e tutti coloro che hanno lasciato un pezzettino di loro nel mio cuore.

Un ultimo ringraziamento lo faccio ai miei angeli in cielo che hanno sempre vegliato su di me.