

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	
<b>1. Premesse</b> .....	1
1.1. <i>L'articolazione del testo</i> .....	1
1.2. <i>La documentazione utilizzata</i> .....	2
1.3. <i>Note per la lettura</i> .....	4
<b>2. L'analisi di rischio sanitaria ambientale applicata ai siti contaminati: concetti base e teoria</b> .....	5
2.1. <i>Introduzione</i> .....	5
2.2. <i>L'AdR: definizione</i> .....	5
2.3. <i>Le normative vigenti</i> .....	7
2.3.1. <i>Introduzione</i> .....	7
2.3.2. <i>Norme vigenti</i> .....	7
2.3.3. <i>Le norme vigenti: come si arriva all'AdR</i> .....	8
2.3.4. <i>Le norme vigenti: principali definizioni utili all'applicazione dell'AdR</i> .....	9
2.3.5. <i>Le norme vigenti: criteri generali per l'analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica</i> .....	13
2.4. <i>L'applicazione dell'AdR ai siti contaminati: concetti generali</i> .....	16
2.4.1. <i>I primi studi</i> .....	16
2.4.2. <i>Obiettivi e principali caratteristiche dell'AdR applicata ai siti contaminati</i> ..	17
2.4.3. <i>Il principio di cautela o conservatività</i> .....	18
2.5. <i>L'AdR a livello internazionale: la procedura RBCA</i> .....	18
2.5.1. <i>Definizione</i> .....	18
2.5.2. <i>I diversi livelli di approfondimento</i> .....	19
2.5.3. <i>Modalità di applicazione dell'AR</i> .....	21
2.6. <i>L'AdR a livello nazionale: la procedura secondo il manuale ISPRA (ex-APAT)</i> ..	23
2.6.1. <i>Introduzione</i> .....	23
2.6.2. <i>Il livello di AdR richiesto ed utilizzato in Italia</i> .....	23
2.6.3. <i>Il Modello Concettuale del Sito: descrizione</i> .....	23
2.6.4. <i>Il Modello Concettuale del Sito: la sorgente di contaminazione</i> .....	25

2.6.5. <i>Il Modello Concettuale del Sito: il trasporto degli inquinanti</i> . . . . .	26
2.6.6. <i>Il Modello Concettuale del Sito: i bersagli o ricettori.</i> . . . . .	27
2.6.7. <i>Valutazione dell'esposizione: definizioni e modalità di calcolo.</i> . . . . .	28
2.6.8. <i>Calcolo del rischio: definizioni</i> . . . . .	29
2.6.9. <i>Calcolo del rischio: modalità di calcolo nel caso di sostanze con effetti cancerogeni</i> . . . . .	30
2.6.10. <i>Calcolo del rischio: modalità di calcolo nel caso di sostanze non cancerogene</i>	30
2.6.11. <i>Calcolo del rischio: presenza di diverse vie di esposizione</i> . . . . .	31
2.6.12. <i>Calcolo del rischio: risorsa idrica sotterranea.</i> . . . . .	32
2.6.13. <i>Calcolo degli obiettativi di bonifica (CSR): presenza di più vie di esposizione</i>	34
2.6.14. <i>I principali parametri necessari per il calcolo del rischio: elenchi</i> . . . . .	36
2.6.15. <i>I principali parametri necessari per il calcolo del rischio: caratterizzazione del sito e della fonte di inquinamento</i> . . . . .	36
2.6.16. <i>I principali parametri necessari per il calcolo del rischio: esposizione umana</i>	40
2.6.17. <i>I principali parametri necessari per il calcolo del rischio: caratteristiche chimico fisiche e tossicologiche degli inquinanti</i> . . . . .	41
2.7. <i>Conclusioni.</i> . . . . .	43

### **3. Principali software per l'analisi di rischio sanitaria ambientale applicata ai siti contaminati: confronti** . . . . .

3.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	45
3.2. <i>I software esaminati.</i> . . . . .	45
3.3. <i>Schede di presentazione dei principali software.</i> . . . . .	45
3.4. <i>Conclusioni: giudizi sintetici e successivi approfondimenti</i> . . . . .	54

### **4. Software per l'analisi di rischio sanitaria ambientale: presentazione di RISC** . . . . .

4.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	57
4.2. <i>Informazioni generali.</i> . . . . .	57
4.3. <i>La schermata iniziale: i principali comandi</i> . . . . .	57
4.4. <i>L'architettura del software ed il processo di inserimento dati</i> . . . . .	58
4.5. <i>Esempi di schermate.</i> . . . . .	60
4.5.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	60
4.5.2. <i>Le schermate di input: esempio.</i> . . . . .	60
4.5.3. <i>Le schermate di output: esempio.</i> . . . . .	62

### **5. AdR sanitaria ambientale applicata ai siti contaminati: caso reale sviluppato con il software RISC** . . . . .

5.1. <i>Premessa</i> . . . . .	63
5.2. <i>Il caso in esame.</i> . . . . .	63
5.3. <i>Impostazione dell'analisi di rischio</i> . . . . .	63

5.4. Modello Concettuale del Sito. . . . .	64
5.5. Analisi di rischio per la sorgente terreni (suolo superficiale): principali passaggi . .	66
5.6. Analisi di rischio per la sorgente terreni (suolo superficiale): ricettore residente indoor. . . . .	66
5.6.1. Principali parametri di input: caratterizzazione della sorgente di contaminazione. . . . .	66
5.6.2. Principali parametri di input: caratterizzazione del sito. . . . .	68
5.6.3. Principali parametri di input: caratterizzazione dell'esposizione umana . . . .	70
5.6.4. Scelta del modello di trasporto utilizzato . . . . .	70
5.6.5. Risultati ottenuti: stima del rischio. . . . .	71
5.7. Analisi di rischio per la sorgente terreni (suolo superficiale): ricettore residente outdoor. . . . .	72
5.7.1. Principali parametri di input: caratterizzazione della sorgente di contaminazione. . . . .	72
5.7.2. Principali parametri di input: caratterizzazione del sito. . . . .	73
5.7.3. Principali parametri di input: caratterizzazione dell'esposizione umana . . . .	75
5.7.4. Scelta del modello di trasporto utilizzato . . . . .	75
5.7.5. Risultati ottenuti: stima del rischio. . . . .	76
5.8. Calcolo delle CSR per la sorgente suolo superficiale . . . . .	77
5.8.1. Risultati ottenuti. . . . .	77
5.8.2. Alcune considerazioni in merito alle CSR calcolate . . . . .	79
5.9. Analisi di rischio per la sorgente falda: principali passaggi . . . . .	80
5.10. Analisi di rischio per la sorgente falda: ricettore residente indoor. . . . .	80
5.10.1. Principali parametri di input: caratterizzazione della sorgente di contaminazione. . . . .	80
5.10.2. Principali parametri di input: caratterizzazione del sito. . . . .	82
5.10.3. Principali parametri di input: caratterizzazione dell'esposizione umana . . . .	83
5.10.4. Scelta del modello di trasporto utilizzato . . . . .	83
5.10.5. Risultati ottenuti: stima del rischio. . . . .	84
5.11. Analisi di rischio per la sorgente falda: ricettore residente outdoor. . . . .	85
5.11.1. Principali parametri di input: caratterizzazione della sorgente di contaminazione. . . . .	85
5.11.2. Principali parametri di input: caratterizzazione del sito. . . . .	86
5.11.3. Principali parametri di input: caratterizzazione dell'esposizione umana . . . .	87
5.11.4. Scelta del modello di trasporto utilizzato . . . . .	87
5.11.5. Risultati ottenuti: stima del rischio. . . . .	88
5.12. Calcolo delle CSR per la sorgente falda . . . . .	89

## **6. Software per l'analisi di rischio sanitaria ambientale: presentazione di RBCA Tool Kit . . . . .**

6.1. Introduzione . . . . .	93
6.2. Informazioni generali. . . . .	93
6.3. La schermata iniziale: i principali comandi . . . . .	93
6.4. L'architettura del software ed il processo di inserimento dati . . . . .	95
6.5. Le schermate di input: esempio . . . . .	96

6.6. *Le schermate di output: esempio* . . . . . 97

**7. AdR sanitaria ambientale applicata ai siti contaminati: caso reale sviluppato con il software RBCA Tool Kit** . . . . . 99

7.1. *Premessa* . . . . . 99

7.2. *Il caso in esame*. . . . . 99

7.3. *Impostazione dell'analisi di rischio* . . . . . 99

7.4. *Modello Concettuale del Sito*. . . . . 100

7.5. *Principali parametri di input utilizzati*. . . . . 103

    7.5.1. *Premessa*. . . . . 103

    7.5.2. *Caratterizzazione della sorgente di contaminazione* . . . . . 103

    7.5.3. *Caratterizzazione della fonte di inquinamento: geometria della sorgente di contaminazione* . . . . . 104

    7.5.4. *Caratterizzazione del sito: principali parametri relativi al terreno insaturo* . 106

    7.5.5. *Caratterizzazione del sito: principali parametri relativi a terreno saturo e falda* . . . . . 108

    7.5.6. *Caratterizzazione del sito: principali parametri relativi all'ambiente outdoor* 110

    7.5.7. *Caratterizzazione del recettore uomo: parametri di esposizione umana* . . . . 111

7.6. *Modelli di trasporto e destino degli inquinanti utilizzati* . . . . . 112

7.7. *Calcolo del Rischio e delle CSR con il software RBCA* . . . . . 113

    7.7.1. *Premessa*. . . . . 113

    7.7.2. *Recettore falda*. . . . . 113

    7.7.3. *Recettore uomo: impostazione del calcolo del rischio e delle CSR* . . . . . 115

    7.7.4. *Recettore uomo: calcolo di HI totale (rischio non cancerogeno)* . . . . . 115

    7.7.5. *Recettore uomo: calcolo del Rischio cancerogeno totale* . . . . . 116

    7.7.6. *Recettore uomo: calcolo delle CSR per il recettore uomo*. . . . . 118

    7.7.7. *Scelta della CSR da adottare per il sito e confronto con le concentrazioni massime in sito*. . . . . 119

**8. L'analisi di rischio sanitaria ambientale applicata alle discariche di rifiuti: concetti base e teoria**. . . . . 121

8.1 *Introduzione*. . . . . 121

8.2. *L'AdR applicata alle discariche: concetti generali*. . . . . 121

    8.2.1. *Definizioni e procedura* . . . . . 121

    8.2.2. *La dimensione del problema*. . . . . 121

8.3. *Le normative vigenti* . . . . . 122

    8.3.1. *Introduzione* . . . . . 122

    8.3.2. *Norme vigenti*. . . . . 122

8.4. *I criteri dell'Apat: sintesi* . . . . . 124

    8.4.1. *Introduzione* . . . . . 124

    8.4.2. *Generalità dell'analisi di rischio applicata alle discariche* . . . . . 124

8.5. *Il modello concettuale del sito: concetti generali* . . . . . 126

    8.5.1. *Introduzione* . . . . . 126

8.5.2. Definizione e schematizzazione . . . . .	127
8.5.3. Procedura per la stima dei dati in ingresso . . . . .	129
8.6. Il modello concettuale: caratterizzazione della sorgente . . . . .	130
8.6.1. Introduzione . . . . .	130
8.6.2. Aspetti generali della caratterizzazione della sorgente . . . . .	130
8.6.3. Parametri necessari . . . . .	132
8.6.4. Caratteristiche geometriche del sito di smaltimento . . . . .	132
8.6.5. Tempistica di abbancamento rifiuti e metodo di coltivazione della discarica . . . . .	133
8.6.6. Tipologia, quantità e parametri fisici dei rifiuti . . . . .	133
8.6.7. Caratteristiche costruttive dell'impianto. . . . .	135
8.6.8. Eventuali impianti di recupero energetico del biogas . . . . .	135
8.7. Il modello concettuale: descrizione delle modalità di trasporto . . . . .	136
8.7.1. Introduzione . . . . .	136
8.7.2. Concetti generali . . . . .	136
8.7.3. Il trasporto di biogas . . . . .	137
8.7.4. Il trasporto di percolato . . . . .	138
8.8. Il modello concettuale: la caratterizzazione dei possibili bersagli. . . . .	139
8.8.1. Introduzione . . . . .	139
8.8.2. Concetti generali . . . . .	139
8.8.3. La caratterizzazione dei possibili bersagli: i recettori off-site . . . . .	141
8.8.4. La caratterizzazione dei recettori on-site. . . . .	142
8.9. I software esaminati. . . . .	143

## **9. Software per l'analisi di rischio sanitaria ambientale applicata alle discariche: presentazione di LandSim . . . . . 145**

9.1. Introduzione . . . . .	145
9.2. Informazioni generali. . . . .	145
9.3. L'architettura del software. . . . .	145
9.4. La scelta dei valori numerici da attribuire ai dati di input: possibilità offerte dal software . . . . .	148
9.5. Il modulo sorgente . . . . .	150
9.5.1. Le principali funzioni . . . . .	150
9.5.2. Il dominio della discarica . . . . .	150
9.5.3. Caratteristiche delle fasi (lotti della discarica) . . . . .	151
9.5.4. Caratteristiche geometriche della discarica . . . . .	151
9.5.5. Sistema di drenaggio del percolato . . . . .	151
9.5.6. Inventario del percolato . . . . .	152
9.5.7. Barriera impermeabile e infiltrazione . . . . .	152
9.6. Il modulo trasporto . . . . .	153
9.6.1. Le principali funzioni . . . . .	153
9.6.2. Trasporto nella zona non satura . . . . .	154
9.6.3. Percorso verticale. . . . .	154
9.6.4. Trasporto nell'acquifero . . . . .	154
9.7. Il modulo recettore . . . . .	155
9.7.1. Le principali funzioni . . . . .	155

9.7.2. <i>Recettore</i> . . . . .	156
9.8. <i>I principali risultati forniti dal software</i> . . . . .	156

**10. AdR sanitaria ambientale applicata alle discariche: caso reale sviluppato con il software LandSim** . . . . . 157

10.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	157
10.2. <i>Il caso in esame</i> . . . . .	157
10.3. <i>L'impostazione dell'AdR</i> . . . . .	157
10.4. <i>Modello Concettuale specifico per il sito</i> . . . . .	158
10.5. <i>Principali parametri di input utilizzati</i> . . . . .	159
10.5.1. <i>Premessa</i> . . . . .	159
10.5.2. <i>Sezione infiltrazione</i> . . . . .	159
10.5.3. <i>Sezione geometria della cella</i> . . . . .	160
10.5.4. <i>Sezione inventario del percolato</i> . . . . .	161
10.5.5. <i>Sezione sistema di drenaggio</i> . . . . .	162
10.5.6. <i>Sezione barriera impermeabile</i> . . . . .	163
10.5.7. <i>Sezione percorso nella zona non satura</i> . . . . .	166
10.5.8. <i>Sezione flusso dell'acquifero</i> . . . . .	166
10.6. <i>Risultati dell'elaborazione del Landsim</i> . . . . .	168
10.7. <i>Valutazione dei risultati ottenuti</i> . . . . .	169

**11. Software per l'analisi di rischio sanitaria ambientale applicata alle discariche: presentazione di GasSim** . . . . . 171

11.1 <i>Introduzione</i> . . . . .	171
11.2. <i>Informazioni generali</i> . . . . .	171
11.3. <i>L'architettura del software</i> . . . . .	172
11.4. <i>La scelta dei valori numerici da attribuire ai dati di input</i> . . . . .	176
11.5. <i>I moduli Landfill Characteristics e Gas Plant</i> . . . . .	176
11.5.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	176
11.5.2. <i>Il modulo Landfill Characteristics: le principali funzioni</i> . . . . .	177
11.5.3. <i>Il modulo Gas Plant: principali funzioni</i> . . . . .	177
11.5.4. <i>I moduli Landfill Characteristics e Gas Plant: risultati</i> . . . . .	179
11.6. <i>Il modulo lateral migration</i> . . . . .	180
11.6.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	180
11.6.2. <i>Principali funzioni</i> . . . . .	180
11.6.3. <i>Risultati delle simulazioni</i> . . . . .	181
11.7. <i>Modulo dispersione atmosferica</i> . . . . .	181
11.7.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	181
11.7.2. <i>Principali funzioni</i> . . . . .	181
11.7.3. <i>Risultati delle simulazioni</i> . . . . .	182
11.8. <i>Il modulo esposizione</i> . . . . .	182
11.8.1. <i>Introduzione</i> . . . . .	182
11.8.2. <i>Principali funzioni</i> . . . . .	182

11.8.3. Risultati delle simulazioni . . . . .	184
11.9. L'impatto su problematiche relative a fenomeni di inquinamento globale . . . . .	184

## **12. AdR sanitaria ambientale applicata alle discariche: caso reale sviluppato con il software GasSim . . . . . 185**

12.1. Introduzione . . . . .	185
12.2. Il caso in esame . . . . .	185
12.3. L'impostazione dell'AdR . . . . .	185
12.4. Modello Concettuale del Sito . . . . .	186
12.4.1. Caratteristiche geometriche della discarica . . . . .	186
12.4.2. Metodologia di coltivazione . . . . .	186
12.4.3. Dettagli copertura definitiva e temporanea . . . . .	188
12.4.4. Dettagli dei rifiuti conferiti in discarica . . . . .	189
12.4.5. Dettagli tecnici dell'impianto di aspirazione e combustione . . . . .	189
12.4.6. Ultimi parametri necessari per avviare la simulazione del modulo sorgente . . . . .	190
12.4.7. Dettagli dei recettori scelti . . . . .	191
12.5. Principali schermate di input . . . . .	192
12.6. Risultati della simulazione . . . . .	193
12.7. Risultati esposizione . . . . .	196
12.8. Valutazione dei risultati ottenuti . . . . .	198

## **13. L'analisi di rischio ecologica: concetti base . . . . . 199**

13.1. Introduzione . . . . .	199
13.2. Generalità . . . . .	199
13.3. Le linee guida dell'EPA . . . . .	201
13.4. Linee guida dell'Unione Europea . . . . .	204
13.5. Conclusioni . . . . .	206

## **14. Software per l'AdR sanitaria ambientale e per l'AdR ecologica: presentazione di Sada . . . . . 207**

14.1. Introduzione . . . . .	207
14.2. Informazioni generali . . . . .	207
14.3. L'architettura del software . . . . .	207
14.4. Il modulo dell'analisi di rischio sanitaria ambientale . . . . .	209
14.4.1 Generalità . . . . .	209
14.4.2 La configurazione del modulo . . . . .	211
14.4.3 Il calcolo del Rischio . . . . .	212
14.4.4 I risultati del calcolo del rischio . . . . .	212
14.4.5 Interazione del modulo con l'interpolazione geostatistica . . . . .	213
14.5. Il modulo rischio ecologico in SADA . . . . .	215
14.5.1 Generalità . . . . .	215

14.5.2. <i>Il calcolo del rischio ecologico</i> . . . . .	216
14.5.3. <i>I risultati del calcolo del rischio ecologico</i> . . . . .	219
14.6. <i>Punti di forza e debolezza del software</i> . . . . .	220