

Via Cosattini, 32, Udine – Italy
P.IVA: 01556930301
tel.fax +39 (0)432 229424. +39 (0)432 519343
cell. 337 532202 - geoecoud@tin.it - www.geoecoitalia.it
SCIENZE DELL'ACQUA E MODELLI MATEMATICI
IDROGEOLOGIA E IDROLOGIA
BONIFICA DI SITI INQUINATI
TUTELA E GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA
ENERGIE RINNOVABILI: RICERCA E SVILUPPO
VALUTAZIONI IMPATTO AMBIENTALE E STRATEGICHE

STUDIO IDROGEOLOGICO E ANALISI DEL RISCHIO ASSOLUTO SULLE “ACQUE SOTTERRANEE”

DISCARICA DI 1^a CATEGORIA per R.S.U.

(sintesi)

Il Tecnico coordinatore: dott. geol. G. P. DROLI (idrogeologia e modello matematico)

Il gruppo di lavoro: dott. chim. E. PEZZETTA (chimica e idrochimica dei percolati)
dott. ing. C. CECOTTI (rifiuti, biodegradazione, percolato)
dott. ing. A. LUALDI (aspetti progettuali e gestionali).

1 – PREMESSA

La presente relazione riporta una sintesi dell'Analisi del Rischio assoluta connessa ad una Discarica per R.S.U. ubicata in Friuli V. Giulia che viene assunta come ipotetica e teorica sorgente di contaminazione da Manganese ed Ammoniaca nelle acque di falda freatica sottostante la discarica.

Storicamente l'Analisi del Rischio sanitario-ambientale è nata e si è sviluppata come strumento operativo e decisionale per valutare i dati di tossicità di una o più sostanze cui la popolazione e l'ambiente possono essere esposti, quantificandone i rischi potenziali per la salute. Nel caso generale delle discariche le sostanze che vengono prese in esame sono due: il manganese sottoprodotto dal percolato, che verrà considerato nella presente Analisi in quanto ipotetico contaminante delle acque sotterranee, e il biogas.

A livello normativo è riconosciuta la specificità dell'Analisi del Rischio che diviene strumento decisionale da applicare al "sistema discarica" (D.Lgs. 36/2003), così come ancor prima (D.M. 471/1999) era stata utilizzata nella normativa della gestione dei siti inquinati e delle bonifiche che, a sua volta, nasceva da un provvedimento specifico ancora inerente le discariche (il D.Lgs. 22/1997 noto come "Decreto Ronchi").

Infatti, citando passi significativi di Norme e Criteri tecnici istituzionali, i regolamenti normativi di applicazione dell'Analisi del Rischio (ex D.M. 471/99, ora D.L.gs. 152/2006) affermano genericamente che tale analisi può essere applicata "*... qualora il progetto preliminare ... dimostri che i valori di concentrazione limite accettabili ... non possono essere raggiunti nonostante l'applicazione, secondo i principi della normativa comunitaria, delle migliori tecnologie disponibili a costi sostenibili...*". In tali casi la norma afferma che "*... il Comune o ... la Regione, può autorizzare interventi di bonifica e ripristino ambientale con misure di sicurezza, che garantiscano, comunque, la tutela ambientale e sanitaria anche se i valori di concentrazione residui previsti nel sito risultano superiori a quelli dell'Allegato 1. Tali valori di concentrazione residui sono determinati in base ad una metodologia di analisi del rischio riconosciuta a livello internazionale che assicuri il soddisfacimento dei requisiti indicati all'Allegato 4*".

L'Allegato 3 del D.M. 471/99 affermava che "*...Le misure di sicurezza sono attuate per impedire danni alla salute pubblica o all'ambiente influenzato dalle caratteristiche del sito, derivanti dai livelli di concentrazione residui in suolo, sottosuolo e acque sotterranee stabiliti per gli interventi di bonifica di un sito specifico in base ai risultati dell'Analisi del Rischio*".

L'A.P.A.T. ("Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche". A.P.A.T. Roma, 2008) afferma inoltre che "*... Nel recente ordinamento italiano in materia di siti inquinati (D.M. 471/99) l'Analisi del Rischio si prefigura come strumento di verifica dell'accettabilità di concentrazioni residuali di contaminanti ... quando, anche applicando le migliori tecnologie disponibili, a costi sopportabili, non si riescono a raggiungere i valori tabellari indicati nell'Allegato 1 al citato D.M. 471/99. ... In questi casi, l'Analisi del Rischio va applicata per verificare che le concentrazioni residuali ... siano accettabili in termini di protezione della salute umana e dell'ambiente*" (cfr. Capitoli "Premessa" e "1. Inquadramento Generale").

Nello stesso documento, in conclusione del Capitolo 1, l'A.P.A.T. afferma che "*In effetti, lo scopo fondamentale dell'Analisi del Rischio è quello di costruire uno strumento per adottare decisioni trasparenti e sostenibili. Per questo in definitiva l'Analisi del Rischio nelle problematiche ambientali è una parte fondamentale del processo decisionale, consente di valutare gli effetti di scenari alternativi, considerando possibili incertezze e casualità, e fornisce criteri in base ai quali effetti incerti possono essere valutati e comparati per arrivare a una decisione.*".

Viene quindi ribadita negli atti normativi, in senso generale e ampio, la funzione operativa e pratica di supporto decisionale che assume per l'Ente Pubblico la procedura ed i risultati numerici che scaturiscono dall'Analisi del Rischio previsti dal D.L.gs. 152/2006 e suoi correttivi. Tale Analisi è considerata a tutti gli effetti dalla normativa nazionale uno strumento che può portare ad acconsentire la presenza di concentrazioni superiori ai limiti tabellari in un sito che presenta particolari problematiche dal punto di vista ambientale, della contaminazione e degli eventuali interventi di risanamento (o già avvenuti oppure solo prevedibili).

2 – METODOLOGIA IDROGEOLOGICA DI BASE

L'Analisi del Rischio è stata effettuata seguendo precise premesse tecniche metodologiche di base come indicato dalle norme di legge vigenti (D.L.gs. 152/2006 e documenti correttivi e collegati), dalle procedure tecniche internazionali riconosciute (Environment Agency of U.K. – Modello Risk Assessment Model RAM – 2001; Provincia di Milano – Giuditta; A.P.A.T. - ROME 2.1, ecc.) e dai criteri metodologici proposti al livello nazionale (A.P.A.T., 2008).

In particolare per l'impostazione, la costruzione del modello idrogeologico concettuale e lo sviluppo dell'analisi sono stati osservati i seguenti principi fondamentali:

- i dati idrogeologici e ambientali utilizzati provengono da prove geognostiche e idrogeologiche in sito oppure da indagini effettuate dalla Regione F.V.G. a seconda che il modello richieda la caratterizzazione del dominio locale, oppure del dominio più vasto alla scala regionale;
- il presente studio, nella sua versione applicata al sito della discarica, è stato effettuato secondo il criterio della multidisciplinarietà. Le competenze specialistiche impegnate sono state le seguenti:
 - dott. geol. G.P. DROLI idrogeologo (idrogeologia, modellizzazione matematica delle falde, coordinamento);
 - dott.ssa E. PEZZETTA chimico (idrochimica applicata alle analisi dei percolati di discariche);
 - dott.ssa C. CECOTTI ingegnere (analisi dei rifiuti conferiti, tipologia e grado di biodegradazione, stima della produzione di percolato);
 - dott. A. LUALDI ingegnere (aspetti progettuali e gestionali inerenti la discarica in esame).
- l'analisi delle caratteristiche idrogeologiche, idrochimiche e di flusso delle acque sotterranee è finalizzata sia alla predisposizione dell'Analisi del rischio che individui in modo rigoroso lo stato qualitativo delle falde locali, sia di un Piano di monitoraggio e controllo delle acque sotterranee;
- al fine preventivo di individuare un punto di riferimento iniziale che consentisse una corretta applicazione del modello si è presa in considerazione la discarica quale ipotetica sorgente di contaminazione;
- la stima della contaminazione residua segue il principio del caso peggiore (“*worst case*”) e la scelta dei parametri di calcolo è sempre cautelativa ossia in favore dell'ambiente e della salute umana. Inoltre l'Analisi del Rischio è stata richiesta anche dagli Uffici della Provincia competente. In accordo con gli uffici stessi si è deciso di applicare un metodo di analisi (metodo SPR “*Source, Pathway, Receptor*”) che permetta di concentrare l'attenzione verso l'applicazione di un modello matematico idrogeologico convettivo-dispersivo molto cautelativo, a garanzia di sicurezza e tutela della falda freatica locale;
- conoscendo gli analiti presenti in falda al di sotto della discarica (ipotetica e indiretta sorgente), i punti idrici ricettori da considerare e da tutelare (*receptors*), le loro distanze dalla discarica, le relative caratteristiche idrogeologiche di percorso (*pathway*) e i limiti tabellari da rispettare ai ricettori (*target concentration*), tale modello permette di prevedere in modo certo quali devono essere le concentrazioni ammissibili massime (*remedial target concentration*) che è possibile misurare ai piezometri e oltre le quali è indispensabile effettuare un intervento di risanamento;
- il modello di calcolo matematico analitico è internazionalmente riconosciuto e validato (basato sull'Equazione di Domenico) noto come modello RAM. Le caratteristiche tecniche dell'Analisi del Rischio realizzata nel presente studio e i suoi riferimenti tecnici sono i seguenti:
 - utilizzo dell'Analisi del Rischio di tipo S.P.R. (modello “*Source, Pathway, Receptor*” – RAM) dell'Environment Agency of U.K. – National Groundwater & Contaminated Land Centre, con assunzione di integrazioni e parametri dal Modello GIUDITTA (Provincia di Milano, Dir. Centrale Ambiente, Uff. Progetti Speciali e Bonifiche) e dai Criteri metodologici indicati dall'A.P.A.T.;
 - applicazione di un Livello o Tier 3 (corrispondente al Livello 2 indicato dall'A.P.A.T.) che prevede in sintesi quanto segue: il *remedial target* è definito come il *target concentration* moltiplicato per il *Dilution Factor* (DF) e per l'*Attenuation Factor* (AF) tale principio è seguito sia nel Livello 3 che nel Livello 4 del RAM; uso di un modello idrogeologico analitico (previsto dal Livello 3 o Tier 3);
- il punto dove si considera il *remedial target* è la discarica quale ipotetica e indiretta sorgente di contaminazione;
- i punti idrici considerati sensibili (CSC) nel calcolo rappresentativo presentato a valle della discarica (*receptors*) sono alcuni pozzi idropotabili ubicati a c.a 9 km a valle della discarica (pozzi Palmanova) e la

linea delle risorgive a c.a 7,5 km a valle della discarica (*compliance point*). Le caratteristiche idrogeologiche del sistema acquifero analizzato sono evidenziate in particolare nei successivi capitoli.

3 – CARATTERIZZAZIONE DEI BERSAGLI RECETTORI

I bersagli recettori o punti di conformità definiti dalla norma attuale (D.L.gs. 152/2006 e correttivi) sono in corrispondenza del limite della proprietà. Nel caso attuale sono così posizionati in ordine di priorità e di reale importanza nell'economia idrica del territorio:

- le acque che sgorgano in corrispondenza della linea delle risorgive (distanti 7,5km dal sito della discarica);
- le acque sotterranee utilizzate ai fini potabili (pozzi distanti c.a 9km);
- le altre acque sotterranee e i pozzi adibiti ad usi non potabili, i suoli, l'uomo in quanto potenziale utilizzatore delle acque potabili di origine sotterranea che costituiscono il legame tra l'esposizione umana e l'inquinamento.

I pozzi e i punti d'acqua d'interesse provengono da un censimento degli utilizzi potabili delle acque e dei punti d'acqua "sensibili" presenti a valle della discarica.

Nell'analisi sul "bersaglio uomo" si è preso in considerazione il tipo di bersaglio *off-site*, ossia che vive fuori dall'impianto in esame, e che comprende una popolazione composta sia da bambini (0-6 anni) che da adulti (di sesso femminile e di età 16-59 anni).

4 – ANALISI DEL RISCHIO

Come richiesto dall'Ente Provinciale è stata effettuata l'Analisi del Rischio. Si è deciso di applicare un'analisi di Livello 2 secondo le metodiche riconosciute (Modello RAM) riferita al Manganese e a punti idrici di tutela posti a valle del sito della discarica costituiti dalla linea delle risorgive e da pozzi idropotabili. La procedura viene di seguito esposta nel dettaglio.

DATI INSERITI NEL MODELLO DI CALCOLO DEL TRASPORTO. Si è operato cercando di utilizzare il meno possibile i dati di default proposti dalle metodologie di calcolo standard. Per quanto sopra esposto sinteticamente e per quanto di utilità per il calcolo analitico di trasporto in falda per l'Analisi del Rischio, i dati idrogeologici di base cautelativamente definiti derivanti da un periodo di osservazione delle piezometrie durante 25 anni (1967-1991), i dati geologici e quelli stratigrafici relativi ai terreni acquiferi in esame sono i seguenti:

- gradiente idraulico medio tra il sito e la linea delle risorgive: $i = 0,0014$;
- escursioni freatiche massime osservate al sito in esame: $D = 10\text{m}$;
- permeabilità media dei terreni saturi ipotizzati ghiaioso-sabbiosi: $K = 10^{-4} \text{ m/s}$ (valore cautelativo);
- porosità efficace media dei terreni saturi: $n = 0,2$;
- spessore minimo strato non-saturo (rispetto falda massima 1977): 5m (cautelativam. assunto = 0m);
- area di monitoraggio ipotizzata come area di presenza di un *plume*: discarica Soceco;
- *receptors* considerati per la verifica limiti tabellari:
 - pozzi idropotabili pubblici Palmanova, distanza a valle del sito: $9,0\text{km}$;
 - linea delle risorgive, distanza a valle del sito: $7,5\text{km}$;
- spessore iniziale del *plume*: 10m (analisi tra -32m e -42m p.c.);
- si considera il contaminante Manganese. Il suo periodo di *half-life*, in bibliografia indicato nell'ordine di alcuni (EPA, 2004) è stato assunto cautelativamente nei calcoli molto più lungo pari a $t_{1/2}=100.000\text{anni}$ per un *Decay Coefficient* assunto dell'ordine di $\lambda = \ln 2/t_{1/2} = 2*10^{-13}\text{s}^{-1}$.

ANALISI DEL RISCHIO - LIVELLO 2. Il calcolo analitico del trasporto nelle sue componenti del *Dilution Factor* (DF) e *Attenuation Factor* (AF) costituisce il Livello 2 (o *Tier 3* degli anglosassoni) dell'Analisi del

Rischio secondo le procedure comunemente riconosciute. Nel caso in esame, al fine di verificare in modo particolareggiato l'iter dei calcoli analitici, anziché effettuarli in automatico tramite un codice di calcolo informatizzato (poco evidente nel suo iter), si è proceduto con lo sviluppo analitico ("a mano") e descrittivo particolareggiato delle equazioni. I calcoli si riferiscono al dominio idrogeologico regionale compreso tra la discarica e la linea delle risorgive e i parametri idrogeologici di cui sotto ne rappresentano un valore medio cautelativamente assunto a favore della sicurezza idro-ambientale nel suo complesso.

Il contaminante analizzato è il Manganese (Mn) che, tra i composti individuati nelle acque di falda ed elencati nei limiti tabellari, è quello che tra i contaminanti studiati nel caso necessita di un approfondimento. E' stato seguito in modo rigoroso il modello di calcolo RAM, secondo le sue equazioni a procedure, già citato e riconosciuto dalla comunità tecnico-scientifica internazionale per il calcolo del *remedial target* (LTC₃) di Livello 2:

$$LTC_3 = C_t * DF * AF$$

ove:

LTC₃ = *remedial target* di Analisi del Rischio di Livello 3;

C_t = 0,05 mg/l = *target concentration* valore limite tabellare del Manganese;

DF = *Dilution Factor*;

AF = C_o/C_{ed} = *Attenuation Factor*.

Il calcolo dei parametri di cui sopra ha fornito i seguenti risultati nel rispetto delle condizioni e parametri idrogeologici evidenziati nella presente relazione.

Per il *Dilution Factor*:

$$DF = 1 + \frac{K \times i \times Mz}{Inf \times L} = 3,5$$

ove:

K = 0,0001 m/s = permeabilità media stimata dell'acquifero

i = 0,0014 = gradiente idraulico medio

Mz = 10m = spessore del *plume* sotto la discarica

Inf = (P_{eff}-Etr) = 1465mm/a * 60% = 2,8*10⁻⁸ m/s = infiltrazione approssimativa (valore cautelativo)

P_{eff} = 1465mm/anno = piovosità efficace media annuale

Etr = 40% = evapotraspirazione media del sito in esame

L = 20m = lunghezza della ipotetica sorgente contaminante nel sito d'interesse.

Per calcolare l'*Attenuation Factor* (AF) gli steps sono i seguenti.

Si calcola innanzi tutto il Fattore di Ritardo (*Retardation Factor*) secondo le seguenti equazioni e procedure codificate dal metodo RAM:

$$Rc = 1 + \frac{Kd \times \rho}{n} = 1510$$

ove:

Kd = $\frac{Fj}{Cj}$ = 159 l/kg = *Partition Coefficient*;

Fj = 51 mg/kg = valore tabellare (Fetter C.W., 1999) = massa dell'elemento adsorbito j per unità di massa del solido;

Cj = 0,3 = concentrazione dell'elemento j nella frazione mobile;

ρ = 1,9 t/mc = massa per unità di volume del terreno;

n = 0,2 = porosità del terreno.

Si calcola quindi la velocità del contaminante in falda secondo le seguenti equazioni e procedure codificate che comprendono l'effetto del *Retardation Factor*:

$$u = \frac{K \times i}{n \times Rc} = 4,6 * 10^{-10} \text{ m/s}$$

Si calcola quindi la concentrazione del contaminante (Ced) al punto di arrivo finale tramite l'Equazione di Domenico secondo la seguente procedura:

$$Ced = C_0 \exp \left\{ \frac{x}{2a_x} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4\lambda a_x}{u}} \right] \right\} \operatorname{erf} \left(\frac{S_y}{4\sqrt{a_y x}} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{S_z}{4\sqrt{a_z x}} \right) = C_0 * 0,0019 \text{ mg/l}$$

ove:

C_0 = contaminazione iniziale in falda;

x = 7.500m = distanza tra il punto di ipotetica emissione e il punto di ricezione da tutelare più vicino

(ossia la linea delle risorgive);

a_x = 750m = *Longitudinal Dispersivity*;

S_y = Mz = 10m = spessore iniziale del *plume*;

a_y = 0,001m = *Vertical Dispersivity*;

S_z = 80m = larghezza del *plume* sotto la discarica (assunta tra i Piezometri n° 5 e n° 2);

a_z = 75m = *Transverse Dispersivity*;

λ = $2 * 10^{-13}$ = *decay constant*.

Da cui risulta il seguente *Attenuation Factor*:

$$AF = C_0/Ced = C_0/(C_0 * 0,0019) = 526$$

Infine il *Remedial Target* LTC₃ del Livello 3 dell'Analisi del Rischio risulta pertanto il seguente:

$$LTC_3 = Ct * DF * AF = 92 \text{ mg/l}$$

RISULTATI ANALISI DEL RISCHIO. Dall'Analisi del Rischio (Livello 2) risulta che per garantire il rispetto dei limiti tabellari sul Manganese al punto di conformità inteso come il punto idrico sensibile più vicino a valle della discarica (linea delle risorgive che dista c.a 7.500m a valle piezometrica dalla discarica), il *Remedial Target* da rispettare al sito della discarica (ossia la concentrazione di contaminante sopra la quale è richiesto un intervento di risanamento) è pari a:

$$\text{Remedial Target} = LTC_3 = 92 \text{ mg/l.}$$

Si noti come il *Remedial Target* è pari a c.a 1840 volte la concentrazione dei limiti tabellari: $LTC_3 = 1840Ct = 1840 * 0,05 \text{ mg/l} = 92 \text{ mg/l}$. La concentrazione di Manganese LTC₃=92mg/l costituisce dunque il "grado di accettabilità della concentrazione" da Manganese al sito in esame nel caso non siano presenti nell'area idrogeologica vasta altri apporti di Manganese. Nel caso siano già presenti in falda concentrazioni di "rumore di fondo" di Manganese, il valore LTC₃ va diminuito di conseguenza in modo che non vengano comunque superati alla linea delle risorgive i 0,05mg/l.

Il movimento di propagazione della falda, ossia il flusso che parte dalla discarica e si propaga verso valle, è monitorato dai piezometri di Gonars e Bagnaria Arsa. Qui sono state trovate concentrazioni di manganese oscillanti tra 0,001-0,04mg/l (dato A.R.P.A., 2002-2003) considerate come "rumore di fondo".

Il "rumore di fondo" massimo esistente di 0,04mg/l fa diminuire il possibile rilascio a 0,01mg/l, ancora "disponibili" nel sistema globale per far sì che non vengano comunque mai superati alla linea delle risorgive i 0,05mg/l complessivi previsti dalla normativa. Siccome l'Analisi del Rischio ha fornito un

Remedial Target= $LTC_3=92\text{mg/l}$ (ossia c.a 1840 volte il valore tabellare di $0,05\text{mg/l}$), la concentrazione massima effettiva residua di manganese ammesso nell'area della discarica è $LTC_{3\text{effMN}}=18,4\text{mg/l}$:

$$\text{Remedial Target effettivo manganese} = LTC_{3\text{effMN}} = 0,01 * 1840 = 18,4\text{mg/l}.$$

Si è visto come la concentrazione di manganese LTC_3 nel sito della discarica equivale a 1840 volte la concentrazione C_t fissata dai limiti tabellari in falda. Questo fattore può essere approssimativamente esteso anche ad altre sostanze similari dal punto di vista del comportamento in acqua e dei tempi di dimezzamento (*half-life*).

Quindi, contaminanti similari al manganese e con tempi di dimezzamento più brevi di quelli qui assunti, come ad esempio l'ammoniaca (si ricordi che per ulteriore garanzia di sicurezza è stato assunto nei calcoli per il manganese un tempo $t_{1/2}$ cautelativamente molto lungo pari a 100.000 anni), rendono i contaminanti stessi ancora meno impattanti sulle acque di falda.

Seguendo i principi sopra espressi, assumendo per l'ammoniaca il valore di $0,5\text{mg/l}$ (C.M.A. del D.Lgs. 31/2001 sulle acque potabili), risulta pertanto che la concentrazione massima residua effettiva di ammoniaca ammessa nell'area della discarica è $LTC_{3\text{effNH}_4}=920\text{mg/l}$:

$$\text{Remedial Target} = \text{Remedial Target effettivo ammoniaca} = LTC_3 = LTC_{3\text{effNH}_4}=920\text{mg/l}.$$

LIVELLI DI GUARDIA. Si definiscono ora i Livelli di Guardia (LG) per gli elementi rappresentativi del sito (manganese, ammoniaca). Essi sono definiti soprattutto in funzione delle caratteristiche idrogeologiche, del "rumore di fondo" del contaminante presente nell'area idrogeologica vasta in cui è situata la discarica in esame, della tipologia, forma e soggiacenza della falda, la presenza di altri contaminanti con la valutazione ambientale complessiva del fenomeno considerando anche il sopra citato "rumore di fondo". Quindi lo schema tecnico che porta alla definizione di una proposta di Livello di Guardia passa attraverso due FASI principali:

FASE a). Considerazioni sui limiti tabellari (D.Lgs. 152/2006).

Posto che i Valori Limite sono stabiliti dalla norma (per il manganese $V.L.=0,05\text{mg/l}$), in assenza di un "rumore di fondo" degno di nota, il Livello di Guardia di un contaminante può essere stabilito riferendosi al valore fissato dal D.Lgs. 152/2006 per i vari analiti stabiliti e indicanti la Classificazione chimica delle falde in base ai parametri di base.

Poichè le falde locali sono già ricche di manganese (cfr. Rapporto sullo Stato dell'ambiente – Aggiornamento 2002 – A.R.P.A. Friuli V. Giulia, pagg. 38-39), esse appartengono alla Classe 3 e Classe 4 a seconda dei settori analizzati nell'ambito delle falde della Media e Bassa pianura friulana. Infatti, da analisi condotte sui dati dell'A.R.P.A. del 2002 e 2003 (vedi i Comuni di Talmassons, Mortegliano, Castions di Strada, Palazzolo dello Stella) risulta che in alcuni comuni il manganese è già presente in concentrazioni elevate e talora arriva anche a $0,05\text{-}0,06\text{mg/l}$ (pari al limite del D.Lgs. 152/2006). Si tratta di un generale "rumore di fondo" poiché il manganese nei terreni è notoriamente di origine geopedologica e certamente non è dovuto a rilasci diretti di percolati (fonte analisi A.R.P.A.).

Pertanto il Livello di Guardia del manganese nelle falde locali non può essere riferito ai valori tabellari del D.Lgs. 152/2006 poiché sovente essi sono già oltrepassati dallo stesso "rumore di fondo" generale.

FASE b). Applicazione dell'Analisi del Rischio.

Stante la situazione generale di cui sopra, si può affermare che in linea di principio lo strumento più logico da proporre per la definizione dei Livelli di Guardia in questi casi particolari può essere senza dubbio quello dell'Analisi del Rischio prevista dalla normativa. L'Analisi del Rischio prende in conto, oltre alle caratteristiche idrogeologiche e ambientali locali, anche la distanza dei punti idrici più vicini da tutelare (punti di conformità), le caratteristiche chimiche di decadimento naturale del contaminante e la diluizione naturale.

Riprendendo quanto sopra affermato circa il flusso di propagazione della falda e i valori di "rumore di fondo" di manganese monitorati dai piezometri di Gonars e Bagnaria Arsa, $0,001\text{-}0,04\text{mg/l}$ nel 2002-2003 (dati A.R.P.A.), nel caso puntuale in esame i Livelli di Guardia LG (mg/l) sono:

- **Manganese:** l'Analisi del Rischio ha fornito un dato di *Remedial Target* = $LTC_3=92\text{mg/l}$ (ossia c.a 1840 volte il valore tabellare di $0,05\text{mg/l}$) e un valore effettivo *Remedial Target effettivo* = $LTC_{3\text{effMN}}=18,4\text{mg/l}$ se si assume cautelativamente la presenza di un "rumore di fondo" di $0,04\text{mg/l}$ (il massimo valore che è

stato riscontrato puntualmente). Si può ragionevolmente proporre un Livello di Guardia LG di 1/10 del valore $LTC_{3\text{effettivo}}$ calcolato nell'Analisi del Rischio. Risulta pertanto:

$$LG = LTC_{3\text{effMN}}/10 = 18,4/10 = 1,84\text{mg/l.}$$

- **Ammoniaca:** i risultati dell'Analisi del Rischio condotta sul manganese possono essere certamente traslati anche per l'ammoniaca introducendo, oltretutto, un ulteriore fattore di sicurezza (infatti i tempi di dimezzamento $t_{1/2}$ dell'ammoniaca sono certamente molto inferiori ai 100.000anni già cautelativamente adottati per i calcoli nel caso del manganese). Così facendo l'Analisi del Rischio fornisce per l'ammoniaca un dato di *Remedial Target*= $LTC_3=900\text{mg/l}$ (ossia c.a 1840 volte il valore tabellare di 0,5mg/l stabilito). Nelle falde locali non è segnalata la presenza di ammoniaca degna di rilievo quale "rumore di fondo". Pertanto in questo caso il *Remedial Target* = $LTC_3 = LTC_{3\text{effNH}_4} = 900\text{mg/l}$. Il Livello di Guardia LG proposto è 1/10 del valore indicato LTC_3 dall'Analisi del Rischio:

$$LG = LTC_{3\text{effNH}_4}/10 = 920/10 = 92\text{mg/l.}$$

5 – CALCOLO DEL RISCHIO E ACCETTABILITA': CONCLUSIONI OPERATIVE

Nel caso specifico del manganese, mantenendo il livello del contaminante entro i limiti del *Remedial Target effettivo manganese* = $LTC_{3\text{effMN}} = 0,01 \cdot 1840 = 18,4\text{mg/l}$, è assicurato il rispetto dei limiti tabellari alla linea delle risorgive che rappresenta il punto reale di tutela idrica più vicino alla discarica.

Per completezza di esposizione, comunque, si presenta il calcolo che evidenzia di quanto il bersaglio "uomo" e "ambiente" sono soggetti ad una portata effettiva di esposizione E:

$$E = C_{\text{poc}} * EM = 0,0034$$

ove: E = 0,0034 = Esposizione al contaminante

$C_{\text{poc}} = 0,05 \text{ mg/l}$ = concentrazione calcolata al punto di esposizione (risorgive)

$EM = 4 \text{ l/g} * 1/50 \text{ kg} = 0,067 \text{ l/(kg,g)}$ = quantità di acqua contaminata ingerita al giorno per

unità di

peso corporeo di un individuo donna, oppure stima della dose giornaliera che può

essere

assunta dal recettore umano identificato nel modello concettuale.

RISCHIO PER LA SALUTE UMANA. Essendo la sostanza manganese classificata nei profili di tossicità (fonte: RAGs Format for Manganese CAS nb. 7439965) come tossica e non cancerogena, il calcolo del rischio per l'uomo assume l'equazione dell'Indice di pericolo per la salute umana (Hazard Quozient) e fornisce il seguente valore di HQ:

$$HQ = E/RfD = 0,0034/0,046 = 0,074 (<< 1)$$

Ove: HQ = 0,074 = Indice di pericolo individuale per la salute umana. Indica di quanto l'esposizione reale di una sostanza supera la dose tollerabile o di riferimento RfD. Tale indice per essere accettabile deve essere inferiore a 1.

$RfD = 0,046 \text{ mg/(kg,g)}$ = Chronic Reference Dose for manganese in water

Si è ottenuto, dunque, un valore $HQ = 0,074 (<< 1)$. Il rischio per la salute umana è bassissimo e dunque è accettabile secondo le definizioni normative (A.P.A.T., 2005-2008).

RISCHIO PER LA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA. Si calcola ponendo a confronto il valore di concentrazione del contaminante in falda (C_{gw}) e il più conservativo tra i valori di concentrazione limite della falda (CL_{gw}) previsti dalle norme, in corrispondenza del punto di conformità (linea delle risorgive). Il rapporto definisce numericamente il Rischio per la risorsa idrica sotterranea (R_{gw}) e per essere accettabile deve essere pari o inferiore a 1. Nel caso in esame si ottiene:

$$R_{gw} = C_{gw}/CL_{gw} = 0,05/0,05 = 1$$

Si è ottenuto, dunque, un valore $R_{gw} = 1$. Il rischio per la risorsa idrica sotterranea è accettabile.

PIANO DI MONITORAGGIO. Viste inoltre le caratteristiche idrogeologiche e in accordo con le finalità del “Piano di monitoraggio e controllo delle acque sotterranee” imposto dall’Ente competente, si effettueranno le seguenti misure e interventi in sito e suo intorno:

- attualmente l’A.R.P.A. effettua prelievi e analisi mensili delle acque di falda su n° 3 piezometri interni;
- si propone la realizzazione di un nuovo piezometro situato nella sezione sud-est, cioè proprio quella interessata dalle contaminazioni attuali, la cui posizione sarà approssimativamente a monte piezometrica sul lato est della discarica;
- si propone di continuare con l’attuale monitoraggio della falda introducendo, sentita anche l’A.R.P.A., il monitoraggio aggiuntivo anche dei altri n° 2 piezometri presenti nel sito e limitando gli analiti ai soli parametri fondamentali:
 - pH
 - Temperatura;
 - Conducibilità;
 - Ossidabilità Kubel;
 - NH₄, NO₃, NO₂;
 - Cloruri;
 - Solfati;
 - Metalli: Fe, Mn;
- il monitoraggio attualmente ha frequenza mensile in quanto mirato all’osservazione di un fenomeno di contaminazione da Ammoniaca e Manganese presente segnalato su n° 2 piezometri. In caso di ritorno dei parametri entro *range* inferiori per un periodo continuativo di almeno 6 mesi, la frequenza di monitoraggio potrà essere trimestrale;
- devono essere rilevati mensilmente i valori di livello di falda a tutti e 6 i piezometri in sito;
- qualora si dovesse verificare un incremento repentino nei valori della contaminazione di fondo che superino i Livelli di Guardia calcolati con l’Analisi del Rischio per il manganese, NH₄ o altri analiti reputati d’interesse a uno dei piezometri, il responsabile della gestione si attiverà per intervenire secondo il seguente Piano d’intervento:
 - la ripetizione del campionamento e delle analisi chimico-fisiche per verificare la significatività dei dati, la continuazione delle misure chimico-fisiche mensili di tutti i piezometri, la verifica e la vigilanza sui trend evolutivi;
 - attivazione di controlli giornalieri dei parametri della rete-spia e prelievo del percolato in modo da assicurare un battente nullo;
 - misure piezometriche settimanali e definizione delle relative Carte piezometriche di precisione aggiornata al momento e interessanti anche tutta la zona idrogeologica in esame contenente la discarica in suo congruo intorno; definizione delle direzioni esatte della falda e ubicazione dei piezometri di monte e di valle della discarica; definizione del tipo di contaminazione, della sua effettiva posizione di partenza e della sua posizione nelle 3 dimensioni dentro la falda, definizione di eventuali misure tecniche d’intervento e a costi sostenibili;
- installazione di due caposaldi sommitali alla discarica esaurita per verificare l’assestamento dei rifiuti nel tempo fornendo una relazione semestrale sull’assestamento della massa dei rifiuti;
- attuazione delle seguenti azioni in area esterna alla discarica:
 - individuazione dei locali pozzi esistenti esterni all’area della discarica, disponibili e idonei alla effettuazione di misure ai fini della tematica in esame;
 - censimento e ricerca sulle attività a rischio di contaminazione presenti all’esterno dell’area della discarica in un congruo intorno del bacino idrogeologico di riferimento;
 - raccolta, elaborazione e sintesi dei dati idrogeologici e idrochimici regionali disponibili sul bacino di cui sopra;
 - eventuale prelievo e analisi dei terreni e/o delle acque individuate in tale ricerca;
 - analisi idrogeologica, idrogeologico-isotopica e sui traccianti naturali relativi a campioni d’acqua prelevati da alcuni pozzi interni ed esterni alla discarica e alle acque naturali superficiali presenti

nel bacino idrografico d'interesse. Ciò al fine di individuare età, quota e area acquifera di provenienza della falda locale e, inoltre, i possibili bersagli della contaminazione sul breve, medio e lungo termine (a opera dell'Ente Pubblico competente);

- si propone di effettuare 3 mesi di misure di verifica (una misura al mese) dei parametri di ammoniaca riscontrati dall'A.R.P.A. adottando le tecniche di spurgo e campionamento delle acque di falda progettate in una precedente relazione ("Relaz. Droli 2001") e derivate dal calcolo analitico per la definizione ottimale dei fronti di richiamo idrico in falda. Si reputano infatti assolutamente inadeguate e non rappresentative le procedure di campionamento di norma attuate dall'A.R.P.A. con spurghi di c.a 10 min e prelievi di 1 l/s oppure lo svuotamento dei un numero standard di volte il volume della colonna d'acqua del foro. Tali prelievi standard dell'A.R.P.A. non rispettano le caratteristiche idrogeologiche della falda, pertanto non sono assolutamente rappresentativi dello stato di contaminazione della falda stessa e non sono utili al monitoraggio.