

Dispense di **INGEGNERIA SANITARIA**

redatte dal
prof. Ing. Ignazio Mantica

17-10-1946 † 04-08-1995

il materiale presente in questo file viene riportato così come lasciato da Ignazio Mantica alla data della sua scomparsa, pertanto può risultare incompleto.

Questo materiale viene pubblicato nella speranza che il frutto di anni di lavoro svolto con passione ed impegno non vada perso e possa essere ancora utile a quanti lo vorranno.

Siete liberi di usare i testi e le immagini presenti in questo documento come meglio credete, vi chiediamo soltanto di citarne la fonte.

- GRAZIE -

**Università degli Studi di Ancona
Istituto di Idraulica**

prof.ing. Ignazio MANTICA

INGEGNERIA DELL' AMBIENTE

trattamento e smaltimento R.S.U.

metodologie per la valutazione dell' impatto ambientale

**argomenti tratti dalle lezioni di Ingegneria Sanitaria tenute nella A.A. 1987/88
e dalla tesi di laurea dell' ing. Gianni Lozzi**

CAPITOLO QUARTO

PROGETTAZIONE DI UNA DISCARICA

4.1 ELEMENTI PER LA SCELTA DELL'AREA

Si dovrebbero scegliere preferibilmente aree che, attraverso la discarica, potrebbero essere recuperate con i riempimenti e i rimodellamenti; ad esempio:

- i terreni incolti senza valore;
- i terreni al limite della redditività;
- le cave di ghiaia e di argilla non allagate;
- gli avvallamenti conseguenti a sfruttamento minerario;
- i terreni a ridosso di pendii;
- i terreni da colmare o innalzare.

Ovviamente, si deve tener presente che non tutte queste aree sono sempre disponibili per essere destinate a discariche controllate ma la loro scelta dipende da precise esigenze geologiche e da altri parametri quali distanza dal baricentro di produzione dei rifiuti, capacità, disponibilità del materiale di copertura, distanza dall'abitato, ecc.

Per quanto riguarda la normativa tecnica vigente (sottoparagrafo 4.2.2. lettere *a)* e *b)*), le discariche controllate con rifiuti solidi urbani devono:

- essere posti a distanza di sicurezza, in relazione alle caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito:

- dai punti di approvvigionamento di acque destinate ad uso potabile;
- dall'alveo di piena dei laghi, fiumi, torrenti;
- essere posti a distanza di sicurezza dai centri abitati e dai sistemi di aree di grandi comunicazioni;
- essere ubicati in suoli la cui stabilità sia tale, o resa tale, da evitare rischi di frane o cedimenti delle pareti e del fondo di discarica nonché rischi di spostamenti e deformazioni delle opere idrauliche per il drenaggio delle acque meteoriche.

A titolo di esempio si riporta l'elenco delle *aree vietate* dalla normativa USA (RCRA) per l'installazione di una discarica:

- in zone di faglia;
- in un'area costiera ad alto rischio (sono previste eccezioni);
- entro paludi;
- in habitat critici;
- in zona di ricarica dell'acquifero (sono previste eccezioni);
- entro 60 m dalla linea di proprietà (sono previste eccezioni);
- entro 150 m da ogni riserva di acqua utilizzata per uso pubblico o privato o per il bestiame (sono previste eccezioni);
- in diretto contatto con le acque navigabili;
- entro 1,5 m dal livello massimo storico delle acque alte.

Più avanti sono riportati i più indicativi elementi da studiare per la scelta del sito che dovrà soddisfare non solo dal punto di vista igienico ed ambientale ma anche dal punto di vista economico. Una indagine poco accurata nella scelta dell'area può essere causa di dispendiose tecniche di adattamento: potrebbe essere a volte conveniente sopportare maggiori spese per l'acquisto di un terreno o per il trasporto in aree più lontane, che sostenere i costi relativi al miglioramento di un sito poco adatto.

Nella scelta del sito si deve tener presente che i costi di ammortamento e di gestione dei piccoli impianti rispetto a quelli maggiori, sono, in proporzione, sono decisamente svantaggiosi. E' quindi necessario che l'area possa soddisfare *una aggregazione di produttori di rifiuti* e quindi anche di comuni minori.

Come dato orientativo in base a considerazioni economiche andrebbe considerato un bacino di utenza di almeno 30.000÷50.000 abitanti.

L'aggregazione sarà definita in funzione della quantità e qualità dei rifiuti prodotti, delle caratteristiche geomorfologiche del territorio, delle infrastrutture varie, della distanza dei luoghi di produzione dei rifiuti dal sito da scegliere: queste circostanze dovranno essere valutate con metodi di ottimizzazione, al fine di individuare la soluzione più conveniente che risponde ai criteri di economicità e nello stesso tempo di maggiore efficacia. Infatti, per garantire una corretta condizione degli impianti si deve ricorrere a organizzazioni tecnico-gestionali che graverebbero eccessivamente le singole amministrazioni locali; potrebbero, invece, essere sostenute da una idonea aggregazione di comuni perchè si arriverebbe a disporre di quella sufficiente concentrazione di rifiuti da trattare in modo economicamente rispettoso dei costi di realizzazione e gestione degli impianti e dei costi di trasporto dei rifiuti. Nell'ambienti di alcune aggregazioni, si potrebbe anche considerare l'opportunità di localizzare impianti intermedi di raccolta.

Per finire, si ritiene opportuno precisare che la scelta del sito oltre ad avere il consenso delle amministrazioni locali e sanitarie, dovrebbe soddisfare anche le associazioni naturalistiche.

4.2 Fabbisogno di spazio

La superficie richiesta per la realizzazione di uno scarico controllato dipende dalla quantità e dalla qualità dei rifiuti da smaltire, dal tipo di sistema scelto per l'interramento, dall'altezza del deposito e dai tempi di esercizio richiesti.

Sulla base di questi parametri il calcolo del volume necessario per lo smaltimento deve essere fatto secondo la seguente relazione:

$$V = d \cdot 365 \cdot N \cdot P + v_c$$

dove:

- V = Volume totale del deposito (m³)
- d = Produzione media giornaliera di rifiuti pro-capite, (kg/ab x giorno)
- N = Numero degli abitanti serviti, (ab)
- P = Peso specifico dei rifiuti disposti in strato, (Kg/m³)
- v_c = Volume del materiale di copertura (m³)

I tempi di esercizio dovrebbero essere preferibilmente, di circa 15 anni, cioè confrontabili con quelli fissati per diversi impianti di smaltimento, al fine di garantire un buon ammortamento, soprattutto in presenza di elevati costi di impianto quali potrebbero

derivare da opere di impermeabilizzazione del fondo e di smaltimento del percolato.

In ogni caso per un impianto di interrimento sanitario dotato di tutti gli accorgimenti tecnici necessari per una corretta conduzione, occorre prevedere tempi di esercizio non inferiore a 5 anni, realizzazioni con opere e manufatti eventualmente riutilizzabili e programmazione di nuovi siti per l'interrimento così da estendere il periodo globale di funzionamento ai 15 anni prima fissati.

Il peso specifico dei rifiuti disposti in strato dipende dal tipo di sistema di interrimento scelto, con valori che variano, come si è visto, tra 500 Kg/m³ e 1000÷1200 Kg/m³, e dal peso specifico dei rifiuti grezzi conferiti all'impianto. Così, ad esempio, rifiuti come scatole di cartone, recipienti di vetro e casse di legno possono essere facilmente ridotti di volume, mentre rifiuti come materassi, pneumatici, elettrodomestici ed altri materiali ingombranti non subiscono sostanziali variazioni di volume.

Il volume del materiale di copertura dipende, anch'esso, dal tipo di sistema scelto ed, inoltre, dal numero degli strati (funzione dell'altezza del deposito e del tipo di sistema), dal numero degli abitanti serviti (frequenza della copertura del fronte rispetto alla quantità di rifiuti scaricata) ed infine, relativamente allo strato di copertura finale, dal tipo di uso del terreno recuperato (agricolo, ricreativo, per servizi, ecc.) e dalla superficie dell'area.

Per il calcolo del volume del materiale di copertura può valere indicativamente la seguente relazione:

$$V_c = (h_{cg} \cdot (n - 1) + h_{cf}) \cdot a \cdot S$$

dove:

- h_{cg} = spessore dello strato di copertura giornaliero (m)
- n = numero degli strati
- h_{cf} = spessore dello strato di copertura finale (m)
- a = coefficiente correttivo sperimentale che tiene conto dei volumi di materiale impiegati per la copertura del fronte di avanzamento; dipende sostanzialmente dal numero degli abitanti serviti
- S = superficie media dell'area = V/h_D ;
- h_D = l'altezza del deposito

Il numero degli strati può essere così calcolato:

$$n = h_D / \bar{h}_s$$

dove:

- h_D = altezza del deposito (m)
- \bar{h}_s = spessore dello strato di rifiuti previsto in base al sistema di interrimento scelto (m)

Individuato in questo modo il valore di n si calcola lo spessore effettivo degli strati con la seguente espressione:

$$h_s = \text{Errore.} - h_{cg}$$

dove i simboli hanno lo stesso significato visto nelle relazioni precedenti.

4.3 Distanza

Il sito deve essere ubicato il più vicino possibile alle zone di produzione dei rifiuti al fine di minimizzare le spese di raccolta e trasporto.

Nella pratica si ammette una distanza non superiore a 15 Km e solo se il sistema di circolazione è bene organizzato e efficiente si può aumentare a 50 Km. In ogni caso il sito deve trovarsi in posizione baricentrica rispetto alla zona da servire e nel caso di più zone deve essere spostato verso quella da cui proviene la maggior parte dei rifiuti.

D'altra parte gli impianti devono essere a distanza di sicurezza dai centri abitati o dai centri viari di grande comunicazione per i noti inconvenienti che essi comportano: aspetto estetico poco accettabile, dispersione del materiale leggero per effetto del vento, sollevamento della polvere, transito degli automezzi di raccolta, rumore dei mezzi di lavoro, cattivi odori legati particolarmente agli automezzi di raccolta.

Poichè la discarica può comportare rumori e odori molesti, la distanza dell'impianto dal perimetro dei centri abitati non deve essere, di norma inferiore a 1000 metri in linea d'aria (secondo l'art. 24 della legge 20 marzo 1941 n. 366); questa misura è valida nel caso che la discarica sia a vista; può essere ridotta se esiste fra impianto e centro abitato una collina o qualsiasi rilievo di terreno tali

che fabbricati e discarica non siano a vista. Occorre inoltre tener conto della direzione dei venti dominanti.

In ogni caso la distanza non può essere inferiore a 100 metri in quanto la discarica è una lavorazione insalubre (D.M. 23 dicembre 1976 «Elenco delle industrie insalubri di cui all'art. 216 del testo unico delle leggi sanitarie»).

Nel caso si voglia migliorare un ambiente degradato (presenza di cave abbandonate, ad esempio) si può prendere in considerazione la possibilità di operare anche a 200 m dal confine della più vicina zona residenziale purchè si prendano le necessarie precauzioni al fine di minimizzare ogni molestia e si installino cortine arboree di separazione.

A proposito degli aeroporti, si ritiene necessaria che la discarica si distante almeno tre chilometri, perchè i numerosi uccelli che sono attratti potrebbero costituire un pericolo per gli aerei.

4.4 Accessibilità

Il sito deve essere posto a distanza di sicurezza dai sistemi viari di grande comunicazione.

L'area dovrebbe avere un buon collegamento stradale con il bacino di raccolta; la viabilità deve consentire il transito dei veicoli in ogni condizione di tempo e essere adeguata al numero di automezzi che vi dovranno circolare.

Sarà opportuno prendere in considerazione anche:

- la vicinanza alle principali strade di comunicazione;
- le limitazioni di carico sulle strade pubbliche;
- la capacità dei ponti;
- il numero dei semafori e incroci principali che dovranno essere attraversati;
- i passaggi a livello e attraversamenti ferroviari;
- il traffico locale;
- la tortuosità del percorso;
- gli eventi particolari delle vicinanze (fiere, manifestazioni sportive o folkloristiche, ecc.);
- i percorsi alternativi.

4.5 Geologia

Le discariche non vanno realizzate in aree in frana, potenzialmente franose e soggette ad intensa erosione, e, più in generale, in zone di rischio geologico e/o idraulico, come quelle soggette ad alluvioni, inondazioni marine e onde di maremoto. Accurate geologiche-tecniche vanno eseguite nel caso di possibile localizzazione degli impianti in corrispondenza di faglie attive, o in zone di alto rischio vulcanico, o su conoidi alluvionali ancora suscettibili di sviluppo, o in zone ad alta sismicità; in quest'ultimo caso le discariche potranno essere ubicate solo se realizzate con criteri costruttivi tali da poter garantire la stabilità anche in caso di forti scosse. Il Decreto Ministeriale 21 gennaio 1981 (cui è seguita la circolare del Ministro dei Lavori Pubblici 1981/21597) alla lettera I, rende obbligatorio uno studio geologico, geotermico e idraulico per le aree da destinare a discarica controllata.

L'impianto può essere realizzato in rilievo oppure in scavo, pertanto vi sarà sempre un fondo della discarica ed i fianchi, i quali potranno essere pareti di scavo oppure scarpate del rilevato. La

sceita della pendenza di sicurezza da assegnare ai fronti di scavo e in generale ai pendii artificiali o naturali dipende dall'«attrito interno» e dalla «coesione» del terreno, dall'altezza della scarpata e dalle condizioni di circolazione delle acque sotterranee. Il calcolo della pendenza di sicurezza, quando si renda necessario, è preceduto dall'esecuzione di una serie di indagini geologiche, geotecniche e idrogeotecniche sul terreno e di prove di laboratorio, tramite le quali si ottengono quei parametri necessari alla «verifica di stabilità», la quale consiste appunto nell'individuare con il calcolo e con procedimenti grafici il profilo delle scarpate che, con quel terreno e in quelle condizioni ambientali, dà la garanzia dell'equilibrio.

Va da sé che tali profili vanno calcolati caso per caso, ma in questa sede si vuol fare un discorso di inquadramento generale del problema, basato sull'esperienza acquisita sul comportamento dei pendii in vari tipi del terreno.

Per le terre dotate di sola coesione, le quali però impregnate d'acqua si plasticizzano (come le argille azzurre marine del Pliocene e del Pleistocene) e per le terre incoerenti (come ad esempio, i sedimenti alluvionali sabbiosi e ghiaiosi dotati solo di attrito interno), i valori delle grandezze di sicurezza vanno da un minimo di 18° (con valori ancora più bassi nella formazione delle «argille vari colori scagliose» dell'Appennino) fino ad un massimo di 45°; vi sono valori intermedi attribuibili, secondo i casi, ai limi (dotati di coesione e di attrito interno), ad argille più consolidate (ad esempio certe argille plioceniche, beninteso non raggiunte dai fattori di alterazione), a depositi sabbiosi ben addensati, a morene argillose, a «terra rossa», a depositi piroclastici sciolti, ecc.. Al di fuori del campo dei terreni sciolti, cioè quando ci si riferisce alle rocce lapidee, come le arenarie,

i calcari (sia duri e compatti come quelli del mesozoico che quelli teneri e porosi), i tufi vulcanici litoidi, le rocce magmatiche come i graniti, le rocce metamorfiche come gli gneiss, il valore di 45° deve considerarsi nella maggior parte dei casi ampiamente cautelativo, a meno di situazioni idrogeologiche e geostrutturali particolarmente sfavorevoli.

Allo scopo di aumentare la stabilità meccanica e limitare l'erosione del fondo e soprattutto delle pareti della discarica, nei casi in cui la natura del terreno e la pendenza lo richiedano, si può ricoprirli con feltro ¹ eventualmente integrato con gunite² o altri materiali aventi fini stabilizzanti.

In conclusione, le caratteristiche di un'area idonea dal punto di vista geologico a ospitare una discarica sono sinteticamente i seguenti i:

- morfologia del terreno idonea;
- vantaggi geologici presentati dal sito;
- natura favorevole del substrato geologico;
- assenza di risorse minerarie utilizzabili;
- assenza di giacimenti geologici vincolati o interessanti;
- presenza di materiali idonei per la copertura della discarica;
- stabilità del suolo tale, o resa tale, da evitare rischi di frane o cedimenti delle pareti e del fondo della discarica nonché rischi di spostamenti e deformazioni delle opere idrauliche per il drenaggio delle acque meteoriche.

¹il feltro il linguaggio tecnico é anche detto, con un francesismo «tessuto non tessuto, o con neologismo geotessile

²vedasi capitolo Materiali del testo di Costruzioni Idrauliche

4.6 Caratteristiche del suolo.

Di notevole importanza è il fattore *permeabilità* perchè da questo dipende la capacità di una roccia (sciolta o lapidea) di lasciarsi attraversare dall'acqua. La *permeabilità* può essere per porosità e per fessurazione. Il moto delle acque nei mezzi filtranti nei mezzi porosi (e ed in quelli fratturati assimilabili strutturalmente ai porosi) è regolato dalla legge di Darcy:

$$V = k i$$

secondo la quale la velocità di filtrazione V è direttamente proporzionale alla pendenza piezometrica i , a meno di un coefficiente indicato con K e detto di permeabilità, il cui valore dipende essenzialmente dal numero e dimensioni dei vuoti attraverso cui passa l'acqua. In termini di prima approssimazione il *coefficiente di permeabilità*, può definirsi come il volume di acqua che passa attraverso l'unità di superficie di una sezione retta di roccia nell'unità di tempo, sotto un gradiente idraulico unitario (100%), a 20°C.

Esso viene espresso in cm/sec., cioè ha le dimensioni di una velocità.

Dove non è possibile determinare k mediante prove di permeabilità in sito o in laboratorio, si può ricorrere alla formula di Hazen, che esprime, per le sabbie a granulometria continua, la permeabilità in funzione del «diametro efficace» delle sabbie. Una classificazione delle rocce secondo il grado di permeabilità è quella della tabella 48.

Tab.48 Gradi di permeabilità delle rocce

Nella tabella 49 viene presentata la permeabilità delle principali rocce sciolte, e nella tabella 50 il grado e il tipo di permeabilità di vari gruppi di rocce.

Tab.49 Valori medi del coefficiente di permeabilità K (in cm/sec) di alcune rocce sciolte.

Da quanto esposto si rileva che in realtà non esistono rocce assolutamente impermeabili, poichè al limite saranno dotate di permeabilità molto bassa, e vengono considerate impermeabili solo ai fini pratici. Una dimostrazione della diversa permeabilità e quindi

velocità del moto delle acque sotterranee e nei vari mezzi filtranti, sta nel fatto che tale velocità può variare, per falde idriche con pendenza del 3 per mille ($i=0,003$), da 0,04 m/giorno per le sabbie fini, a 4,4 m/giorno per le ghiaie fini, e superiore ai 25 m/giorno nei depositi alluvionali grossolani.

Tab.50 Grado e tipo di permeabilità di vari gruppi di rocce.

La situazione ottimale è quella della discarica realizzata in una depressione naturale o artificiale (es. cava esaurita), dove le permeabilità dei terreni costituenti il fondo e le pareti dell'impianto sia molto bassa,

cioè tali terreni siano dotati di un coefficiente di permeabilità k minore o uguale a $10^{-6} \div 10^{-7}$ cm/s, in modo che sia praticamente impossibile che il percolato, infiltrandosi nel sottosuolo, raggiunga acque superficiali o sotterranee. Affinchè ciò avvenga è necessario che la depressione sia chiusa, cioè idraulicamente isolata.

Per raggiungere questa situazione, nel caso non sia possibile rinvenire le condizioni morfologiche suddette, si può far ricorso a serbatoi fuoriterra, realizzati con terre impermeabili e poggianti su terreni impermeabili.

Altro parametro da valutare è lo *spessore* del terreno interposto tra la massa dei rifiuti e le acque superficiali e di falda.

Infatti non verificandosi mai la impermeabilità assoluta dei terreni, esiste la possibilità che il percolato, seppur propagandosi molto lentamente nel mezzo filtrante naturale (terreno), raggiunga dopo un certo tempo le acque superficiali o sotterranee. Semplificando al massimo, ammettendo che il terreno interposto tra la massa dei rifiuti e le acque da preservare abbia spessore di 1 metro e coefficiente di permeabilità $k=10^{-6}$ cm/sec (sia dotato cioè di permeabilità bassa), e che la pendenza piezometrica sia unitaria ($i=1$, ossia 100%), l'acqua inquinata proveniente dalla discarica si propagerà nel mezzo filtrante con una velocità di 10^{-6} cm/sec e per superare quello spessore impiegherà 10^8 sec, ossia poco più di 3 anni.

In realtà la corretta determinazione della *velocità di infiltrazione* (qui intesa come penetrazione dell'acqua nel mezzo filtrante, con spostamento prevalentemente verticale nella zona di aerazione) e quindi del tempo necessario al percolato perchè dalla superficie

topografica raggiunga la falda acquifera sottostante, si deve far ricorso ad equazioni fisiche o empiriche, che tengono conto non solo dello spessore ma anche dei parametri idraulici e chimico-fisici del mezzo filtrante; inoltre sono da valutare le caratteristiche chimico-fisiche del percolato per le sue eventuali interazioni col materiale filtrante.

A questo punto entra in gioco la *capacità autodepurativa* del terreno attraversato dalle acque percolanti inquinate, poichè a seconda di come e quanto i terreni siano dotati di questa proprietà, varierà la quantità e la qualità dell'inquinante in grado di raggiungere le acque da preservare. Si conta infatti sulla capacità autodepurativa dei terreni i quali hanno la capacità di trattenere e degradare chimicamente e biologicamente molti contaminanti. In relazione al tipo di ambiente (atmosfera, acque, suolo e sottosuolo) e alla natura della sostanza immessa, variano i meccanismi di azione ed i principi chimico-fisici operanti.

Per quanto riguarda la roccia (sciolta o litoide) come sistema depuratore, i più importanti processi fisici che avvengono in essa sono: filtrazione propriamente detta (separazione di particelle solide dal liquido dove sono contenute, che avviene con passaggio del liquido attraverso il mezzo poroso, dal quale sono trattenute), sedimentazione (le particelle trasportate dal liquido si depositano, per gravità, negli interstizi o vuoti della roccia); i principali processi chimici sono invece: adsorbimento (per cui le particelle colloidali della roccia trattengono sulla loro superficie le molecole delle sostanze inquinanti), reazioni chimiche fra sostanze inquinanti (ad esempio alluminio, metalli pesanti, ecc.) e i minerali della roccia, precipitazione chimica.

Così, il materiale organico in sospensione nel percolato, tra cui i batteri patogeni, viene prevalentemente trattenuto per filtrazione o per adsorbimento; il materiale organico in soluzione, i virus e gli ioni ammonio (NH_4^+) vengono trattenuti per adsorbimento; in ambiente acido lo ione fosfato forma sali poco solubili che precipitano.

Le rocce che svolgono azione autodepurante più efficace sono quelle dotate di più elevata porosità, quali le argille e limi, i tufi vulcanici e in generale i depositi piroclastici. Invece le rocce che presentano la minore efficacia autodepurante sono quelle ricche di fessure e fratture e quelle classificate, in particolare la maggior parte delle colate laviche e i calcari, nelle quali le dimensioni degli interstizi sono così grandi da impedire o rendere trascurabili i fenomeni quali filtrazione, sedimentazione, adsorbimento.

Nel caso sia presente anche nel suolo come fattore depurativo, oltre a permettere i processi già descritti, svolti dalla porzione minerale nonché dalla sostanza organica e cioè l'humus (anzi da quest'ultimo in maniera superiore rispetto a quella fornita dalle rocce a causa dell'elevatissima porosità), esso svolge, in quanto ecosistema, l'importantissima funzione di «biodegradazione» mediante l'azione della microflora batterica in esso contenuta: il materiale organico presente nel percolato viene decomposto dalla flora batterica, specialmente quella aerobica.

Inoltre possono avvenire altri processi a carico delle sostanze estranee presenti allo stato di ioni nella «soluzione circolante» del suolo: lo *scambio ionico* con i colloidali del suolo («complesso di scambio») in ragione della *capacità di scambio cationico* (CSC) del suolo, e l'*assorbimento* da parte delle radici delle piante.

Tutti questi processi vengono facilitati nei suoli dotati di elevata capacità di ritenzione (o capacità idrica ritenuta), e che la quantità di acqua che un suolo riesce a trattenere vincendo la forza di gravità e che è funzione della porosità: i suoli argillosi, ad esempio, hanno capacità di ritenuta molto superiore a quella dei suoli sabbiosi.

Il suolo, malgrado il suo modesto spessore può svolgere una azione autodepurante considerevole in virtù dei processi biologici e chimici che vi hanno sede.

Affinchè suolo e sottosuolo abbiano capacità autodepurativa, devono coesistere due condizioni:

- la prima è che essi siano dotati di caratteristiche e si trovino in condizioni tali da permettere i naturali processi di depurazione;
- la seconda è collegata alla qualità e alla quantità di sostanze estranee e nocive scaricate sopra e entro di essi, per cui tali sostanze non devono superare una certa soglia, sia come massa assoluta che come dose (quantitativo smaltito in un certo tempo o su una determinata superficie di terreno).

Una volta superata tale soglia, l'effetto «filtro» cessa e gli inquinanti vengono rilasciati liberamente nel sottosuolo fino alla falda.

Un sito sarà idoneo dal punto di vista idrogeologico ad ospitare una discarica in caso di:

- buona protezione naturale degli acquiferi contro i rischi di inquinamento;

- distanza sufficiente e posizione favorevole rispetto alle sorgenti captate (ubicazione lontana dalle zone di protezione delle sorgenti);
- facilità di controllo (prelievi, analisi) della qualità delle acque.

4.7 Morfologia

In base alla configurazione del terreno si possono fare le seguenti valutazioni sommarie per la scelta del sito della discarica:

I *terreni pianeggianti* sono al sicuro dall'afflusso delle acque chiare e danno una certa garanzia riguardo alla protezione delle acque; sono però, particolarmente esposti alla vista e al vento.

Le *zone vallive* creano problemi nei riguardi dell'afflusso delle acque chiare; se in forte pendenza possono favorire i fenomeni di scivolamento; spesso le valli sono elementi paesaggistici meritevoli di protezione.

Le *aree collinari e montane* possono presentare i seguenti elementi idrogeologici che devono essere tutelati:

- falde freatiche o fronti freatici, trabocchi di sorgente, site sui versanti;
- falda freatica, falda in pressione, sorgenti, lungo le valli;
- falda freatica, fronte di sorgenti, site sui terrazzi;
- circolazione d'acqua, tavola d'acqua, nelle aree carsiche.

Gli *scavi* rappresentati dalle cave di pietra, ghiaia, sabbia, argilla, costituiscono l'ubicazione ideale per una discarica dal punto di vista della pianificazione del territorio e generalmente non presentano

problemi per il ripristinamento dal punto di vista della meccanica delle terre, ad eccezione del ripristinamento delle fosse in pendenza. Solo nel caso in cui le cave di ghiaia e sabbia e, qualche volta quelle di pietra (ad es. nelle zone carsiche) si trovano al di sopra di falde freatiche, si possono avere problemi per la loro utilizzazione come sito delle discariche.

Gli scavi di materiali offrono una relativa facilità al fine della impermeabilizzazione per le loro forme nette e geometriche. Particolarmente idonee sono le cave di argilla per il loro sottofondo stagno che impedisce al percolato di raggiungere le acque sotterranee. Deve però esistere uno scolo, naturale o si deve avere la possibilità di installarne uno nel punto più basso per non rischiare di determinare un ristagno del percolato con progressiva instaurazione di sgradevoli condizioni anaerobiche.

L'analisi morfologica consente di rilevare tutti gli elementi necessari alla conoscenza della stabilità per le aree collinari o montane; per quanto riguarda le aree di pianura, invece contribuisce alla conoscenza della esondabilità delle pendenze e della compressibilità del terreno.

4.8 Acque superficiali e acque per l'approvvigionamento

I punti di approvvigionamento di acque destinate ad uso potabile sono generalmente le sorgenti captate ed i pozzi in attività: indipendentemente da tutte le misure di sicurezza che si porranno in atto per la discarica, è chiaro che, per evitare un possibile

inquinamento delle acque sotterranee, la discarica si deve trovare a una distanza minima dai suddetti punti di approvvigionamento, che si stabilisce in generale pari a 150 metri. In realtà questo parametro si dovrà valutare caso per caso, in relazione alle caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche della zona, compresa la configurazione del «bacino idrogeologico» (mentre il bacino idrografico è delimitato da spartiacque superficiali, il bacino idrogeologico è delimitato da spartiacque sotterranee, che dipendono dalla distribuzione degli strati permeabili e impermeabili e dalla struttura geologica alla quale è legato l'andamento di tali strati: spesso i due bacini coincidono, ma quando non coincidono può accadere che le acque di competenza di un bacino idrografico passino per via sotterranea in bacini attigui).

Per sorgenti o pozzi situati a valle della discarica, la distanza di sicurezza dovrà essere superiore a quella suddetta, e ciò specialmente laddove i terreni situati tra l'impianto e il punto di approvvigionamento siano dotati di elevata permeabilità: pertanto sarà indispensabile effettuare indagini sui caratteri idrogeologici della falda acquifera che alimenta i pozzi e le sorgenti (geometria, porosità e permeabilità dell'acquifero, direzione e velocità del moto della falda, andamento della superficie piezometrica, ecc.) e sulla conformazione del bacino idrogeologico interessato; solo sulla base dei risultati di tali accertamenti si potrà fornire il valore della suddetta distanza di sicurezza. Viceversa, la distanza di 150 metri potrà essere ridotta qualora il punto di approvvigionamento si trovi a monte dell'impianto. In generale sono ammesse distanze inferiori a 150 metri qualora si dimostri sperimentalmente che non vi sia possibilità di alterazione della qualità delle acque superficiali e

sotterranee. Va da per sé che è vietato realizzare discariche all'interno delle «zone di rispetto» e delle «zone di protezione» dei punti di prelievo di acqua destinata prevalentemente ad uso potabile (zone vincolate dalle Regioni, visto l'art. 94 del T.U. delle leggi sulle acque 11.12.1933 n. 1775 e successivi decreti di applicazione).

Per quanto riguarda la distanza dell'alveo di piena di corsi d'acqua e laghi, se sono presenti arginature efficaci che delimitano l'alveo di piena, tale distanza tra l'impianto e l'argine può essere ridotta a qualche decina di metri; se però sono assenti tali arginature, si dovrà valutare caso per caso la distanza di sicurezza, secondo la morfologia del terreno ed i parametri idrologici locali, in modo da evitare che le inondazioni colpiscano la discarica e che gli effluenti di lisciviazione («percolato») della discarica, non depurati, raggiungano l'alveo in piena.

Un sito sarà idoneo dal punto di vista idrografico e idrologico in caso di:

- ubicazione, topografia e forma dei luoghi che offrono buone garanzie contro l'inquinamento delle acque superficiali (ruscellamento scarso, drenaggio facile);
- rispetto delle distanze regolamentari in rapporto a corsi d'acqua, stagni, fiumi, ecc.;
- assenza di attività ittica o balneare;
- facilità di messa in opera di mezzi di prevenzione e di controllo dell'eventuale inquinamento.

4.9 *Clima*

Il sito non dovrebbe essere ubicato in zone molto esposte alle precipitazioni perchè le acque, penetrando in abbondanza nella discarica, contribuiscono a occludere i vuoti esistenti nell'ammasso diminuendo la capacità di aerazione, possono causare gravi problemi di stabilità e aumentare la quantità del percolato.

Il sito deve essere ubicato tenendo conto dell'orientamento e della forza dei venti dominanti che sono causa di involo e sparpagliamento degli elementi leggeri e della propagazione degli odori sgradevoli.

4.10 Natura e paesaggio

Per realizzare un'opera come la discarica in aree soggette a vincoli giuridici sul territorio, bisogna ottenere la preventiva autorizzazione delle autorità competenti: si tratta del «vincolo idrogeologico» (R.D. 30 dicembre 1923, n.3267) e del «vincolo paesaggistico» (legge 29 giugno

1939 n. 1497). Inoltre, altre zone soggette a vincoli sono le «aree protette» (parchi nazionali, parchi naturali regionali e riserve naturali), i terreni agricoli di elevata produttività tutelati da alcune normative regionali, le servitù militari, le zone inserite negli strumenti urbanistici.

Il sito non dovrebbe essere ubicato in zone caratterizzate da manifestazioni di origine antropica con elevato valore estetico, storico ed educativo: giacimenti preistorici, costruzioni tipiche (casolari, chiese, ponti in muratura, castelli), musei, campi di battaglia, cimiteri.

Il sito non dovrebbe essere ubicato neppure in biotopi significativi, ossia in quegli ambienti con manifestazioni vegetali di piante rare, fauna e flora minacciate da estinzione, associazioni vegetali tipiche, tappe di rotte migratorie.

A tale proposito si riportano le aree sottoposte a vincolo paesaggistico ai sensi della su citata legge 29 giugno 1939, n. 1497:

- a) I territori costieri compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sul mare;
- b) i territori contermini ai laghi compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi;
- c) i fiumi, i torrenti ed i corsi d'acqua iscritti negli elenchi di cui al testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponde o piede degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna;
- d) le montagne per la parte eccedente 1.600 metri sul livello del mare per la catena alpina e 1.200 metri sul livello del mare per la catena appenninica e per le isole;
- e) i ghiacciai e i circhi glaciali;
- f) i parchi e le riserve nazionale o regionali, nonchè i territori di protezione esterna dei parchi;
- g) i territori coperti da foreste e da boschi, ancorchè percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboschimento;
- h) le aree assegnate alle università agrarie e le zone gravate da usi civici;
- i) le zone umide incluse nell'elenco di cui al decreto del Presidente della repubblica 13 marzo 1976, n.488;
- l) i vulcani;
- m) le zone di interesse archeologico.

Il vincolo di cui al precedente comma non si applica alle zone A, B e, limitatamente alle parti ricomprese nei piani plurizonali di attuazione, alle altre zone, come delimitate negli strumenti urbanistici ai sensi del decreto ministeriale 2 aprile 1968, n. 1444, e, nei comuni sprovvisti di tali strumenti, ai centri edificati perimetrali ai sensi dell'articolo 18 della legge 22 ottobre 1971, n. 865.

Sono peraltro sottoposti a vincolo paesaggistico, anche nelle zone di cui al comma precedente, i beni di cui al n.2) dell'articolo 1 della legge 29 giugno 1939, n. 1497 («le ville, i giardini e i parchi che, non contemplati dalle leggi per la tutela delle cose di interesse artistico o storico, si distinguono per la loro non comune bellezza»).

Per quanto riguarda il paesaggio si deve comunque tener presente che la discarica costituisce in effetti un intervento passeggero: inserendola sapientemente al momento di scegliere l'ubicazione, programmandone convenientemente la struttura e predisponendola in modo da essere facilmente rinverdita, la discarica può diventare un elemento integrante del paesaggio stesso dopo il suo esaurimento. Durante i lavori gli aspetti sgradevoli della discarica possono essere totalmente o parzialmente celati mediante banchi di terra pulita o mediante piantamenti opportuni.

4.11 STUDI, INDAGINI, RILEVAMENTI, PROGETTAZIONI

Uno scarico controllato è in effetti un'opera di ingegneria ambientale che, come ogni altra del genere, richiede uno specifico progetto basato su tutta una serie di indagini preliminari conoscitive

che consentano caso per caso una scelta della soluzione appropriata alla situazione locale.

La normativa della Regione Lombardia richiede, ai fini dell'autorizzazione:

a) relazione tecnica comprendente:

- inquadramento territoriale e comprensorio servito;
- ubicazione della discarica e connessione con la viabilità; effetti sui costi di trasporto;
- regime di piovosità;
- direzione e intensità dei venti predominanti;
- popolazione residente, fluttuante e variazioni stagionali;
- quantitativi di RSU e di quelli assimilabili;
- aspetti urbanistici connessi alla localizzazione dello scarico; strumenti urbanistici coinvolti;
- modalità di approntamento e di gestione dello scarico;
- eventuale impermeabilizzazione;
- sistemi di raccolta, accumulo, depurazione, smaltimento del percolato;
- sistemi per lo sfogo e/o il recupero del gas biologico;
- attrezzature fisse e mobili;
- sistemi e metodi di controllo del percolato e dell'ambiente;
- modalità di sistemazione finale e riutilizzo dell'area;

b) studio geologico, idrogeologico, geotecnico
comprendente:

-relazione sull'area dello scarico e connessa fascia perimetrale della profondità di 2 Km con precisate opere di captazione esistenti e sorgenti, zone di inondazione ed esondazione, stabilità del fondo, ripe, scarpate, litologia, posizione falde e livello max;

-relazione sull'area dello scarico con permeabilità da misure in sito, andamento livelli a carattere idrologici diversi, risultati esecuzione sondaggi (profondità minima 20 m dal fondo e penetrare 5 m nell'acquifero), caratteristiche eventuali di permeabilizzazioni anche artificiali, localizzazione e caratteristiche di controllo; eventuali pozzi di spurgo;

- rappresentazione grafica completa degli elementi di cui sopra;

c) stralcio degli strumenti urbanistici dei Comuni interessati e Comuni limitrofi (considerati tali se distanti < 2 Km dal confine) con localizzazione dell'area;

d) piano quotato (> 1: 25.000) dell'area della situazione originaria; corografia (1:25.000);

e) progetto generale comprendente:

-planimetrie (1:500);

-sezioni ;

-viabilità interna;

- sistema di drenaggio, raccolta, depurazione acque;
- sistema impermeabilizzazione fondo, ponti e superficie;
- f) piano di conduzione comprendente settori e disposizioni strati;
- g) particolari costruttivi (>1: 200) sistema di drenaggio, pozzetti di intercettazione, serbatoio accumulo, impianto depurazione;
- h) progetto sistemi di controllo percolato e ambiente;
- f) disegni di massima impianto e opere complementari;
- l) progetto generale sistemazione finale dell'area;
- m) stima sommaria;
- n) studio sulle caratteristiche naturalistiche dell'area interessata con misure per protezione ambientale ed calcolo del VIA

A tale documentazione, prevista ai fini della autorizzazione, farà seguito il completamento della progettazione esecutiva con il piano operativo di dettaglio, le specifiche tecniche, il computo metrico estimativo, la documentazione di appalto, il piano economico di gestione.

1 **CAPITOLO QUINTO**

2

3 **IMPERMEABILIZZAZIONE**

4

5 **5.1 Principali interventi di impermeabilizzazione**

6 In questo studio vengono proposti alcuni indirizzi tecnici volti
7 alla tutela delle falde freatiche contro l'inquinamento derivante dai
8 rifiuti, ottenibile con la realizzazione di adeguati schermi
9 impermeabili; si sono presi in considerazione i principali interventi di
10 impermeabilizzazione maggiormente impiegati.

11 Al fine di evitare la suddetta contaminazione delle acque di
12 falda, nella generalità dei casi, l'isolamento dei rifiuti dall'ambiente
13 circostante si realizza creando una sorta di contenitore interrato per
14 questi ultimi, attraverso il quale non ci sia possibilità di «scambio
15 idrologico».

16 Per quanto concerne il problema dell'impermeabilizzazione, la
17 normativa italiana, con la deliberazione del 27 luglio 1984 del
18 Comitato Interministeriale, circa «disposizione per la prima
19 applicazione dell'art.4 del D.P.R. 10 settembre 1982 n. 915
20 concernente lo smaltimento dei rifiuti», prevede anche la possibilità
21 di non effettuare opere di impermeabilizzazione né naturali, né
22 artificiali (escludendo naturalmente le discariche di tipo C per i rifiuti
23 speciali e per quelli tossici e nocivi ove l'impermeabilizzazione è
24 necessaria ma che in questo studio non vengono considerate) previo

1 accertamento di natura idraulica , geologica e idrogeologica, che lo
2 spessore, la permeabilità e la capacità di ritenzione e assorbimento
3 degli strati del suolo interposti tra la massa dei rifiuti e le acque
4 superficiali e di falde siano tali da preservare le acque medesime
5 dall'inquinamento. Il problema dell'isolamento così va affrontato in
6 modo diverso a seconda che il terreno, che si trova sotto il deposito
7 di rifiuti, sia impermeabile o permeabile.

8 Nel primo caso sarà sufficiente realizzare uno schermo verticale,
9 che penetri nel substrato di base in modo da creare una
10 «cinturazione» della trincea senza soluzioni di discontinuità.

11 Nel secondo caso invece la situazione è più complessa in quanto
12 una eventuale cinturazione del deposito non evita la percolazione in
13 profondità negli strati permeabili del fondo con possibilità di
14 inquinamento delle falde più profonde.

15 Occorrerà pertanto intervenire in due direzioni
16 impermeabilizzando sia il fondo che la superficie laterale della trincea.

17 Le barriere impermeabili hanno il duplice scopo di impedire che i
18 percolati del deposito possano uscire dalla loro area inquinando la
19 falda e di evitare il processo inverso, cioè che acque esterne di falda
20 o di filtrazione a circolazione sotterranea possano penetrare nel
21 deposito e uscirne inquinate.

22

23

24 *5.2 Il sistema dei «diaframmi plastici»*

1 Uno dei sistemi analizzati è quello dei «diaframmi plastici»
2 impermeabili eseguiti con l'ausilio di miscele autoindurenti a base
3 cementizia, che ditte specializzate in tecnologia geotecnica hanno
4 avuto modo, in questi ultimi anni di mettere a punto. Dal punto di
5 vista esecutivo nei diaframmi plastici vengono tratto per tratto
6 realizzati in due fasi distinte:

- 7 - dapprima vengono realizzati gli elementi dispari
8 (pannelli primari)
- 9 - successivamente gli elementi pari (setti di incastro)
10 che vanno ad esportare una porzione, delle estremità
11 dei dispari, in modo da ottenere un perfetto «collage»

12 fin tal modo si da luogo ad un diaframma senza soluzione di
13 discontinuità.

14 Per profondità oltre i 20 metri è consigliabile usare altri sistemi
15 di collegamento dei pannelli, per ovviare agli inconvenienti che
16 potrebbero derivare dalle non perfette complanarità dei singoli
17 elementi, ma nelle generalità dei casi, una tale profondità
18 difficilmente viene raggiunta.

19 Una delle componenti delle miscele, insostituibile, è sempre data
20 dalla «bentonite» sotto forma di sospensione in acqua che da luogo
21 al fango atto a permettere lo scavo del terreno senza innescare
22 franamenti delle pareti di scavo.

23 Al fango bentonitico vengono aggiunti generalmente cemento e
24 degli additivi chimici con funzione fluidificante e ritardante dei
25 fenomeni di presa e di indurimento. Il fatto saliente è che il fango
26 bentonitico così addizionato riesce a garantire la stabilità delle pareti
27 di scavo. Tali diaframmi realizzati con miscele autoindurenti

1 costituiscono un progresso per molti casi di impiego, per i seguenti
2 motivi:

- 3 - lo scavo del terreno avviene con la miscela stessa
4 destinata a costituire il diaframma plastico; si è quindi
5 abolita la fase di getto del materiale costitutivo del
6 diaframma abolendo una fase di lavoro ed il recupero dei
7 fanghi bentonitici;
- 8 - i giunti di tenuta fra pannello e pannello del diaframma
9 vengono aboliti in quanto essi si realizzano
10 automaticamente tra pannello e pannello mediante
11 compenetrazione parziale degli stessi; la miscela usata
12 per lo scavo di un setto va in altri termini ad aderire alla
13 miscela compositivamente identica dei setti vicini,
14 realizzando un giunto ideale;
- 15 - i diaframmi plastici sono privi di armatura in acciaio.

16 A questi vantaggi che si traducono in risultati circa la
17 funzionalità idraulica dei diaframmi plastici e in una spiccata rapidità
18 esecutiva, fa riscontro una penalizzazione circa i consumi delle
19 miscele rispetto ai volumi teorici degli scavi eseguiti. Infatti le
20 miscele usate generalmente, additivate con fluidificante, penetrano
21 maggiormente nel terreno prima di autobloccarsi per gelificazione,
22 per cui i consumi possono aumentare sensibilmente rispetto ad un
23 puro fango bentonitico non additivato, in taluni casi anche del
24 60÷80%. Le miscele restano fluide per un certo tempo, durante il
25 quale penetrano lentamente nel terreno, intasandone i vuoti; essendo
26 il grado di penetrazione proporzionale alla permeabilità del mezzo si
27 realizza in modo naturale un intasamento maggiore dove questo è
28 più richiesto.

29 Altra penalità, che riguarda ancora la miscela impiegata è quella
30 dovuta a fenomeni di sedimentazione per cui sono necessarie
31 operazioni di «rabbocco» con nuova miscela nella parte superiore del

1 diaframma per rispettare le quote di sommità previste nella
2 progettazione.

3 Questa operazione costituisce la terza fase della realizzazione
4 dei detti diaframmi. Si veda a tal proposito la fig.25.

5 In fase di completamento della trincea ospitante i RSU si potrà
6 opporre come stato finale di ricoprimento un tappeto di ghiaia e
7 sabbia, frammista a una piccola quantità di bentonite e cemento
8 notevole compositivamente simile a quello per la realizzazione dei
9 diaframmi plastici, in modo che le acque meteoriche che cadranno in
10 seguito sulla zona in oggetto non vadino ad alimentare più la
11 formazione del percolato nel corpo dei rifiuti disposto in strato.

12 In definitiva i diaframmi plastici richiedono modalità esecutive
13 che portano ad un'ottima continuità quindi all'impermeabilità
14 dell'ordine di quella delle argille naturali, con $K = 10^{-7} \div 10^{-9}$
15 cm/sec.

16 Altra caratteristica dei diaframmi plastici è quella di avere
17 un'alta deformabilità consentendo all'opera di sopportare senza
18 fessurazioni e quindi senza perdere la originaria impermeabilità,
19 cedimenti e assestamenti del terreno garantendo la sicurezza
20 dell'opera nel tempo.

21

22 Fig.25 Le 3 fasi esecutive per l'approntamento di un diaframma
23 plastico.

24

25

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13 *5.3 Il sistema dei «diaframmi in calcestruzzo»*

14 Meno usati per impermeabilizzare la superficie laterale della
15 trincea sono i diaframmi in C.A. i quali supponendo una corretta
16 realizzazione fra i giunti collegante i pannelli, (potrebbero essere
17 realizzati da una miscela autoindurente simile a quella per i
18 diaframmi plastici) garantiscono una permeabilità dell'ordine di $K =$
19 $10^{-6} \div 10^{-8}$ cm/s. Anche in questo caso il fango bentonitico,
20 penetrato nel terreno attiguo allo scavo per l'esecuzione del
21 diaframma, costituisce una prima barriera protettiva.

1 Con l'aumentato spessore dei diaframmi in c.a., rispetto agli inizi
2 del loro impiego, e con l'uso di calcestruzzi speciali di cui si ha una
3 vasta gamma a disposizione, e, soprattutto con giunti correttamente
4 realizzati, si può fare affidamento sulla loro impermeabilità specie
5 laddove sono richiesti al calcestruzzo particolari requisiti contro
6 l'aggressione chimica del percolato.

7

8 5.4 Sistema «Jet-Grouting»

9 Per l'impermeabilizzazione del fondo discarica, ove richiesta,
10 cioè nella maggioranza dei casi, si può utilizzare il sistema JET-
11 GROUTING con il quale si opera dapprima un intervento di rottura e di
12 rimescolamento del terreno sul fondo seguito immediatamente da
13 una iniezione di miscele cementanti additivate, in generale con
14 sostanze chimiche, ottenendo le più svariate combinazioni di diametri
15 e di intensità di trattamento.

16 Una delle caratteristiche più importanti del metodo è che si può
17 operare lungo direttrici comunque inclinate dei fori anche con
18 andamento sub-orizzontale, ciò grazie a speciali macchine operatrici
19 dotate di tutti quei dispositivi di rotazione intestata e di piazzamento
20 macchina che consentono la multidirezionalità dei fori.

21 Simili trattamenti su terreni sabbioso-limosi fanno raggiungere
22 resistenze a rottura dell'ordine di 100.150 Kg/cm² che aumentano
23 anche oltre i 200 Kg/cm² in ghiaie e sabbie pulite. Importante è
24 garantire, una volta noto il diametro d'azione e la profondità
25 desiderata, una frequenza del trattamento per unità di superficie che

1 assicura l'impermeabilità estesa a tutta la superficie del fondo
2 discarica.

3

4 *5.5 Controlli di qualità delle opere di impermeabilizzazione.*

5 I controlli che si possono effettuare sono quelli qui di
6 seguito così elencati¹

7 - controlli all'origine sulle materie prime (acqua-cemento-
8 bentonite-additivi);

9 - controlli sui dosaggi delle sostanze impiegate, oggi
10 praticamente continui ed automatici con coclee
11 temporizzate, bilance ad arresti automatici ai carichi
12 prefissati, contatori di precisione sulle acque di
13 confezionamento delle miscele, misuratori delle
14 temperature di impiego;

15 - controlli sui fanghi autoindurenti ottenuti, con particolare
16 attenzione al fenomeno di «rigidificazione» del fango,
17 che precluderebbe il proseguimento dello scavo;

18 - carotaggi del diaframma in corrispondenza del giunto, per
19 verificare la continuità del diaframma stesso;

20 - controlli delle sostanze a compressione e della
21 deformabilità peso e volume, viscosità, prove di
22 decantazione;

23 - prove in situ dell'aggressività del percolato eseguendo un
24 pannello di diaframma a contatto con gli stessi,
25 osservando l'effetto e la velocità di penetrazione degli
26 agenti chimici nella massa del diaframma;

27 - prove di laboratorio di resistenza sui provini delle miscele
28 prima di essere impiegate e su quelle prelevate dal
29 diaframma associando anche prove di resistenza
30 all'attacco dei vari percolati;

31 - prove di rottura, prove di punzonatura, anche in situ, e
32 prove di permeabilità;

¹l'ordine di esposizioni lo é anche ordine di importanza:

1 - prove piezometriche in situ.

2 Oltre alle prove descritte vi sono una serie di controlli da
3 effettuarsi anche sugli impianti e soprattutto sulle macchine
4 operanti, valga, ad esempio, per tutte la prova di verticalità del
5 diaframma che, oggi, si fa con metodi elettronici.

6

7 ***5.6 Ricerche sulla permeabilità dei sistemi combinati***
8 ***di impermeabilizzazione***

9

10 ***5.6.1 Introduzione***

11 Presso la BAM (Bundesanstalt für Materialprüfung) di Berlino il
12 prof. Hans August con l'intento di determinare l'effettiva
13 permeabilità dei sistema di impermeabilizzazione normalmente
14 utilizzati per il fondo degli scarichi controllati, ha segnalato due
15 diverse soluzioni di impermeabilizzazione combinate che garantiscano
16 lo sbarramento quasi assoluto al passaggio di tutte le sostanze
17 tossiche che provengono dai rifiuti smaltiti.

18 Per determinare l'efficacia di una impermeabilizzazione in modo
19 da evitare con certezza la contaminazione delle riserve di acqua
20 potabile bisogna essere a conoscenza dei possibili processi di
21 trasporto delle sostanze tossiche attraverso i materiali usati per
22 l'impermeabilizzazione e delle proprietà chimiche di cui questi sono
23 dotati per opporsi alla filtrazione di tutti i possibili componenti del
24 percolato. Le esigenze meccaniche dovrebbero essere conformate al
25 tipo di impermeabilizzazione progettato, per non renderlo inefficace

1 a seguito di assestamenti diversi da quelli previsti per il fondo
2 scarico.

3 E' da tener presente che il prof. August quando si accinse allo
4 studio in parola, si trovava di fronte ad una normativa, del 1977,
5 molto aleatoria e poco precisa che si può sintetizzare come segue:

6 - Per i teli di materiale plastico si richiedeva una non meglio precisata
7 «idoneità» mentre

8 - Per le impermeabilizzazioni naturali si impone una posatura
9 stratificata con spessore non inferiore a 60 cm per singolo strato,
10 questo dovrebbe assicurare che le barriere fossero «abbastanza
11 impermeabili» cioè che la permeabilità dell'acqua, descritta dal
12 coefficiente K, fosse inferiore a 10^{-8} m/sec.

13 D'altra parte questo valore significa poco, perchè non era precisato
14 quale metodo di misurazione dovesse essere utilizzato, e manca una
15 qualsiasi considerazione sul tipo e sullo stato del campione su cui si
16 effettuare le misure.

17 Se si suppone che in condizioni favorevoli si abbia $K = 10^{-9}$ m/sec.
18 e un gradiente idraulico $i=2$, tramite la legge di Darcy:

19
$$v = K \cdot i$$

20 si avrebbe ogni giorno il passaggio di circa $1,7 \text{ m}^3$ d'acqua per
21 ettaro!

22 Purtroppo mancano indicazioni sia qualitative che quantitative sulla
23 riduzione del passaggio delle sostanze tossiche.

24 Il prof. August lamentava inoltre una scarsa utilizzazione, nella prassi
25 della gestione degli scarichi controllati, dei risultati derivanti da alcuni
26 metodi esatti di misura della permeabilità nei confronti degli idrocarburi e
27 degli idrocarburi clorurati relativa ai manti di copertura sintetici, noti almeno
28 dal 1981.

29 Queste conoscenze non hanno fatto a tutt'oggi il loro ingresso nella
30 normale gestione degli scarichi e ciò è allarmante se si pensa che:

- 1 - nel passato non si è sempre riusciti ad evitare che le
2 impermeabilizzazioni del fondo scarico si trovassero nelle
3 immediate vicinanze della falda;
- 4 - i siti adatti ad ospitare scarichi controllati in futuro diventassero
5 sempre più rari e bisogna tener conto, nella pianificazione, del
6 fatto che si avrà a che fare con siti sepre più problematici;
- 7 - le pendenze previste per il fondo scarico intorno all'1 ÷ 2% spesso,
8 dopo poco tempo, vengono pregiudicate dai notevoli
9 assestamenti e si crea così un ristagno del percolato;
- 10 - spesso anche nelle discariche per rifiuti domestici vengono trovate
11 quantità di idrocarburi ed idrocarburi clorurati (più o meno
12 concentrati) maggiori di quanto si prevedesse.

13 Da quanto sopra possiamo renderci conto delle problematiche
14 che il prof. August si è posto nonché del loro carattere generale, così
15 come pure le difficoltà incontrate nell'operare.

16 La BAM ha incominciato nel 1983 alcune ricerche
17 sull'impermeabilizzazione combinata con polimeri e terreni
18 impermeabili sovrapposti.

19 Per scegliere il liquido più adatto la BSAM ha fatto iniziale
20 riferimento ad una miscela di idrocarburi e idrocarburi clorurati, alcuni
21 ben solubili in acqua, altri meno, in concentrazioni relativamente alte,
22 in modo tale da considerare anche eventuali effetti sinergistici.

23 Tecnicamente sembrava possibile ottenere una
24 impermeabilizzazione quasi perfetta.e difatto i più recenti risultati
25 delle ricerche sembrano dimostrarlo. Tali soluzioni sono accettabili
26 anche economicamente, perlomeno quando si tengono in conto non
27 solo i costi a breve termine per la costruzione
28 dell'impermeabilizzazione, ma anche i costi che sopraggiungerebbero
29 in caso si rendesse, poi, necessario il risanamento.

1

2 *5.6.2 Proprietà impermeabilizzanti delle soluzioni naturali*

3 Oggi per l'impermeabilizzazioni con soluzioni naturali si usano
4 prevalentemente terreni naturali costituiti da miscele di suoli diversi
5 con sostanze che si rigonfiano (bentonite) o leganti (cementazione)
6 per migliorarne le proprietà. A causa della consistenza granulosa delle
7 impermeabilizzazioni minerali, attraverso di esse sono possibili i
8 processi di flusso che possono sovrapporsi ai processi di diffusione.

9 La PERMEABILITA' RESIDUA per impermeabilizzazione naturale,
10 risulta quindi dalla somma di questi due processi di trasporto.

11 Con l'ottimizzazione del contenuto d'acqua e della
12 compattazione del terreno i processi di flusso possono essere
13 minimizzati, fissando determinati valori della pressione idrostatica.
14 Quanto minore è l'incidenza dei processi di flusso (K e/o i molto
15 piccolo) tanto più si deve considerare il contributo che i processi di
16 FILTRAZIONE apportano alla permeabilità nei confronti delle sostanze
17 tossiche. Bisogna dunque impedire i processi di flusso attraverso il
18 terreno impermeabile, se possibile completamente, (per esempio
19 aggiungendo sopra di essi un materiale plastico) raggiungendo così il
20 valore $i = 0$.

21 A questo punto poichè il processo di flusso è stato eliminato nel
22 terreno impermeabile che costituisce lo strato inferiore di una
23 impermeabilizzazione combinate, rimane possibile, per il trasporto
24 delle sostanze tossiche, la sola permeazione molto più lenta del
25 flusso anzidetto.

26

1 *5.6.3 Proprietà impermeabilizzanti dei manti di materiale*
2 *plastico*

3 I processi di flusso presuppongono l'esistenza di pori e di
4 fessure e non si verificano quindi nei manti che vengono prodotti in
5 condizioni perfette e posati adeguatamente, così il processo che si
6 instaurerà sarà un processo di diffusione.

7 Da un esperimento della BAM che andremo ad illustrare si è
8 visto che, per i componenti organici tossici contenuti nei rifiuti, e
9 così disciolti nel percolato, il possibile passaggio attraverso
10 impermeabilizzazione artificiali è ristretto agli idrocarburi e
11 idrocarburi clorurati presenti nella miscela presa in esame, mentre
12 per i componenti inorganici tossici (per esempio sali di metalli
13 pesanti) un manto di 2 mm di materiale plastico costituisce una
14 barriera praticamente assoluta.

15

16 SOSTANZE INORGANICHE

17 Per le sostanze tossiche inorganiche la BAM ha preparato una
18 soluzione acquosa di Cd^{2+} allo 0,5% in peso (come $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$)
19 e tetraidrofurano al 5% in peso si trova in una metà di una cella,
20 separata dall'altra metà da un manto spesso 1 mm di PEAD; nella
21 seconda metà c'è acqua pura.

22 Dopo un anno e dopo due anni sono stati estratti i campioni
23 della seconda metà e il risultato è stato negativo in entrambi i casi.

24

25 SOSTANZE TOSSICHE ORGANICHE

1 Per le sostanze tossiche organiche, nel 1979 la stessa BAM per
2 determinare la permeabilità dei manti di impermeabilizzazione in
3 commercio nei confronti degli idrocarburi e degli idrocarburi clorurati
4 hanno mostrato che a seconda del tipo di materiale, del suo spessore
5 e della concentrazione di idrocarburi e idrocarburi clorurati presenti
6 nella discarica, quantità più o meno rilevanti di queste sostanze
7 possono filtrare attraverso processi di diffusione. Nel giudicare il
8 comportamento di una impermeabilizzazione sintetica bisogna tener
9 conto del fatto che la permeazione di una sostanza polare pura (per
10 esempio 100% di acetone e metanolo) attraverso un materiale non
11 polare come il PEAD può essere molto ridotta; la permeazione della
12 stessa sostanza in concentrazioni inferiori e in presenza di altri
13 idrocarburi o idrocarburi clorurati può invece essere più spinta perchè
14 le altre sostanze possono produrre un certo rigonfiamento
15 reversibile, del manto impermeabile. Alla luce di tali considerazioni la
16 BAM ha pensato di preparare tre diverse miscele contenenti metanolo
17 ed acetone come:

- 18 - fluido concentrato;
- 19 - soluzione acquosa al 5%;
- 20 - componenti di una miscela di idrocarburi e idrocarburi clorurati
21 (Tab. 55);

22 e di osservare così la permeazione di queste attraverso un manto di
23 PEAD spesso 1 mm.

24 Tab.55 Miscela dei 9 componenti.

25

26

1

2

3

4

5

6 Usando la stessa cella doppia di cui si è parlato
7 precedentemente sono state riprodotte le stesse condizioni di una
8 discarica nella quale l'impermeabilizzazione del fondo si trovasse a
9 diretto contatto con la falda sotterranea.

10 I risultati delle misure, condotte con le sostanze pure
11 concentrate e con soluzioni acquose al 5% sono riportate in Tab. 56
12 mentre per le «miscele di 9 componenti» i risultati sono visibili per le
13 Fig. 26 e Fig. 27.

14 Nella Fig. 26 si può notare la quantità di permeato dell'intera
15 miscela in base al tempo di permeazione e in Fig. 27 si è evidenziata
16 la singola quantità di permeato per ogni singolo componente della
17 miscela.

18 Il manto di impermeabilizzazione usatto per la prova è stato
19 sempre un PEAD di 1 mm.

20

21 Tab.56 Velocità di permeazione delle sostanze pure (solubili in
22 acqua).

23

1

2

3

4

5 Fig.26 Permeazione di una miscela dei 9 componenti.

6

7

8

9

10

11

12 Paragonando le velocità di filtrazioni del metanolo e dell'acetone
13 puri o come miscela, si nota, nel secondo caso, un sensibile aumento,
14 imputabile alla presenza di uno o più degli altri componenti che
15 causano questi effetti sinergici di rigonfiamento del manto di cui si è
16 detto.

17

18 Fig.27 Quantità di sostanze singole passate attraverso lo strato di PEAD
19 spesso 1 mm.

20

21

1

2

3

4

5

6

7 Nel valutare questi risultati bisogna tener conto che essi
8 valgono per un manto di PEAD spesso 1 mm e che usando manti più
9 spessi i valori trovati si ridurrebbero almeno del 25%.

10 Va tuttavia rilevato che le condizioni di cui sopra, vale a dire la
11 presenza contemporanea di idrocarburi e di idrocarburi clorurati (che
12 sono i componenti con maggior quantità di permeato nella miscela)
13 nelle proporzioni previste e per un tempo sufficientemente lungo, si
14 realizzano, di fatto solo in campi ristretti della discarica, pertanto
15 trattasi di una condizione estremamente severa ma, comunque, non
16 da escludere a priori.

17 Per proteggere anche localmente le acque sotterranee dalle
18 infiltrazioni di sostanze tossiche è necessario un ulteriore sviluppo
19 nella produzione di manti sintetici.

20 Per ci si deve attenere ai tipi di materiale plastico esistenti e
21 già a lungo collaudati, promovendo la combinazione di questi con
22 opportune impermeabilizzazioni minerali; questo permette di
23 sfruttare i vantaggi di entrambe le soluzioni, compensandone gli
24 svantaggi. Con l'auspicato sviluppo innovativo per le materie

1 plastiche l'impermeabilizzazione combinata garantirà in pratica una
2 barriera totalmente impermeabile per le sostanze tossiche.

3

4 *5.6.4 Proprietà impermeabilizzanti dei sistemi combinati*

5 In questi ultimi due anni la BAM sta svolgendo misure di
6 permeabilità residua di impermeabilizzazioni combinate in apposite
7 celle come in fig. 28.

8 Nella tabella 57 vengono riportati insieme i risultati di misure
9 svolte con due impermeabilizzazioni combinate, costituite
10 rispettivamente da 1 mm PEAD con 85 mm o 160 mm di argilla e da
11 1 mm di PEAD da solo, e con 160 mm di ghiaia satura d'acqua. Il
12 liquido usato per l'esperimento è sempre la «miscela di 9
13 componenti» descritta in tab. 55.

14 E' interessante il risultato ottenuto in corrispondenza
15 dell'impermeabilizzazione combinata con solo 85 mm di argilla. A
16 causa della scarsa solubilità degli idrocarburi clorurati,
17 dell'ISOOTTANO, del TOLUOLO e dello XILOLO, nello strato che
18 separa il PEAD dell'argilla, queste sostanze si accumulano ed è
19 impedita una loro ulteriore diffusione.

20 Fig.28 Cella doppia per la determinazione della permeabilità.

21

22

23

24

1

2

3

4

5

6

7 Tab.57 Velocità di permeazione con impermeabilizzazione
8 semplice/comb.

9

10

11

12

13

14

15 Questo sistema costituisce una barriera quasi ideale per gli
16 idrocarburi e gli idrocarburi clorurati poco solubili. Le sostanze
17 solubili in acqua possono attraversare la impermeabilizzazione
18 combinata più facilmente, e questo è spiegabile solo sulla base di
19 effetti sinergici all'interno del PEAD. Un raddoppio dello strato di
20 argilla fino a 160 mm causa già miglioramento notevole.

21 Accanto all'aumento ulteriore dello spessore
22 dell'impermeabilizzazione minerale (fino a 0,6÷1m), sono disponibili,

1 sulla base dei risultati sperimentali, altre due soluzioni, che riducono
2 anche la diffusione dei componenti solubili in acqua al di sotto dei
3 limiti previsti:

4 - al posto dello strato d'argilla si possono utilizzare dei terreni
5 come la betonite, che, a causa del notevole contenuto
6 solido, presenta cammini di possibile diffusione più lunghi
7 ed il più basso contenuto d'acqua alla saturazione;

8 - gli effetti sinergici causati dalla presenza di uno o più degli
9 idrocarburi ed idrocarburi clorurati poco solubili in acqua
10 non possono verificarsi in un eventuale secondo manto di
11 PEAD posto al di sotto dello strato d'argilla: dunque si
12 raggiunge una barriera praticamente assoluta se si
13 sovrappongono quattro strati rispettivamente costituiti da
14 manto di PEAD, argilla, manto di PEAD ed ancora argilla
15 dall'alto verso il basso.

16 *5.6.5 Conclusioni e prospettive*

17 Partendo dalla considerazione che nella pratica i siti scelti per gli
18 scarichi controllati si trovano spesso a contatto con le acque
19 sotterranee e che soluzioni di sostanze organiche più o meno con-
20 entrate possono raggiungere, almeno localmente il fondo dello
21 scarico, si sono svolte ricerche sulle proprietà impermeabilizzanti di
22 un manto di PEAD spesso 1 mm e posto a contatto con uno strato di
23 argilla.

24 I risultati sperimentali mostrano che, utilizzando i vantaggi di
25 entrambi i metodi di impermeabilizzazione (sintetica e minerale) si
26 raggiunge una protezione quasi assoluta delle acque di falda. Per
27 questo la BAM consiglia le due seguenti soluzioni (partendo dalla
28 base dello scarico e procedendo verso il sottosuolo) :

- 1 - che, se anche si hanno perdite del primo manto, nel
2 secondo caso l'impermeabilizzazione rimane efficace
3 anche contro i processi di flusso che si instaurano nel 2°
4 strato dell'impermeabilizzazione minerale partendo
5 dall'alto verso il sottosuolo;
- 6 - che, eventuali problemi di stabilità
7 dell'impermeabilizzazione combinata, nel secondo caso
8 possono essere evitati scegliendo un valore ottimale di
9 coefficiente di aderenza tra PEAD ed argilla.

10 Sono attualmente allo studio di un gruppo interdisciplinare
11 formato da esperti in mineralogia, geologia, produttori di manti
12 impermeabili e gestori di discariche controllate, costituitosi sotto la
13 guida del BAM con la partecipazione del Dipartimento per l'Ambiente
14 tedesco le questioni ancora aperte in materia come:

- 15 - la possibilità di posare il manto direttamente sull'argilla.
- 16 - la possibilità di ottenere l'asciugamento dell'argilla, in
17 condizioni idrologiche sfavorevoli, posta sotto il manto
18 sintetico;

19

20 **5.7 Prove di laboratorio e indicazioni sull'impiego della** 21 **betonite come impermeabilizzante delle discariche** 22 **controllate**

23

24 *5.7.1 Introduzione*

25 Altra tendenza seguita da alcuni ricercatori in campo italiano
26 (Cancelli - Cossu - Malpei) [6] è quella di utilizzare una miscela
27 compattata di sabbia e bentonite per risolvere il problema in esame
28 dell'inquinamento delle acque di falda.

1 I criteri proposti riguardo il contenimento del percolato.

2 ESsi variano sia a seconda del tipo di inquinanti presenti nel
3 percolato eed in funzione della normativa, infatti in molti casi è
4 permessa la diluizione del percolato fino a livelli accettabili; in altri
5 casi viene richiesto un contenimento totale per un certo intervallo di
6 tempo.

7 *5.7.2 Materiali per barriere impermeabilizzanti*

8 Materiali misti, quali miscele cemento-terreno, asfalto-terreno e
9 cemento-asfalto idraulico non sono indicati per l'impiego in scarichi
10 controllati in quanto sono relativamente rigidi e ciò può provocare il
11 loro ritiro o la loro rottura, se sottoposti a tensione.

12 Per quel che riguarda le membrane polimeriche o
13 «geomembrane» i ricercatori sopra citati nutrono perplessità sulla
14 tenuta di esso, sulla loro durabilità e sulla caratteristica a lungo
15 termine e soprattutto, evidenziano il fatto che si possono avere
16 perdite da fori, buchi, tagli, saldature difettose verificabili all'atto
17 della messa in opera. In realtà i fluidi possono attraversare le
18 membrane in esame per diffusione, se soggetti a gradienti di
19 pressione di vapore, per osmosi, se soggette a gradienti di
20 concentrazioni chimiche, e per assorbimento, grazie alla solubilità del
21 polimero per cui la permeabilità delle geomembrane non può essere
22 trascurata e, per questo, molte legislazioni richiedono una ulteriore
23 barriera protettiva composta da altri materiali (vedi
24 impermeabilizzazione combinata esaminata precedentemente).

25 Le barriere in argilla compattata risultano generalmente più
26 economiche di qualsiasi altro materiale, fatto salvo che siano

1 disponibili in luogo dei terreni adatti. Esse sono più permeabili delle
2 membrane polimeriche, ma presentano una capacità di attenuazione
3 degli inquinanti decisamente maggiore. La permeabilità delle argille
4 dipende da molti fattori e particolarmente dalla loro struttura, la
5 quale dipende a sua volta dalle caratteristiche fisico-chimiche
6 dell'argilla stessa.

7 Se l'argilla viene così a trovarsi a contatto con fluidi che sono in
8 grado di cambiarne le proprietà fisico-chimiche, possono risultarne
9 alterate anche nella struttura e, di conseguenza, nella permeabilità.

10 In ogni caso, per ottenere la migliore omogeneità degli strati
11 argillosi e il minor valore di permeabilità, l'argilla dovrebbe essere
12 preferibilmente impastata e compattata ad un contenuto d'acqua
13 maggiore dell'ottimo. Questo è il risultato di noti studi sulla struttura
14 e comportamento dell'argilla.

15 Nelle zone in pendio gli strati compattati di argilla, sono
16 soggetti ad alterazione fisica, dovuta a cicli di
17 idratazione/essiccamento o di gelo/disgelo oppure ad erosione e
18 dovrebbero quindi essere adeguatamente protetti. Molte legislazioni
19 richiedono per questi strati, uno spessore totale minimo di 1 m.

20 Fra le miscele di terreni contenenti argilla, quelle costituite da
21 sabbia e bentonite (4 ÷10% in peso di bentonite) rappresentano il
22 solo materiale misto che fornisca buone prestazioni in opera, anche
23 quando viene impiegato per il rivestimento degli scarichi controllati.
24 Per la messa in opera, viene raccomandata la miscelazione a secco
25 della bentonite in polvere al terreno; l'applicazione di un'altro strato
26 costituito da ghiaia sabbiosa (0,5 m) prima dell'aggiunta di acqua,
27 insieme alla presenza della forza di filtrazione verso il basso, vengono

1 considerati fattori sufficienti ad impedire il prematuro rigonfiamento
2 delle particelle di bentonite. Per ridurre il rischio di interruzioni nella
3 continuità dello strato di sabbia-bentonite, dovrebbero essere
4 utilizzati spessori minimi di 0,3 m.

5 Nella pratica ingegneristica i terreni argillosi sono considerati
6 generalmente «impermeabili». Al contrario, quando si prevede che la
7 filtrazione di acqua o dei percolati possa verificarsi per periodi di
8 centinaia di anni, non si può semplicemente ritenere che le argille, e
9 in generale i terreni a grana fine, siano impermeabili. Si rende
10 necessario così la misura della conducibilità idraulica delle argille
11 compattate e delle miscele di sabbia-bentonite anche in presenza di
12 fluidi inquinanti, e di indagare come questa, e altre caratteristiche dei
13 terreni siano influenzate da una esposizione a lungo termine ai
14 percolati.

15

16 *5.7.3 Programma della ricerca*

17 I dati della recente letteratura sugli effetti di diversi permeanti
18 (acidi, basi, composti polari e non polari, organici ed inorganici,
19 percolati derivanti da scarichi controllati reali) sulla conducibilità
20 idraulica del terreno mostrano risultati discordanti, anche in
21 riferimento allo stesso fluido. E' opinione dei tre ricercatori
22 precedentemente nominati che le ragioni di questa discordanza
23 possano risiedere nelle seguenti cause:

- 24 - prove effettuate su provini di terreni diversi;
- 25 - impiego di fluidi puri o diluiti;
- 26 - diverse procedure per le prove di laboratorio.

1 Essi hanno quindi eseguito prove di permeabilità su provini di
2 sabbia-bentonite programmando una ricerca caratterizzata dai
3 seguenti punti:

- 4 - confronto tra prove di permeabilità all'acqua e ai percolati
5 prodotto da scarichi controllati di RSU e di rifiuti tossici e
6 nocivi;
- 7 - utilizzo dello stesso terreno per tutte le prove (miscela di
8 sabbia-bentonite), in proporzione costante per tutte le
9 prove; stessa procedura di preparazione di tutti i provini
10 (compattazione secondo il Proctor Standard);
- 11 - uso dello stesso apparato e della stessa modalità di prova
12 (apparecchio triassiale; saturazione preliminare dei
13 provini con acqua, seguita dall'emissione del percolato in
14 prova; utilizzo per tutte le prove degli stessi valori di
15 pressione di cella e di back-pressure e di gradiente
16 idraulico; prove di lunga durata fino al raggiungimento di
17 valori costanti della conducibilità idraulica);
- 18 - analisi chimiche, mineralogiche e geotecniche del terreno,
19 prima e dopo le prove di permeabilità ai percolati e ai
20 permeanti;
- 21 - analisi chimiche e fisiche sui percolati prima e dopo le
22 prove di permeabilità.

23 Le prove di permeabilità sono state condotte su provini cilindrici
24 delle miscele di sabbia-bentonite compattata.

25

26 *5.7.4 Caratteristiche materiali impiegati*

27 Le prove di permeabilità furono su provini cilindrici della miscela
28 di sabbia e bentonite compattata. utilizzando una sabbia silicea
29 proveniente dalla valle del fiume Ticino, aventi le seguenti
30 caratteristiche:

31

- peso di volume dei singoli granuli	2,68	g/cm ³
--------------------------------------	------	-------------------

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

- parametri granulometrici (Fig. 29, curva B):

frazione

Per la bentonite i parametri granulometrici sono i seguenti:

(Fig.29, curva A)

- frazione passante a 0,074 mm.	100%
- frazione argillosa CF	77%.

La miscela sabbia-bentonite, ha la seguente composizione (in peso secco):

- sabbia	100%
- bentonite	%

Considerando la curva granulometrica di ognuno dei due componenti, si è ricavata la curva granulometrica C di Fig.29 i cui parametri significativi risultano:

- frazione passante a 2 mm.	100%
- frazione passante a 0,074 mm.	6,2%
- frazione argillosa	3,8%

Fig.29 Analisi granulometrica della bentonite (A), della sabbia (B), e della miscela sabbia-bentonite.

1

2

3 *5.7.5 Caratteristiche dei fluidi utilizzati per le prove di permeabilità*

4 ACQUA

5 Acqua: per impostare e compattare tutti i provini è stata scelta
6 acqua di rete e non acqua distillata per rimanere più aderenti a quelle
7 che sono le effettive condizioni di compattazione in situ del terreno
8 sabbia-bentonite.

9

10 PERCOLATI

11 I permeanti impiegati da furono impiegati in [6] sono di due
12 tipi:

13

14 PERCOLATO I, proveniente da uno scarico tipico di RSU
15 PERCOLATO II, proveniente da un impianto di smaltimento
16 di rifiuti tossici e nocivi.

17 Le analisi chimiche dei due percolati sono riportati nelle Tabb.
18 58 e 59 e nelle tabelle sono riportati, per confronto, i valori ottenuti
19 dalle analisi dei percolati appena prodotti e quelli ottenuti dalle analisi
20 dei fluidi uscenti dai provini alla fine delle prove di permeabilità.

21

22

23

1 Tab.58 Risultati delle analisi chimiche del percolato I prima e dopo le
2 prove di permeabilità sulla miscela di sabbia e bentonite.

3

4

5

6

7

8

9

10

11 Tab.59 Risultati delle analisi chimiche del percolato II prima e dopo le
12 prove.

13

14

15

16

17

18

19

1 Poichè il PERCOLATO I contiene una significativa quantità di
2 materiale sospeso sono state seguite due diverse procedure per lo
3 svolgimento delle prove di permeabilità con il PERCOLATO I:

- 4 - prove di permeabilità con l'impiego di percolato I non filtrato;
- 5 - prove di permeabilità con l'impiego del percolato I
6 preventivamente filtrato con una carta da filtro qualitativa,
7 in modo da eliminare tutte le particelle di granulometria
8 maggiore di $0,005 \div 0,010$ mm.

9 Convenzionalmente, vengono definiti solidi sospesi tutte le
10 particelle maggiori di $0,00045$ mm, perciò il PERCOLATO I filtrato
11 conteneva ancora del materiale solido sospeso ma in piccole quantità
12 che filtrato è risultato circa 1 g/l.

13 Il PERCOLATO II non conteneva invece una rilevante quantità di
14 solidi sospesi e perciò non è stato filtrato.

15

16 *5.7.6 Svolgimento delle prove di permeabilità*

17 Per le prove venne scelto un PERMEAMETRO A PARETI
18 FLESSIBILI adattato da un apparecchio TRIASSIALE di cui
19 rappresentiamo in fig. 30 uno SCHEMA IDRAULICO.

20

21

22

23

24 Fig.30 Schema del sistema idraulico esaminato per le prove di permeabilità
25 con l'apparecchio triassiale.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12 Il flusso in uscita viene misurato in una speciale buretta e i valori
13 della conducibilità idraulica vengono calcolati mediante la seguente
14 formula, risultante dall'applicazione della legge di Darcy alle prove a
15 carico idraulico costante:

16 $v = Ki$ **Errore.** $V = A \cdot z$

17 dove $z = v \cdot t$ **Errore.**

18 dove: $V =$ vol. fluido nell'intervallo di tempo t $[L^3]$

19 $A =$ Area della sezione del provino $[L^2]$

20 $t =$ Intervallo di tempo trascorso tra le due letture $[T]$

1 I percolati sono sempre stati introdotti nel circuito idraulico
2 dopo la completa saturazione preliminare con acqua deareata del
3 provino, per riprodurre la condizione in cui il fondo della discarica
4 fosse a diretto contatto con l'acqua di falda, e dopo che, sempre
5 sullo stesso provino, erano state condotte alcune prove di
6 permeabilità dell'acqua, per notare le differenze di quantità di
7 permeazione con i due diversi permeanti.

8 In tutte le prove, perciò, il percolato è stato introdotto 7 giorni
9 dall'inizio delle stesse.

10 La durata per ogni prova era variabile da 25 a 30 giorni, in
11 modo che raggiungessero valori della permeabilità discretamente
12 costante.

13

14 *5.7.7 Risultati prove di permeabilità*

15 La Fig.31 mostra i risultati di tutte le prove che sono state
16 svolte e permette un confronto tra i diversi fluidi utilizzati per le
17 prove.

18 Durante ogni giorno venivano svolte almeno 3 determinazioni; il
19 valore giornaliero medio calcolato della conducibilità idraulica è
20 riportato in Fig. 31 in funzione del tempo trascorso dall'inizio della
21 prova.

22

23 Fig.31 Risultati delle prove di permeabilità sulla miscela di sabbia e
24 bentonite compattata A) acqua di rete deareata B) percolato I
25 filtrato C) percolato I non filtrato D) percolato II.

26

1
2
3
4
5
6
7
8

9 PROVE DI PERMEABILITA' DELL'ACQUA

10 Nella prima prova è stata impiegata acqua di rete deareata . I
11 risultati sono rappresentati dalla curva «A» nel grafico di Fig. 31.
12 L'andamento della curva mostra, anche se in maniera discontinua, a
13 causa forse della non completa saturazione iniziale del provino e a
14 procedure di prova non ancora collaudate, una diminuzione della
15 permeabilità idraulica nel tempo; il valore finale, raggiunto dopo 23
16 giorni è di circa $23 * 10^{-5}$ cm/sec.

17 La tendenza della conducibilità idraulica a decrescere con il
18 tempo è probabilmente imputabile al progressivo rigonfiamento della
19 bentonite

20 all'interno dei vuoti del provino.

21 PROVE DI PERMEABILITA' AL PERCOLATO I, FILTRATO

22 Nella seconda prova, rappresentata dalla curva «B» di Fig. 31, è
23 stato utilizzato il percolato I filtrato. La conducibilità idraulica che era
24 di circa $4,2 * 10^{-5}$ cm/sec dopo la saturazione preliminare con acqua,

1 è ammontata gravemente per circa due settimane fino a raggiungere
2 valori di $6,3 \times 10^{-5}$ cm/sec ed è poi rimasta circa costante per le due
3 settimane seguenti; la durata totale della prova è stata di 33 giorni.

4 In termini generali, sembra quindi che la presenza di sostanze
5 chimiche disciolte nel percolato possa portare ad un incremento della
6 permeabilità.

7 PROVE DI PERMEABILITA' AL PERCOLATO I NON FILTRATO

8 La sostituzione, sullo stesso provino, sul percolato I filtrato con
9 lo stesso percolato non filtrato ha provocato una netta diminuzione
10 della conducibilità idraulica, come può essere osservato nella curva
11 «C» del grafico. La prova è stata interrotta dopo 15 giorni, quando il
12 valore della conducibilità idraulica era di circa $5,6 \times 10^{-6}$ cm/sec. Una
13 spiegazione evidente di questo fenomeno può essere trovata nella
14 presenza di particelle sospese nel percolato, le quali hanno
15 probabilmente causato un intasamento meccanico all'interno del
16 provino con conseguente diminuzione della permeabilità. Non è
17 probabile infatti che esso sia correlato alle crescite di microrganismi,
18 e che in questo caso si sarebbe verificato anche con il percolato II
19 che ora esaminiamo.

20

21 PROVE DI PERMEABILITA' AL PERCOLATO II

22 L' andamento generale della prova condotta utilizzando il per-
23 colato II (proveniente da una discarica di rifiuti industriali tossici e
24 nocivi) è molto simile a quello evidenziatosi nella prova con l'acqua.
25 La conducibilità idraulica mostra una tendenza a diminuire con il

1 tempo, raggiungendo valori finali di circa $2,1 \times 10^{-5}$ cm/sec (si veda
2 la curva «D»). La prova è stata interrotta dopo 24 giorni.

3

4 *5.7.8 Conclusioni*

5 La permeabilità di una miscela compattata di sabbia e bentonite
6 ad un percolato proveniente da uno scarico controllato di RSU è
7 risultata di circa 3 volte superiore alla permeabilità dello stesso
8 materiale all'acqua e ciò dimostra che le caratteristiche e i com-
9 portamenti in situ della bentonite possono essere influenzate dalla
10 presenza di fluidi diversi dall'acqua.

11 Questo fenomeno può essere spiegato dalla parziale perdita
12 delle proprietà colloidali e di rigonfiamento della bentonite dovuta a
13 processi di scambio cationico e variazioni del potenziale del doppio
14 strato, a loro volta innescati dalla composizione chimica del
15 percolato.

16 Potendo ritenere, con buona approssimazione che i percolati
17 provenienti da scarichi controllati di RSU contengono una rilevante
18 quantità di solidi sospesi (percolato I non filtrato) e che la
19 riproducibilità della buo-

20 na compattazione sabbia-bentonite e saturazione preliminare
21 d'acqua, come nelle prove viste sia possibile nella messa in opera
22 nella realtà, i risultati delle prove fanno ben sperare per questa
23 soluzione naturale alla lotta all'inquinamento delle acque di falda.

24 Va comunque precisato che, per raggiungere dei valori di
25 permeabilità bassi per quanto richiesto dalle normative (per esempio

1 K<10⁻⁷ cm/sec come indica la legge italiana) la percentuale della
2 bentonite dovrebbe essere maggiore; è possibile quindi, che in
3 corrispondenza di più elevate percentuali di bentonite, le differenze
4 tra i valori di permeabilità all'acqua e ai percolati diventino più
5 significative.

6 La permeabilità dello stesso materiale ad un percolato prove-
7 niente da uno scarico di rifiuti industriali tossici e nocivi è risultato
8 molto simile a quella determinata per l'acqua. Un minor contenuto di
9 sostanze disciolte rispetto ai percolati da RSU potrebbe giustificare
10 questo risultato. Comunque i percolati provenienti da rifiuti industriali
11 possono essere molto diversi tra loro, sia come composizione
12 chimica che come caratteristiche e di conseguenza i risultati della
13 prova condotta non possono avere validità generale.

1 **CAPITOLO SESTO**

2

3

COSTRUZIONE DI UNA DISCARICA

4

5 **6.1 LAVORI PREPARATORI**

6 Comprendono tutti lavori per allestire l'area e renderla idonea al
7 progetto.

8 Se da una parte si deve cercare di ridurre la minimo le operazioni e
9 le spese dell'impianto, dall'altra è necessario prendere fin dall'inizio
10 tutti quegli opportuni provvedimenti preparatori indispensabili per
11 gestire correttamente una discarica controllata e senza dei quali si
12 rischia di trasformarla in un pericoloso scarico incontrollato di rifiuti
13 con gravi danni per l'ambiente.

14 Sarà utile completare una mappa dettagliata durante i lavori di
15 costruzione e indicarne i seguenti elementi fondamentali:

16

17 - Delimitazione;

18 - servitù (linee elettriche, linee ferroviarie, condutture, ecc.);

19 - strade di accesso e strade interne;

20 - attrezzatura per la pesa;

21 - impianti esistenti o proposti (sopra e sottoterra);

- 1 - punti di emergenza delle acque sotterranee;
- 2 - direzione della falda;
- 3 - pozzi;
- 4 - sorgenti;
- 5 - paludi;
- 6 - serbatoi di drenaggio;
- 7 - approvvigionamento di acquedotti;
- 8 - bacini antincendio;
- 9 - cumuli di riserva di terra e di materiale di copertura;
- 10 - cave;
- 11 - cave di sabbia o di ghiaia;
- 12 - aree con tane di animali;
- 13 - punti antincendio;
- 14 - miniere di superficie o sotterranee;
- 15 - accumuli di detriti di miniere;
- 16 - pozzi di gas o di idrocarburi;
- 17 - cisterne per l'acqua;
- 18 - fabbricati;
- 19 - recinti;

- 1 - fossati;
- 2 - rete di drenaggio e sistemi di depurazione;
- 3 - punti di monitoraggio delle acque sotterranee (pozzi spia).

4

5 Si possono presentare tre casi principali:

- 6 1) *Il sito è in piano.* Sono da preferire i sistemi a trincea e a
7 diga.
- 8 2) *Il sito si trova in depressione rispetto all'area circostante .*
9 E' preferibile il sistema della scarica in depressione con gli
10 strati successivi leggermente inclinati. In questo caso il
11 bilancio idrico sarà largamente eccedente per cui sarà
12 necessario installare un sistema drenante delle acque in
13 eccesso.
- 14 3) *Il sito è in pendio .* E' preferibile la scarica in pendio. Potrà
15 essere utile anche prevedere di utilizzare il rilievo esistente
16 come riserva di materiale di copertura. (Fig. 32)

17 Al fine di poter preparare il terreno in modo idoneo, occorre
18 inoltre valutare il *rischio di instabilità* dell'impianto scelto, prendendo
19 in esame i fattori seguenti:

20

21 Fig.32 Esempio di scarica effettuata in pendio con utilizzazione della
22 terra del rilievo.

23

1

2

3

4

5

6

7

a) ***Proprietà geotecniche dei rifiuti posti a discarica .***

8

Tra queste assume grande importanza il grado di addensamento che, peraltro, è assai variabile perchè i rifiuti sono in buona parte chimicamente e biologicamente attivi con conseguente cambiamento, in tempi brevi, delle qualità e proprietà fisiche.

9

10

11

12

13

b) ***Fenomeni di assestamento successivi alla posa dei***

14

rifiuti. Possono essere di tipo fisico per l'azione meccanica di consolidamento e l'azione di percolazione, erosione e trascinarsi delle particelle fini nei vuoti; possono essere anche di tipo biologico , per via delle reazioni di degradazione che tendono a ridurre le dimensioni delle sostanze organiche biodegradabili. Ricerche sperimentali hanno rilevato che approssimativamente il 90% dell'assestamento definitivo ha luogo nei primi 5 anni, mentre il 10% ha luogo in un periodo di tempo molto più lungo.

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

c) ***Pendenza delle scarpate durante e dopo i lavori.***

- 1 d) ***Spessore degli strati e modalità di compattazione***
2 . La tecnica del deposito che consente di avere i più elevati
3 valori di densità è quella detta a «buccia di cipolla»: i rifiuti
4 vengono disposti in strati sottili (0,15 - 0,5 m) e
5 compattati più volte da compattatori-livellatori; raggiunto
6 un spessore di 3 m circa, lo strato finale viene sottoposto
7 a copertura.
- 8 e) ***Caratteristiche del materiale di copertura***
9 ***intermedio e finale*** . Occorre trovare un giusto equilibrio
10 tra le caratteristiche che devono avere i materiali di
11 copertura sia per assolvere la funzione principale di
12 separazione idraulica tra i diversi strati di rifiuti sia per
13 assicurare una idonea resistenza meccanica dello strato
14 posto in opera, pena il rischio di scivolamento con
15 carattere prevalentemente rotazionale.
- 16 f) ***Sviluppo di biogas dopo la posa in opera dei rifiuti***
17 . Se prodotto in modo incontrollabile, può provocare gravi
18 rischi di instabilità soprattutto nelle discariche in rilevato e
19 su pendio.
- 20 g) ***Circolazione idrica nell'accumulo*** che si traduce
21 nell'aumento della pressione interstiziale e
22 conseguentemente nella diminuzione degli sforzi efficaci e
23 della resistenza per attrito. Inoltre nei terreni di copertura
24 intermedia (prevalentemente argillosi) si può avere
25 rigonfiamento, rammollimento e perdita di coesione.
- 26 h) ***Condizioni morfologiche, litologiche, strutturali***
27 ***idrogeologiche e geotecniche del terreno di***

1 **fondazione** ossia di quelle parti di terreno destinate ad
2 integrare idraulicamente e meccanicamente con l'impianto
3 (fondo e pareti).

4

5 **6.2 Drenaggio e captazione del percolato**

6 I sistemi di drenaggio e captazione del percolato si realizzano
7 quando le caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche del sito
8 in cui va inserita la discarica non offrono sufficiente protezione per le
9 acque superficiali e sotterranee: così occorre usare tecniche
10 appropriate per controllare la produzione di percolato e impedire la
11 migrazione dello stesso dalla discarica verso le acque adiacenti (Fig.
12 33).

13 Non basta prevedere le opere attinenti strettamente il
14 percolato, ma sono da prevedere anche quelle opere idrauliche che
15 servono a regolare il deflusso delle acque ruscellanti intorno e
16 nell'area della discarica, allo scopo di impedire il loro ingresso nella
17 discarica ed in particolare evitare che raggiungano i rifiuti,
18 contribuendo alla formazione del percolato; per queste opere si
19 rimanda al «Drenaggio delle acque superficiali».

20

21 Fig.33 Pianta di una discarica controllata con indicata la rete di drenaggio
22 e raccolta percolato.

23

24

25

1

2

3

4

5

6 Torniamo ai sistemi di drenaggio a captazione del percolato.
7 Anzitutto il fondo della discarica deve avere una pendenza tra l'1 e il
8 3%, allo scopo di permettere il deflusso dei liquidi, ma senza causare
9 erosione del fondo; su tale fondo va situato uno strato materiale
10 molto permeabile (sabbia grossa e/o ghiaia), con spessore di almeno
11 30 cm.

12 Annegati in questo materasso di materiale drenante vanno posti
13 i tubi collettori del percolato, in dimensione, numero e disposizione
14 dipendenti alla estensione della discarica, dalla quantità di percolato
15 da drenare e dall'andamento del fondo dell'impianto. Laddove la
16 conformazione della discarica non permetta la raccolta del percolato
17 mediante i collettori (ad esempio una discarica che occupi una ex-
18 cava << a fossa>>), nei punti più depressi del fondo dell'impianto
19 (dove i liquidi si raccolgono per gravità), vengono realizzati pozzetti
20 di raccolta del percolato, sempre disposti nello strato di materiale
21 permeabile.

22 Il percolato, captato mediante i collettori oppure attraverso il
23 pompaggio dai suddetti pozzi, viene inviato in una vasca di raccolta,
24 e da qui mandato, tramite tubazioni oppure autobotti, all'impianto di
25 trattamento o in fognatura o in un copro idrico superficiale solo se

1 rispetta i limiti di accettabilità di cui alla legge n.319/1976 e
2 successive modifiche e integrazioni (Tab. 60).

3 Altra soluzione può essere quella di ridistribuire le acque
4 percolate sulla superficie stessa della discarica durante i periodi non
5 piovosi, prevenendo così l'effetto del vento (trasporto di polveri e
6 materiali leggeri) e favorendo la loro evaporazione.

7

8

9

10

11

12

13

14 Tab.60 Limiti previsti dalle tabelle A e C allegate alla legge 10/5/76
15 n.319.

16

17

18

19

20

21

1

2

3

4

5

6

7

8

9 Nella direttiva austriaca del 1977 sono indicate le modalità di
10 drenaggio delle acque di percolazione

11 - le acque devono defluire il più rapidamente possibile dalla
12 scarica. Il loro ristagno va assolutamente evitato e a tale
13 scopo sono particolarmente idonei strati orizzontali di
14 materiale molto permeabile, da tenere in un deposito
15 intermedio separato. Lo scarico può essere accelerato con
16 l'esecuzione di drenaggi. la messa in opera di strati filtranti
17 è opportuna, specie se non si possono escludere con
18 certezza strati intermedi di minore impermeabilità.

19 - Per le tubazioni di drenaggio possono essere impiegati tubi
20 lapidei o di plastica con diametro interno uguale o maggiore
21 di 100 mm. Gli ultimi 50 m., prima dello sbocco nei pozzetti
22 di raccolta vanno eseguiti con tubi forati di gres senza
23 gomiti.

24 - La distanza fra i tubi di drenaggio non deve essere
25 maggiore di 20 m., con una pendenza minima dello 0,3%,
26 per i drenaggi e dello 0,5 per i collettori. I drenaggi vanno
27 protetti con adeguate misure contro i depositi di fango (per
28 esempio mediante copertura con idoneo materiale filtrante)
29 e contro eccessive incrostazioni (per esempio testa di
30 spurgo).

- 1 - Il corpo filtrante e le tubazioni di drenaggio non devono
2 essere disturbati nella loro funzionalità dall'esercizio della
3 discarica.
- 4 - Le acque di percolazione raccolte vanno fatte scolare con
5 pendenza naturale.
- 6 - Le tubazioni che conducono all'esterno della discarica vanno
7 dotate di pozzetti d'ispezione, sempre all'esterno della
8 discarica. Prima del primo pozzetto d'ispezione va disposto
9 un sifone che deve essere sempre pieno d'acqua. Tutti i
10 pozzetti d'ispezione sono da allacciare ad un pozzo
11 collettore comune, ben accessibile. Questo pozzo collettore
12 va eseguito in modo da poter prelevare da esso campioni di
13 acqua e da poter misurare il volume totale delle acque di
14 percolazione. Occorre far attenzione alla presenza di gas
15 metano.
- 16 - Per tutte le opere destinate alla raccolta ed allo scolo di
17 acque di percolazione, occorre tener presente che esse
18 possono essere molto aggressive.

19 La normativa tecnica nel sottoparagrafo 4.2.2. lettera d)
20 prevede che i sistemi di drenaggio e captazione del percolato,
21 nonchè l'eventuale impianto di trattamento del medesimo, dovranno
22 essere mantenuti in esercizio anche dopo la chiusura della discarica
23 stessa, ed a carico del gestore di questa ultima, per il periodo di
24 tempo che sarà stabilito dalla autorità competente.

25

26 ***6.3 Drenaggio delle acque superficiali***

27 Le opere di «sistemazione idraulica» aventi lo scopo di
28 allontanare le acque ruscellanti e/o incanalate dall'impianto, servono
29 non solo ad impedire che tali acque raggiungano la massa di rifiuti,
30 ma anche a migliorare la stabilità meccanica dei terreni costituenti il

1 fondo e i fianchi della discarica , nonchè la stabilità della stessa
2 massa di rifiuti.

3 Tenuto conto delle caratteristiche climatiche del nostro Paese
4 (alta

5 concentrazione stagionale e periodicità delle piogge, forti
6 scostamenti delle precipitazioni dai loro valori medi) il sistema di
7 contenimento, raccolta e smaltimento delle acque meteoriche potrà
8 essere dimensionato in funzione della massima precipitazione
9 registrata in 24 ore negli ultimi 10 anni. Secondo la normativa
10 tecnica (sottoparagrafo 4.2.2. lettera g), in tutto il periodo di
11 conduzione della discarica le acque meteoriche devono essere
12 allontanate dal perimetro dell'impianto a mezzo di idonee
13 canalizzazioni, dimensionate sulla base delle piogge più intense con
14 tempo di ritorno di 10 anni.

15 Pertanto vanno previste e realizzate a monte della discarica
16 canalizzazioni superficiali che raccolgono tutte le acque che dai
17 pendii circostanti tenderebbero a invadere l'impianto ed i suoi fianchi,
18 e nell'area della discarica canalizzazioni atte alla raccolta e allo
19 smaltimento delle acque meteoriche. Con tali opere, progettate
20 adottando i criteri delle sistemazioni idrauliche, si farà in modo che le
21 acque così raccolte vadano a scaricarsi in «recipienti» quali corsi
22 d'acqua, maghi, mare.

23

24 ***6.4 Impermeabilizzazione***

25 Per quanto riguarda la impermeabilizzazione del fondo e delle
26 scarpate dell'impianto, si possono usare materiali naturali o artificiali,

1 oppure si possono utilizzare gli uni e gli altri opportunamente
2 integrati nel caso si tratti di rifiuti che richiedono un elevato grado di
3 impermeabilizzazione, come anche laddove le condizioni locali non
4 assicurino una sufficiente

5 tenuta. In ogni caso il fondo della discarica deve trovarsi al di
6 sopra del livello di massima escursione della falda idrica, con un
7 franco di almeno 150 cm.

8 I *materiali naturali* a permeabilità bassa o molto bassa sono
9 quelli il cui k abbia valore minore di 10^{-3} cm/sec; in pratica, dal
10 punto di vista granulometrico, sono i limi, le argille sabbiose o limose,
11 le argille. Inoltre devono possedere una sufficiente «plasticità», avere
12 una permeabilità non alterabile ad opera dei rifiuti smaltiti e costante
13 nel tempo, ed essere «compatibili» con i rifiuti smaltiti (cioè la loro
14 composizione chimica non deve essere tale che possano reagire con i
15 rifiuti o il percolato, producendo nuove sostanze nocive o
16 pericolose). I rivestimenti in terra, per migliorare le loro
17 caratteristiche di impermeabilità, possono essere additivati con
18 bentonite, calcare, bitume o cemento. Queste terre si possono
19 trovare anche nelle immediate vicinanze dell'impianto da realizzare e,
20 dal punto di vista delle formazioni geologiche, si può trattare di
21 sedimenti alluvionali (fluviali o lacustri), di depositi norenici, delle
22 formazioni marine del Pliocene e del Pleistocene, ecc.

23 I *materiali artificiali* consistono nei manti o membrane sintetiche
24 (o *geomembrane*) che quando vengono usati per realizzare il fondo
25 e le pareti delle discariche, devono presentare le seguenti
26 caratteristiche generali, allo scopo di impedire la fuoriuscita del
27 percolato:

- 1 a) elevata resistenza meccanica (spessore minimo 0,5 cm);
- 2 b) compatibilità con il rifiuto smaltito;
- 3 c) resistenza ai batteri e ai funghi (che tendono a provocare
- 4 la biodegradazione del manto);
- 5 d) resistenza agli agenti atmosferici (calore, gelo, ecc.);
- 6 e) spessore e struttura uniformi in ogni punto della mem-
- 7 brana;
- 8 f) permeabilità inferiore o uguale a 10^{-12} cm/sec;
- 9 g) elevato grado di elasticità;
- 10 h) resistenza all'invecchiamento;
- 11 i) facilità di posa in opera.

12 Le membrane più diffuse sono a base di materiali plastici, quali
13 PVC (cloruro di polivinile), polietilene, gomma butilica, neoprene,
14 poliuretani, gomme poliolefiniche.

15 Particolare cura sarà necessaria per il sottofondo, che dovrà
16 risultare liscio, compatto, privo di asperità che possano danneggiare
17 le geomembrane, per cui dovrà essere in precedenza accuratamente
18 costipato e rullato. In caso di sottofondo scabro si rende necessaria
19 la stesura di uno strato di terreno a granulometria fine o di un feltro,
20 prima della posa in opera della membrana sintetica.

21 Nel caso di impianti impermeabilizzanti mediante l'impiego di
22 materiali artificiali, la normativa tecnica al sottoparagrafo 4.2.2.
23 lettera c) prescrive:

- 24 - lo spessore e le caratteristiche di resistenza dei materiali
- 25 impermeabilizzanti artificiali devono essere tali da impedire
- 26 la fuoriuscita del percolato dal fondo e dalle pareti della
- 27 discarica;

- 1 - il fondo della discarica deve trovarsi al di sopra del livello di
2 massima escursione della falda idrica, con un franco di
3 almeno 150 cm;
- 4 - il manto impermeabilizzante composto da materiale
5 artificiale deve essere adeguatamente protetto dagli agenti
6 atmosferici e da pericoli di danneggiamento in fase di
7 realizzazione e di esercizio della discarica ed in ogni caso
8 posato su uno strato di terreno con permeabilità $\leq 10^{-10}$
9 cm/s e spesso e di almeno 100 cm;
- 10 - devono essere adottati sistemi di drenaggio e captazione
11 del percolato i cui eventuali scarichi devono rispettare i
12 limiti di accettabilità di cui alla legge n. 319/1976 e
13 successive modifiche e integrazioni.

14 La scelta del tipo di materiale più idoneo allo specifico uso può
15 essere fatta con prove di laboratorio, ove manchino esperienze
16 specifiche.

17 Per poter garantire una protezione affidabile alla falda idrica
18 occorre, oltre ad una buona progettazione, una accurata posa in
19 opera e un sistema di monitoraggio adeguato all'importanza
20 dell'opera e al tipo di uso che si fa della falda.

21 La posa in opera è un'operazione delicata per due motivi:

- 22 - necessità di saldare tra di loro teli con appropriate
23 tecnologie di saldatura;
- 24 - pericolo che durante la posa in opera il telo sia lacerato
25 da corpi estranei.

26 Per le caratteristiche specifiche dei singoli manti sintetici
27 impermeabilizzanti si rimanda alla Tab.61

28 .

29 Tab.61 Manti sintetici per impermeabilizzazione (caratteristiche meccaniche
30 e fisiche).

1

2

3

4

5

6

7

8 Nella Tab.61 si riporta in forma schematica un elenco dei più
9 comuni *maeriali impermeabilizzanti* con alcune relative
10 caratteristiche positive e negative:

11

12 *Terreno argilloso*

13 - Assicura una adeguata protezione delle acque
14 sotterranee per la caratteristica bassa impermeabilità.

15 - Non è ovunque reperibile.

16 - Suscettibile di fratture se esposto a certi acidi e so-
17 stanze chimiche;

18

19 *Bentonite argillosa*

20 - Assicura la protezione delle acque sotterranee per la
21 permeabilità molto bassa.

22 - Suscettibile di fratture se esposto a acidi e a certe
23 sostanze chimiche.

24

1 *Strato di 1, 2 metri di argilla comune*

- 2 - Assicura la protezione delle acque sotterranee per la
- 3 caratteristica bassa permeabilità.
- 4 - Suscettibile di fratture a seguito di non adeguata umidità
- 5 o se esposto a certi acidi.
- 6 - Non è ovunque reperibile.

7 *Geomembrane sintetiche a basso costo*

- 8 - Impermeabilità elevata.
- 9 - Generalmente resistenti allo strappo, flessibili alle basse
- 10 temperature e resistenti a parecchi materiali chimici.
- 11 - Vulnerabilità nei confronti di idrocarburi e solventi vari.
- 12 - Si hanno pochi dati relativi alla stabilità a lungo termine.

13

14 *Geomembrane sintetiche ad altro costo*

- 15 - Assicurano una eccellente resistenza a un certo numero
- 16 di materiali chimici, specie se adeguatamente spesse.
- 17 - Impermeabilità elevata.
- 18 - Vulnerabilità nei confronti di idrocarburi e solventi vari.
- 19 - Si hanno pochi dati relativi alla stabilità a lungo termine.
- 20 - Costo elevato.

21

22 *Barriere di argilla con geomembrane sintetiche*

- 23 - Assicura un elevato grado di garanzia nei confronti delle
- 24 acque sotterranee per l'omogeneità strutturale delle
- 25 geomembrane sintetiche e per le proprietà
- 26 impermeabilizzanti colloidali dell'argilla.

- 1 - Suscettibile di fratture a seguito di esposizione a certe
2 sostanze chimiche.
- 3 - Elevato costo dovuto all'argilla che non è ovunque
4 reperibile e alla scelta della qualità dei manti sintetici.

5

6 *Pavimentazione asfaltica con copertura cementizia*

- 7 - Assicura un solido supporto strutturale.
- 8 - Vulnerabilità nei confronti di certi solventi idrocarburici.
- 9 - Mancanza di flessibilità agli assestamenti strutturali.

10

11 *Pavimentazione asfaltica con protezione di geomembrane*
12 *sintetiche*

- 13 - Assicura integrità alla struttura.
- 14 - Resistenza agli attacchi chimici.
- 15 - Vulnerabilità nei confronti di certi solventi idrocarburici.
- 16 - Costo maggiore dovuto alla scelta del tipo di membrana
17 sintetica.

18

19 ***6.5 Predisposizione dello smaltimento dei gas***

20 Nelle discariche controllate i rifiuti sono soggetti a una serie di
21 trasformazioni chimiche, fisiche, biologiche, la cui velocità e natura
22 dipendono dalla tipologia stessa dei rifiuti, dalle modalità di

1 realizzazione della discarica e quindi dalla permeabilità all'aria e
2 all'acqua della massa dei rifiuti. Queste trasformazioni consistono
3 essenzialmente nel processo di fermentazione ad opera di batteri e
4 funghi, che si sviluppa a spese dei materiali organici presenti nei
5 rifiuti.

6 La degradazione anaerobica è quella prevalente nelle discariche
7 e dà luogo allo sviluppo di una miscela di gas (biogas) quali metano
8 (gas che a contatto con l'aria diventa esplosivo anche in basse
9 concentrazioni), anidride carbonica, acido solfidrico, ammoniaca,
10 fosfina (questi ultimi tre sono gas nocivi oltre che maleodoranti); si
11 possono formare altri gas che, pur presenti in tracce, come i
12 mercaptani, hanno odore nauseabondo. Teoricamente la produzione
13 di biogas varia da 350 a 750 l/Kg di rifiuti.

14 Se si tratta di impianti di ridotte dimensioni, considerando la
15 composizione chimica del biogas, la presenza o meno di insediamenti
16 umani prossimi alla discarica, la direzione di venti dominanti, ecc., è
17 possibile la libera dispersione in atmosfera del biogas, purchè venga
18 accertato preventivamente, e controllato in fase di esercizio, che
19 tale dispersione non comporti pericoli per la salute dell'uomo e/o per
20 l'ambiente e comunque non arrechi molestie.

21 Altrimenti, gli impianti devono essere dotati di dispositivi per la
22 captazione e il recupero del biogas, basati sul principio che l'intera
23 massa dei rifiuti deve essere attraversata verticalmente da tubi
24 forellati che permettano lo sfiato verso l'alto e l'esterno dei gas
25 prodotti.

26 Nelle discariche di grandi dimensioni, o con particolari tipi di
27 rifiuti, laddove la produzione di biogas è elevata, questo può essere

1 utilizzato per scopi energetici, considerato che circa il 55% di tale
2 miscela è costituito da metano.

3 Al fine di ridurre i rischi di esplosione del metano, in alcune
4 discariche viene praticata la deumidificazione e la diluizione del
5 biogas con aria in modo da abbassare il contenuto di metano al di
6 sotto del 5% di volume.

7 Nel caso non risulti praticabile l'utilizzazione energetica del
8 biogas, questo deve essere bruciato in loco mediante «torce»
9 («fiaccole») preferibilmente ad accensione automatica.

10 Sono frequenti le *migrazioni orizzontali dei gas* dalla discarica
11 dovute alla diffusione nel sottosuolo circostante e al gradiente di
12 pressione.

13 Per discariche poco profonde si ritiene che il potenziale di
14 migrazione del gas sia pari ad una distanza uguale a dieci volte la
15 profondità massima della discarica al di sotto del livello originale.

16 Per controllare la migrazione del gas esistono sistemi con
17 barriere passive e con barriere attive:

18 a) *Barriere passive* :

19 - *Setti o paratie di intercettazione*. Costituiti da
20 materiali naturali quali argille umide compatte o
21 artificiali, quali asfalti e polimeri; per assicurare la
22 efficacia, i setti devono estendersi fino ad uno
23 strato impermeabile al gas, come il serbatoio
24 roccioso o la falda freatica. Le argille sono
25 impermeabili al gas solo se idricamente sature.

26 - *Sistemi di sfiato*. Sono trincee colmate con ghiaia o
27 tubi finestrati. Le prime permettono un certo
28 passaggio di gas e sono suscettibili di
29 intasamento (da esse deve essere rimosso il

1 percolato). I tubi finestrati hanno una efficacia
2 limitata all'interno del tubo stesso e pertanto
3 non offrono un efficace abbassamento della
4 pressione se usati da soli.

5 Anche l'uso combinato di trincee colmate con
6 ghiaia e di tubi finestrati non dà completa
7 assicurazione di smaltimento del gas. Una buona
8 soluzione è data dall'uso combinato delle trincee
9 di ghiaia fuori della discarica abbinate con il setto
10 impermeabile sul fronte della trincea rispetto alla
11 discarica.

12

13 b) *Barriere attive* :

14 - *Pozzi a sfiato forzato, esterni o interni* alla
15 discarica. Formati da tubi collegati da un
16 collettore comune a una pompa o a un
17 insufflatore. I gas che fuoriescono possono
18 essere bruciati (fiaccola) o recuperati. Il sistema
19 è efficace ma richiede una notevole
20 manutenzione.

21 - *Trincee a sfiato forzato* . Costituite da ghiaia e
22 superiormente sigillate, dotate di tubi finestrati
23 collettori uniti ad una pompa o insufflatore. Sono
24 più efficaci dei pozzi a sfiato forzato perchè
25 consentono il controllo delle migrazioni dei gas.
26 Richiedono notevole manutenzione.

27 - *Trincee a insufflazione forzata* . Sono simili alle
28 precedenti con la differenza che viene introdotta
29 aria in pressione. In questo caso lo smaltimento
30 dei gas avviene per dispersione nell'atmosfera. Un
31 livello troppo alto del flusso di aria può
32 determinare il pericolo di esplosione o può inibire
33 la degradazione anaerobica ed innescare quella
34 aerobica.

35 E' interessante riportare le direttive contenute nella normativa
36 austriaca relative allo smaltimento del gas:

1 Se c'è da aspettarsi una notevole formazione di gas metano
2 (nelle discariche compattate questo accade sempre) prima
3 dell'allestimento della discarica (eventualmente anche in un secondo
4 tempo) occorre adottare delle misure che garantiscano il deflusso dei
5 gas. Ciò può essere ottenuto in vari modi:

- 6 - Inserendo materiali porosi non degradabili in strati orizzontali
7 e verticali con aperture prefissate, protette in modo
8 particolare, per l'uscita del gas;
- 9 - ricoprendo la discarica con un materiale molto permeabile, a
10 sua volta coperto da un altro strato difficilmente permeabile
11 e predisponendo alcune bocche d'uscita dei gas;
- 12 - impiegando tubi forati di acciaio per lo smaltimento dei gas e
13 loro combustione attraverso sistemi di bruciatori;
14 eventualmente i gas possono essere aspirati attraverso
15 questi tubi.

16 In generale occorre tener presente che:

- 17 - nelle depressioni le pareti laterali sono da rivestire con
18 materiale permeabile, prima di depositarci i rifiuti;
- 19 - i rifiuti devono essere ben compattati dopo il deposito,
20 affinché non si formino fessure di assestamento, in cui può
21 accogliersi una miscela di metano ed aria facilmente
22 infiammabile ed estremamente esplosiva;
- 23 - il gas metano che si raccoglie nelle depressioni può dar luogo
24 a deflazioni. Pertanto vanno evitati assestamenti irregolari.

25 La normativa tecnica nel sottoparagrafo 4.2.2. lettera e)
26 prevede che i dispositivi di captazione, recupero e combustione del
27 biogas devono essere mantenuti in esercizio anche dopo la chiusura
28 della discarica per il periodo di tempo stabilito dall'autorità
29 competente.

30 **6.6 INFRASTRUTTURE DI SERVIZIO**

31

1 *6.6.1 Strade*

2 E' preferibile che la discarica non sia direttamente su una strada
3 con traffico molto intenso ma su una strada secondaria
4 sufficientemente larga da evitare ingorghi, praticabile in ogni
5 condizione di tempo, che possa sopportare il peso dei veicoli
6 impiegati per il trasporto e che non arrechi agli stessi dei danni. A tal
7 fine si possono usare come materiale di copertura ghiaia e sassi che
8 evitano la impraticabilità delle strade nei periodi piovosi.

9 Anche le vie di circolazioni interne devono avere uno strato
10 sufficientemente resistente per permettere la circolazione dei veicoli.
11 Quest'ultima è molto delicata nel caso delle discariche tradizionali per
12 il modesto compattamento dei rifiuti e per la copertura che diventa
13 fangosa nei periodi piovosi; per questo motivo occorre predisporre
14 una piattaforma su cui i veicoli di raccolta andranno a scaricare il loro
15 contenuto (in tal modo le ruote dei veicoli restano pulite poichè non
16 entrano a contatto con i rifiuti depositati).

17 Per le grandi discariche compattate, la realizzazione di una
18 piattaforma permette di depositare i rifiuti di piccole imprese -
19 assimilabili ai rifiuti urbani- senza turbare il lavoro né la circolazione
20 delle macchine della discarica nelle ore di punta.

21 *6.6.2 Dispositivi di sicurezza*

22

23 a) RECINZIONI

24 Ogni discarica deve essere recintata per la totalità del perimetro
25 da una recinzione di altezza non inferiore a 200 cm., in modo da

1 impedire l'accesso alle persone non autorizzate e agli animali; è
2 spesso opportuno rinforzare la base delle recinzioni con griglie
3 metalliche a maglia fine per impedire l'ingresso di questi ultimi.

4 La recinzione non potrà essere tolta se non quando la discarica
5 sarà totalmente risanata.

6 All'ingresso (o agli ingressi) deve essere installato un robusto
7 cancello scorrevole o a battenti largo tanto da consentire il transito
8 dei veicoli di raccolta, chiudibile con chiave al fine di impedire
9 l'accesso al deposito in ore diverse da quelle di apertura.

10 Tutti gli accessi della discarica vanno sorvegliati durante le ore
11 di utilizzazione e chiusi a chiave nel tempo restante.

12 Se vicino all'impianto si trovano abitazioni o strade molto
13 trafficate, si dovrebbe prendere le misure idonee a deviare i disturbi
14 dovuti ai rumori e al sollevamento della polvere o altri materiali
15 leggeri. Una opportuna piantumazione di alberi e cespugli nasconde il
16 cantiere, attenua i rumori, protegge l'area dal vento.

17

18 b) CARTELLI SEGNALETICI

19 Cartelli segnaletici costituiti da materiale durevole esposti
20 all'entrata della discarica indicheranno, oltre il nome della zona e del
21 proprietario, le ore e i giorni di apertura del cantiere.

22

23 c) LOCALI

1 E' necessario un posto di controllo all'entrata della discarica.
2 Anche se questa è di piccole dimensioni non devono mancare i locali
3 con spogliatoio, servizi igienici e docce e un magazzino per attrezzi.

4 Devono essere sempre disponibili un equipaggiamento di pronto
5 soccorso e dispositivi antincendio.

6 In caso di grandi discariche oppure quando si prevede che la
7 discarica avrà lunga vita, saranno necessari allacciamenti elettrici,
8 idraulici e telefonici.

9 I locali comprenderanno:

- 10 - il refettorio;
- 11 - gli spogliatoi;
- 12 - i servizi igienici;
- 13 - i laboratori per analisi;
- 14 - gli uffici;
- 15 - il magazzino per gli attrezzi;
- 16 - l'officina e i locali di montaggio;
- 17 - il deposito per il ricovero delle macchine.

18 saranno previste anche cisterne per l'immagazzinamento del
19 combustibile.

20

21 d) CENTRO DI CONTROLLO E PESA

22 Specie nelle discariche di media e grande capacità, è utile
23 installare all'ingresso un ponte-pesa che consente di dare
24 informazioni precise sulla quantità e sui tipi di rifiuti in entrata.

1

2 e) PULIZIA DELLE RUOTE DEI VEICOLI DI RACCOLTA

3 Un impianto di pulitura delle ruote costituito, ad esempio, da
4 una macchina a spazzole rotanti, ubicato all'uscita della discarica,
5 consente che la strada esterna non sia insudiciata dai veicoli di
6 raccolta dei rifiuti in uscita.

7

8 **6.6.3 Sistemi di controllo**

9 Bisogna prevedere un sistema di controllo del percolato nonchè
10 delle acque sotterranee che potrebbero venire da questo inquinate.
11 Si parla di «monitoraggio» quando l'apparecchiatura di controllo
12 consente di sorvegliare in modo immediato la qualità del percolato e
13 delle acque sotterranee.

14 Il sistema di controllo del percolato consiste in «lisimetri a
15 vuoto» o altri strumenti opportuni posti nella «zona di aerazione»
16 (tra il fondo della discarica e la più alta quota freatica nota).

17 Un terreno permeabile contenente una falda idrica è saturato
18 completamente dall'acqua per un certo spessore al di sopra del
19 substrato impermeabile, fino ad un certo livello, detto idrostatico; si
20 stabilisce così una superficie di separazione tra due zone nel terreno
21 stesso:

- 22 - una zona al di sotto della suddetta superficie detta
23 piezometrica, e che prende il nome di *zona di saturazione*
24 ,
25 - la zona al di sopra della superficie piezometrica prende il
26 nome di *zona aerazione* .

1 Il sistema di controllo delle acque sotterranee comprende
2 almeno due pozzi:

3 a) un pozzo indicato e realizzato in modo da raggiungere
4 la falda dove questa defluisce a monte della discarica,
5 allo scopo di avere indicazioni sulle caratteristiche
6 chimico-fisiche e biologiche delle acque sotterranee
7 prima che esse giungano in prossimità della discarica
8 (50÷100 m a monte della discarica costituirebbero
9 una opportuna distanza);

10 b) un pozzo avente la funzione di controllare le acque
11 sotterranee immediatamente a valle della discarica,
12 nella direzione del flusso sotterraneo.

13 Sarebbe auspicabile installare anche un pozzo nel centro della
14 discarica opportunamente protetto da infiltrazioni. Qualora vi siano
15 più falde, si può collegarle fra loro lateralmente oppure si deve
16 costruire un pozzo per falda. Prima di procedere alla messa in
17 discarica dei rifiuti, è necessario procedere ad una analisi completa
18 delle acque della falda; si dovrà procedere a delle analisi periodiche e
19 frequenti, anche durante l'utilizzazione della discarica. Con una
20 periodicità minore o in caso di anomalie, si dovrà effettuare una
21 analisi completa, identica all'analisi iniziale, al fine di effettuare
22 paragoni. Prima di effettuare il prelevamento, converrà procedere a
23 un pompaggio dell'acqua della falda per qualche ora.

24 E' necessario continuare a svolgere il controllo di qualità delle
25 acque anche quando l'utilizzazione della discarica è terminata.

26

1 CAPITOLO OTTAVO

2 **4.12 IMPATTO AMBIENTALE**

3 Nel campo della tutela ambientale si sta sempre più affermando la
4 procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), cioè la
5 valutazione dei

6 rapporti esistenti tra un dato progetto di opera e l'ambiente in cui si
7 va ad inserire, tenendo conto degli aspetti tecnici, giuridici, econo-
8 mici, sociali ed ambientali per arrivare a formulare un giudizio di
9 fattibilità.

10 Nell'ambito del VIA si procede allo studio ed alla descrizione di:

11 - natura tecnica ed utilità dell'opera;

12 - situazione ambientale in cui essa si colloca ed individuazione
13 degli impatti potenziali;

14 - possibilità di interventi atti a contenere gli impatti potenziali
15 (criteri di contenimento).

16 Fissati gli elementi relativi all'opera vengono individuate le
17 categorie ambientali, viste come insiemi di elementi biotici ed
18 abiotici, per le quali individuare gli impatti potenziali che deter-
19 minerebbero effetti negativi sulla qualità della vita delle popolazioni
20 interessate, sulle risorse economiche del territorio, sui valori culturali
21 e naturalistici e sulla funzionalità sociale.

22 Al fine di tutelare questi che possono essere definiti, unitamente
23 alle loro articolazioni, come bersagli potenziali dell'impatto, è

1 necessario prendere in esame i criteri ed adottare le misure di
2 contenimento dell'impatto stesso.

3 Per diversi impianti di smaltimento dei rifiuti solidi urbani possono

4

5 essere individuati degli impatti potenziali comuni derivanti dalle
6 caratteristiche stesse della funzione che essi sono destinati a
7 svolgere. A questi si aggiungono gli impatti potenziali specifici che
8 dipendono dalle peculiarità dei vari sistemi. Tra gli impatti comuni
9 possono essere annoverati quelli legati alla decisione di utilizzo di una
10 certa area per la realizzazione dell'impianto di smaltimento ed alle
11 operazioni necessarie per tale realizzazione.

12

13 *4.12.1 Esempio di valutazione dell'impatto ambientale delle discari-*
14 *che controllate*

15 Si riporta una metodologia per la Valutazione dell'Impatto
16 Ambientale di una discarica applicata in uno studio effettuato a
17 Monteruscello (Pozzuoli) che consente di quantificare i singoli impatti
18 elementari e di pervenire ad una valutazione globale dell'impatto
19 ambientale.

20 Questa metodologia può trovare applicazione sia in sede pro-
21 grammatica (opere in fieri), che nella successiva fase di gestione.

22 Gli AA. hanno sviluppato lo studio secondo le seguenti fasi:

23 1) identificazione delle componenti ambientali coinvolte dalla
24 infrastruttura;

1 2) determinazione delle caratteristiche più rappresentative del
2 sito e della discarica (lista dei fattori);

3 3) individuazione di una scala di valori con cui stimare le diverse
4 situazioni di cui ciascun fattore (stima dei fattori);

5 4) definizione dell'influenza ponderale del singolo fattore su
6 ciascuna componente ambientale;

7 5) raccolta dei dati peculiari del sito e loro quantificazione in base
8 alla scala di valori precisata;

9 6) valutazione degli impatti elementari con l'ausilio di un modello
10 di tipo matriciale.

11

12 *1. Identificazione delle componenti ambientali*

13 In considerazione del tipo di opera si individuano nelle seguenti
14 sette componenti quelle maggiormente influenzate da una discarica
15 controllata:

16 1) uso del territorio;

17 2) estetica;

18 3) quantità delle acque;

19 4) qualità dell'aria;

20 5) livello di rumorosità;

21 6) salute pubblica;

22 7) relazioni biologiche.

1 Un incremento del numero delle componenti, al fine di una più
2 dettagliata descrizione di tutto il sistema ambientale comporterebbe
3 uno sviluppo più laborioso del procedimento di valutazione di impatto
4 senza un beneficio nei risultati conseguiti.

5

6 *2. Lista dei fattori*

7 Individuate le componenti ambientali, si procede alla compilazione
8 della lista dei fattori:

9 *a) fattori caratterizzanti in sito da adibire a discarica:*

10 1) potenziali risorse, in termini strettamente economici;

11 2) tipologia da un punto di vista topografico;

12 3) esposizione;

13 4) distanza dai centri abitati, calcolata rispetto ai primi aggro-
14 merati urbani;

15 *b) fattori caratterizzanti l'ambiente in cui il sito è inserito:*

16 5) sistema viario (tipo di strada, tracciato e densità di traffico);

17 6) piovosità della zona;

18 7) ventosità;

19 8) sismicità;

20 9) livello della falda sottostante l'area impegnata;

21 10) idrografia superficiale interessata alla discarica;

1 11) disponibilità di materiale di ricoprimento necessario al
2 corretto esercizio dell'opera.

3 *c) elementi legati alle caratteristiche del rifiuto e alle tecniche di*
4 *smaltimento:*

5 12) potenzialità della discarica, intesa come volume da destinare
6 allo smaltimento dei rifiuti;

7 13) tipo di rifiuto in termini qualitativi;

8 14) grado di compattazione del rifiuto sistemato in discarica;

9 15) frequenza e spessore del ricoprimento;

10 16) riempimento e sistemazione finale;

11 17) materiale leggero presente nel rifiuto;

12 18) polveri;

13 19) emissioni gassose dovute alle trasformazioni biochimiche della
14 frazione organica del rifiuto;

15 20) percolato raccolto al fondo della discarica;

16 21) vettori di malattie infettive (mosche, zanzare, roditori, ecc.);

17 22) drenaggio delle acque superficiali relativo all'area della di-
18 scarica;

19 23) organizzazione del servizio di gestione della discarica.

20 I primi due gruppi di fattori consentono un accertamento dello
21 stato iniziale del sito e dell'ambiente circostante che verrà inte-
22 ressato dall'opera; con il terzo gruppo si possono invece desumere

1 gli effetti dell'opera, sia a breve (durante l'esercizio della discarica)
2 che a lungo termine (a discarica ultimata).

3 *3. Stima dei fattori*

4 Per ognuno dei fattori precedentemente elencati gli AA. hanno
5 ipotizzato più casi, rappresentativi di diverse situazioni con definite
6 caratteristiche; a ciascuno di detti casi è stato assegnato un valore
7 compreso nell'intervallo tra 1 e 10, a seconda della presumibile
8 entità degli effetti prodotti sull'ambiente: tanto maggiore è il danno
9 ipotizzato tanto più alto è il numero attribuito.

10 In tabella 51 vengono raccolte le singole situazioni afferenti ai
11 diversi fattori e le «magnitudo» ad esse assegnate. A nessuna si-
12 tuazione è assegnato il valore 0 in quanto gli AA. hanno ritenuto che,
13 qualunque sia l'area prescelta ed a prescindere dai criteri progettuali
14 seguiti, si verranno sempre a determinare conseguenze
15 sull'ambiente.

16 Tab.51 Situazioni afferenti ai diversi fattori e rispettive "magnitudo".

17

18

19

20

21

22

23

1

2

3

4

5

6

7

8

9 4. *Influenza ponderale di ciascun fattore su ogni componente*
10 *ambientale.*

11 I fattori citati possono avere influenze sia nulle (nel caso di as-
12 senza di correlazione) sia massimi (nel caso di correlazione stretta):
13 tra questi due casi estremi possono stabilirsi livelli intermedi di
14 correlazione.

15 Assumendo pari a 10 l'influenza complessiva di tutti i fattori su
16 ciascuna componente, tale valore è distribuito tra i fattori medesimi
17 proporzionalmente al relativo grado di correlazione; la distribuzione è
18 effettuata assegnando al grado massimo di correlazione (livello di
19 correlazione A) un valore doppio rispetto al grado ad essi inferiore
20 (livello B), ed ancora al livello B un valore doppio rispetto a quello di
21 tipo C.

22 Per una componente i valori dell'influenza di ogni fattore sono qui
23 desunti dalle seguenti equazioni:

1

2 $\Sigma a + \Sigma b + \Sigma c = 10$

3 $a = 2b$

4 $b = 2c$

5 dove:

6 a, b, c, = valori dell'influenza del fattore il cui livello di correlazione
7 è pari rispettivamente ad A, B, C,.

8 Seguendo il criterio soggettivo sopra esposto si individuano e si
9 ponderano le influenze dirette di ogni fattore su ciascuna com-
10 ponente escludendo quelle indirette o per così dire del secondo
11 ordine, indotte dalla modificazione di una componente ambientale
12 (ad esempio il percolato può agire, sì, sulla salute pubblica e sulle
13 relazioni biologiche, ma tale influenza è da ritenersi indiretta in
14 quanto legata all'alterazione della qualità delle acque su cui il
15 percolato stesso svolge un'azione diretta).

16 I risultati conseguiti, riassunti in Tab.52, sono rappresentati at-
17 traverso una matrice di 7 righe e 23 colonne, tante quante sono
18 rispettivamente le componenti ambientali e i fattori citati.

19 Dalla matrice si evince che la qualità delle acque è la componente
20 ambientale su cui hanno influenza il maggior numero di fattori (11 su
21 23), seguita dall'estetica (10 su 23). Quanto sopra pone in evidenza
22 che l'acqua è la più esposta agli effetti di una discarica controllata.

23

24 *5. Valori attribuiti ai fattori*

1 Acquisite le informazioni sulle caratteristiche dell'opera in esame a
2 ciascun fattore viene attribuito un specifico valore utilizzando il
3 prospetto riassuntivo riportato in Tab. 51.

4 Le corrispondenze tra i fattori e le loro «magnitudo» vengono
5 raccolte sottoforma di matrice costituita da 23 righe ed 1 colonna
6 (Tab. 53) in cui è riportato un esempio di matrice delle magnitudo
7 dei fattori nella discarica controllata sottoposta a studio dagli AA.

8 Tab.52 Matrice delle influenze ponderali di ciascun fattore su ogni
9 componente ambientale.

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

1

2

3

4

5 Tab.53 Esempio di matrice delle "magnitudo" dei fattori.

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

1 *6. Valutazione degli impatti elementari.*

2 Definite le influenze ponderali «P» di cui ciascun fattore su ogni
3 componente ambientale che assumono validità generale qualunque
4 sia la discarica controllata da esaminare, attribuiti a tutti i fattori quei
5 valori «M» legati al caso particolare, il prodotto P x M fornisce il
6 contributo del singolo fattore all'impatto su di una componente.

7 Alla valutazione di ciascun impatto elementare « I_e» si prevede
8 quindi attraverso l'espressione:

9

10 $I_e = \sum_{n,i} (P_i \cdot M_{o,i})$

11 dove:

12 I_e = impatto elementare su di una componente ambientale

13 P_i = influenza ponderale del fattore -iesimo su di una

14 componente

15 M_{o,i} = magnitudo del fattore -iesimo.

16 L'insieme degli impatti elementari rappresenta l'impatto com-
17 plessivo dell'opera sul sistema ambientale.

18 La valutazione degli impatti elementari può essere ottenuta con il
19 metodo di analisi matriciale, come prodotto della matrice delle
20 influenze ponderali di ordine (7, 23), per la matrice del magnitudo di
21 ordine (23, 1). Il risultato di tale prodotto fornisce la matrice degli
22 impianti elementari di ordine (7, 1) (Tab. 54).

23

1
2 Tab.54 Esempio di matrice degli impatti elementari della discarica di
3 "Monteruscello".

4

5

6

7

8 Oltre ai valori degli impatti elementari della discarica controllata
9 possono anche essere riportati i corrispondenti valori minimi e
10 massimi ottenuti con l'impiego rispettivamente delle magnitudo
11 minime e massime di ogni fattore (Tab. 54).

12 Va evidenziato che alla quantità delle acque compete,
13 nell'esempio riportato, l'impatto più elevato pari a 41, valore circa
14 triplo rispetto alla condizione meno favorevole ma comunque lontano
15 dalla situazione più pregiudizievole per l'ambiente.

16 Per le restanti componenti i cui valori di impatto, nell'esempio,
17 sono compresi tra 20 e 30, si può ritenere che l'opera vi incida in
18 egual misura con entità comunque modesta se rapportato ai valori
19 massimi della tabella.

20 In sintesi, attese le condizioni ambientali esistenti ed i criteri
21 progettuali assunti, la realizzazione della discarica controllata presa
22 ad esempio dai tre Autori, non costituisce una minaccia rilevante per
23 il sistema ambientale in cui essa si inserisce.