

**GLI EFFETTI NEGATIVI DELLE DISCARICHE NON CONTROLLATE  
SULL'AMBIENTE****1.1. Introduzione**

La sostenibilità ambientale è al centro del dibattito mondiale, visto il crescente consumo delle risorse naturali avvenuto specialmente negli ultimi decenni. L'incremento dei consumi ha come diretta conseguenza l'aumento della quantità dei rifiuti prodotti nelle città, più o meno grandi. I rifiuti prodotti dalla popolazione, soprattutto nelle aree urbane, rappresentano un problema significativo a livello mondiale che i governi sono chiamati a risolvere. Secondo un recente rapporto della Banca Mondiale, produciamo 2.01 miliardi di tonnellate di rifiuti solidi urbani (RSU) all'anno, mentre la quantità di rifiuti prodotti giornalmente da una persona raggiunge in media i 0.74 kg, variando dai 0.11 ai 4.54 kg (Worldbank, 2021). La quantità media giornaliera di rifiuti generati pro capite è di 1.61 kg per i paesi dei Caraibi, 0.82 kg per i paesi del Pacifico, 1.56 kg per i paesi della zona atlantica, dell'Asia meridionale e della Cina meridionale; per i paesi membri dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) la quantità di rifiuti prodotti ogni giorno è di 1.35 kg pro capite (Mohee et al., 2015). Nei paesi a basso e medio reddito, il tasso di produzione giornaliera di rifiuti è destinato a aumentare di più del 40% entro il 2050, mentre nei paesi ad alto reddito è previsto un incremento del 19% (Worldbank, 2021). È evidente che esiste una correlazione tra il livello di reddito e il tasso di produzione di rifiuti. Inoltre, secondo l'Agenzia Statunitense per la Protezione dell'Ambiente (EPA, 2020) entro il 2050, la produzione di rifiuti nei paesi a basso reddito mira a triplicare. Nel 2010 sono stati generati in tutto il mondo 1.3 miliardi di tonnellate di rifiuti solidi che si prevede raggiungeranno i 3.40 miliardi di tonnellate entro il 2025 (Worldbank, 2021). Lo smaltimento di grandi quantità di rifiuti solidi provenienti da più fonti rappresenta un grande onere economico e ambientale per i governi e le amministrazioni locali. Se non vengono smaltiti correttamente, questi rifiuti possono causare gravi danni ambientali e influire negativamente sulla vita delle persone. Oggi, la pandemia causata da COVID-19 ha imposto una riconsiderazione delle pratiche e degli approcci di gestione dei RSU e delle discariche non controllate (Das et al., 2021).

La gestione dei rifiuti solidi urbani è uno dei servizi municipali più importanti che ogni amministrazione fornisce ai residenti. Le caratteristiche demografiche, le normative in vigore e lo stile di vita della popolazione di una determinata zona influenzano la composizione di questi rifiuti. (Reddy et al., 2009). Gli RSU possono essere gestiti attraverso sistemi di raccolta differenziata e successivi trattamenti di smaltimento quali compostaggio, incenerimento e l'interramento in discarica. La Figura 1.1. mostra a livello globale il trattamento e lo smaltimento degli RSU nei paesi OCSE e nei paesi europei secondo le statistiche del 2018. Il grafico mostra delle differenze significative tra le modalità di gestione dei rifiuti solidi urbani dei paesi europei. In circa la metà dei paesi presi in considerazione, il metodo più utilizzato per la gestione degli RSU è quello dello smaltimento direttamente in discarica.

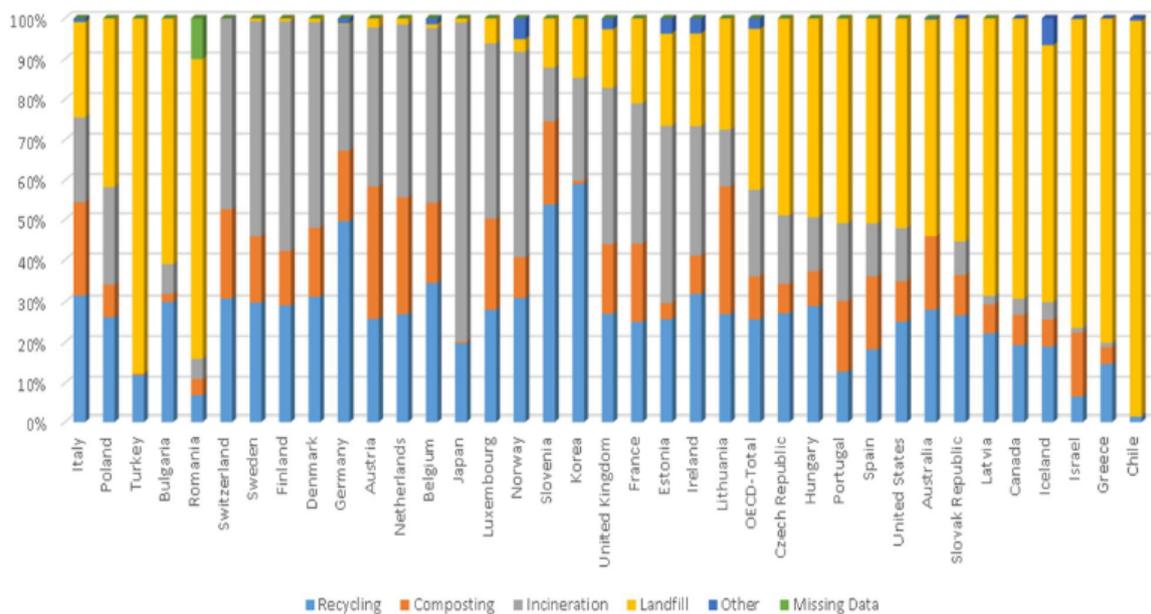


Figura 1.1. La gestione degli RSU dei paesi OECD e nei paesi europei nel 2018 (OECD, 2021; CEWEP, 2020). Nella legenda, da sin. a des.: Raccolta differenziata, Compostaggio, Incenerimento, In discarica, Altro, Dati mancanti.

Quasi il 40% dei rifiuti viene smaltito nelle discariche di tutto il mondo. Quasi il 19% viene trattato per il recupero dei materiali attraverso la raccolta differenziata e il compostaggio, mentre l'11% circa viene smaltito attraverso gli inceneritori. Sebbene a livello globale il 33% dei rifiuti venga ancora smaltito in discariche non controllate, i governi si stanno rendendo conto sempre di più dei rischi e dei costi di questo tipo di discariche, impegnandosi a cercare metodi di gestione più sostenibili e rispettosi dell'ambiente e delle persone (Figura 1.2.).

Si prevede che la spesa annuale per la gestione degli RSU aumenterà fino a 375.5 miliardi di dollari entro il 2025. Nei paesi a basso reddito, questa spesa può arrivare ad occupare fino al

20% dei bilanci amministrativi. Il costo della gestione dei rifiuti supera rispettivamente il 10% e il 4% nei bilanci dei paesi a medio e alto reddito. Nei paesi a basso e medio reddito, la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti solidi vengono gestiti dalle amministrazioni locali con un budget limitato e delle abilità strategiche insufficienti.

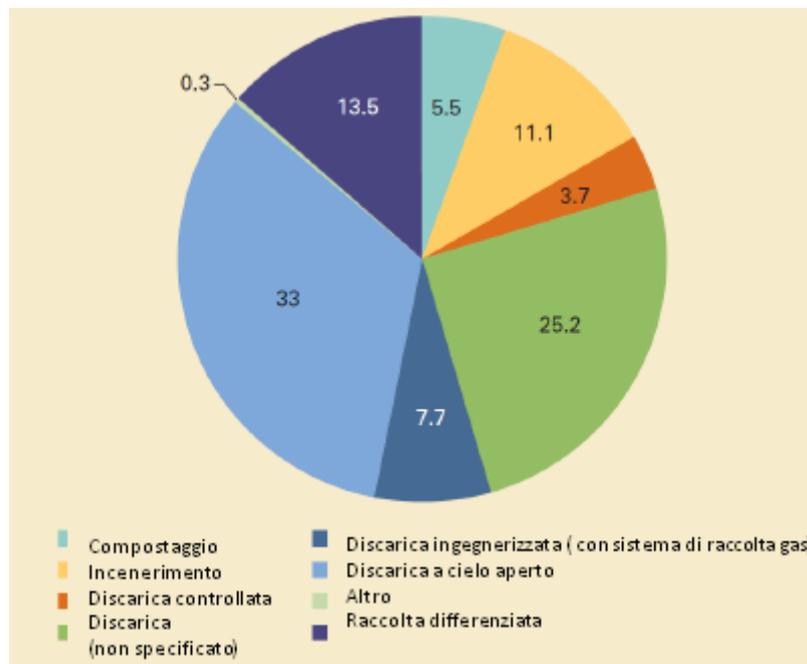


Figura 1.2. Percentuali di trattamento e gestione dei rifiuti a livello globale (Worldbank, 2021).

Purtroppo, per trovare una soluzione rapida ed economica, questi rifiuti vengono spesso abbandonati in aree deserte senza alcuna soluzione ingegneristica adeguata, dando origine a decine di migliaia di siti inquinati dalle discariche non controllate in Europa e nel mondo.

Nei paesi più sviluppati, questa pratica è stata progressivamente abbandonata in virtù di impianti di gestione rifiuti opportunamente ingegnerizzati. La maggior parte dei paesi sviluppati hanno implementato pratiche più sostenibili, sia spontaneamente che seguendo le direttive della Commissione Europea in materia di gestione dei rifiuti. Le direttive scaturite in seguito hanno rafforzato gli standard e fornito linee guida per l'implementazione di queste linee guida nei paesi membri dell'Unione Europea, mentre la Commissione promuove il rispetto degli standard per lo sviluppo del settore, attraverso finanziamenti verso gli stati membri e i paesi candidati UE. Tuttavia, anche se questi ultimi hanno costruito e iniziato a utilizzare impianti di gestione rifiuti tecnologicamente più o meno avanzati, esistono ancora delle discariche non controllate e/o a cielo aperto in disuso. Ridurre i rischi per l'ambiente, tutelare le risorse idriche e la salute delle persone attraverso la riabilitazione delle discariche non controllate è ancora una priorità per molti governi e amministrazioni locali.

Oggi, il metodo più utilizzato per lo smaltimento dei rifiuti solidi nei paesi sviluppati è l'abbancamento in discarica controllata. Nonostante ciò, prima delle discariche, i rifiuti solidi venivano accumulati senza criterio in qualsiasi area limitrofa della città creando discariche a cielo aperto. Nonostante la graduale implementazione di opportuni sistemi di controllo, le discariche non controllate abbandonate continuano a metter in pericolo la salute di chi vive nella zona e dell'ambiente circostante.

La Figura 1.2 mostra il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti a livello globale. La Banca Mondiale (2021) afferma che almeno il 33% dei rifiuti nel mondo vengono smaltiti in discariche non controllate e non gestite in modo rischioso per l'ambiente. Questo tipo di discarica presenta tre problemi fondamentali:

- 1) le **emissioni di gas metano CH<sub>4</sub>**, un gas-serra 28 volte più potente della CO<sub>2</sub>, che si genera dalla decomposizione dei rifiuti solidi in condizioni anaerobiche. Il metano CH<sub>4</sub> è esplosivo quando si trova in volumi compresi tra il 5 e il 15% nell'aria ed è infiammabile quando la percentuale sale sopra il 15 %;
- 2) il **percolato e il cambiamento delle proprietà del suolo**. Il percolato si genera dall'infiltrazione dell'acqua piovana all'interno del corpo rifiuti e dal grado di umidità dei rifiuti stessi. Il cambiamento delle proprietà del suolo accelera l'entità e la velocità del percolato che può contenere molti composti organici e inorganici inquinanti. Quando il percolato raggiunge le falde acquifere inquina gravemente le risorse idriche locali e l'ambiente circostante;
- 3) la **stabilità strutturale della discarica**: i cendimenti dei pendii delle discariche non controllate possono causare gravi danni ambientali. La situazione diventa ancora più critica se le discariche sorgono vicino a dei corpi idrici.

A causa dei problemi elencati, le discariche non controllate in disuso devono essere riabilite, mentre quelle ancora operative devono essere migliorate. La Direttiva europea sulla gestione dei rifiuti (Direttiva.1999/31 / EC) definisce le limitazioni e le procedure da adottare per prevenire o ridurre al minimo le minacce ambientali in questo settore. In molti paesi membri e candidati UE, le discariche non controllate rappresentano un problema ambientale ancora da risolvere.

## **1.2. L'impatto ambientale delle discariche non controllate**

Lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani è una delle questioni centrali da affrontare a livello mondiale. Uno dei principali indicatori della mancanza di consapevolezza ambientale è il ricorso

alle discariche non controllate come metodo di smaltimento rifiuti in virtù dell'economicità di tale soluzione. Tuttavia questi accumuli, privi di qualsiasi sistema ingegnerizzato, rappresentano una minaccia sia la popolazione che per l'ecosistema naturale circostante. A livello globale, quasi il 40% dei rifiuti solidi vengono smaltiti in discarica controllata mentre nei paesi in via di sviluppo vengono utilizzate le discariche a cielo aperto (Kaza et al., 2018). Considerando i gravi problemi che comportano, è di vitale importanza abbandonare le discariche a cielo aperto e procedere con la riabilitazione delle discariche non controllate ancora operative. Come si è visto, ogni anno produciamo globalmente 2.01 miliardi di tonnellate di rifiuti solidi urbani, il 33 % dei quali non può essere gestito in sicurezza dal punto di vista ambientale. Mentre il tasso di produzione dei rifiuti pro capite aumenta rapidamente, anche i loro effetti crescono a livello globale. Lo smaltimento incontrollato degli RSU ha degli effetti ambientali avversi sulle acque superficiali, le falde acquifere, il suolo e l'aria circostanti e comporta rischi legati alle emissioni di gas serra (GHG); esplosioni, incendio, oltre a essere vettori di diverse malattie, soprattutto per chi lavora in questi siti.

### **1.2.1. L'inquinamento delle acque superficiali, delle falde acquifere e del suolo**

Solamente il 2.5% dei corpi idrici sulla superficie terrestre sono d'acqua dolce, e la maggior parte non sono disponibili perché si trovano nei ghiacciai o sotto la superficie terrestre. Per questo motivo, gli esseri umani si trovano ad affrontare una crisi idrica senza precedenti. Le acque sotterranee si muovono lentamente e continuamente formando serbatoi sotterranei, denominati *falde acquifere*, che vengono alimentate dalle infiltrazioni delle acque meteoriche. Per questo motivo, le falde sono facilmente influenzate dalle attività umane.

Le discariche non controllate influiscono direttamente sui corpi idrici superficiali, sotterranei e sul terreno. Contrariamente agli impianti di gestione rifiuti controllati, per queste non esiste un sistema di gestione del percolato e dunque le sostanze altamente inquinanti contenute in questo liquido sono libere di penetrare nel terreno e inquinare le acque sotterranee. L'area che circonda una discarica non controllata è più soggetta a contaminazione delle acque superficiali e sotterranee, con gravi rischi per le persone che vivono nella zona e utilizzano le acque in questione, nonché per l'ecosistema naturale che li circonda.

Il *percolato* è un liquido carico di agenti inquinanti che si origina dall'infiltrazione d'acqua nella massa dei rifiuti e dalla decomposizione degli stessi (Duran and Cuci, 2016). A seconda delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del terreno, il percolato può filtrare e accumularsi

nella falda acquifera sottostante. Nei terreni porosi e permeabili la probabilità che gli agenti inquinanti arrivino alla falda acquifera è maggiore.

La composizione del percolato varia in base a diversi parametri, come la qualità dei rifiuti abbancati, l'età della discarica, la struttura idrogeologica dell'area in cui sorge, l'umidità dei rifiuti solidi, la temperatura, il pH e le condizioni climatiche a cui è esposta. Il percolato contiene metalli pesanti, COD, cloruri, solfati e altri inquinanti tra i quali azoto, nitrati, ammoniaca (Duran and Cuci, 2016). In genere, i valori di domanda biochimica d'ossigeno (BOD) e di domanda chimica d'ossigeno (COD) sono molto alti nel percolato (Christensen et al., 2001).

Metalli pesanti (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn e Hg) e altre sostanze chimiche organiche presenti nel percolato causano gravi problemi di salute inquinando le acque superficiali e quelle sotterranee perché sono tossici e possono inserirsi nella catena alimentare e bioaccumularsi (Long et al., 2010; Sánchez-Chardi and Nadal, 2007) causando disfunzioni al fegato, ai reni, al sistema circolatorio e al sistema nervoso (Botkin and Keller, 2002). Oltre a questi inquinanti, il percolato può contenere diversi tipi di batteri, tra cui coliformi fecali e spore batteriche (Matejczyk et al., 2011). Una quantità ridotta di percolato è sufficiente a contaminare grandi quantità d'acqua superficiale e sotterranea, causando danni irreparabili alla biodiversità e alla catena alimentare (Bakare et al., 2007; Long et al., 2010). Nella sua fase iniziale, il percolato ha proprietà acide capaci di dissolvere i metalli pesanti nel suolo e renderlo quindi più poroso favorendo l'infiltrazione del liquido (Prechtai et al., 2008). Si tratta di una fonte inquinante secondaria per le acque sotterranee.

La contaminazione delle acque superficiali e potabili dovuto al percolato può essere eliminata ma il trattamento può essere un processo lungo, costoso e complicato. In questi casi, la soluzione è abbandonare i pozzi costruiti sulle falde acquifere inquinate. La Figura 1.3. (UNEP, 2005) schematizza il processo di contaminazione delle acque sotterranee e superficiali a causa del percolato proveniente da un impianto non controllato utilizzato per lo smaltimento dei rifiuti.

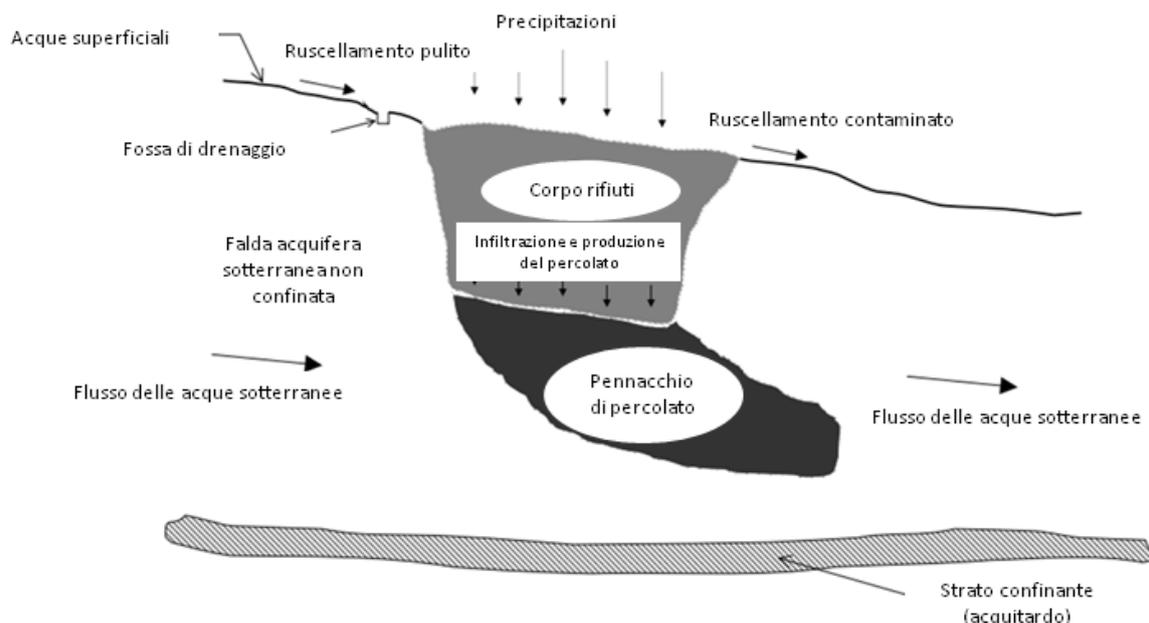


Figura 1.3. La contaminazione delle acque sotterranee e superficiali a causa del percolato proveniente da un impianto per lo smaltimento dei rifiuti (UNEP, 2005).

Le discariche non controllate possono modificare non solo le proprietà chimiche ma anche quelle strutturali del suolo su cui sorgono. Uno studio di Ukpong e Agunwamba (2011) ha analizzato tre aree adibite a discariche non controllate in Nigeria per determinare il loro impatto sulle caratteristiche del suolo. A questo scopo, sono state analizzate anche le proprietà del suolo a circa 40 metri di distanza dalla discarica che hanno rivelato come le stratificazioni-campione distanti avessero delle caratteristiche simili rispetto a quelle del suolo direttamente sotto la discarica. Questa comparazione ha mostrato che i parametri di umidità e i valori limite del liquido del suolo dove sorge la discarica erano inferiori rispetto a quelli dei campioni presi a 40 metri dalla stessa. Allo stesso tempo, la quantità di piombo, ferro e zinco, l'indice di plasticità, la permeabilità, il peso specifico e la densità massima del suolo sotto la discarica erano maggiori rispetto alle quantità registrate nelle stratificazioni più lontane.

Lo studio di Kanmani e Gandhimathi (2013) ha analizzato la contaminazione dei metalli pesanti causata dal percolato generato nella discarica di Ariyamangalam, in India. La ricerca sui campioni di terreno intorno alla discarica ha mostrato la presenza di metalli pesanti (Mn, Pb e Cu) come risultato della migrazione di questi agenti inquinanti nel percolato generato e non controllato in discarica.

### 1.2.2. La stabilità strutturale

Uno dei problemi principali delle discariche non controllate è l'instabilità del sito rappresentato dal cedimento dei versanti. In generale, i problemi di stabilità delle discariche possono derivare dal terreno, dai rifiuti stessi e dalle loro interazioni con i rivestimenti. Gli elementi principali da considerare all'interno di una discarica sono il terreno di fondazione, il sistema di rivestimento e il sistema di copertura. Le discariche non controllate sono prive di un sistema di rivestimento in grado di fare da barriera tra il terreno e il percolato. Quando i versanti della discarica sono molto ripidi e instabili, si possono verificare degli smottamenti della collina dei rifiuti. I terreni molto saturi a causa delle forti piogge e le vibrazioni causate da eventi sismici possono far franare i rifiuti abbancati in queste aree non controllate. Ridurre la pendenza dei versanti è una soluzione efficace per evitare il rischio di frane, in particolare nelle regioni soggette a terremoti e piogge torrenziali (Cointreau, 2006).

Lo studio di Jayaweera et al. (2019) ha descritto il cedimento dei versanti di una discarica non controllata/a cielo aperto in Sri Lanka, come si vede nella Figura 1.5. Poco prima della frana dei rifiuti, l'altezza dei versanti misurava 20-49 metri mentre l'ampiezza degli angoli andava dai 20° agli 85°.



Figura 1.4. I danni alle abitazioni provocati dal cedimento dei versanti della discarica non controllata di Meethotamulla (Jayaweera et al., 2019).

I casi di frane e smottamenti disastrosi legati alle discariche non controllate/ a cielo aperto con gravi conseguenze sono vari. Nel 2005, la discarica di Leuwigajah, a Bandung (Java, Indonesia) è franata a causa delle piogge torrenziali seppellendo 71 case e provocando 143 morti. Un altro smottamento si è verificato nella discarica di Payatas, nelle Filippine dopo alcuni giorni di piogge intense causando la morte di 278 persone. Il cedimento dei versanti ha generato una valanga di 13,000-16,000 m<sup>3</sup> di rifiuti (Merry et al., 2005; Lavigne et al., 2014). Sempre nel 2005, nella stessa discarica di Leuwigajah, un'altra frana ha portato con sé 2,700,000 m<sup>3</sup> di

rifiuti che hanno causato 147 morti (Koelsch et al. 2005). Infine nel 2018, in Mozambico il cedimento dei versanti della discarica di Hulene, a Maputo ha causato la morte di 17 persone, inclusi dei bambini. Secondo un recente studio, nel 2017 si sono verificate un grande numero di frane legate alle discariche non controllate/a cielo aperto, per un totale di oltre 150 morti tra le città di Colombo (Sri Lanka), Addis Ababa (Etiopia), Conakry (Guinea), e Delhi (India) (Kaza et al., 2018). Nel 1977, la frana della discarica di Sarajevo ha raggiunto un volume di 200,000 m<sup>3</sup> di rifiuti solidi urbani in movimento che sono arrivati a 1 km di distanza, danneggiando 5 abitazioni e due 2 ponti (Blight, 2008).

Le attività sismiche hanno effetti negativi su diverse strutture (ad es., Jinguuji and Toprak, 2017; Toprak et al., 2008; Holzer et al., 2000) e dovrebbero essere prese in considerazione nell'analisi dei rischi relativi alle discariche, siano esse controllate o meno. Per esempio, nel 1994 in California, dopo il terremoto di Northridge sono stati osservati degli strappi nella geomembra di rivestimento della discarica urbana (Augello et al., 1995). Sempre in California, nel 1989, il terremoto di Loma Prieta con magnitudo 7.1 ha provocato lacerazioni e dissestamenti nelle discariche della zona (Johnson et al., 1991). In Giappone, dopo il terremoto di Hyogoken-Nanbu del 1995, alcune discariche presentavano delle crepe nel terreno (Akai et al., 1995). Le analisi della risposta sismica delle discariche in cui vengono abbancati i rifiuti solidi urbani sono fondamentali per la loro operatività e agibilità dopo i terremoti. Le proprietà vibrazionali, l'oscillazione, i tipi di fondamenta e la rigidità della discarica sono parametri importanti da considerare per valutare il rischio sismico (Choudhury and Savoikar, 2009).

### **1.2.3. Rischio di esplosione, incendio e altri gravi rischi ambientali**

Il LEL (Lower Explosion Limit) e l'UEL (Upper Explosion Limit) rappresentano i limiti di esplosibilità e sono rispettivamente la concentrazione in aria di sostanze infiammabili al di sotto e al di sopra della quale un gas non esplose (range di esplosione). Tali limiti sono misurati in miscela con l'aria.

Le concentrazioni di gas inferiore al LEL e sopra al UEL non sono esplosive mentre se la concentrazione di gas nell'aria si trova tra questi due limiti di esplosibilità, si può verificare un'esplosione non appena vengono a contatto con una sorgente di accensione. Il gas metano CH<sub>4</sub> che si forma dalla biodegradazione dei materiali organici all'interno della discarica, esplose quando la sua concentrazione nell'aria è del 5-15%, mentre è infiammabile quando la sua concentrazione supera il 15% (ATSDR, 2001). In media, in una discarica non controllata, la percentuale di gas metano è del 50% ed è quindi fuori dal limite di esplosibilità. Tuttavia, se il

gas metano migra o viene diluito in aria in una concentrazione tra i limiti LEL e UEL, il rischio di esplosione è più alto.

Sebbene non siano molto comuni, a livello globale sono state segnalate alcune esplosioni legate al gas da discarica che hanno causato gravi danni come quelle a Keetleman, California nel 1988, a Cincinnati, Ohio nel 1996, e in Grecia nel 2003 (Lavigne et al., 2014). Nella discarica di Hekimbaşı a Ümraniye (Turchia) operativa dal 1976, vengono accumulate 1500-2000 tonnellate al giorno di rifiuti solidi urbani senza alcun tipo di compattazione meccanica. Nel 1993, il gas metano prodotto in discarica ha innescato un'esplosione in cui 200,000 m<sup>3</sup> di rifiuti hanno travolto le case e causato la morte di 39 persone (Figura 1.4), (Kocasoy and Curi, 1995). In tutto il mondo, sono stati segnalati diversi incidenti legati al gas metano non controllato in discarica che hanno danneggiato cose e persone nell'area in cui si trovava. Anche in Danimarca, nel 1991 si è verificato un'esplosione a causa del gas da discarica (Kjeldsen and Fischer, 1995).



Figura 1.5. La squadra di soccorso dopo l'esplosione avvenuta nella discarica di Hekimbaşı (Turchia).

#### 1.2.4. L'impatto visivo

Oltre agli effetti negativi ambientali e i danni alla salute delle persone, le discariche non controllate comportano un problema estetico non indifferente. L'abbancamento più o meno casuale e non strutturato dei rifiuti, ben visibili dall'esterno, crea disagio sia in chi vive nella zona che in chi lavora nella discarica stessa. L'inquinamento visivo è un tema affrontato da alcuni studi che affermano che le discariche non controllate siano un problema da diversi punti di

vista, non solo quello estetico. Ad esempio, da uno studio sono emersi alcuni degli effetti negativi sulla vita delle persone come la riduzione del valore immobiliare di case e terreni e il conseguente disagio psicologico degli abitanti della zona, la distrazione dei conducenti e l'incoraggiamento al consumismo (Wakil et al., 2019; Edquist, 2009). La soluzione a tutti questi disagi, è l'implementazione di un piano di riabilitazione da applicare alle discariche non controllate che includa anche uno studio paesaggistico mirato.

### **1.2.5. I rischi per la salute umana**

Si stima che circa due milioni di persone nel mondo lavorino come raccoglitori nelle discariche non controllate/a cielo aperto (*scavenger* o *waste picker* in inglese), specialmente nei paesi in via di sviluppo dove non esiste alcun tipo di regolamento sulla gestione dei rifiuti. Queste persone che stanno a contatto diretto con i rifiuti senza nessuna protezione mettono continuamente in pericolo la loro salute (Hoornweg and Bhada-Tata, 2012). L'intensità e l'entità dei rischi a cui si espongono questi raccoglitori di rifiuti dipendono dalle condizioni di lavoro, dalla composizione dei rifiuti e dal tempo di esposizione (Gutberlet et al., 2013; Ziraba et al., 2016). Alcuni dei problemi di salute tipici sono le malattie del sistema respiratorio come bronchite, asma, polmonite causate dall'esposizione alle polveri/particolato, bioaerosol e sostanze organiche volatili durante la raccolta dei rifiuti; malattie infettive come diarrea, colera, dissenteria, tifo trasmesse dal contatto diretto con agenti patogeni, o tetano, epatiti ecc. trasmesse da tagli o punture causate dai rifiuti. Inoltre, la presenza di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e gas metano (CH<sub>4</sub>) in quantità elevate e la conseguente diminuzione di ossigeno nelle discariche può causare mal di testa e nausea nelle persone che raccolgono i rifiuti (Cointreau, 2006).

Anche se meno comuni, all'interno delle discariche non controllate possono verificarsi incidenti gravi e persino dei decessi a causa delle frane/ smottamenti dei rifiuti, degli incendi e delle esplosioni. I roghi generati dai rifiuti contenenti piombo come batterie e vernici possono portare all'avvelenamento da piombo, un rischio che gli chi lavora nelle discariche non può trascurare. I rifiuti speciali sanitari pericolosi invece possono trasmettere malattie molto gravi come l'HIV e l'Epatite C (Cowing, 2013). Infine, i raccoglitori di rifiuti possono andare incontro a cadute accidentali e problemi dermatologici. Molto comuni tra le raccoglitrici sono le infezioni alle vie urinarie e all'apparato riproduttivo (Jayakrishnan et al., 2013).

Per prevenire questi problemi, la riabilitazione delle discariche non controllate è la soluzione più logica e necessaria da implementare. L'utilizzo dei dispositivi di protezione come guanti e

mascherine e la formazione sulla norme di prevenzione e sicurezza sul lavoro possono migliorare le condizioni dei raccoglitori di rifiuti; insieme con il divieto di impiego di lavoratori minorenni.



Figura 1.6. Una raccoglitrice di rifiuti in una discarica a cielo aperto.

### **1.2.6. Malattie trasmesse da vettori**

I materiali organici presenti nelle discariche costituiscono l'habitat ideale per vettori di malattie come mosche, zanzare e roditori. Le malattie trasmesse da vettori continuano a rappresentare una minaccia significativa per la salute pubblica, soprattutto nei paesi in via di sviluppo. L'organizzazione mondiale della sanità (OMS), riporta che il 17% delle malattie infettive a livello globale viene trasmesso da vettori e causano ogni anno più di un milioni di morti (WHO, 2017). Tra i vettori capaci di trasmettere malattie infettive, le zanzare rappresentano la minaccia più grande per l'uomo. Malattie come la malaria e il dengue, che causa milioni di vittime all'anno, hanno come vettore privilegiato le zanzare (Tohit et al., 2019). Inoltre, infezioni batteriche che si diffondono a causa delle mosche domestiche che entrano in contatto con la materia fecale dei rifiuti solidi rappresentano un'altra seria minaccia. Anche i roditori possono nutrirsi e riprodursi facilmente nelle discariche non controllate. L'Hantavirus è il virus trasmesso dagli escrementi e dalle urine dei topi, il cui odore può essere inalato dall'uomo causandogli gravi problemi di salute (Cointreau, 2006). Con la riabilitazione e la corretta gestione delle discariche, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, la proliferazione delle malattie trasmesse da vettori può essere prevenuta e i rischi per la salute delle persone possono essere ridotti sensibilmente.

### **1.2.7. L'inquinamento dell'aria: emissioni odorigene e gas serra (GHG)**

I gas di discarica sollevano notevoli problemi di inquinamento atmosferico. Questi gas si formano attraverso tre processi: la decomposizione batterica, l'evaporazione e le reazioni chimiche generate all'interno della discarica non controllata. La maggior parte dei gas di discarica è prodotta dalla biodegradazione cioè la decomposizione dei materiali organici e inorganici da parte dei batteri che si trovano tra i rifiuti e/o nel terreno. Inoltre, alcuni inquinanti organici, in particolare i composti organici volatili non metanici, presenti nella discarica possono essere rilasciati nell'atmosfera tramite l'evaporazione. I gas di discarica vengono anche generati dalle reazioni di alcune sostanze chimiche presenti nei rifiuti. I fattori che influenzano la produzione di gas sono la composizione dei rifiuti, l'età della discarica, la presenza o meno di ossigeno, l'umidità dei rifiuti e la temperatura interna (ATSDR, 2001).

I rifiuti solidi si biodegradano nel tempo in condizioni aerobiche e anaerobiche. A seconda delle caratteristiche dei rifiuti nelle discariche, i prodotti finali sono CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, acqua e, in quantità minori, anche di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), ammoniaca (NH<sub>3</sub>), solfuro di idrogeno (H<sub>2</sub>S), monossido di carbonio (CO) e composti organici come tricloroetilene, benzene, cloruro di vinile (Barton et al., 2008; Saral et al., 2009). In genere, la produzione di gas inizia 2-6 mesi dopo lo smaltimento dei rifiuti e può continuare fino a 100 anni (Saral et al., 2009).

Il gas di discarica contribuisce al cambiamento climatico che è uno delle questioni più impellenti oggi. L'aumento della quantità di RSU dovuto alla rapida crescita della popolazione aumenta di conseguenza la produzione dei gas serra. Anche la cattiva gestione dei rifiuti solidi è la principale causa di questo aumento (Tian et al., 2013). Tra i gas di discarica che contribuiscono di più al cambiamento climatico, il metano è il gas più potente. Seconda l'EPA, nel 2000 i paesi in via di sviluppo sono responsabili del 30-40% della produzione di gas metano di discarica (US EPA, 2006). Il rapporto di valutazione (AR5) del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC) afferma che il gas metano CH<sub>4</sub> è dalle 28 alle 36 volte più pericoloso dell'anidride carbonica CO<sub>2</sub> in termini di riscaldamento globale, a causa della maggiore capacità di assorbire il calore nell'atmosfera (IPCC, 2014).

Essendo la soluzione più semplice, efficace ed economica per ridurre il volume dei rifiuti e fare spazio nelle discariche, la combustione a cielo aperto è uno dei metodi più comuni. Si stima che il 41% dei rifiuti a livello globale venga bruciato nelle discariche non controllate (Cogut, 2016). Le sostanze che si liberano durante la combustione dei rifiuti sono tossiche e inquinanti e

includono gas serra come l'anidride carbonica CO<sub>2</sub> e il metano CH<sub>4</sub>, particolato e inquinanti organici persistenti (POPs) come gli idrocarburi policiclici aromatici (PAHs), le diossine e i furani. Si stima che ogni anno si verificano 270,000 morti premature (Cogut, 2016) a causa della combustione dei rifiuti delle discariche non controllate e si ritiene che questi processi contribuiscono a circa il 5% delle emissioni globali di gas serra (William et al., 2018). Considerando la situazione attuale, le emissioni legate agli RSU potrebbero arrivare a produrre 2.6 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> entro 2050, se non si interviene con delle strategie di miglioramento della gestione delle discariche (TheWorldBank, 2018).

Come si è detto, il gas metano CH<sub>4</sub> è infiammabile quando è presente nell'aria per più del 15%. Se i rifiuti non vengono opportunamente compattati in discarica, l'aria può circolare nel corpo rifiuti e mescolarsi con il metano generato dalla decomposizione innescando delle combustioni. Questi roghi possono avvenire spontaneamente ma anche per mano dell'uomo ma in entrambi i casi sono una pericolosa fonte di inquinamento dell'aria. Si stima che una grande quantità di rifiuti nel mondo venga bruciata o si bruci spontaneamente e che i roghi innescati inquinino l'atmosfera molto di più dei valori riportati ufficialmente (Wiedinmyer et al., 2014).

Anche gli odori emessi dai rifiuti hanno effetti psicologici negativi sull'uomo, oltre a diminuire la qualità della vita di chi abita vicino alle discariche. Le emissioni odorigene, anche in basse concentrazioni, possono causare molti problemi di salute, tra cui mal di testa, perdita dell'appetito, disturbi all'apparato digerente, disturbi del sonno, respiro corto e reazioni allergiche (Lee et al., 2013). Per questo, in molti paesi, la qualità dell'aria viene tenuta sotto controllo nel rispetto di normative specifiche (Capelli et al., 2013). Studi precedenti hanno dimostrato che dalle discariche non controllate/a cielo aperto vengono emessi composti odorosi altamente offensivi all'olfatto, soprattutto per gli abitanti che vivono intorno a questi siti non controllati (Dincer et al., 2006). La quantità dei rifiuti generati e quindi delle emissioni odorigene cresce in modo proporzionale all'aumento della popolazione con l'ulteriore impatto della scelta di siti inadatti, come canyon e scarpate che proteggono i rifiuti dal vento. Secondo degli studi epidemiologici, esistono correlazioni tra l'inquinamento atmosferico e la salute umana (Ancona et al., 2015). È stato riportato che le discariche sono tra i siti ad alto rischio di problemi respiratori, neurotossici, cancerogeni e teratogeni, soprattutto per le persone che vivono intorno all'area contaminata (Aderemi and Falade, 2012; Durmuşoğlu et al., 2010). L'idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S) e l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>) prodotti durante la decomposizione dei rifiuti sono i principali responsabili delle emissioni odorigene. L'ammoniaca NH<sub>3</sub> ha un odore molto pungente, mentre l'idrogeno solforato H<sub>2</sub>S è riconoscibile per il suo odore simile a uova marce. L'uomo può percepire l'odore

di questi gas anche in concentrazioni basse nell'aria. Nello studio condotto da Ding et al. (2012), sono stati identificati 68 diversi composti organici volatili responsabili dell'inquinamento odorigenico nelle discariche non controllate, dove l'ammoniaca NH<sub>3</sub> e l'idrogeno solforato H<sub>2</sub>S ne costituiscono quasi il 95%. Inoltre, seppur in quantità minori, sono stati rilevati anche composti inorganici, composti alogenati, acidi grassi volatili, composti aromatici, aldeidi, chetoni ed esteri, idrocarburi insieme ad altri composti solforati e azotati. Inoltre, gli studi hanno rivelato che queste emissioni odorigeniche sono influenzate da fattori ambientali che ne aumentano l'intensità, come le alte temperature, l'alta percentuale di umidità, la bassa velocità del vento e la bassa pressione dell'aria. (Ding et al., 2012).

## **Bibliografia**

Aderemi, A.O., Falade, T.C. (2012). Environmental and health concerns associated with the open dumping of rifiuti solidi urbani: a Lagos, Nigeria experience. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(6), 160-165.

Akai K, Bray JD, Christian JT, Boulanger RW (1995). Geotechnical reconnaissance of the effects of the January 17, 1995, Hyogoken-Nanbu earthquake, Japan, EERC, Univ. of California, Berkeley, U.S. Department of Commerce, NTIS.

Ancona, C., Badaloni, C., Mataloni, F., Bolignano, A., Bucci, S., Cesaroni, G., Sozzi, R., Davoli, M., Forastiere, F. (2015). Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models. *Environmental Research*, 137, 467-74.

ATSDR, (2001). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>

Augello AJ, Matasovic N, Bray JD, Kavazanjian Jr E, Seed RB (1995). Evaluation of solid waste landfill performance during the Northridge earthquake. *ASCE Geotechnical Special Publication* 54:17-50.

Bakare, A.A., Pandey, A.K., Bajpayee, M., Bhargav, D., Chowdhuri, D. K., Singh, K. P., Murthy, R C., Dhawan, A. (2007). DNA damage induced in human peripheral blood lymphocytes by industrial solid waste and municipal sludge leachates. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 48, 30-37.

Barton JR, Issaias I, Stentiford EI. (2008). Carbon--making the right choice for waste management in developing countries. *Waste Management*, 28(4), 690-8.

Blight G (2008). Slope failures in rifiuti solidi urbani dumps and landfills: a review. *Waste Management and Research* 26(5): 448-463.

Botkin, D.B., and Keller, E.A. (2002). *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. New York: Wiley,

Capelli, L., Sironi, S., Rosso, R. D., Guillot, J. M. (2013). Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: a review. *Atmospheric Environment*, 79, 731–743.

CEWEP (2020). *Municipal Waste Treatment 2018*. Accessed October 1, 2021. <https://www.cewep.eu/municipal-wastetreatment-2018/>.

Choudhury D, Savoikar P (2009) Equivalent-linear seismic analyses of RSU landfills using DEEPSOIL. *Engineering Geology* 107: 98–108.

Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., et.al. (2001). Review, biogeochemistry of landfill leachate plumes, *Applied Geochemistry*, 16, 659-718.

Cogut. A. (2016) *Open Burning of Waste: A Global Health Disaster*. R20Regions of Climate Action.

Cointreau, S. (2006). *Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management Special Emphasis on Middle and Lower-Income Countries*. Urban Paper, The World Bank Group, Washington DC.

Cowing, M.J. (2013). *Health and Safety Guidelines for Waste Pickers in South Sudan*. 1st edition. South Sudan: United Nations Environment Programme: South Sudan.

Das, E.K., Islam, M.D., Billah, M.M., Sarker, A. (2021). COVID-19 and rifiuti solidi urbani (RSU) management: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 28. 28993–29008.

Dincer, F., Odabasi, M., Muezzinoglu, A. (2006). Chemical characterization of odorous gases at a landfill site by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1122(1-2), 222-9.

Ding, Y., Cai, C., Hu, B., Xu, Y., Zheng, X., Chen, Y., Wu, W. (2012). Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China. *Waste Management*, 32, 317–326.

Duran, E.B., Cuci, Y. (2016). Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyunun Fizikokimyasal Arıtım Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2).

Durmusoglu, E., Taspinar, F., Karademir, A. (2010). Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1–3), 870–877.

Edquist, J. (2009). *The Effects of Visual Clutter on Driving Performance*; Monash University: Melbourne, Australia, p. 226.

Environmental Protection Agency, 2020. *Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries*. Accessed on February 21, 2021, from. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/master\\_swmg\\_10-20-20\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-10/documents/master_swmg_10-20-20_0.pdf).

Gutberlet, J., Baeder, A., Pontuschka, N., Felipe, S., dos Santos, T. (2013). Participatory research revealing the work and Occupational Health hazards of cooperative recyclers in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10, 4607–4627.

Holzer TL, Barka AA, Carver D, Celebi M, Cranswick E, Dawson T, Dieterich JH, Ellsworth WL, Fumal T, Gross JL, Langridge R, Lettis WR, Meremonte M, Mueller C, Olsen RS, Ozel O, Parsons

T, Phan LT, Rockwell T, Safak E, Stein RS, Stenner H, Toda S, Toprak S (2000). Implications for earthquake risk reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999. *US Geological Survey Circular 1193*: 1-64.

Hoorweg, D., Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. 1st edition. Washington, DC, USA: Urban Development & Local Government Unit. [www.worldbank.org/urban](http://www.worldbank.org/urban).

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.

Jayakrishnan, T., Jeeja, M., Bhaskar, R. (2013). Occupational health problems of rifiuti solidi urbani management workers in India. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2, 42.

Jayaweera M, Gunawardana B, Gunawardana M, Karunawardena A, Dias V, Premasiri S, Dissanayake J, Manatunge J, Wijeratne N, Karunarathne D, Thilakasiri S (2019). Management of rifiuti solidi urbani open dumps immediately after the collapse: An integrated approach from Meethotamulla open dump, Sri Lanka. *Waste Management* 95: 227-240.

Jinguuji M, Toprak, S (2017). A case study of liquefaction risk analysis based on the thickness and depth of the liquefaction layer using CPT and electric resistivity data in the Hinode area, Itako City, Ibaraki Prefecture, Japan, *Exploration Geophysics* 48, Special Section: Geophysical Surveys After the Great Eastern Japan Earthquake, 28-36, 2017.

Kanmani S, Gandhimathi R (2013). Assessment of heavy metal contamination in soil due to leachate migration from an open dumping site. *Applied Water Science* 3(1): 193-205.

Kaza, S., Yao, L.C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). *What A Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Vol Urban Deve. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, DC.

Kjeldsen P, Fischer EV (1995). Landfill gas migration—Field investigations at Skellingsted landfill, Denmark. *Waste Management and Research* 13(5): 467-484.

Kocasoy G, Curi K (1995). The Ümraniye-Hekimbaşı open dump accident. *Waste Management and Research* 13(4): 305–314.

Koelsch F, Fricke K, Mahler C, Damanhuri E (2005). Stability of landfills-the Bandung dumpsite disaster. In: 10<sup>th</sup> International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Cagliari, Italy.

Lavigne, F., Wassmer, P., Gomez, C. et al. (2014). The 21 February 2005, catastrophic waste avalanche at Leuwigajah dumpsite, Bandung, Indonesia. *Geoenviron Disasters*, 1, 10.

Lee, H. D., Jeon, S. B., Choi, W. J., Lee, S. S., Lee, M. H., Oh, K. J. (2013). A novel assessment of odor sources using instrumental analysis combined with resident monitoring records for an industrial area in Korea. *Atmospheric Environment*. 74, 277–290.

Long YY, Shen DS, Wang HT, et al. (2010). Migration behaviour of Cu and Zn in landfill with different operation modes. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1), 883–890.

Matejczyk, M., PŁaza, G. A., NaŁęcz-Jawecki, G., Ulfig, K. and Markowska-Szczupak, A. (2011). Estimation of the environmental risk posed by landfills using chemical, microbiological and ecotoxicological testing of leachates. *Chemosphere*, 82, 1017-1023.

Merry S, Kavazanjian E, Fritz WU (2005) Reconnaissance of the July 10, 2000, Payatas landfill failure. *Journal of Performance of constructed Facilities* 19(2): 100–107.

Mohee, R., Mauthoor, S., Bundhoo, Z.M., Somaroo, G., Soobhany, N., Gunasee, S., 2015. Current status of solid waste management in small island developing states: a review. *Waste Manag.* 43, 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.012>.  
OECD (2021). OECD Environment Statistics (database).

Prechtai, T., Parkpian, P. and Visvanathan, C. (2008). Assessment of heavy metal contamination and its mobilization from rifiuti solidi urbani open dumping site. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 86-94.

Reddy K, Hettiarachchi H, Gangathulasi J, Bogner J, Lagier T (2009). Geotechnical properties of synthetic rifiuti solidi urbani. *International Journal of Geotechnical Engineering* 3(3): 429-438.

Sánchez-Chardi A, Nadal J. (2007). Bioaccumulation of metals and effects of landfill pollution in small mammals. Part I. The greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*. *Chemosphere*. 68(4), 703–711.

Saral, A., Demir, S., Yıldız, Ş. (2009). Assessment of odorous VOCs released from a main RSU landfill site in Istanbul-Turkey via a modelling approach. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1), 338–345.

TheWorldbank, (2018). *What a Waste: An Updated Look into the Future of Solid Waste Management*

Tian, H., Gao,

J., Hao, J., Lu, L., Zhu, C., & Qiu, P. (2013). Atmospheric pollution problems and control proposals associated with solid waste management in China: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 252–253, 142–154.

Tohit, N. F., Hassan, N., Rusli, M., Aidid, E.M., Rus, R.M. (2019). Solid waste: its implication for health and risk of vector borne diseases, *Journal of Wastes and Biomass Management (JWBM)* 1(2), 14-17.

Toprak S, Koc AC, Cetin OA, Nacaroglu E (2008). Assessment of buried pipeline response to earthquake loading by using GIS. 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), 12-17 October, Beijing, China.

Ukpong EC, Agunwamba JC (2011). Effect of Open Dumps on Some Engineering and Chemical Properties of Soil. *Continental J. Engineering Sciences* 6(2): 45-55.

UNEP (2005). Closing an open dumpsite and shifting from open dumping to controlled dumping and to sanitary landfilling, training module, United Nations Environment Programme.

US EPA, 2006. Global Mitigation of non CO2 Greenhouse gases. EPA Report 430-R-06-005.

Wakil, K., Naeem, M.A., Anjum, G.A., Waheed, A., Thaheem, M.J., Hussnain, M.Q., Nawaz, R. (2019). A Hybrid Tool for Visual Pollution Assessment in Urban Environments. *Sustainability*, 11, 2211-2217.

WHO (2017). Vector-borne disease. Geneva: World Health Organization.

Wiedinmyer C, Yokelson RJ, Gullett BK. (2014). Global emissions of trace gases, particulate matter, and hazardous air pollutants from open burning of domestic waste. *Environmental Science and Technology*, 19, 48(16), 9523-30

Williams, M., Schroeder, P., Gower, R., Kendal, J. (2018). Bending the curve. Best practice interventions for the circular economy in developing countries. A synthesis of five literature reviews. Tearfund, Teddington.

Worldbank (2021). Trends in Solid Waste management.

[https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html).

Ziraba, A.K., Haregu, T.N., Mberu, B. (2016) A review and framework for understanding the potential impact of poor solid waste management on health in developing countries. *Archives of Public Health*, 74, 55.