



Position Paper ISDE Italia

La gestione sostenibile dei rifiuti solidi urbani

12 Agosto 2015

Autori:

Agostino Di Ciaula, Patrizia Gentilini, Ferdinando Laghi, Vincenzo Migaleddu

Indirizzo per corrispondenza:

isde@ats.it

Indice

1. *Introduzione*

2 *Aspetti Normativi*

3. *Articolazione pratica della gerarchia normativa*

3.1 Prevenzione

3.2 Preparazione per il riutilizzo

3.3. Riciclaggio

3.4 Recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia

4. *La situazione attuale*

5. *Le conseguenze di una gestione impropria dei rifiuti*

5.1 Le conseguenze sanitarie delle discariche

5.2 Le conseguenze sanitarie degli inceneritori

5.2 a Gli inquinanti prodotti dall'incenerimento

5.2 b I danni alla salute

5.2 c I nuovi impianti di incenerimento

5.3 Il problema delle scorie da incenerimento

6 *Indicazioni per una gestione sostenibile dei rifiuti*

7. *Conclusioni*

8. *Bibliografia*

1. Introduzione

Il fine ultimo di un corretto trattamento dei rifiuti è la prevenzione della salute, secondo i principi di “sostenibilità ambientale” [1] che dovrebbero essere alla base di ogni scelta e attività umana.

Ciò è recepito anche sul piano normativo: *“I rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente”*. E ancora: *“La gestione dei rifiuti è effettuata conformemente ai principi di precauzione, di prevenzione, di proporzionalità, di responsabilizzazione e di cooperazione di tutti i soggetti coinvolti ... nel rispetto dei principi dell'ordinamento nazionale e comunitario, con particolare riferimento al principio comunitario “chi inquina paga” (Dlgs. 152/2006. art. 178, comma 2 e comma 3).*

I principi generali su cui basare la gestione dei rifiuti (meglio definibili come materiali post uso o post consumo) sono:

- le risorse non rinnovabili devono essere utilizzate il meno possibile e solo se il loro uso porta alla creazione di una risorsa rinnovabile di eguale livello funzionale;
- le risorse rinnovabili possono essere utilizzate solo nella misura in cui l'ecosistema è capace di rinnovarle;
- non possono essere immesse nell'ambiente sostanze (rifiuti) in maniera superiore alle sue capacità di assorbimento;
- è necessario evitare di immettere nell'ambiente sostanze di cui non si conoscono gli effetti e che potrebbero innescare processi irreversibili.

In definitiva, dovremmo evitare di accorgerci ancora una volta che sono state operate scelte di cui poi ci dovremmo pentire, come ben ricordano i fondamentali trattati dell'UE, *“Lezioni apprese in ritardo da pericoli conosciuti in anticipo”* [2, 3].

2. Aspetti Normativi

L'UE, con la Direttiva quadro 2008/98/CE, ha delineato una precisa gerarchia per una corretta gestione dei rifiuti. Tale direttiva è stata recepita in Italia con il D.LGS 205/2010 in cui, in particolare, l'Articolo 4 (*Modifiche all'articolo 179 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152*), al comma 1, stabilisce le priorità secondo cui deve essere gestita qualsiasi frazione merceologica dei rifiuti, compresa la Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU):

La gestione dei rifiuti avviene nel rispetto della seguente gerarchia:

1. prevenzione;
2. preparazione per il riutilizzo;
3. riciclaggio;
4. recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
5. smaltimento

Mentre l'Art. 10 (*Modifiche all'articolo 183 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152*) così definisce i termini sopra citati:

a) *prevenzione* (lettera m): *insieme delle misure adottate prima che una sostanza, un materiale o un prodotto diventi rifiuto che riducono:*

- 1) *la quantità dei rifiuti, anche attraverso il riutilizzo dei prodotti o l'estensione del loro ciclo di vita;*
- 2) *gli impatti negativi dei rifiuti prodotti sull'ambiente e la salute umana;*
- 3) *il contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti.*

b) *preparazione per il riutilizzo* (lettera q): *le operazioni di controllo, pulizia, smontaggio e riparazione attraverso cui prodotti o componenti di prodotti diventati rifiuti sono preparati in modo da poter essere reimpiegati senza altro pretrattamento;*

riutilizzo (lettera r): *qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti.*

c) *riciclaggio* (lettera u): *“qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i rifiuti sono trattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini. Include il trattamento di materiale organico ma non il recupero di energia, né il ritrattamento per ottenere materiali da utilizzare quali combustibili o in operazioni di riempimento”.*

Il riciclaggio è la prima e prioritaria forma di recupero.

In termini generali, il recupero è così definito (sempre nell'Art.10, alla lettera t): *“qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile, sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale. L'allegato C della Parte IV del presente decreto riporta un elenco non esaustivo di operazioni di recupero”.*

Tra le forme di recupero diverse dal riciclaggio deve essere incluso:

d) recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia

Il concetto è ben evidenziato al comma 6 dell'Art. 4, dove si legge che

“nel rispetto della gerarchia del trattamento dei rifiuti le misure dirette al recupero dei rifiuti mediante la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio o ogni altra operazione di recupero di materia sono adottate con priorità rispetto all'uso dei rifiuti come fonte di energia”.

Al comma 4 dello stesso Articolo 4, inoltre, la legge prevede in maniera specifica la necessità di preferire le opzioni gerarchiche di gestione dei rifiuti con minore impatto ambientale e sanitario: *“Con uno o più decreti del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con il Ministro della salute, possono essere individuate, con riferimento a singoli flussi di rifiuti specifici, le opzioni che garantiscono, in conformità a quanto stabilito dai commi da 1 a 3, il miglior risultato in termini di protezione della salute umana e dell'ambiente”.*

3. Articolazione pratica della gerarchia normativa

3.1 La Prevenzione

E' l'azione prioritaria nella gerarchia dei rifiuti. Nella prevenzione sono incluse tutte le pratiche che riducono la produzione del “rifiuto” a partire dalla riduzione o dalla abolizione degli imballaggi per le merci, fino all'intercettazione dei materiali post consumo prima che diventino rifiuti secondo la normativa vigente. Ricordiamo che si definisce "rifiuto" qualsiasi sostanza od oggetto che rientra nelle categorie riportate nell'Allegato A (alla Parte Quarta del D.Lgs. 152/06) e di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi. E' evidente che questa definizione individua solo parzialmente la materia o il prodotto ma sottolinea il concetto del "disfarsi", quindi l'atteggiamento di rifiuto o in alcuni casi di deresponsabilizzazione di un soggetto nei confronti di un bene o di una merce parzialmente consumata o usata.

Esempi di pratiche virtuose di prevenzione sono la vendita di prodotti alla spina, la reintroduzione del vuoto a rendere (ampiamente utilizzato in altri Paesi) e, per quanto riguarda la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU), il compostaggio domestico (o auto-compostaggio) che, insieme al compostaggio di condominio, rientra a pieno titolo nelle politiche di prevenzione. L'incentivazione al compostaggio su piccola scala (domestico/condominiale/di quartiere) è da considerarsi prioritaria, al fine di ridurre la

quantità totale della frazione organica da trattare in grandi impianti (*Direttiva quadro 2008/98/CE, recepita con il D.LGS 205/2010*).

Per quanto riguarda la riduzione del contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti, questa può avvenire con la buona organizzazione della raccolta differenziata domiciliare (“porta a porta”), opportunamente integrata da isole ecologiche diffuse e ben organizzate. In particolare, deve essere evitata la commistione tra parte organica e parte secca dei rifiuti. È infatti in questa fase che può avvenire la contaminazione della frazione umida che diventerebbe in tal modo non più utilizzabile per il compostaggio.

Questa frazione può subire un processo di trasformazione e rigenerazione in impianti di separazione o di trattamento meccanico-biologico (TMB). Il TMB può avvenire “*a flussi separati*”, in cui il pretrattamento meccanico del rifiuto in ingresso all’impianto permette l’ottenimento di due frazioni: una “umida” (sottovaglio), da destinare a trattamento biologico ed una “secca” (sovvallo), da destinare alla combustione per produzione energetica e/o allo smaltimento in discarica. In alternativa può avvenire “*a flusso unico*”, processo in cui il pretrattamento meccanico si limita alla triturazione e/o vagliatura del rifiuto e l’intero flusso dei rifiuti pretrattati viene avviato al trattamento biologico.

Il sottovaglio nel primo caso, e l’intero flusso nel secondo, va avviato alla stabilizzazione, che è il processo in grado di garantire l’andamento ottimale dell’attività microbica sul materiale organico, sino al raggiungimento della stabilità biologica.

La stabilizzazione biologica prevede, infatti, lo svolgersi di un preliminare processo microbico aerobico e anaerobico che rende la frazione organica stabilizzata (FOS) non più utilizzabile in maniera efficiente (avendo perso in gran parte la capacità di generare metano) e sicura (poiché contiene rilevanti quantità di sostanze tossiche) per la produzione di biogas/biometano negli impianti di digestione anaerobica (DA).

La FOS è un rifiuto speciale (sentenza 5566/2012 del Consiglio di Stato) che può essere impiegato nelle operazioni di bonifica o riempimento di cave (recupero R3) o conferito in discarica (smaltimento D8 D9).

3.2 Preparazione per il riutilizzo

Si tratta, ad esempio, di mobili, vestiti, apparecchiature elettriche, elettroniche ed elettrodomestici, che una volta riparati possono essere immessi in un mercato dedicato dell’usato. Il riutilizzo di beni e la preparazione per il riutilizzo di rifiuti sono temi centrali delle politiche comunitarie in materia di rifiuti (Direttiva 2008/98/CE) e della strategia europea per una gestione efficiente delle risorse naturali. Anche in Italia è operante un progetto, finanziato dalla Commissione Europea attraverso il programma Life Plus

Ambiente 2011, che si propone di dimostrare l'efficienza di tale filiera in due Centri di Riuso realizzati a Vicenza e a San Benedetto del Tronto. In questi Centri i beni riusabili, presenti nel flusso dei rifiuti solidi urbani e che, in assenza di una filiera organizzata, sono attualmente destinati perlopiù allo smaltimento, vengono invece avviati a riutilizzo. (<http://www.progettoprisca.eu/it/>).

3.3 Riciclaggio

Come evidenziato in precedenza, il recupero della materia è prioritario rispetto al recupero energetico tramite combustione. L'analisi del ciclo di vita dei vari materiali, o LCA (Life Cycle Assessment), i consumi energetici delle operazioni di riciclaggio, la riduzione delle emissioni di gas serra e di altre sostanze inquinanti e la possibilità di creare nuove opportunità occupazionali (numerosi i nuovi posti di lavoro), dimostrano come questa pratica sia indiscutibilmente la più vantaggiosa.

Alcuni esempi possono contribuire a chiarire meglio il concetto:

- Il riciclo di 1.000 kg di vetro permette di risparmiare 80 kg di petrolio equivalenti e 1.200 kg di materie prime (<http://www.feve.org/> - ultimo accesso 16 luglio 2015).

- Per ottenere 1 kg di alluminio da materiali riciclati sono sufficienti 0,8 kWh di energia elettrica, mentre per produrre 1 kg di alluminio primario occorrono 4 kg di bauxite e circa 14-17 kWh di energia elettrica (<http://www.cial.it/regolamentazioni-e-approfondimenti/> - ultimo accesso 16 luglio 2015). Non va inoltre dimenticato che il ciclo di produzione dell'alluminio comporta l'imponente produzione di residui di lavorazione chiamati "fanghi rossi". L'uso della bauxite per la produzione dell'allumina, da cui estrarre in seguito l'alluminio primario, ha un "fattore residui" intorno a 0,78 (residui/allumina), valutato sul secco, che in termini di fango addensato, umido, diventano al bacino ~1,3 t/t, per un impegno di volume al bacino pari a ~0,8 m³/t-allumina (<https://www.google.it/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=lavorazione+delle+bauxite++fanghi+rossi+9>).

Va inoltre ricordato che i fanghi rossi sono da considerare materiali con elevata concentrazione di radionuclidi, i cosiddetti "TENORM" (Technologically-Enhanced, Naturally-Occurring Radioactive Materials, secondo la Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013), e quindi da sottoporre a controlli radiometrici e messa in sicurezza prima di conferimento in discarica.

- Le plastiche termoindurenti sono facilmente riciclabili: LDPE (Polietilene a bassa densità), HDPE (Polietilene ad alta densità), PET (Polietilentereftalato), PVC (Polivinilcloruro), PP (Polipropilene), PE (Polietilene), PC (Policarbonato), PS (Polistirene);

tra queste è ormai consolidato il riciclo del PET trasformato in granulato e avviato alla nuova produzione di contenitori per liquidi o altri manufatti.

Attualmente, inoltre, le nuove tecnologie disponibili permettono di suddividere le plastiche differenziate in tre categorie principali: Abs (acrilonitrile-butadiene-stirene), polistirene e polipropilene. Tali materiali, suddivisi per colore, vengono estrusi e ridotti in un granulato plastico che ha le stesse proprietà della plastica vergine.

Il recupero dei materiali plastici può essere esteso ad altri beni o oggetti con componentistica plastica (es. automobili e motoveicoli in genere, attrezzature aziendali, apparecchiature varie, materiale elettrico ed equipaggiamenti sportivi).

Già esistono filiere industriali che dal PET possono produrre tessuti (pile), contenitori per detersivi e fibre per imbottiture; dal PVC, tubi, raccordi di condotti per l'edilizia, profili rigidi, etc; dal PE, tappi, sacchetti per la spazzatura, contenitori, etc; dalle Plastiche Eterogenee, tavoli in plastica, panchine, segnali stradali, elementi di arredo urbano [4-10].

Particolarmente interessanti, al fine di ottenere un'ulteriore riduzione del residuo secco derivante dal materiale scartato dai consorzi di recupero o dal TMB, sono le possibilità di recupero dei residui misti poliolefinici. Questi possono essere trasformati, previa macinatura, lavaggio, flottazione -per l'eliminazione di materiali estranei- e centrifugazione, in scaglie e granuli utilizzati per varie produzioni: dall'estrusione allo stampaggio. I prodotti che si ottengono dall'utilizzo di scaglie e granuli possono essere impiegati in particolare nel settore edile (granchi, distanziatori, canaline, guaine bituminose, etc.) e per la produzione di vasi da fiori e vari manufatti per l'arredo urbano.

La seguente tabella riassume nel complesso la percentuale di risparmio energetico ottenibile dalla valorizzazione delle materie prime seconde provenienti dalla raccolta differenziata in luogo della materia prima vergine.

IL RISPARMIO ENERGETICO DELLA MATERIA PRIMA SECONDA	
MATERIALE	RISPARMIO ENERGETICO
Vetro	70 %
Plastica (PET)	86 %
Carta	68 %
Alluminio	95 %
Acciaio	51%

(rielaborato da: Il riciclo ecoefficiente 2012 - L'industria italiana del riciclo tra globalizzazione e sfide della crisi a cura di Duccio Bianchi ; Ed. Ambiente 2012.)

3.4 Recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia

Il recupero di energia termica o elettrica dall'incenerimento dei rifiuti è incomparabilmente inferiore a quello ottenibile con il riciclo della materia post consumo ben differenziata.

Secondo l'Enea, la produzione annuale dei 53 termovalorizzatori nazionali, riferita al 2010, vale quasi 4.000 GWh/anno, a seguito del trattamento di 7.123.316 tonnellate/anno di rifiuti (21.693 tonnellate/giorno), con una capacità termica di 2.925 MW e una potenza elettrica installata di 783 MW [11]. Facendo il rapporto tra energia termica ed elettrica, emerge la scarsa efficienza energetica della termovalorizzazione, con un rendimento del 26%.

Se rapportiamo la produzione di GWh/anno (confermandola costante anche per il 2013), tali quantitativi rivestono un ruolo marginale con l'1,4% dell'intera produzione energetica annua, sia da fossili che da rinnovabili, che ammonta a 289.803,2 GWh (dati Terna riferiti all'anno 2013).

Migliori risultati non si hanno attraverso la produzione di energia elettrica per combustione di bio-metano ottenuto attraverso la bio-digestione (DA) della FORSU. Infatti, dalla combustione di biogas/biometano ottenuto dalla bio-digestione di una tonnellata di FORSU, possiamo ottenere 380 kWh. Se dovessimo portare a digestione anaerobica tutte le 11.000.000 ton/anno di FORSU, otterremmo 4.180.000.000 kWh, pari a 4180 GWh/anno (*Osservatorio Biometano 2013*).

Sempre considerando la produzione totale in GWh da biogas/biometano, potremmo ottenere un ulteriore, marginale quantitativo dell'1,4%, della produzione energetica annua complessiva, derivante sia da fossili che da rinnovabili.

Tutto ciò, però, rinunciando al compostaggio che, anche secondo la normativa che segue il principio di conservazione della materia, è la pratica da privilegiare (vedi ISDE, Position Paper sul trattamento della FORSU, <http://www.isde.it/wp-content/uploads/2014/02/2015-02-Position-Paper-FORSU-finale.pdf>).

È evidente come, nell'ambito di un'economia di scala, nel contesto generale della produzione totale dalle varie fonti, l'energia elettrica derivante dall'incenerimento dei rifiuti o dalla possibile combustione di biometano, rappresenti una quota del tutto marginale.

Va tenuto inoltre conto che, grazie alla progressivamente crescente quota di raccolta differenziata, si riscontra una sempre maggiore difficoltà a reperire rifiuto secco indifferenziato. A conti fatti, quindi, queste produzioni energetiche non sarebbero sostenibili neanche sul piano economico, se non fossero incentivate attraverso contributi statali che gravano sui cittadini.

Malgrado i dati sopra riportati e le ulteriori considerazioni, soprattutto di ordine sanitario e ambientale che seguiranno, bisogna qui sottolineare come, invece, la recente normativa varata dal Parlamento vada nettamente nella direzione della incentivazione della pratica dell'incenerimento dei RSU. In particolare, l'Articolo 35 della legge 11 novembre 2014, n.164, che ha convertito, con modificazioni, il decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133 (il cosiddetto Decreto "Sblocca-Italia") li definisce gli impianti di incenerimento "infrastrutture e insediamenti strategici di preminente interesse nazionale" e ne accelera i tempi di realizzazione.

La legge in oggetto ne autorizza, inoltre, la saturazione del carico termico, con conseguente abbattimento dei vincoli di bacino, liberalizzando in tal modo, di fatto, la circolazione dei rifiuti urbani su tutto il territorio nazionale. E, ancora, agevola la riclassificazione degli impianti di incenerimento per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani (D10) a impianti per il recupero di energia (R1), in contrasto con la normativa europea, in particolare con l'articolo 3.15 dell'Allegato II alla Direttiva Rifiuti del 2008.

È infine importante evidenziare che, secondo stime dell'United Nations Environment Programme (UNEP), il riciclaggio dei rifiuti è uno dei settori più importanti per le sue potenzialità di sviluppo dell'occupazione e che, in termini di creazione di nuovi posti di lavoro, è certamente più vantaggioso rispetto sia allo smaltimento in discarica, che all'incenerimento. È stato stimato infatti che il settore del riciclo crea un numero dieci volte maggiore di posti di lavoro rispetto ai settori dello smaltimento e dell'incenerimento [12].

4. La Situazione attuale

Secondo l'ultimo rapporto ISPRA (Rapporto Rifiuti Urbani 2014 [13]), nonostante una riduzione del 4.4% della quantità di rifiuti prodotti nel 2012 rispetto all'anno precedente - 2011-, l'Italia continua ad essere, in Europa, tra i dieci Paesi che si collocano al di sopra della media continentale, con 505 Kg/abitante/anno di rifiuti prodotti nel 2012.

La produzione totale di rifiuti urbani per regione (anno 2013) è di molto superiore al nord (13.595.249 tonnellate) rispetto al centro (6.628.319 tonnellate) e al sud (9.371.097 tonnellate). La produzione pro-capite (periodo 2009-2013) è pari a 489, 549 e 448 Kg/abitante*anno, rispettivamente, nelle regioni settentrionali, centrali e meridionali.

Vi sono comunque lodevoli eccezioni, specie in comuni del Nord Est, in cui la produzione di rifiuti annua di rifiuti pro-capite è inferiore ai 350 kg e la produzione di secco non riciclabile è inferiore a 75Kg.

A livello continentale, mediamente il 34% dei rifiuti urbani è smaltito in discarica. Questa modalità è ancora di gran lunga la più frequente anche in Italia, dove la discarica è la destinazione finale, in media, del 41% dei rifiuti urbani trattati, con una raccolta

differenziata pari - in media - al 42.3%. Tale percentuale è abbondantemente al di sotto degli obiettivi previsti dalla legislazione vigente (d.lgs. n. 152/2006 e legge 27 dicembre 2006, n. 296), che imponeva il raggiungimento di almeno il 65% di raccolta differenziata entro il 31 dicembre 2012.

Tra il 2009 e il 2013 c'è stata nel nostro Paese una riduzione dei rifiuti conferiti in discarica (-29.7 %), a cui è però corrisposto un incremento di solo l'8.7% della raccolta differenziata e un aumento della quantità di rifiuti avviati ad incenerimento molto più evidente (+17%).

A questo proposito è opportuno ricordare che la discarica è anche la destinazione finale preferita della maggior parte delle ceneri prodotte dalla combustione di rifiuti, a meno che queste non provengano dall'utilizzo di combustibili solidi secondari (CSS) utilizzati nei cementifici e, dunque, non entrino nei processi di produzione di clinker/cemento.

In entrambi i casi, la destinazione finale delle ceneri da incenerimento di rifiuti ha possibili conseguenze ambientali e sanitarie [14].

Nell'anno 2013, il 14.6% del recupero di materia è risultato costituito dalla frazione organica da raccolta differenziata (umido+verde) e il 24% dalle restanti frazioni merceologiche. Il 18.2% dei rifiuti urbani viene incenerito e a questa percentuale deve sommarsi l'1.9% di frazione secca selezionata inviata ad altri impianti (prevalentemente cementifici) per essere utilizzata come combustibile.

La tendenza odierna di privilegiare gli impianti di TMB finalizzati alla stabilizzazione della frazione organica con produzione di FOS e di frazione secca potrebbe avere come risultato un disimpegno da una corretta raccolta differenziata, a monte degli impianti di trattamento. Infatti, al momento, una delle finalità principali di questi impianti è il trattamento della frazione secca residua per la produzione di combustibile da rifiuti, favorendo così la pratica dell'incenerimento in varie tipologie impiantistiche (inceneritori con o senza produzione di energia, cementifici, centrali termoelettriche).

A livello Europeo, la recente analisi contenuta nel "*Green paper on plastic waste*" descrive un forte effetto attrattivo ("*vacuum cleaner effect*") dell'incenerimento con recupero di energia, tale da renderlo una delle barriere più rilevanti per raggiungere un adeguato recupero di materia che, come illustrato, ha invece notevoli vantaggi rispetto all'incenerimento [15]. È dunque prioritaria la necessità di adottare pratiche alternative (già disponibili) finalizzate a privilegiare il recupero di materia rispetto al recupero di energia tramite processi di combustione. La presenza di soluzioni ormai tecnologicamente mature consentirebbe, attraverso trattamenti di estrusione a freddo, di recuperare e valorizzare la frazione secca sotto forma di granulato inerte da avviare alla produzione di svariate tipologie di manufatti.

Gli impianti di TMB esistenti potrebbero dunque essere agevolmente convertiti, modificando semplicemente la parte finale del ciclo produttivo (destinazione della frazione secca residua), da impianti per la produzione di combustibile a impianti per il recupero/riuso ulteriore di materia.

Esistono inoltre anche soluzioni tecnologiche che consentono il recupero delle materie contenute nelle frazioni merceologiche più problematiche da gestire (e largamente rappresentate), quali pannolini e pannoloni. Proprio in Italia è stato realizzato il primo impianto al mondo per il riciclo dei pannolini e degli assorbenti igienici da parte di una multinazionale proprietaria di noti marchi commerciali, in partnership con il gestore trevigiano di igiene urbana (Contarina spa), in collaborazione con il Comune di Ponte nelle Alpi, l'istituto di ricerca Ambiente Italia, e con il co-finanziamento dall'Unione Europea nell'ambito del progetto Recall.

L'impianto consente di riciclare pannolini, pannoloni e altri prodotti assorbenti per la persona, ricavandone plastica e cellulosa di elevata qualità ("materie prime seconde"), da riutilizzare in nuovi processi produttivi. In pratica da una tonnellata di rifiuto si possono ottenere 350 kg di cellulosa e 150 kg di plastica. I rimanenti 500 Kg, costituiti da scarto non riciclabile, rappresentano comunque solo il 50% di materia altrimenti destinata completamente allo smaltimento (<http://www.greenreport.it/news/economia-ecologica/significati-e-opportunita-del-primo-impianto-al-mondo-per-il-riciclo-dei-pannolini-in-italia/> ultimo accesso 5-6-2015).

In casi analoghi, la ricerca finalizzata alla riprogettazione industriale di oggetti non recuperabili, non riciclabili, non riutilizzabili e non compostabili è fondamentale per ridurre ulteriormente la frazione residua destinata a smaltimento. Proprio nel caso dei pannolini, questo è stato parzialmente ottenuto con la produzione e la commercializzazione dei pannolini lavabili, che si sono dimostrati una valida alternativa anche in termini di risparmio economico per le famiglie.

La carenza di impianti di compostaggio è uno dei motivi principali del mancato recupero, in media, di circa la metà della FORSU (la frazione organica dei rifiuti urbani), pari al 34.4% della produzione complessiva di rifiuti.

Lo studio "*Screening of waste management performance of EU Member States*" (http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Screening_report.pdf), pubblicato il 2 luglio 2012 nell'ambito di un progetto della Commissione Europea finalizzato a fornire supporto agli Stati membri per una migliore gestione dei rifiuti, esegue una comparazione della gestione dei rifiuti nei 27 Paesi dell'UE, con particolare riferimento ai rifiuti urbani. Secondo la classifica finale stilata da questo studio, l'Italia ha una pessima *performance*, collocandosi nel gruppo dei 12 Paesi (Bulgaria, Cipro, Repubblica Ceca, Estonia, Grecia,

Italia, Lituania, Lettonia, Malta, Polonia, Romania e Slovacchia) con punteggio inferiore alla media.

A conferma dei risultati insoddisfacenti conseguiti dal nostro Paese vi sono anche le multe comminate all'Italia dall'UE (che ammontano ormai a diverse centinaia di milioni di euro), in particolare per la cattiva gestione dei rifiuti in Campania.

5. Le conseguenze di una gestione impropria dei rifiuti

Mentre le prime azioni di una corretta gestione dei rifiuti (prevenzione, preparazione per il riutilizzo, riciclaggio) oltre al recupero di materia (forma più alta di recupero energetico), non si accompagnano a ricadute negative per l'ambiente né a rischi per la salute umana, sia il conferimento in discarica, che l'incenerimento non sono esenti da conseguenze anche gravi ed ormai scientificamente documentate con sufficiente evidenza in entrambi gli ambiti.

5.1 Le conseguenze sanitarie delle discariche

Come illustrato in precedenza, le discariche di rifiuti sono, in questo momento, la modalità di smaltimento più diffusa nel nostro Paese. Discariche che, anche se controllate, possono causare contaminazione del suolo [16, 17] (in particolare da metalli pesanti [17-20]) e delle falde acquifere [17, 21-23], inquinamento atmosferico [24-28], oltre a contaminazione della catena alimentare [29, 30].

Considerando soltanto le discariche per RSU apparentemente ben gestite, uno studio osservazionale condotto in Italia, per un periodo di nove anni e in un'area che comprendeva otto Comuni (oltre 11.000 residenti) limitrofi a una discarica, ha mostrato eccessi di mortalità anche per malattie non neoplastiche (cardiovascolari, respiratorie, dell'apparato digerente e del sistema nervoso) [31].

Un altro studio condotto tra il 1995 e il 2000 su una vasta area della Toscana (sei discariche localizzate in cinque diverse province) ha rilevato eccessi di mortalità per malattie cardiocircolatorie e cerebrovascolari, per tumori maligni del sistema emato-linfopoietico, del fegato e della vescica [32].

È stato inoltre riportato un aumentato rischio di malformazioni congenite in popolazioni residenti in prossimità di discariche [33]. Una revisione della letteratura ha segnalato un incremento di rischio pari al 2% per l'insorgenza di anomalie congenite e del 6% per basso peso alla nascita nella popolazione residente entro due chilometri di distanza da discariche di rifiuti. L'incremento del rischio è risultato essere maggiore nel caso di discariche di rifiuti tossici [34].

Eccessi di anomalie congenite (in particolare difetti del tubo neurale e dell'apparato circolatorio, gastroschisi, e palatoschisi) in nati da madri residenti in prossimità di discariche per rifiuti tossico-nocivi sono stati rilevati anche in altri studi [35-37]. È stato inoltre suggerito come il tasso di malformazioni congenite decresca all'aumentare della distanza dalla discarica [38].

Alcuni studi hanno evidenziato la possibile presenza di un aumentato rischio di neoplasie del fegato e della vie biliari, del rene, del pancreas, della vescica, dello stomaco, del polmone, della prostata e un'aumentata frequenza di linfoma non-Hodgkin in chi vive in prossimità di queste aree [32, 39-41].

Anche nel caso in cui il percolato contenga basse concentrazioni di contaminanti chimici con capacità cancerogena nota, la presenza combinata di più sostanze può generare elevata tossicità e causare effetti sinergici o additivi in termini di cito-tossicità e genotossicità [42].

Studi in vitro hanno inoltre dimostrato che il percolato è in grado di indurre danno del DNA, epatotossicità e stress ossidativo [43, 44], rappresentando un grave rischio per la salute umana e per l'ambiente [45].

Oltre all'inquinamento da tossici chimici, sono possibili rischi di contaminazione microbiologica da diffusione di batteri potenzialmente patogeni, la cui presenza è stata dimostrata sia in campioni di aria indoor e outdoor [46, 47] che nel suolo [47], con elevata frequenza di batteri gram-negativi [46].

L'inquinamento dell'aria, in particolare, è di entità tale da incrementare il rischio sanitario e alterare la qualità della vita nei residenti in territori limitrofi [28, 48], principalmente a causa di emissioni non convogliate di acido solfidrico [28, 49], metano [50, 51], CO₂ e di oltre 200 composti organici non metanici [52], cloruro di vinile [48, 53], benzene [48], metalli pesanti [54], particolato [55-57].

Il biogas prodotto dalle discariche ha anche un'ulteriore ricaduta negativa a causa dell'effetto clima alterante del metano. Le emissioni di metano da discariche di rifiuti urbani e dalle acque di scarico ammontano a circa il 90% di tutte le emissioni prodotte dai vari sistemi di trattamento dei rifiuti. Tuttavia, pur rappresentando circa il 18% delle emissioni antropogeniche di metano, in termini globali le emissioni di gas serra, attribuibili ai rifiuti, contribuiscono solo in piccola parte alle emissioni antropogeniche totali di gas serra (circa il 3%) [58].

Uno studio sull'esposizione a piombo ha rilevato che la concentrazione di questo metallo tossico nella polvere domestica di case localizzate in prossimità di una discarica dismessa, superava i livelli di legge nel 17% dei casi e che valori rilevanti di piombo erano

riscontrabili nel sangue di bambini di età inferiore ai 6 anni residenti nell'area esaminata [54].

Studi in vitro hanno dimostrato una immuno-tossicità e una capacità di indurre processi flogistici più marcati per il particolato proveniente da siti che ospitavano discariche, rispetto a quello campionato in zone urbane e rurali [55].

5.2 Le conseguenze sanitarie degli inceneritori

Premessa

Dal punto di vista sanitario, l'incenerimento è senza dubbio il peggior modo di trattare i rifiuti, perché ne riduce solo il volume., Per di più, questa metodica da un solo tipo di scarto ne genera tre (aeriformi, liquidi, solidi), ciascuno dei quali contenente sostanze tossiche, mutagene e cancerogene. A loro volta, le frazioni liquide e solide devono essere smaltite, mentre quella aeriforme viene direttamente smaltita nell'atmosfera, che viene così trasformata in una sorta di discarica per rifiuti speciali pericolosi.

Se anche l'incenerimento fosse innocuo per la salute, esso non lo è di certo da molti altri punti di vista: ecologico, energetico, delle risorse disponibili, in quanto distruttore di risorse altrimenti utilizzabili, dissipatore di energia, dannoso per l'uomo e gli animali.

Gli inceneritori, poi, una volta costruiti, impediscono l'avvio di una corretta gestione dei rifiuti, a cominciare dalla loro riduzione, perché, come ebbe a scrivere un importante epidemiologo statunitense, David Kriebel [59]: *“una volta che questi costosissimi impianti sono stati costruiti, i gestori necessitano di una fonte continua di rifiuti per alimentarli”*.

Gli inceneritori, che per la normativa italiana rientrano fra le industrie insalubri di classe I, indipendentemente dalla tecnologia adottata e dalla recenti riclassificazioni normative, danno origine a diverse migliaia di inquinanti, producendo circa tre quintali di ceneri tossiche di vario tipo (destinate nella maggior parte dei casi a discariche per rifiuti speciali o a successivi processi di lavorazione nei cementifici) per ogni tonnellata di rifiuti bruciati.

5.2 a. Gli inquinanti prodotti dall'incenerimento

L'incenerimento di rifiuti produce inquinanti gassosi (principalmente CO, CO₂, acido cloridrico, ossidi di zolfo e d'azoto), particolato di diverse frazioni granulometriche (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, PM_{0,1}) e microinquinanti (principalmente PCB, diossine, furani, metalli pesanti, IPA, benzene), molti dei quali persistenti, cancerogeni e bioaccumulabili.

L'acqua reflua contiene quantità varie di metalli e altre sostanze che essa raccoglie nelle varie fasi del processo di combustione e di abbattimento dei fumi. Più elevato è il grado di depurazione delle emissioni gassose, più alta è la concentrazione di sostanze nocive nelle acque reflue e/o nei residui solidi del sistema di abbattimento, che a loro volta devono

essere debitamente trattate per renderle, per quanto possibile, innocue prima della loro immissione nei corpi recipienti.

Naturalmente anche il trattamento delle acque reflue darà origine a dei residui (fanghi) da smaltire a loro volta.

I rifiuti solidi sono rappresentati da ceneri e scorie, che ammontano a circa un terzo in peso del rifiuto bruciato. Contengono soprattutto metalli e diossine e a loro volta debbono essere smaltiti come rifiuti tossici in discariche specifiche. Le ceneri “leggere” che residuano dai sistemi di depurazione dei fumi sono altamente tossiche e non va dimenticato che una piccola quantità di tali ceneri (compresa tra il 3 ed il 5 %) si aggiunge alla parte volatile, perché non viene trattenute dai sistemi di filtraggio. Gli impatti ambientali connessi alle ceneri pesanti e leggere sono ormai ben noti [60].

5.2 b. I danni alla salute

La quasi totalità degli inquinanti emessi (principalmente particolato fine e ultrafine, diossine, furani, acido cloridrico, ossidi di azoto e di zolfo, idrocarburi, metalli pesanti), possiedono azione tossica, mutagena, cancerogena e causano patologie neoplastiche e non neoplastiche a carico di numerosi organi.

Molte di queste sostanze (in particolare diossine, furani, PCB, metalli pesanti), inoltre, agiscono come interferenti endocrini, sono persistenti e bioaccumulabili, hanno una bassissima solubilità in acqua e una scarsissima degradabilità chimica e biologica ed entrano nella catena alimentare. Per tutte queste caratteristiche esse tendono a spostarsi dall'ambiente verso i tessuti grassi e ad accumularsi negli organismi viventi, superano la barriera placentare e sono veicolati anche attraverso il latte materno [61].

In merito alle emissioni di particolato, è opportuno segnalare come le emissioni degli inceneritori siano costituite prevalentemente da particolato ultrafine. Nell'ambito dello studio Monitor (effetti degli inceneritori dell'Emilia Romagna [66]), le indagini condotte sulle emissioni dell'inceneritore di Bologna hanno dimostrato la presenza di “picchi emissivi”, che: *“paiono essere legati all'emissione di particelle di dimensioni, con diametro aerodinamico inferiore a 100 nm”* -cioè 0,1 micron (PM 0,1).

Ciò assume particolare rilievo epidemiologico, in quanto numerose pubblicazioni hanno ampiamente dimostrato che questo tipo di particelle è il più dannoso per la salute umana, in quanto in grado di passare rapidamente dai polmoni alla circolazione sistemica. Ed alla nocività diretta, si aggiunge una potenziale sinergia di danno alla salute, per la funzione di trasporto (“*carrier*”) di altre sostanze ugualmente dannose –come, ad esempio, i metalli pesanti- che il particolato può svolgere.

E' stato anche dimostrato che le particelle di diametro inferiore a 100nm - 0.1 micron (PM 0,1) causano effetti sulla salute umana indipendentemente dalle concentrazioni atmosferiche di PM10 [62]. Nonostante queste evidenze, la concentrazione delle polveri ultrafini non è regolamentata da alcuna normativa, pur rappresentando un grave rischio per la salute umana [63-67]

Un'ampia revisione della letteratura scientifica sui rapporti tra emissioni degli inceneritori e insorgenza di malattie neoplastiche [68] è disponibile nella monografia "Progetto Ambiente Tumori" pubblicata dall'Associazione Italiana di Oncologia Medica nel 2011, alla quale si rimanda [61].

Oltre che a tumori maligni (in prevalenza linfomi non-Hodgkin, sarcomi, tumori polmonari, neoplasie in età pediatrica [68], ma anche aumentato rischio di tumori maligni dello stomaco, colon, fegato e mammella nel sesso femminile[69]), le emissioni di inceneritori che rispettano i limiti emissivi sono state messe in relazione ad una serie di condizioni patologiche non neoplastiche, come le malattie respiratorie e cardiovascolari [70].

Un recente studio retrospettivo, condotto nel Lazio, ha dimostrato una relazione tra un'aumentata frequenza di malattie respiratorie nel sesso maschile e le emissioni di particolato degli inceneritori [71].

Uno studio condotto su adolescenti residenti in prossimità di due inceneritori ha mostrato elevate concentrazioni sieriche di piombo, cadmio, PCB e composti diossino-simili, che erano associate ad un ritardo nella maturazione sessuale e una disfunzione glomerulare e tubulare, proporzionale alle concentrazioni sieriche di piombo [72].

Uno studio condotto in Giappone su un ampio gruppo di bambini che frequentavano scuole situate a distanze diverse da impianti di incenerimento di rifiuti, ha mostrato un'aumentata frequenza di vertigini, cefalea, epigastralgie e astenia in quelli che frequentavano le scuole più vicine agli inceneritori [73].

Uno studio francese ha dimostrato un'aumentata frequenza di malformazioni dell'apparato urinario in nati da donne gravide esposte alle emissioni di diossine da inceneritori [74, 75].

Recentemente, lo studio Monitor ha dimostrato, tra le residenti in prossimità degli inceneritori, un'aumentata frequenza di nati pre-termine (dato coerente con precedenti studi in vitro sull'esposizione a diossine [76]) e di aborti spontanei [77].

Anche un recentissimo studio effettuato sull'inceneritore di Vercelli che tratta RSU e RSO (Rifiuti Speciali Ospedalieri) [78] ha documentato incrementi di rischio per la mortalità totale, escluse le cause accidentali, nella popolazione esposta.(+20%) Anche per tutti i tumori maligni si evidenziano rischi più alti tra gli esposti rispetto ai non esposti (+60%), in particolare per il tumore del colon-retto (+400%) e del polmone (+180%). Altre cause di

mortalità in eccesso riscontrate riguardano la depressione (+80%), l'ipertensione (+190%), le malattie ischemiche del cuore (+90%) e le bronco pneumopatie cronico- ostruttive negli uomini (+ 50%). Dall'analisi dei ricoveri ospedalieri si confermano molti dei rischi emersi dall'analisi dei dati di mortalità: aumento dei ricoveri i per il tumore del colon-retto (+35%), depressione (+10%), ipertensione arteriosa (+20%). Anche per le broncopneumopatie cronico-ostruttive i rischi crescono analogamente (+12%). Alcuni risultati sono significativamente aumentati solo nelle analisi di morbilità: rischio più alto di ricovero per diabete (+10%), per le malattie degenerative del sistema nervoso centrale (con il 10-20% di aumento del rischio). Rischi aumentati sono stati trovati anche per le patologie epatiche croniche e cirrosi (+30%).

5.2c. I nuovi impianti di incenerimento

Gli impianti di incenerimento di nuova generazione, anche se presentano emissioni di inquinanti inferiori rispetto ai vecchi inceneritori (in termini di concentrazione/m³ di fumi), sono tuttavia di maggior taglia e ciò comporta un incremento della quantità assoluta di emissione di fumi e di inquinanti, per cui appare arduo sostenere che ad essi si associ una riduzione del rischio ambientale e sanitario.

Ad esempio, l'inceneritore di Brescia aveva nel 1992 una capacità di 266.000 tonnellate/anno. A partire dal 2004, realizzate nuove linee di combustione, la capacità è aumentata fino a circa 700.000 tonnellate/anno e, parallelamente, anche la quantità di fumi emessi, a partire dal 2004, è proporzionalmente aumentata.

Questo è un fattore di estrema importanza, soprattutto nel caso di inquinanti persistenti, non biodegradabili e bioaccumulabili (es. diossine, furani, PCB, metalli pesanti) per i quali, molto più delle concentrazioni di emissione normalizzate per m³ di fumi, conta la quantità totale di inquinanti emessi per unità di tempo e che tendono ad accumularsi, persistendo nel medio e lungo periodo.

Nel caso delle diossine, gli inceneritori di ultima generazione dichiarano quasi sempre di rispettare emissioni pari a 0,01ng/m³, dunque di molto inferiori rispetto agli 0,1 "concessi" dalla normativa in passato. Se si considera però che la portata di fumi al camino di questi impianti è pari, per impianti di medie dimensioni, a circa 200.000 Nm³/ora e ammesso che le concentrazioni dichiarate vengano rispettate, i "moderni" impianti di incenerimento emettono, in termini assoluti, 2000ng di diossine/ora (48000ng di diossine nelle 24 ore, per tutti i giorni di attività dell'impianto). Questa quantità non garantisce la tutela della salute umana, soprattutto in considerazione delle recenti conclusioni dell'EPA che fissano in 0.0007ng/Kg/die la quantità minima giornaliera di diossine considerata "accettabile" [79].

Ulteriori timori derivano dalle caratteristiche della diossina (si tratta in realtà di oltre 200 congeneri) la cui emivita è di circa 20 anni e che tende ad accumularsi nel tessuto adiposo anno per anno, penetrando nell'organismo per la massima parte attraverso la via digestiva (con alimenti e acque contaminati), e, in quota nettamente minore, anche attraverso quella respiratoria.

A tale proposito la Sesta Sezione della Corte di Giustizia della Comunità Europea, con una sentenza del 29 settembre 1999 ha dichiarato che: *"(...) la nozione di scarico di cui all'art. 1 n. 2, lett. D della direttiva del Consiglio 4 maggio 1976,76/464/CEE, concernente l'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose scaricate nell'ambiente idrico della Comunità, deve essere interpretata nel senso che in essa rientra l'emissione di vapori inquinanti che si condensano e cadono su acque e nei suoli di superficie"*.

Le considerazioni sino ad ora espresse e i dati illustrati sembrano essere confermati da alcune delle più recenti evidenze scientifiche presenti in letteratura.

Uno studio spagnolo ha mostrato un aumentato rischio di mortalità per cancro in residenti in prossimità di inceneritori che rispettavano le direttive internazionali IPPC [80].

Uno studio condotto a Taiwan su residenti entro 3 Km da inceneritori costruiti in prossimità delle città da tecnici occidentali (inglesi e americani), rispettando i più recenti standard tecnologici e di controllo dei Paesi di provenienza dei tecnici, ha dimostrato un aumentato rischio di ritardo psicomotorio nei bambini entro i primi 3 anni di età [81].

È stato documentato un incremento significativo delle concentrazioni sieriche di PCB dopo due anni di esposizione alle emissioni di inceneritori di recente costruzione, nonostante l'utilizzo delle BAT (Best Available Techniques) [82].

Anche una delle linee di ricerca dello studio Monitor, quella sul bioaccumulo di metalli pesanti utilizzando muschi e licheni, ha dimostrato i maggiori valori di accumulo di alcuni metalli pesanti (in particolare cadmio) nei dintorni dell'inceneritore del Frullo, definito dagli estensori dello studio, al momento dell'indagine, l'inceneritore "tecnologicamente più avanzato in Emilia-Romagna".

Recentemente sono stati proposti sistemi catalitici selettivi DeNox, per un migliore abbattimento degli ossidi di azoto e DeDioxin per l'abbattimento delle diossine. La funzionalità di tali sistemi è tuttavia correlata a range e regole di funzionamento da rispettare, da cui consegue un incremento delle possibili criticità gestionali dell'impianto in termini emissivi. Tra questi, vanno considerati il disinserimento del catalizzatore, le temperature massime e minime (425° e 275° C) di esercizio ottimale, la presenza di ammonio bisolfato (ABS) anche nei fumi a basse temperature, la presenza di metalli alcalini per sodio e potassio e sali di calcio e magnesio.

Queste criticità gestionali, in assenza di monitoraggio costante (in continuo), che eviti condizioni sfavorevoli di funzionamento, oltre a rendere inefficaci le azioni di abbattimento degli inquinanti, possono invece costituire condizione di un loro incremento nelle emissioni.

Infine, a ridurre l'efficacia dei sistemi di abbattimento, non manca la presenza (usuale) di bypass di tali sistemi. Questi bypass vengono attivati automaticamente anche in caso di anomalie gravi, quali il blocco dei ventilatori, per evitare danni gravi alla parte termica. Ma queste emissioni, determinate da situazioni di emergenza, sono cospicue e più frequenti di quanto si tenda a ritenere.

In conclusione, come segnalato anche da un Report dell'OMS del 2007, dal momento che la taglia ed il numero degli impianti tende a crescere costantemente, ciò potrà dare un contributo non trascurabile su scala globale a gas serra e a inquinanti persistenti [83].

5.3 Il problema delle scorie da incenerimento

Secondo i dati ISPRA, nel solo anno 2011 l'incenerimento di rifiuti ha causato la formazione di 1.295.124 tonnellate di rifiuti, costituiti da scorie pesanti, ceneri leggere e altre scorie, rifiuti liquidi e fanghi pericolosi prodotti dal trattamento dei fumi (ISPRA, "Rapporto Rifiuti urbani 2013"). Queste scorie ammontano al 22.4% dei rifiuti inceneriti nel 2011. Tale dato, tuttavia, è probabilmente sottostimato, in quanto non tutti gli impianti operativi in Italia hanno fornito le informazioni utili per l'analisi.

I residui solidi dell'incenerimento dei rifiuti dovrebbero essere successivamente smaltiti in maniera sostenibile [84, 85], fatto questo estremamente difficile a causa delle loro peculiari caratteristiche fisico-chimiche, che rende praticamente inevitabile la diffusione nell'ambiente delle sostanze tossiche in essi contenute.

Il crescente ricorso all'incenerimento dei rifiuti, l'elevato costo di smaltimento in discariche speciali dei residui e la scarsa disponibilità di siti da adibire a discarica ha dunque aggiunto ai già noti problemi legati alle emissioni atmosferiche degli inceneritori, quelli relativi allo smaltimento dei rilevanti residui [86].

Si è dunque suggerita l'individuazione di "alternative" alla discarica, quali quelle della cosiddetta "valorizzazione" dei residui prodotti dagli inceneritori, che creano in realtà ulteriori preoccupazioni per l'impatto ambientale e per i rischi per la salute umana.

Nel nostro Paese le scorie pesanti, nonostante la loro composizione tossica [87-96], vengono definite "*rifiuti speciali non pericolosi*" (codice CER 190112) e, come previsto dal DM 05/02/98 (emanato in attuazione del DLgs 22/97), possono essere utilizzate tal quali e senza l'effettuazione preventiva di test di cessione quando vengono utilizzate nei cementifici, nella produzione di conglomerati cementizi e nell'industria dei laterizi e

dell'argilla espansa. Il test di cessione viene richiesto solo qualora vengano utilizzate per la realizzazione di rilevati, sottofondi stradali e recuperi ambientali.

L'utilizzo di CSS (Combustibile Solido Secondario, ottenuto dalla componente secca dei rifiuti non pericolosi, sia urbani che speciali) nel ciclo produttivo del cemento prevede l'incorporazione delle ceneri tossiche da combustione nel clinker/cemento prodotto. Numerose osservazioni sperimentali hanno dimostrato come gli eluati delle scorie pesanti siano tutt'altro che inerti.

Le scorie prodotte dalla combustione dei rifiuti sono caratterizzate da un elevato contenuto di prodotti chimici estremamente tossici, il cui rilascio nell'ambiente [97] può generare conseguenze gravi sulla salute umana [87].

Inoltre, quando esse vengono incorporate nel cemento, le caratteristiche fisiche di quest'ultimo risultano alterate in maniera direttamente proporzionale alla quantità di scorie impiegate [98] e, nel breve termine, le alterazioni causate dagli agenti atmosferici naturali non sembrerebbero garantire il mantenimento dei limiti imposti dalla legge [99].

L'ossidazione dell'alluminio contenuto nei residui dell'incenerimento causa produzione di idrogeno di entità tale da danneggiare il cemento che lo contiene (cemento tipo *Portland*) [100].

Le scorie pesanti costituiscono circa l'80% del residuo dell'incenerimento dei rifiuti e contengono varie sostanze a rischio di inquinamento ambientale, quali diossine [96] (un kg di scorie pesanti contiene circa 34ng di diossine [90]), metalli pesanti [89] e composti organici di varia natura (principalmente composti aromatici) [94].

Uno studio condotto sulla biotossicità di eluati di scorie pesanti prodotti da inceneritori operanti in Belgio, Francia, Germania, Italia, e Regno Unito, li ha classificati tutti come eco-tossici [101].

È stata inoltre dimostrata, nelle scorie pesanti, una elevatissima concentrazione di stronzio -che contribuisce in maniera significativa alla genotossicità di queste sostanze [91]- e di piombo [92], che può arrivare sino ad un massimo di 19.6 mg/L [88], una concentrazione significativamente superiore a quella consentita dalla normativa Europea (5 mg/l), che prevede inoltre di ridurla ulteriormente [102].

Notevoli rischi presenta la difficile stabilizzazione del cromo, soprattutto nella prospettiva di riutilizzo delle scorie per la preparazione di cemento [103].

Shim e altri Autori hanno dimostrato che la concentrazione di piombo nell'eluato delle scorie pesanti e leggere spesso eccedeva i limiti legali in due diversi Paesi (Corea e Giappone) [95].

Test di lisciviazione sul cemento hanno dimostrato un significativo rilascio di arsenico, cromo, bario, antimonio, nichel, selenio, rame, zinco[103], in alcuni casi con valori che eccedevano i limiti per il conferimento in discariche per inerti [103].

Una recente osservazione condotta su ceneri prodotte da inceneritori di rifiuti urbani in Giappone ha segnalato la possibile presenza di radionuclidi già precedentemente al disastro di Fukushima [104].

In un recente lavoro sulla biotossicità delle scorie prodotte da inceneritori di rifiuti è stata dimostrata la presenza di differenze significative nella concentrazione di metalli in eluati da scorie pesanti. Le concentrazioni valutate con metodica TCLP (*“Toxicity Characteristic Leaching Procedure”*) erano inferiori a quelle indicate dalla normativa di riferimento e, dunque, i materiali di provenienza venivano indicati come “non pericolosi”. Dagli stessi materiali, tuttavia, una quantità di metalli notevolmente maggiore veniva estratta con metodica PBET (*“Physiologically Based Extraction Test”*), una tecnica che usa succo gastrico simulato come agente per l'estrazione di inquinanti al fine di valutare la loro bioaccessibilità a livello del tratto gastrointestinale. In questo modo venivano estratte concentrazioni considerevolmente superiori di rame (81–558 mg/kg) e piombo (28–267mg/kg) rispetto alla prima metodica. Gli autori concludevano che, *“sebbene le scorie pesanti vengano classificate come materiale non pericoloso, queste dovrebbero essere usate con cautela e l'ingestione da parte delle popolazioni residenti [come avviene in materiali e suoli contaminati, n.d.r.] dovrebbe essere evitata”*. Nello stesso studio veniva dimostrata una evidente biotossicità acuta indotta da scorie pesanti classificate come “non pericolose”[105].

Nelle scorie pesanti è stato anche dimostrato un elevato contenuto di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), noti agenti cancerogeni, la cui concentrazione totale varia tra i 480 e i 3590 µg/kg, e la concentrazione della quota di IPA cancerogeni varia tra 89 e 438 µg/kg di scorie [93].

I metalli pesanti possono migrare nel suolo e nelle falde idriche e rappresentare un serio rischio per la salute umana, trasmettendosi attraverso la catena alimentare ed esercitando azione genotossica [106] a causa della produzione di un danno ossidativo alle catene del DNA [88, 107, 108]. Questo particolare meccanismo di genotossicità si esercita anche per concentrazioni molto basse di singoli contaminanti [109].

Il riutilizzo delle scorie, inoltre, costituisce un importante fattore di rischio occupazionale [110, 111], a causa principalmente dell'esposizione dei lavoratori a cromo e cadmio, attraverso inalazione e assorbimento transdermico [112].

Valutazioni eseguite su modelli animali, inoltre, hanno dimostrato che le emissioni derivanti da malte cementizie contenenti ceneri leggere derivate dalla combustione di rifiuti possono riesacerbare crisi asmatiche [113].

In lavoratori esposti a ceneri da incenerimento contenenti IPA e diossine è stata segnalata un'alterata espressione genica del citocromo CYP1B1 nei leucociti periferici, di entità tale da considerare questa alterazione come marker di danno biologico occupazionale [114].

In risposta alle evidenze scientifiche descritte, la Danimarca ha rivisto in senso restrittivo la legislazione che regola l'utilizzo delle scorie pesanti nel settore delle costruzioni, proprio a causa del loro alto contenuto in metalli pesanti e sali e del loro rilascio nell'ambiente [115]. Sarebbe auspicabile un simile atteggiamento legislativo anche da parte del nostro Paese, in attesa dell'abbandono progressivo e definitivo della tecnica dell'incenerimento a favore di altre strategie di gestione del ciclo dei rifiuti, a cominciare dalla loro riduzione e fino al recupero reale dei materiali, pratiche ormai ampiamente sperimentate, sicuramente più sostenibili dal punto di vista ambientale e sanitario e più socialmente ed economicamente vantaggiose per la comunità.

6. Indicazioni per una gestione sostenibile dei rifiuti

La direttiva quadro comunitaria sulla gestione dei rifiuti (direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio in vigore dal 12 Dicembre 2008) ribadisce che la politica degli Stati membri in materia di rifiuti dovrebbe mirare a ridurre l'uso di risorse, ribadendo l'importanza della prevenzione della produzione di rifiuti come priorità rispetto ad altre scelte.

È anche chiaramente espresso che il recupero di materia è prioritario rispetto al recupero di energia, pertanto il riutilizzo e il riciclaggio vanno preferiti alla valorizzazione energetica dei rifiuti e alla discarica, in quanto rappresentano l'opzione più sostenibile, come anche le numerose evidenze descritte in precedenza dimostrano.

La direttiva, stabilendo una precisa "gerarchia" nello smaltimento dei rifiuti, indica anche con chiarezza un "ordine di priorità" che parte dalla "prevenzione" (misure che riducono la quantità di rifiuti, anche attraverso il riutilizzo dei prodotti o l'estensione del loro ciclo di vita). L'obiettivo è quello di attuare nell'Unione Europea una "società del riciclaggio", che eviti la produzione dei rifiuti e prediliga il recupero di materia, utilizzando i materiali post consumo come risorse.

Di fatto, come prima descritto, dopo una raccolta differenziata spinta fino al 70% , l'attuale evoluzione tecnologica nell'ambito degli impianti di separazione dei materiali (con lettori ottici a raggi infrarossi, tecniche di selezione manuale/magnetica dei materiali, vagliatura

balistica etc.) consente di attuare un pressoché totale recupero di materia (a valle), anche a partire da frazioni che in passato venivano scartate. Il loro avvio verso le sopracitate tecnologie di estrusione ne consente una ulteriore valorizzazione, con produzione di granulato inerte per produzione di manufatti.

Ciò permette di creare ulteriori filiere di recupero, con evidenti vantaggi per le ricadute economiche e occupazionali. L'abbattimento dei costi di smaltimento e di incenerimento può inoltre consentire di alleggerire il regime tariffario e di tassazione delle istituzioni locali nei confronti della cittadinanza.

Oltre a questo, dal punto di vista economico è da considerare la assoluta rilevanza dei costi indiretti (ambientali e sanitari) derivanti dall'impatto dell'incenerimento e dello smaltimento in discarica, che verrebbero evitati grazie al ricorso a pratiche più sostenibili di gestione dei materiali post-consumo.

È proprio alla luce di queste nuove possibilità tecnologiche che una nuova e recente Direttiva del Parlamento Europeo (*"A Resource efficient Europe"*, adottata il 24 maggio 2012) al punto 33 rinnova agli Stati membri l'invito a rispettare la gerarchia dei rifiuti ed a portare la quota residua (ciò che resta dopo prevenzione, riciclo, reimpiego, riutilizzo, recupero di materia) prossima allo zero (*"the need to bring residual waste close to zero"*).

Nel panorama desolante di quella che è in genere la gestione dei rifiuti in Italia, va però ricordato che proprio nel nostro Paese si registrano alcune delle migliori esperienze a livello internazionale in tema di gestione dei rifiuti. Sono ben 356 i comuni 'Rifiuti free' che nel corso del 2014 hanno prodotto meno di 75 chilogrammi pro capite di rifiuto secco indifferenziato rispetto ai circa 300 della media italiana.

Tali risultati sono stati ottenuti con modalità diverse ma con un denominatore comune: l'impegno delle Amministrazioni e la responsabilizzazione dei cittadini, attraverso una comunicazione efficace e con politiche anche tariffarie che premiano il cittadino virtuoso.

7. CONCLUSIONI

Per una gestione sostenibile dei rifiuti basterebbe semplicemente rispettare la normativa vigente e le direttive europee, favorire la tutela della salute umana e dell'ambiente mediante una completa esclusione dell'incenerimento (sotto qualunque forma) e un progressivo abbandono dei conferimenti in discarica.

Questi obiettivi sono raggiungibili attraverso:

1. la razionalizzazione dei consumi, evitando spinte consumistiche non basate sui fabbisogni reali (eliminazione degli sprechi);
2. il rispetto e l'incentivazione della gerarchia dei rifiuti prevista dalla normativa Comunitaria e Statale;
3. l'abrogazione di quanto previsto all'art.35 del Decreto "Sblocca Italia" dal momento che, qualora anche siano "riconvertiti in impianti per la produzione di energia", gli inceneritori rimangono insediamenti altamente nocivi, che vanificano gli sforzi volti alla prevenzione e riduzione dei rifiuti ed al recupero della materia nel rispetto delle priorità previste dalla normativa comunitaria;
4. l'eliminazione di qualunque forma di incentivazione economica ad impianti che utilizzino processi di combustione dei rifiuti e, viceversa, l'incentivazione di tutte le iniziative volte a promuovere le prime azioni della gerarchia indicata dalla normativa comunitaria nella gestione dei rifiuti, quali:
 - a. iniziative per la riduzione della produzione dei rifiuti (es. disincentivazione tariffaria e commerciale dei prodotti "usa e getta" e dell'uso di imballaggi, vendita "alla spina", centri per la riparazione e il riuso, compostaggio domestico, selezione di tecniche produttive di assemblaggio e di materiali finalizzati al recupero a fine uso etc.);
 - b. utilizzo e incentivazione di tecniche di separazione e differenziazione alla fonte dei materiali, anche attraverso campagne informative ed educative;
 - c. agevolazioni fiscali e incentivi di avvio all'impresa per forme imprenditoriali finalizzate al recupero di materia;
5. l'applicazione di adeguati sistemi di raccolta in ambito urbano, che prevedano la preferenza della raccolta domiciliare ("porta a porta") sull'intero territorio cittadino e l'abbandono dei sistemi di raccolta stradale (i "cassonetti"). La raccolta domiciliare ha infatti ampiamente dimostrato la sua efficacia nel raggiungimento (in molti casi

- superamento), anche in tempi rapidi, delle percentuali di raccolta differenziata richieste dalla normativa nazionale vigente (65%) anche nelle grandi città;
6. un'efficace separazione a monte della frazione organica, che va destinata principalmente al compostaggio (domestico e industriale);
 7. la realizzazione di adeguata impiantistica alternativa a discariche e inceneritori, finalizzata a preferire il recupero di materia rispetto a quello di energia (impianti di compostaggio aerobico tradizionale, impianti di separazione "a freddo", impianti di estrusione a freddo del secco indifferenziato.);
 8. la totale reimmissione nei cicli produttivi dei materiali recuperati;
 9. la messa in atto di incentivi fiscali per utenze domestiche e non domestiche, finalizzati alla riduzione della produzione di rifiuti e al miglioramento della raccolta differenziata, come, ad esempio, la tariffazione puntuale (si paga in maniera proporzionale alla quantità di rifiuti indifferenziati conferiti) e agevolazioni fiscali per il compostaggio domestico;
 10. la promozione e il sostegno della ricerca e dello sviluppo tecnologico finalizzati alla prevenzione dei rifiuti (come definita dalla Direttiva 2008/98/CE), alla riprogettazione industriale di oggetti non recuperabili/riciclabili/compostabili e al miglioramento continuo della filiera post-raccolta, finalizzata al recupero di materia (separazione, riuso, riciclaggio, compostaggio).

Bibliografia

- 1 Sachs WM, M.: *Futuro sostenibile. Le risposte eco-sociali alle crisi in Europa.*: Edizioni Ambiente: 2011.
- 2 European Environment A. EEA Report No 1/2013: Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation.: European Environment Agency (EEA); 2013.
- 3 Faggioli A and Burgio E. Gestione dei rifiuti e rischio per la salute. In: Scientifiche EM, editor. *Strategie di prevenzione primaria e di promozione della salute.* 2009.
- 4 Krummenacher P, Peuch P, Fisher M and Biddle M. Automated identification and sorting of plastics from different waste stream - a status report. *Technical Paper from APME.* Brussels: APME; 1998.
- 5 Dinger P. Bottle reclaim systems: new collection, cleaning and sorting techniques ease the burden on landfills. *Modern Plastics Encyclopedia.* 1994.
- 6 Tomaszek T. Automated separation and sort: latest systems overcome the limitations of manual collection methods. *Modern Plastics Encyclopedia.* 1994,p. 34.
- 7 Schut JH. Automated resin and color sorting proves a boon to recyclers. *Plastics Technology.* 1992.
- 8 Powell J. The PRFect solution to plastic bottle recycling. *Resource recycling.*; 1995pp. 25-7.
- 9 Biddle MB and Fisher MM. A mechanical recycling process for the recovery of plastics from end-of-life durable goods. *SPI 22nd Annual Conference, Structural Plastics Division.* Washington DC; 1994.
- 10 Biddle MB and Fisher MM. An overview of the recycling of plastics from durable goods. *International Plastics recycling conference.* Chicago, IL; 1994.
- 11 ENEA. Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia - 3a Ed.; 2012.
- 12 UNEP. Towards a Green Economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. Vol. ISBN: 978-92-807-3143-9.; 2011.
- 13 ISPRA. Rapporto Rifiuti Urbani - Edizione 2014. Roma: ISPRA; 2014.
- 14 Di Ciaula A and Gentilini P. Utilizzo delle scorie da incenerimento di rifiuti e rischi per la salute e l'ambiente. *Professione & Clinical Governance* 2011;**6**:7.
- 15 EC. Green Paper - On a European Strategy on Plastic Waste in the Environment. . EC; 2013.
- 16 Melnyk A, Dettlaff A, Kuklinska K, Namiesnik J and Wolska L. Concentration and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in surface soil near a municipal solid waste (MSW) landfill. *The Science of the total environment* 2015;**530-531**:18-27.
- 17 Pastor J and Hernandez AJ. Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: determinants for restoring their impact. *Journal of environmental management* 2012;**95 Suppl**:S42-9.
- 18 Cabral M, Dieme D, Verdin A, Garcon G, Fall M, Bouhsina S *et al.* Low-level environmental exposure to lead and renal adverse effects: a cross-sectional study in the population of children bordering the Mbeubeuss landfill near Dakar, Senegal. *Human & experimental toxicology* 2012;**31**:1280-91.
- 19 Sayadi MH, Rezaei MR and Rezaei A. Fraction distribution and bioavailability of sediment heavy metals in the environment surrounding MSW landfill: a case study. *Environmental monitoring and assessment* 2015;**187**:4110.
- 20 Mohd Adnan SN, Yusoff S and Piau CY. Soil chemistry and pollution study of a closed landfill site at Ampar Tenang, Selangor, Malaysia. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 2013;**31**:599-612.
- 21 Fernandez DS, Puchulu ME and Georgieff SM. Identification and assessment of water pollution as a consequence of a leachate plume migration from a municipal landfill site (Tucuman, Argentina). *Environmental geochemistry and health* 2014;**36**:489-503.

- 22 Loizidou M and Kapetanios EG. Effect of leachate from landfills on underground water quality. *The Science of the total environment* 1993;**128**:69-81.
- 23 Singh UK, Kumar M, Chauhan R, Jha PK, Ramanathan A and Subramanian V. Assessment of the impact of landfill on groundwater quality: a case study of the Pirana site in western India. *Environmental monitoring and assessment* 2008;**141**:309-21.
- 24 Rabl A, Spadaro JV and Zoughaib A. Environmental impacts and costs of solid waste: a comparison of landfill and incineration. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 2008;**26**:147-62.
- 25 Assmuth T and Kalevi K. Concentrations and toxicological significance of trace organic compounds in municipal solid waste landfill gas. *Chemosphere* 1992;**24**:1207-16.
- 26 Ancona C, Badaloni C, Mataloni F, Bolignano A, Bucci S, Cesaroni G *et al.* Mortality and morbidity in a population exposed to multiple sources of air pollution: A retrospective cohort study using air dispersion models. *Environmental research* 2015;**137**:467-74.
- 27 Cheng Y, Shoeib M, Ahrens L, Harner T and Ma J. Wastewater treatment plants and landfills emit volatile methyl siloxanes (VMSs) to the atmosphere: investigations using a new passive air sampler. *Environmental pollution* 2011;**159**:2380-6.
- 28 Heaney CD, Wing S, Campbell RL, Caldwell D, Hopkins B, Richardson D *et al.* Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill. *Environmental research* 2011;**111**:847-52.
- 29 Waseem A, Arshad J, Iqbal F, Sajjad A, Mehmood Z and Murtaza G. Pollution status of Pakistan: a retrospective review on heavy metal contamination of water, soil, and vegetables. *BioMed research international* 2014;**2014**:813206.
- 30 Ismail A, Riaz M, Akhtar S, Ismail T, Amir M and Zafar-ul-Hye M. Heavy metals in vegetables and respective soils irrigated by canal, municipal waste and tube well waters. *Food additives & contaminants. Part B, Surveillance* 2014;**7**:213-9.
- 31 Salerno C and Palin LA. [State of health of the population residing in the town of Barengo and in surrounding communities, site of a field used as landfill for MSW: analysis of the general incidence and causes from 2003 to 2009]. *Annali di igiene : medicina preventiva e di comunita* 2011;**23**:399-418.
- 32 Minichilli F, Bartolacci S, Buiatti E, Pallante V, Scala D and Bianchi F. [A study on mortality around six municipal solid waste landfills in Tuscany Region]. *Epidemiologia e prevenzione* 2005;**29**:53-6.
- 33 Fielder HM, Poon-King CM, Palmer SR, Moss N and Coleman G. Assessment of impact on health of residents living near the Nant-y-Gwyddon landfill site: retrospective analysis. *BMJ* 2000;**320**:19-22.
- 34 Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA and Forastiere F. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. *Environmental health : a global access science source* 2009;**8**:60.
- 35 Berry M and Bove F. Birth weight reduction associated with residence near a hazardous waste landfill. *Environmental health perspectives* 1997;**105**:856-61.
- 36 Croen LA, Shaw GM, Sanbonmatsu L, Selvin S and Buffler PA. Maternal residential proximity to hazardous waste sites and risk for selected congenital malformations. *Epidemiology* 1997;**8**:347-54.
- 37 Kharrazi M, Von Behren J, Smith M, Lomas T, Armstrong M, Broadwin R *et al.* A community-based study of adverse pregnancy outcomes near a large hazardous waste landfill in California. *Toxicology and industrial health* 1997;**13**:299-310.
- 38 Kuehn CM, Mueller BA, Checkoway H and Williams M. Risk of malformations associated with residential proximity to hazardous waste sites in Washington State. *Environmental research* 2007;**103**:405-12.
- 39 Goldberg MS, Siemiatyck J, DeWar R, Desy M and Riberdy H. Risks of developing cancer relative to living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec, Canada. *Archives of environmental health* 1999;**54**:291-6.

- 40 Goldberg MS, al-Homsi N, Goulet L and Riberdy H. Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. *Archives of environmental health* 1995;**50**:416-24.
- 41 Pukkala E and Ponka A. Increased incidence of cancer and asthma in houses built on a former dump area. *Environmental health perspectives* 2001;**109**:1121-5.
- 42 Ghosh P, Gupta A and Thakur IS. Combined chemical and toxicological evaluation of leachate from municipal solid waste landfill sites of Delhi, India. *Environmental science and pollution research international* 2015;**22**:9148-58.
- 43 Bakare AA, Patel S, Pandey AK, Bajpayee M and Dhawan A. DNA and oxidative damage induced in somatic organs and tissues of mouse by municipal sludge leachate. *Toxicology and industrial health* 2012;**28**:614-23.
- 44 Farombi EO, Akintunde JK, Nzute N, Adedara IA and Arojojoye O. Municipal landfill leachate induces hepatotoxicity and oxidative stress in rats. *Toxicology and industrial health* 2012;**28**:532-41.
- 45 Kwasniewska J, Nalecz-Jawecki G, Skrzypczak A, Plaza GA and Matejczyk M. An assessment of the genotoxic effects of landfill leachates using bacterial and plant tests. *Ecotoxicology and environmental safety* 2012;**75**:55-62.
- 46 Lis DO, Ulfig K, Wlazlo A and Pastuszka JS. Microbial air quality in offices at municipal landfills. *Journal of occupational and environmental hygiene* 2004;**1**:62-8.
- 47 Kalwasinska A and Burkowska A. Municipal landfill sites as sources of microorganisms potentially pathogenic to humans. *Environmental science. Processes & impacts* 2013;**15**:1078-86.
- 48 Paraskaki I and Lazaridis M. Quantification of landfill emissions to air: a case study of the Ano Liosia landfill site in the greater Athens area. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 2005;**23**:199-208.
- 49 Yue D, Han B, Sun Y and Yang T. Sulfide emissions from different areas of a municipal solid waste landfill in China. *Waste management* 2013.
- 50 Stanisavljevic N, Ubavin D, Batinic B, Fellner J and Vujic G. Methane emissions from landfills in Serbia and potential mitigation strategies: a case study. *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 2012;**30**:1095-103.
- 51 Goldsmith CD, Jr., Chanton J, Abichou T, Swan N, Green R and Haters G. Methane emissions from 20 landfills across the United States using vertical radial plume mapping. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2012;**62**:183-97.
- 52 Scheutz C, Bogner J, Chanton JP, Blake D, Morcet M, Aran C *et al.* Atmospheric emissions and attenuation of non-methane organic compounds in cover soils at a French landfill. *Waste management* 2008;**28**:1892-908.
- 53 Chalvatzaki E and Lazaridis M. Assessment of air pollutant emissions from the Akrotiri landfill site (Chania, Greece). *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 2010;**28**:778-88.
- 54 Sanchez-Nazario EE, Mansilla-Rivera I, Derieux-Cortes JC, Perez CM and Rodriguez-Sierra CJ. The association of lead-contaminated house dust and blood lead levels of children living on a former landfill in Puerto Rico. *Puerto Rico health sciences journal* 2003;**22**:153-9.
- 55 Huttunen K, Kaarakainen P, Meklin T, Nevalainen A and Hirvonen MR. Immunotoxicological properties of airborne particles at landfill, urban and rural sites and their relation to microbial concentrations. *Journal of environmental monitoring : JEM* 2010;**12**:1368-74.
- 56 Chalvatzaki E, Kopanakis I, Kontaksakis M, Glytsos T, Kalogerakis N and Lazaridis M. Measurements of particulate matter concentrations at a landfill site (Crete, Greece). *Waste management* 2010;**30**:2058-64.

- 57 Koshy L, Jones T and BeruBe K. Characterization and bioreactivity of respirable airborne particles from a municipal landfill. *Biomarkers : biochemical indicators of exposure, response, and susceptibility to chemicals* 2009;**14 Suppl 1**:49-53.
- 58 Bogner J, Pipatti R, Hashimoto S, Diaz C, Mareckova K, Diaz L *et al.* Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 2008;**26**:11-32.
- 59 Kriebel D. Incinerators, birth defects and the legacy of Thomas Bayes. *Occup. Environ. Med.* 2010;**67**:433-4.
- 60 Valerio F. [Review on environmental impact of solid wastes produced by municipal urban waste incinerators]. *Epidemiologia e prevenzione* 2008;**32**:244-53.
- 61 (AIOM) AIOM. *Progetto Ambiente e Tumori*: AIOM: 2011.
- 62 Ibald-Mulli A, Wichmann HE, Kreyling W and Peters A. Epidemiological evidence on health effects of ultrafine particles. *J. Aerosol Med.* 2002;**15**:189-201.
- 63 Donaldson K, Brown D, Clouter A, Duffin R, MacNee W, Renwick L *et al.* The pulmonary toxicology of ultrafine particles. *J. Aerosol Med.* 2002;**15**:213-20.
- 64 Donaldson K and Seaton A. The Janus faces of nanoparticles. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2007;**7**:4607-11.
- 65 Donaldson K, Tran L, Jimenez LA, Duffin R, Newby DE, Mills N *et al.* Combustion-derived nanoparticles: a review of their toxicology following inhalation exposure. *Part Fibre. Toxicol.* 2005;**2**:10.
- 66 Duffin R, Mills NL and Donaldson K. Nanoparticles-a thoracic toxicology perspective. *Yonsei Med. J.* 2007;**48**:561-72.
- 67 Seaton A, MacNee W, Donaldson K and Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* 1995;**345**:176-8.
- 68 Gentilini P and Gennaro V. Inceneritori. In: AIOM, editor. *Ambiente e Tumori*. Milano; 2011pp. 150-9.
- 69 Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci CA and Forastiere F. Mortality and morbidity among people living close to incinerators: a cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. *Environ. Health* 2011;**10**:22.
- 70 Kim YM, Kim JW and Lee HJ. Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: a source-specific approach for environmental burden of disease. *Sci. Total Environ.* 2011;**409**:2019-28.
- 71 Golini MN, Ancona C, Badaloni C, Bolignano A, Bucci S, Sozzi R *et al.* [Morbidity in a population living close to urban waste incinerator plants in Lazio Region (Central Italy): a retrospective cohort study using a before-after design]. *Epidemiologia e prevenzione* 2014;**38**:323-34.
- 72 Staessen JA, Nawrot T, Hond ED, Thijs L, Fagard R, Hoppenbrouwers K *et al.* Renal function, cytogenetic measurements, and sexual development in adolescents in relation to environmental pollutants: a feasibility study of biomarkers. *Lancet* 2001;**357**:1660-9.
- 73 Miyake Y, Yura A, Misaki H, Ikeda Y, Usui T, Iki M *et al.* Relationship between distance of schools from the nearest municipal waste incineration plant and child health in Japan. *Eur. J. Epidemiol.* 2005;**20**:1023-9.
- 74 Cordier S, Chevrier C, Robert-Gnansia E, Lorente C, Brula P and Hours M. Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators. *Occup. Environ. Med.* 2004;**61**:8-15.
- 75 Cordier S, Lehebel A, Amar E, Anzivino-Viricel L, Hours M, Monfort C *et al.* Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects. *Occup. Environ. Med.* 2010;**67**:493-9.
- 76 Ding T, McConaha M, Boyd KL, Osteen KG and Bruner-Tran KL. Developmental dioxin exposure of either parent is associated with an increased risk of preterm birth in adult mice. *Reproductive toxicology* 2011;**31**:351-8.

- 77 Candela S, Bonvicini L, Ranzi A, Baldacchini F, Broccoli S, Cordioli M *et al.* Exposure to emissions from municipal solid waste incinerators and miscarriages: a multisite study of the MONITER Project. *Environment international* 2015;**78**:51-60.
- 78 Salerno C, Marciani P, Barasolo E, Fossale PG, Panella M and Palin LA. Exploration study on mortality trends in the territory surrounding an incineration plant of urban solid waste in the municipality of Vercelli (Piedmont, Italy) 1988-2009. *Annali di igiene : medicina preventiva e di comunita* 2015;**27**:633-45.
- 79 Agency USEP. EPA's Reanalysis of Key Issues Related to Dioxin Toxicity and Response to NAS Comments, Volume 1. 2012.
- 80 Garcia-Perez J, Fernandez-Navarro P, Castello A, Lopez-Cima MF, Ramis R, Boldo E *et al.* Cancer mortality in towns in the vicinity of incinerators and installations for the recovery or disposal of hazardous waste. *Environment international* 2013;**51**:31-44.
- 81 Lung FW, Chiang TL, Lin SJ and Shu BC. Incinerator pollution and child development in the taiwan birth cohort study. *International journal of environmental research and public health* 2013;**10**:2241-57.
- 82 Zubero MB, Aurrekoetxea JJ, Ibarluzea JM, Rivera J, Parera J, Abad E *et al.* Evolution of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in the general adult population living close to a MSW incinerator. *Sci.Total Environ.* 2011;**410-411**:241-7.
- 83 World Health Organization G. Population health and waste management: scientific data and policy options. Report of Rome workshop, 29-30 March 2007. Copenhagen, Denmark: WHO; 2007.
- 84 Ferreira C, Ribeiro A and Ottosen L. Possible applications for municipal solid waste fly ash. *J.Hazard.Mater.* 2003;**96**:201-16.
- 85 Klein R, Baumann T, Kahapka E and Niessner R. Temperature development in a modern municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash landfill with regard to sustainable waste management. *J.Hazard.Mater.* 2001;**83**:265-80.
- 86 van der Sloot HA, Kosson DS and Hjelmar. Characteristics, treatment and utilization of residues from municipal waste incineration. *Waste Manag.* 2001;**21**:753-65.
- 87 Chen BY and Lin KL. Biototoxicity assessment on reusability of municipal solid waste incinerator (MSWI) ash. *J.Hazard.Mater.* 2006;**136**:741-6.
- 88 Feng S, Wang X, Wei G, Peng P, Yang Y and Cao Z. Leachates of municipal solid waste incineration bottom ash from Macao: heavy metal concentrations and genotoxicity. *Chemosphere* 2007;**67**:1133-7.
- 89 Gau S and Jeng W. Influence of ligands on metals leachability from landfilling bottom ashes. *J.Hazard.Mater.* 1998:59-71.
- 90 Giugliano M, Cernuschi S, Grosso M, Miglio R and Aloigi E. PCDD/F mass balance in the flue gas cleaning units of a MSW incineration plant. *Chemosphere* 2002;**46**:1321-8.
- 91 Huang WJ, Tang HC, Lin KL and Liao MH. An emerging pollutant contributing to the cytotoxicity of MSWI ash wastes: strontium. *J.Hazard.Mater.* 2010;**173**:597-604.
- 92 Ibanez R, Andres A, Viguri JR, Ortiz I and Irabien JA. Characterisation and management of incinerator wastes. *J.Hazard.Mater.* 2000;**79**:215-27.
- 93 Johansson I and van BB. Polycyclic aromatic hydrocarbons in weathered bottom ash from incineration of municipal solid waste. *Chemosphere* 2003;**53**:123-8.
- 94 Lin YC, Yen JH, Lateef SK, Hong PK and Lin CF. Characteristics of residual organics in municipal solid waste incinerator bottom ash. *J.Hazard.Mater.* 2010;**182**:337-45.
- 95 Shim YS, Rhee SW and Lee WK. Comparison of leaching characteristics of heavy metals from bottom and fly ashes in Korea and Japan. *Waste Manag.* 2005;**25**:473-80.
- 96 Thacker N, Kashyap S, Sheikh J, Trivedi J, Thokchom B and Agnihotri A. Dioxin releases in waste incinerations and thermal processes. *Bull.Environ.Contam Toxicol.* 2010;**85**:624-7.
- 97 Aberg A, Kumpiene J and Ecke H. Evaluation and prediction of emissions from a road built with bottom ash from municipal solid waste incineration (MSWI). *Sci.Total Environ.* 2006;**355**:1-12.

- 98 Maschio S, Tonello G, Piani L and Furlani E. Fly and bottom ashes from biomass combustion as cement replacing components in mortars production: Rheological behaviour of the pastes and materials compression strength. *Chemosphere* 2011.
- 99 Gori M, Pifferi L and Sirini P. Leaching behaviour of bottom ash from RDF high-temperature gasification plants. *Waste Manag.* 2011;**31**:1514-21.
- 100 Bertolini L, Carsana M, Cassago D, Curzio QA and Collepari M. MSWI ashes as mineral additions in concrete. *Cem. Concrete Res.* 2004;**34**:1899-906.
- 101 Lapa N, Barbosa R, Morais J, Mendes B, Mehu J and Santos Oliveira JF. Ecotoxicological assessment of leachates from MSWI bottom ashes. *Waste Manag.* 2002;**22**:583-93.
- 102 Ioannidis TA and Zouboulis AI. Detoxification of a highly toxic lead-loaded industrial solid waste by stabilization using apatites. *J.Hazard.Mater.* 2003;**97**:173-91.
- 103 Aubert JE, Husson B and Sarramone N. Utilization of municipal solid waste incineration (MSWI) fly ash in blended cement Part 2. Mechanical strength of mortars and environmental impact. *J.Hazard.Mater.* 2007;**146**:12-9.
- 104 Iwahana Y, Ohbuchi A, Koike Y, Kitano M and Nakamura T. Radioactive nuclides in the incinerator ashes of municipal solid wastes before and after the accident at the Fukushima nuclear power plant. *Analytical sciences : the international journal of the Japan Society for Analytical Chemistry* 2013;**29**:61-6.
- 105 Chou JD, Wey MY, Liang HH and Chang SH. Biototoxicity evaluation of fly ash and bottom ash from different municipal solid waste incinerators. *J.Hazard.Mater.* 2009;**168**:197-202.
- 106 Akinbola TI, Adeyemi A, Morenikeji OA, Bakare AA and Alimba CG. Hospital waste incinerator bottom ash leachate induced cyto-genotoxicity in *Allium cepa* and reproductive toxicity in mice. *Toxicol.Ind.Health* 2011;**27**:505-14.
- 107 BÇkaert C, Rast C, Ferrier V, Bispo A, Jourdain MJ and Vasseur P. Use of in vitro (Ames and Mutatox tests) and in vivo (Amphibian Micronucleus test) assays to assess the genotoxicity of leachates from a contaminated soil. *Organ.Geochem.* 1999;**30**:953-62.
- 108 Radetski CM, Ferrari B, Cotellet S, Masfaraud JF and Ferard JF. Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash leachates. *Sci.Total Environ.* 2004;**333**:209-16.
- 109 Hengstler JG, Bolm-Audorff U, Faldum A, Janssen K, Reifenrath M, Gotte W *et al.* Occupational exposure to heavy metals: DNA damage induction and DNA repair inhibition prove co-exposures to cadmium, cobalt and lead as more dangerous than hitherto expected. *Carcinogenesis* 2003;**24**:63-73.
- 110 Chen HL, Chen IJ and Chia TP. Occupational exposure and DNA strand breakage of workers in bottom ash recovery and fly ash treatment plants. *J.Hazard.Mater.* 2010;**174**:23-7.
- 111 Liu HH, Shih TS, Chen IJ and Chen HL. Lipid peroxidation and oxidative status compared in workers at a bottom ash recovery plant and fly ash treatment plants. *J.Occup.Health* 2008;**50**:492-7.
- 112 Shih HC and Ma HW. Life cycle risk assessment of bottom ash reuse. *J.Hazard.Mater.* 2011;**190**:308-16.
- 113 Cho A, Jang HS, Roh YS, Park HJ, Talha AF, So SY *et al.* Detrimental effects of cement mortar and fly ash mortar on asthma progression. *Environmental toxicology and pharmacology* 2013;**36**:1087-96.
- 114 Hu SW, Chen CC, Kuo CY, Lin WH and Lin P. Increased cytochrome P4501B1 gene expression in peripheral leukocytes of municipal waste incinerator workers. *Toxicology letters* 2006;**160**:112-20.
- 115 Hansen E. Livscyklusvurdering af deponeret affald. (Life Cycle Assessment of Landfilled Waste, in Danish). Copenhagen, Denmark: Miljøministeriet, Miljøstyrelsen; 2004.