

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Facoltà di Scienze Statistiche

Laurea specialistica in
Scienze Statistiche Demografiche e Sociali

TESI DI LAUREA

*Rifiuti ed effetti avversi sulla salute: evidenze
epidemiologiche e percezione del rischio*

RELATORE: Prof. Pierantonio Bellini

Laureanda: Gloria Zambon

Anno accademico 2011 – 2012

INDICE

0. Obiettivi e articolazione della tesi.....	iii
1. I rifiuti: dati di produzione (1-25)	
1.1 Definizioni e richiami normativi internazionali.....	1
1.2 Alcune statistiche sulla produzione di rifiuti.....	6
1.2.1 I rifiuti urbani.....	7
1.2.2 I rifiuti speciali.....	14
1.2.3 I rifiuti pericolosi.....	17
1.3 Considerazioni di sintesi sulla produzione dei rifiuti.....	24
2. Il trattamento dei rifiuti (26-48)	
2.1 Premessa.....	26
2.2 Le linee guida internazionali e la “gerarchia dei rifiuti”	27
2.3 Le principali scelte strategiche in tema di rifiuti.....	29
2.4 La raccolta e il trasporto.....	38
2.5 Il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti solidi e le relative ripercussioni sull'ambiente.....	41
2.6 Evoluzione nel tempo del tipo di trattamenti.....	45
3. Valutazione epidemiologica della nocività per la salute umana del trattamento dei rifiuti (49-92)	
3.1 Strumenti e metodi delle ricerche epidemiologiche.....	49
3.2 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati dalle discariche.....	71
3.3 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati dagli inceneritori.....	76
3.4 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati dalla raccolta e da altri tipi di trattamento.....	80

3.5	Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati da trattamenti illegali.....	83
3.6	Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati da impianti obsoleti.....	86
3.7	Aspetti critici delle ricerche epidemiologiche nell'ambito del trattamento dei rifiuti.....	89
4.	La percezione e la comunicazione dei rischio sanitario associato ai rifiuti (93-104)	
4.1	La percezione del rischio.....	93
4.2	I cittadini europei e la gestione dei rifiuti.....	98
4.3	La comunicazione del rischio.....	101
5.	Considerazioni finali (105-111)	
5.1	La questione dei rifiuti.....	105
5.2	Le scelte possibili sulle modalità di gestione.....	105
5.3	Le indagini sulla salute della popolazione.....	106
5.4	Percezione e comunicazione dei rischi.....	111
	Appendice 1 sintesi delle modalità di trattamento dei rifiuti più usate.....	112
	Appendice 2 natura ed effetti noti o presunti sull'uomo di alcune sostanze inquinanti.....	122
	Bibliografia	125

0. Obiettivi e articolazione della tesi

Il trattamento dei rifiuti negli ultimi anni sta diventando sempre più spesso un argomento centrale nel dibattito internazionale e nazionale. Anche nel nostro Paese vi sono aree regionali, come quella della Campania, afflitte da annosi problemi di gestione; altre nelle quali si sono adottate soluzioni organizzative funzionanti almeno sul piano operativo. Ovunque, a tutti i livelli territoriali (Regioni, Province e Comuni) i tentativi più o meno apprezzabili di trovare soluzioni o di introdurre novità si scontrano spesso con la vivace opposizione dei residenti.

Nonostante le conoscenze scientifiche disponibili e la quantità di informazione prodotta - in alcuni periodi anche quotidianamente - dai mezzi di informazione e dalle parti in causa, rimane comunque difficile delineare un quadro statistico informativo in grado di far comprendere la effettiva realtà sottostante in termini di scelte gestionali e di conseguenze sulla salute delle persone.

Gli interrogativi cui si è cercato di fornire qualche elemento di risposta nel presente lavoro di tesi sono:

- Quanto è grande e di cosa è fatta la massa dei rifiuti che devono essere gestiti?
- Quali sono, allo stato dell'arte, le opzioni di gestione realisticamente disponibili e le rispettive controindicazioni ambientali?
- Quanto è nocivo ciascun tipo di trattamento?
- Cosa pensa il cittadino dei vari tipi di trattamento e quali sono i timori e le convinzioni diffuse?
- In che modo la comunicazione (o la mancata comunicazione) dei rischi sanitari influenza reazioni e aspettative?

Al primo quesito si intende di dare una risposta attingendo alle basi di dati disponibili attualmente, principalmente l'Environmental Data Center on Waste a livello europeo, l'United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA) per gli Stati Uniti, l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) per una visione complessiva a livello mondiale.

Dove possibile si vogliono descrivere anche le differenze di composizione del rifiuto in base alla struttura sociale e produttiva del territorio sottostante.

Nel secondo capitolo si tenterà di raccogliere informazioni sull'attuale stato dell'arte dei trattamenti, cercando di individuare quali siano i possibili effetti ambientali di ciascuna opzione.

Per le informazioni sulle tecnologie e la struttura dei sistemi di raccolta ci si avvarrà ancora una volta della documentazione disponibile dell'ONU, oltre che dell'U.S. EPA e dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Per completezza si considereranno anche le possibili implicazioni sanitarie dei processi a monte dello smaltimento vero e proprio, che nascono dalla pianificazione di un sistema integrato di gestione, cercando anche di comprendere quali sembrano essere i fattori che spingono un paese a optare per l'uno o l'altro sistema e quali sono le conseguenze di ciascuna scelta.

Il terzo capitolo cerca di cogliere quanto la ricerca epidemiologica ha prodotto fino ad oggi in termini di conoscenze statistico-quantitative utili per comprendere gli effetti sulla salute umana delle tecniche di smaltimento più utilizzate. Prima di esaminare i risultati riportati nella letteratura specialistica, si cercherà di inquadrare gli aspetti metodologici peculiari delle indagini epidemiologiche in questo settore, descrivendo anche gli elementi che, a tutt'oggi, rendono problematico identificare con chiarezza evidenze di nocività nonché

gli sforzi fatti per dotarsi di strumenti di analisi sempre più sofisticati. Si intende utilizzare a questo scopo le più note rassegne epidemiologiche disponibili prodotte nell'ultimo decennio, analizzando alcuni degli studi ritenuti più indicativi.

Nel quarto capitolo si cercherà di fare luce sui principali motivi di sfiducia manifestati dai cittadini quando si decide di installare un impianto nella loro zona di residenza: quali le motivazioni inesprese, quali le rivendicazioni palesi, quali le convinzioni di partenza su come dovrebbe essere gestito il problema. I sondaggi di opinione riguardo ai rifiuti non sono moltissimi e ancora meno sono quelli relativi ad un singolo impianto, tuttavia i dati disponibili provenienti da fonti diverse come le indagini a livello europeo, quelle di singole nazioni o regioni e gli studi di caso riescono a produrre un quadro sorprendentemente coerente. Si farà cenno agli studi psicometrici, per quanto applicabile all'argomento, per individuare eventuali motivazioni non esplicite.

Infine si vuole delineare quanto e come le informazioni di tipo statistico vengano utilizzate nella comunicazione e in che misura possano prodursi delle distorsioni.

CAPITOLO 1

I rifiuti: dati di produzione

1.1 Definizioni e richiami normativi internazionali

Il problema della qualità dei dati

Quello dei rifiuti è un argomento quasi sempre relegato ai margini delle economie moderne.

Il dibattito e gli studi sull'argomento guadagnano una certa visibilità pubblica - seppur limitata nel tempo – solo in occasione delle cosiddette “emergenze”, che ad intervalli regolari si manifestano in diversi paesi del mondo. Una delle conseguenze è la debolezza degli approcci organici e sistematici allo studio della gestione dei rifiuti: ciascun paese produce le proprie normative e le proprie banche dati, in molti casi seguendo criteri del tutto peculiari e impossibili da confrontare con quanto prodotto in altre realtà regionali o sovranazionali.

C'è da dire che sono stati fatti notevoli sforzi a vari livelli di aggregazione territoriale (Unione Europea [UE], Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico [OCSE], ONU) per raggiungere una certa omogeneità nelle definizioni dei vari tipi di rifiuto e nella conseguente sistematizzazione della raccolta di informazioni, tuttavia nemmeno nelle realtà più avanzate è stata raggiunta una completa confrontabilità. Le serie storiche prodotte negli anni dagli organismi internazionali sono spesso frammentarie ed inaffidabili persino per alcuni dei paesi più avanzati, mentre mancano quasi del tutto per l'Africa e buona parte dell'Asia.

Questa disomogeneità si riflette anche sul piano normativo. Perfino

nelle realtà territoriali più solide, come gli Stati Uniti d'America, esiste una notevole variabilità a livello locale.

Questa situazione ovviamente compromette la validità delle osservazioni che si possono ricavare dai dati aggregati.

Alcune definizioni

“Rifiuto” è un termine apparentemente poco controverso, ma la cui genericità richiede un notevole sforzo definitorio da parte del legislatore e dello studioso per eliminarne le molte possibili ambiguità. In questo campo, infatti, è possibile che una definizione non chiara a livello normativo impedisca o ritardi azioni legali contro le attività che mettono a rischio la salute pubblica¹. Un altro effetto negativo di una definizione carente o disomogenea è la difficoltà di monitorare efficacemente i flussi di materiali di scarto, rendendo poco affidabili i confronti internazionali e rallentando l'elaborazione di politiche adatte ad arginare le emergenze.

In questa sede si farà riferimento prevalentemente alla definizione tratta dalla normativa europea più recente in materia, la Direttiva CE n. 28 del 2008, poiché su di essa si basano le statistiche dell'Unione Europea in materia di rifiuti e loro trattamento. Tali statistiche costituiscono la fonte principale dei dati riportati nel presente capitolo anche se, ove possibile, l'ambito di studio è stato allargato a livello sovracontinentale.

All'art.3, la citata direttiva precisa che: *Rifiuto* è “qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi”. La legislazione europea, pertanto, regola sia la materia dei

¹ È famoso il caso dell'Isola di Tashima, in Giappone, in cui un'attività di smaltimento di rifiuti tossici ha potuto continuare indisturbata per oltre 10 anni (dalla fine degli anni 70 al 1990) nonostante le chiare evidenze di danni alla salute dei residenti. La normativa giapponese degli anni '70 infatti definiva come “rifiuti” solo i beni privi di valore monetario. L'azienda responsabile dello smaltimento invece “acquistava” i materiali dai suoi clienti, aggirando così gli obblighi di legge sui rifiuti tossici. Solo nel 1990 la legge è stata modificata e tale attività interrotta.

rifiuti solidi (“oggetto”) che dei rifiuti di natura non specificata a priori (“sostanza”). Inoltre, per essere qualificato come rifiuto, non è necessario che un oggetto o una sostanza siano stati allontanati dal luogo di produzione/raccolta, ma è sufficiente che di essi il detentore abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi.

In base alla normativa vigente, i rifiuti vengono suddivisi in base alla natura in **pericolosi** e **non pericolosi** e in base all'origine in **rifiuti urbani** e **rifiuti speciali**.

I rifiuti pericolosi

Tra i rifiuti, una categoria particolarmente importante per evidenti motivi è quella del rifiuto pericoloso. Lo stesso articolo 3 della Direttiva 28 classifica (a seconda dell'origine e della nocività per l'uomo e per l'ambiente) i rifiuti in diverse categorie. In particolare pericoloso è un rifiuto che presenta una o più caratteristiche pericolose tra quelle elencate di seguito.

Si definiscono «**Nocive**» *le sostanze e i preparati che, per inalazione, ingestione o penetrazione cutanea, possono comportare rischi per la salute di gravità limitata.*

«**Tossiche/molto tossiche**» *quelle che possono comportare rischi per la salute gravi, acuti o cronici e anche la morte.*

«**Cancerogene**» *quelle che possono produrre il cancro o aumentarne l'incidenza.*

Va da sé che “non pericolosi” sono i rifiuti che non presentano nessuna delle caratteristiche elencate.

Oltre oceano, il principale strumento normativo per la gestione dei rifiuti pericolosi negli Stati Uniti è il Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), che assegna all'Environmental Protection Agency (EPA) l'autorità del controllo dei rifiuti tossici in tutte le fasi che vanno dalla produzione allo smaltimento. In base al regolamento

USA, viene classificato come pericoloso un rifiuto solido singolo o in combinazione con altri che “per quantità o concentrazione o per caratteristiche fisiche, chimiche o infettive può: A) causare o contribuire significativamente a un incremento di mortalità o di malattie gravi e irreversibili o di malattie reversibili e invalidanti; B) costituire un effettivo o potenziale pericolo per la salute dell'uomo o dell'ambiente quando impropriamente trattato, immagazzinato o trasportato” (rif.: www.epa.gov).

Va sottolineato come nel testo dell'RCRA il rischio rilevabile (presumibilmente con strumenti statistici) da un aumento di mortalità/morbilità che possa essere significativamente associato all'agente inquinante venga distinto dall'“effettivo o potenziale pericolo”.

Al di fuori della normativa europea e USA, i rifiuti pericolosi, secondo la definizione che ne dà l'ONU, sono “rifiuti che a causa delle loro proprietà tossiche, infettive, radioattive o infiammabili, rappresentano un pericolo reale o potenziale per la salute degli esseri umani, di altri organismi viventi o per l'ambiente” (rif.: *United Nations Statistics Division – Environment Statistics*)

I rifiuti urbani

Un altro sottoinsieme particolarmente importante è costituito dai **rifiuti urbani (RU)**². Si tratta di rifiuti raccolti e trattati a livello comunale da aziende pubbliche o private, la cui composizione varia a seconda delle abitudini di vita e delle stagioni, ma che in linea di massima sono costituiti da: resti vegetali dalla manutenzione dei giardini, spazzamento delle strade urbane, residui organici di cucina,

² Poiché la normativa europea, in accordo con le indicazioni dell'ONU, esclude il trattamento dei fanghi e liquami urbani dalla definizione, spesso in Italia gli RU vengono anche denominati “Rifiuti Solidi Urbani” (RSU). Nelle statistiche diffuse dall'Eurostat e dall'ONU si privilegia la denominazione “Municipal Waste” (MS), mentre le statistiche USA utilizzano esclusivamente la denominazione “Municipal Solid Waste” (MSW). Nel seguito del testo si riporterà la definizione utilizzata dall'organizzazione che ha prodotto le statistiche.

imballaggi e contenitori per uso domestico, elettrodomestici, abiti, rifiuti ingombranti, rifiuti da uffici e attività commerciali. Dalla definizione sono quasi sempre esclusi i fanghi di depurazione del sistema fognario urbano e i materiali di scarto delle attività edilizie. I rifiuti urbani sono generati non solo dalle famiglie, ma anche dagli uffici, dagli esercizi commerciali, dalla ristorazione e, in generale, da tutte le attività urbane che producono rifiuti assimilabili a quelli domestici. Pur non rappresentando la componente più importante, né la più pericolosa, dell'intero volume di rifiuti nelle nazioni industrializzate, gli RU vengono prodotti e smaltiti nelle aree urbanizzate, pertanto una gestione inefficiente genera in poco tempo problemi di accumulo spesso non privi di conseguenze sulla salute della popolazione.

I rifiuti speciali

Si tratta di rifiuti derivanti dalle attività agricole, industriali-artigianali, commerciali, sanitarie, edili. Rientrano in questa categoria le apparecchiature e i veicoli obsoleti e i rifiuti derivanti dalle attività di smaltimento. I confini tra rifiuti urbani e speciali non sono sempre netti: molte attività producono scarti assimilabili agli RU (es. i rifiuti prodotti degli uffici amministrativi). Inoltre, non sempre e non ovunque i due flussi vengono tenuti rigorosamente distinti.

1.2 Alcune statistiche sulla produzione di rifiuti

La raccolta di informazioni sulla produzione dei rifiuti è parte integrante dell'attività di controllo e pianificazione dei governi, tant'è vero che l'Unione Europea ha emanato un apposito regolamento (CE n. 2150/2002) che obbliga gli stati membri a dotarsi di sistemi di raccolta dati e statistiche affidabili e confrontabili. Tale impegno viene ribadito anche dalla direttiva 28/2008 che ha tra gli altri obiettivi quello di garantire la completa tracciabilità dei rifiuti, dall'origine alla destinazione finale. L'Eurostat, tramite l'Environmental Data Centre on Waste, si incarica della raccolta e diffusione delle informazioni trasmesse dagli stati membri. Nel nostro Paese la messa a punto del sistema informativo dei rifiuti è competenza dell'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) che è attualmente impegnato nella creazione del Catasto Telematico dei Rifiuti.

Negli Stati Uniti, tale compito è invece affidato all'EPA, che stima la produzione di rifiuti a livello nazionale basandosi prevalentemente sui dati di produzione/importazione e sul ciclo di vita dei prodotti (*materials flow methodology*). La stima è un processo obbligato negli USA, a causa della frammentarietà delle informazioni raccolte a livello periferico. Tuttavia tale metodologia, sviluppata alla fine degli anni '60, viene costantemente migliorata e integrata e la sua affidabilità viene messa alla prova con indagini di tipo campionario e fonti di dati pubbliche e private.

Altri organi importanti di monitoraggio e raccolta di dati sono l'OCSE e l'ONU. Quest'ultima, attraverso la United Nations Statistical Division e nell'ambito dell'United Nations Environment Programme (UNEP), somministra con cadenza biennale questionari su ambiente ed energia anche ai paesi in via di sviluppo.

L'affidabilità dei dati, però, rimane ancora lontana dall'ottimale a causa delle difficoltà definitorie menzionate nel paragrafo precedente e della effettiva disponibilità delle informazioni, spesso inesistenti o di scarsa qualità per vaste aree.

1.2.1 I rifiuti urbani

Nei 10 paesi OCSE per cui sono disponibili dati completi (Belgio, Giappone, Finlandia, Islanda, Irlanda, Italia, Olanda, Norvegia, Regno Unito, Repubblica Ceca) gli RU costituiscono all'incirca il 13% della produzione totale di rifiuti (fig. 1).

Pur non rappresentando la quota più importante, gli RU

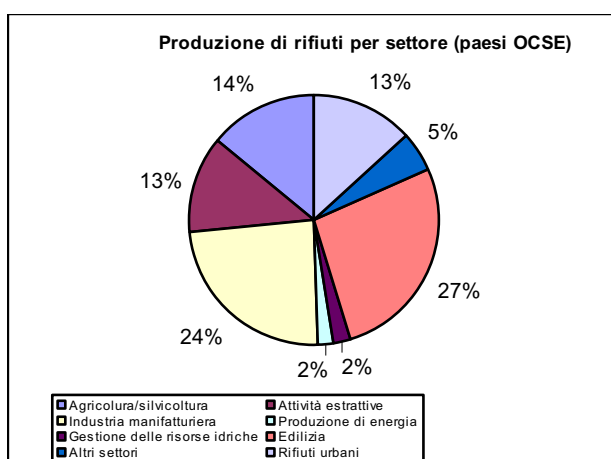


Figura 1 – Composizione dei rifiuti prodotti in 10 paesi OCSE per settore di attività (elaborazione da dati OCSE)

più importante, gli RU rappresentano il flusso di rifiuti più accuratamente monitorato nei paesi sviluppati, pertanto per essi disponiamo di serie storiche lunghe e sufficientemente omogenee da consentire confronti. Non altrettanto

si può dire per i rifiuti industriali, spesso soggetti a normative separate e per i quali le statistiche non sono sempre disponibili o risultano frammentarie.

Occorre comunque considerare che anche gli RU presentano difficoltà di misura: ad esempio, nelle zone d'Italia non servite da una gestione municipalizzata della raccolta, i dati di produzione vanno stimati. Inoltre nelle statistiche non sono contemplati i rifiuti smaltiti illegalmente o informalmente. Va anche aggiunto che gli stessi enti che dovrebbero raccogliere e trasmettere le informazioni alle

autorità competenti si rivelano talvolta inaccurati o negligenti, per cui anche per alcune aree dei paesi sviluppati è necessario ricorrere alle stime.

La produzione dei rifiuti urbani negli ultimi trent'anni è cresciuta in tutto il mondo, "trainata" dall'andamento del PIL. Quasi tutti i paesi industrializzati hanno dovuto pertanto sviluppare nel tempo politiche sempre più complesse di gestione e contenimento del flusso di materiali di scarto. All'efficacia di tale sforzo va probabilmente attribuita l'evidente stabilizzazione della produzione di rifiuti solidi urbani pro capite che si registra nei paesi dell'OCSE dal 2000 al 2007 (tab. 1 e fig. 2). Anche nel complesso dei paesi dell'Unione Europea, il trend dell'ultimo periodo è sostanzialmente stabile. L'Italia mostra invece un aumento della produzione di rifiuti pro-capite sostanzialmente fedele all'andamento del PIL, anche se nell'ultimo periodo sembra discostarsene, segno probabilmente che le politiche di contenimento nel nostro Paese sono entrate in azione tardivamente.

Andamento in termini assoluti del PIL pro capite e della produzione di rifiuti urbani nei paesi OCSE

Anni 1980-2005

	ANNO					
	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Produzione pro capite di rifiuti solidi urbani in Kg/persona	430	440	510	540	580	580
PIL pro capite in US\$ a prezzi correnti	8.714,86 s	12.257,12 s	16.402,77 s	19.634,80 s	24.344,14 s	29.509,27

s=stima

Variazione percentuale del PIL pro capite e della produzione di rifiuti urbani nei paesi OCSE

Anni 1980-2005 (1980=100)

	ANNO					
	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Produzione pro capite di rifiuti solidi urbani	100	102,3	118,6	125,6	134,9	134,9
PIL pro capite	100,0 s	140,65 s	188,22 s	225,30 s	279,34 s	338,61

s=stima

Andamento in termini assoluti del PIL pro capite e della produzione di rifiuti urbani nei 27 paesi UE

Anni 1999-2007

	ANNO								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Produzione pro capite di rifiuti solidi urbani in Kg/persona	511	524	522	528	516	514	517	523	522
PIL pro capite in unità standard di potere d'acquisto	17.800,00	19.100,00	19.800,00	20.500,00	20.700,00	21.600,00	22.500,00	23.600,00	24.900,00

Variazione percentuale del PIL pro capite e della produzione di rifiuti urbani nei 27 paesi UE

Anni 1999-2007 (1999=100)

	ANNO								
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Produzione pro capite di rifiuti solidi urbani in Kg/persona	100	102,54	102,15	103,33	100,98	100,59	101,17	102,35	102,15
PIL pro capite in unità standard di potere d'acquisto	100	107,30	111,24	115,17	116,29	121,35	126,40	132,58	139,89

Tabella 1 – Andamento del PIL pro capite e incremento della produzione di rifiuti urbani pro capite nei paesi OCSE e UE – anni 1980-2007 (elaborazioni da dati OCSE e EUROSTAT)

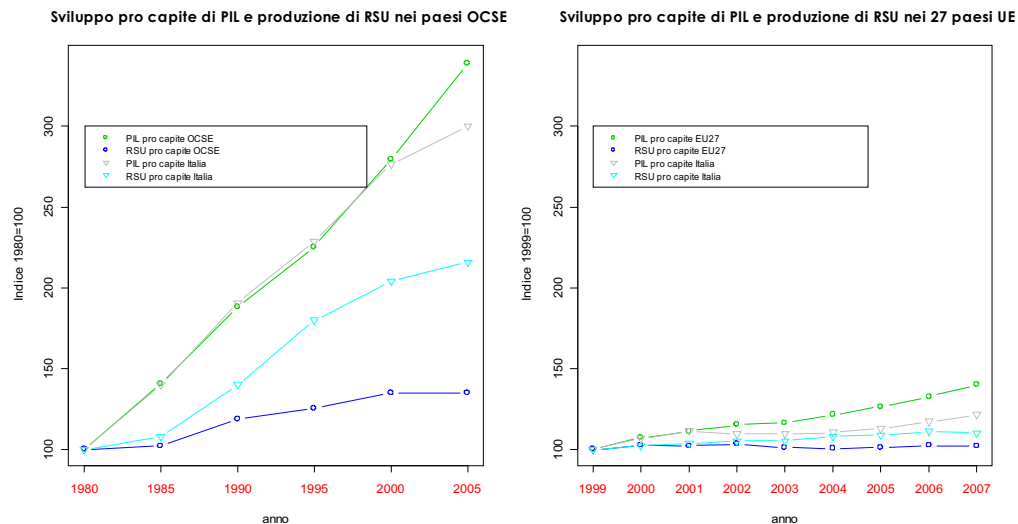


Figura 2 – Sviluppo del PIL pro capite e confronto con l'incremento della produzione di rifiuti solidi urbani (elaborazioni da dati OCSE e EUROSTAT)

Per quanto riguarda la “geografia” degli RU, i paesi del mondo con la maggior produzione pro-capite sono le economie industriali più consolidate (figura 3).

Anche tra le nazioni europee è evidente la distinzione tra i paesi dell'area orientale e quelli occidentali (figura 4). In generale ad un più elevato livello di ricchezza corrisponde anche un incremento della produzione individuale di rifiuti, con rimarchevoli eccezioni come Malta e Cipro (in senso negativo) e la Svezia (in senso positivo). L'Italia si posiziona circa a metà sia della classifica dei

Paese	RU pro capite 2007	PIL pro capite 2007	Ordine RU	Ordine PIL
Norway	824	44.400	1	2
Denmark	801	29.900	2	8
Ireland	786	37.400	3	3
Cyprus	754	22.600	4	18
Switzerland	724	34.200	5	4
Luxembourg	694	66.600	6	1
Malta	652	19.400	7	21
Netherlands	630	32.600	8	5
Austria	597	30.800	9	6
Spain	588	26.200	10	15
United Kingdom	572	29.600	11	10
Iceland	566	29.700	12	9
Germany	564	28.600	13	13
Italy	550	25.400	14	16
France	541	27.100	15	14
Estonia	536	16.900	16	23
Sweden	518	30.400	17	7
Finland	507	28.800	18	12
Belgium	492	29.400	19	11
Portugal	472	19.000	20	22
Bulgaria	468	9.300	21	31
Hungary	456	15.600	22	25
Greece	448	23.600	23	17
Slovenia	441	22.200	24	19
Turkey	430	11.100	25	29
Lithuania	400	14.800	26	26
Romania	379	10.500	27	30
Latvia	377	14.400	28	27
Poland	322	13.400	29	28
Slovakia	309	16.700	30	24
Czech Republic	294	20.000	31	20

Tabella 3 – Produzione pro-capite annua di RU (Kg/anno) e PIL pro-capite espresso in unità standard di potere d'acquisto in 31 paesi europei – Anno 2007 (elaborazioni da dati EUROSTAT)

rifiuti che di quella del PIL pro-capite, confermando la sostanziale dipendenza della produzione di rifiuti dallo sviluppo economico (tabella 3).

Nell'interpretare questi dati, tuttavia, occorre tener conto dei flussi turistici, che incrementano stagionalmente anche in modo rilevante per piccoli territori la produzione pro capite di RU. Questi, infatti, vengono rapportati alla popolazione residente e non a quella presente.

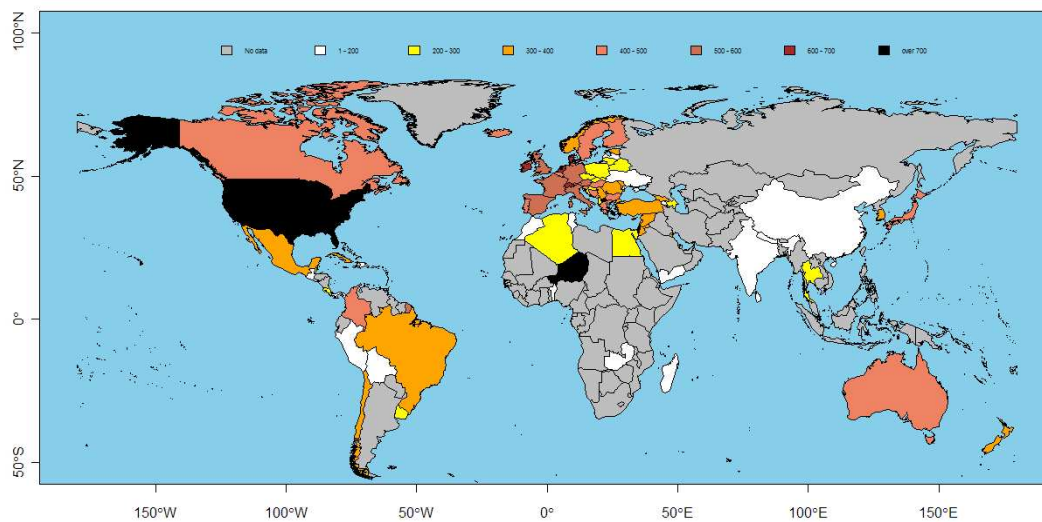


Figura 3 – Produzione pro-capite annua di rifiuti urbani nei paesi del mondo per i quali sono disponibili i dati.
(Elaborazioni da dati ONU)

NOTE:

- 1 – Il dato della Federazione Russa non è confrontabile con gli altri in quanto è espresso in unità di volume e non di peso, pertanto non è stato utilizzato
- 2 – Il dato della Norvegia si riferisce ai soli rifiuti domestici
- 3 - In molti paesi la raccolta municipale, e quindi l'informazione sulla quantità conferita, copre solo una parte della popolazione. In questa mappa non si tiene conto della reale proporzione.
- 4 – Ove disponibile, il valore della popolazione di riferimento è la stima ONU per il biennio 2006/2007, altrimenti è stato utilizzato il dato censuario più recente.
- 5 – I dati di produzione, soprattutto per i paesi in via di sviluppo, non sono sempre recenti. Molti si riferiscono agli anni 1998/2000, anche se la maggior parte è aggiornata almeno al 2003

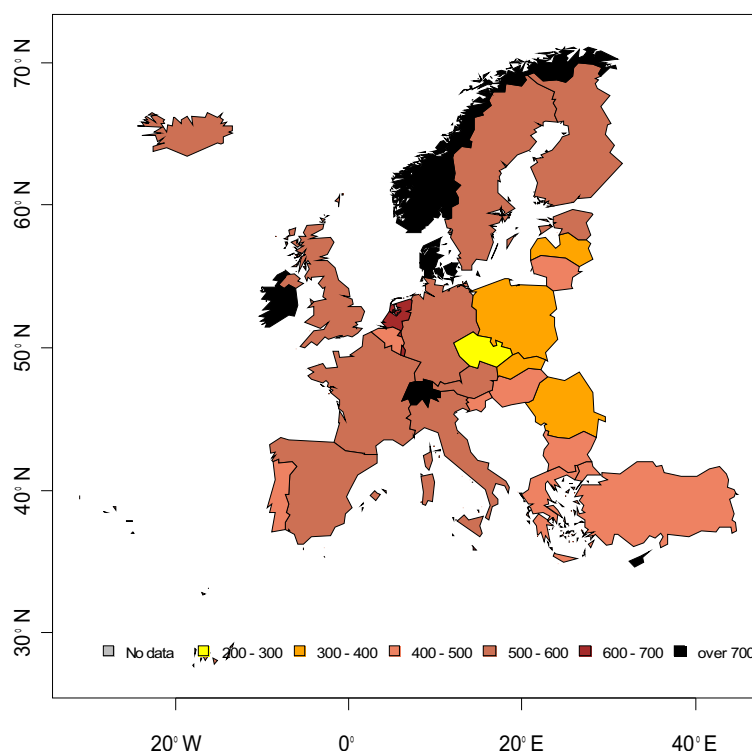


Figura 4 – Produzione pro-capite annua di RU in 31 paesi europei
(elaborazioni da dati EUROSTAT)

In termini assoluti, i 27 membri dell'Unione Europea insieme agli Stati Uniti hanno prodotto nel 2005 quasi mezzo miliardo di tonnellate di rifiuti urbani (tab. 4), molto più della somma degli altri otto principali produttori di rifiuti, benché la popolazione complessiva di questi ultimi sia quasi quattro volte superiore. Dal punto di vista

Prime 10 aree del mondo per produzione di rifiuti urbani					
Ordine	Area	Anno di riferimento	RU prodotte (1000 tonn.)	Popolazione stimata 2006/2007	RU pro capite (kg)
1	EU 27	2005	254.461	494.309.881	514,78
2	United States	2005	222.863	301.621.157	738,88
3	China	2003	148.565	1.324.655.000	112,15
4	Brazil	2000	57.563	187.641.714	306,77
5	Japan	2003	54.367	126.107.000	431,12
6	Mexico	2006	36.088	105.790.725	341,13
7	Turkey	2004	24.237	73.875.000	328,08
8	Colombia	2005	20.776	43.926.034	472,98
9	Korea, Republic of	2004	18.252	48.456.369	376,67
10	India	2001	17.569	1.134.023.232	15,49

Tabella 4 – I primi 10 paesi per produzione di RU
(elaborazioni da dati ONU)

della produzione pro capite, il primato spetta agli Stati Uniti: ogni cittadino USA nel 2005 ha prodotto 738 kg di rifiuti urbani contro i 514 del cittadino europeo³.

³ Nella classifica non è stata considerata la Federazione Russa, in quanto il dato disponibile della produzione di RU è espresso in migliaia di metri cubi e non è pertanto direttamente confrontabile con gli altri

Nei paesi OCSE per i quali il dato è disponibile⁴, i rifiuti domestici costituiscono quasi il 70% del totale degli RU con notevoli variazioni da uno stato all'altro (tabella 5). La variabilità della composizione dipende anche dall'organizzazione della raccolta: in alcune nazioni i veicoli usati, le macerie da attività edilizia e i fanghi di depurazione non vengono gestiti da società specializzate e finiscono pertanto nel computo dei rifiuti domestici (cfr. Eurostat, 2005 Statistics in Focus).

Resta da definire la composizione dei rifiuti urbani. Poiché i dati relativi sono disponibili solo per categoria economica e non per modalità di raccolta (gli RU non coincidono con una o più categorie economiche ben individuabili) né per tutte le aree del mondo, una stima in questo senso si può azzardare

Rifiuti domestici su totale RU in alcuni Paesi OCSE				
Paese	Ultimo anno disponibile	RU totali (1000 tonn.)	Di cui domestici	%
Mexico	2005	36.088	27.785	77,0
USA	2005	222.863	133.718	60,0
Japan	2005	51.607	34.798	67,4
Korea	2005	18.252	15.175	83,1
Australia	2000	13.200	7.660	58,0
Austria	2005	4.588	3.419	74,5
Belgium	2005	4.847	3.724	76,8
Czech Republic	1995	3.200	2.600	81,3
Denmark	2005	3.990	3.337	83,6
Finland	2005	2.450	1.201	49,0
France	2005	33.963	22.000	64,8
Germany	2005	49.563	39.886	80,5
Hungary	2005	4.632	2.677	57,8
Ireland	2005	3.050	1.746	57,2
Luxembourg	2005	321	273	85,0
Netherlands	2005	10.180	9.102	89,4
Norway	2005	3.498	1.844	52,7
Poland	2005	9.354	6.496	69,4
Slovak Republic	2005	1.468	1.248	85,0
Spain	2005	27.593	22.735	82,4
Switzerland	2005	4.855	3.237	66,7
UK	2005	35.077	30.429	86,7
TOTALE		544.639	375.089	68,9

Tabella 5 – Percentuale di rifiuti domestici sul totale degli RU prodotti in alcuni paesi OCSE (elaborazioni da dati OCSE)

sfruttando le statistiche europee per la sola categoria dei rifiuti domestici distinti per alcune voci del Catalogo Europeo Rifiuti (CER). Purtroppo la ripartizione sconta le menzionate lacune informative, per cui ha un valore puramente indicativo.

Nella figura 5 viene riportata la composizione dei rifiuti domestici nell'Europa a 15 membri (Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Paesi

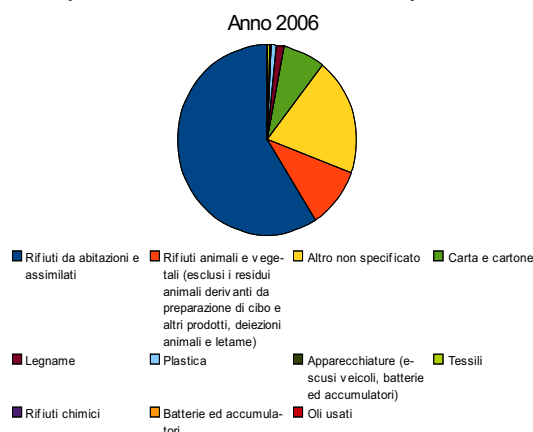
⁴ Molti paesi, tra cui l'Italia, non distinguono i rifiuti urbani prodotti dalle abitazioni da quelli prodotti dalle altre attività

Bassi, Portogallo, Regno Unito, Spagna, Svezia) con riferimento all'anno 2006. Il rifiuto domestico indifferenziato e i rifiuti non specificati costituiscono una gran parte del totale, confermando che c'è ancora molto da fare persino nei paesi di più antica e consolidata tradizione nel monitoraggio dei rifiuti.

Emergono comunque due fonti di materiali abbastanza importanti: gli scarti di tipo organico (animali e vegetali), carta e cartone. La plastica occupa una posizione abbastanza arretrata, segno probabilmente che viene ancora smaltita in modo indifferenziato in molte aree dei 15 paesi. La composizione dei rifiuti domestici è cruciale, come si dirà più dettagliatamente in seguito, per la definizione del tipo di trattamento cui vengono sottoposti.

Composizione rifiuti domestici per tipo nell'area EU 15 – Anno 2006 - Migliaia di tonnellate	
(Dati integrati con stime)	
Rifiuti da abitazioni e assimilati	120.731,23
Rifiuti animali e vegetali (esclusi i residui animali derivanti da preparazione di cibo e altri prodotti, deiezioni animali e letame)	20.902,83
Altro non specificato	40.671,92
Carta e cartone	15.679,18
Legname	2.818,26
Plastica	1.660,79
Apparecchiature (esclusi veicoli, batterie ed accumulatori)	910,41
Tessili	578,82
Rifiuti chimici	100,21
Batterie ed accumulatori	84,95
Oli usati	36,07
Totale	182.305,99

Composizione dei rifiuti domestici nei paesi EU15



Tab. 6 e Figura 5 – Composizione dei rifiuti domestici prodotti nel 2006 nei paesi dell'EU 15 (Elab. da dati Eurostat)

1.2.2 I rifiuti speciali

Come anticipato nel paragrafo 1.1, i rifiuti speciali sono gli scarti prodotti da attività diverse da quelle elencate nella descrizione dei rifiuti urbani e non gestiti attraverso i sistemi di raccolta urbana.

Nei 10 paesi OCSE per cui il dato è disponibile, le attività responsabili di più della metà dei rifiuti prodotti sono l'edilizia, che da sola copre quasi il 27% del prodotto complessivo, e l'industria manifatturiera, con il 24% (fig. 1 a pag. 10).

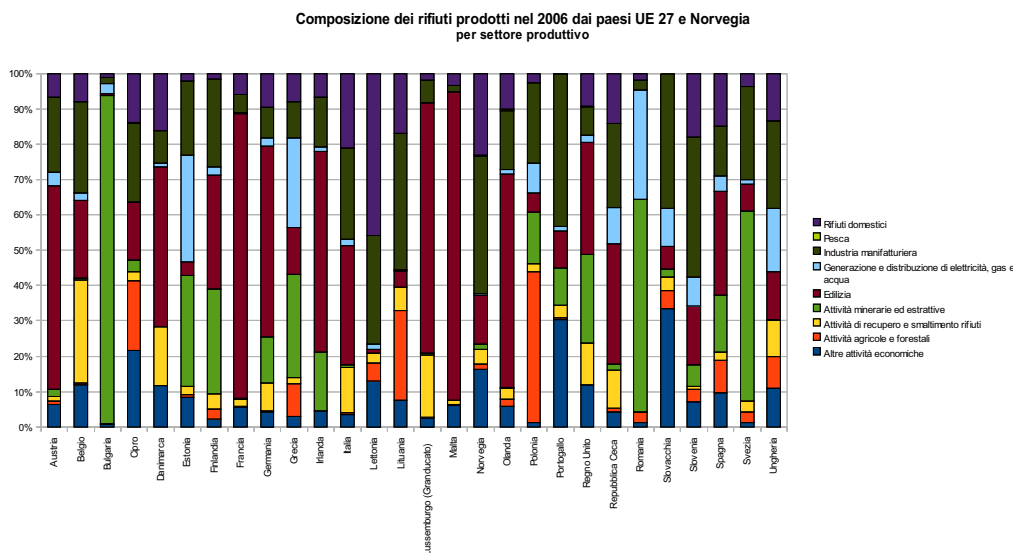


Figura 6 – Composizione dei rifiuti speciali e domestici prodotti nel 2006 nei 27 paesi dell'Unione Europea e in Norvegia. N.B.: pur facendo parte generalmente dei rifiuti urbani, i rifiuti domestici sono stati inseriti nel grafico per completezza di informazione -
(fonte Eurostat e Commissariato per lo sviluppo sostenibile del governo francese)

Per quanto riguarda l'Europa, i 27 paesi membri e la Norvegia presentano una notevole variabilità nella composizione dei rifiuti speciali (fig. 6). Questo rivela sia la differente struttura produttiva sottostante (non in tutti i paesi, ad esempio, esistono attività minerarie), sia le diversità nell'attribuzione dei diversi rifiuti ai settori produttivi. Non sono tuttavia da escludere tra le cause di tale disomogeneità anche carenze del sistema di rilevazione.

Il settore edile, con il 33% dei rifiuti complessivamente prodotti nel 2006, costituisce l'attività che incide maggiormente nel volume totale. Segue il settore minerario ed estrattivo, che contribuisce per il 25%. In confronto alla produzione di queste due attività, le altre, compreso l'intero comparto manifatturiero, risultano minoritarie (fig. 7), sebbene, come si vedrà nel paragrafo seguente, quest'ultimo sia il principale responsabile della produzione dei rifiuti nocivi.

Composizione rifiuti speciali e domestici - Anno 2006
 Unione Europea a 27 membri e Norvegia
 Totali per categoria produttiva

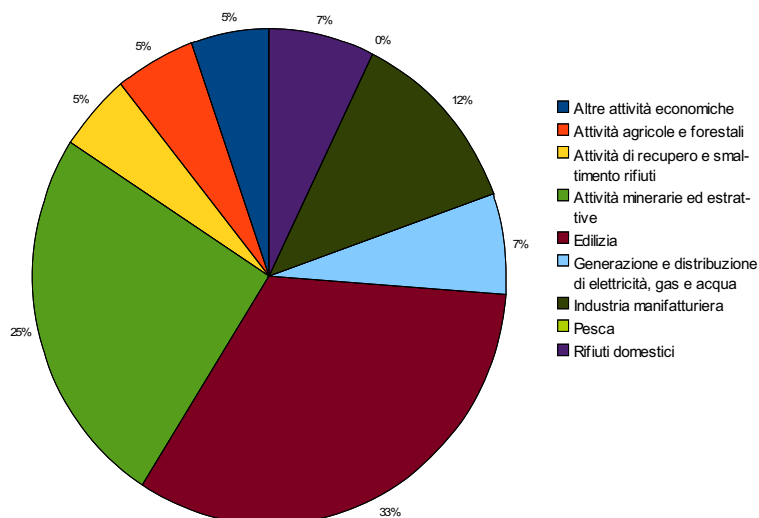


Figura 7 – Composizione dei rifiuti speciali e domestici prodotti nel 2006 nei 27 paesi dell'UE e in Norvegia.
 (fonte Eurostat e Commissariato per lo sviluppo sostenibile del governo francese)

Complessivamente i 27 paesi dell'Unione con l'aggiunta della Norvegia hanno prodotto nel 2006 quasi tre miliardi di tonnellate di rifiuti dalle diverse attività produttive. Per produzione totale in valore assoluto spiccano Francia, Germania e Regno Unito nei quali la fonte principale di rifiuti speciali è rappresentata dall'edilizia. Seguono la Bulgaria e la Romania che sono responsabili della maggior parte dei rifiuti del comparto minerario ed estrattivo. La componente principale dei rifiuti della Polonia deriva invece dalle attività agricole e forestali (tab. 7).

Paese	Altre attività economiche	Attività agricole e forestali	Attività di recupero e smaltimento rifiuti	Attività minerarie e estrattive	Edilizia	Generazione e distribuzione di elettricità, gas e acqua	Industria manifatturiera	Pesca	Rifiuti domestici	Totale Paese
Austria	3.457,85	512,85	752,63	1.042,52	31.321,63	2.017,10	11.470,18	0,02	3.711,84	54.286,60
Belgio	7.039,37	359,79	17.363,68	159,06	13.089,65	1.285,40	15.307,58	2,03	4.745,16	59.351,72
Bulgaria	1.472,99	632,85	105,94	225.338,44	1.023,30	6.669,58	4.316,44	0,11	2.928,98	242.488,63
Cipro	402,97	371,64	46,97	60,14	306,85	2,87	412,79	6,77	258,83	1.869,84
Danimarca	1.485,80	27,55	2.108,36	0,00	5.802,37	147,65	1.179,46	0,00	2.069,64	12.820,82
Estonia	1.601,19	117,84	433,89	5.960,97	717,11	5.708,16	3.981,14	0,99	411,63	18.932,92
Finlandia	1.668,22	2.038,06	3.048,60	21.500,90	23.145,71	1.635,90	17.976,38	0,35	1.191,22	72.205,33
Francia	24.157,95	1.202,14	9.727,79	1.040,40	358.878,32	1.033,68	22.972,98	19,80	26.832,20	445.865,26
Germania	15.107,45	1.508,23	28.605,47	47.222,20	196.536,17	8.468,30	31.705,20	7,04	34.626,02	363.786,07
Grecia	1.518,10	4.707,45	975,15	14.887,76	6.829,16	12.985,84	5.284,71	3,84	4.132,65	51.324,66
Irlanda	1.327,06			4.792,54	16.599,47	346,77	4.067,36		1.978,71	29.111,91
Italia	5.534,07	557,65	20.086,13	1.005,26	52.315,62	3.005,46	39.997,39	0,83	32.522,65	155.025,06
Lettonia	239,35	96,13	54,01	0,00	19,34	26,22	569,63	0,00	853,89	1.858,56
Lituania	586,29	1.935,53	503,69	5,52	348,97	34,02	2.947,92	4,24	1.298,93	7.665,11
Lussemburgo	242,71	11,32	1.704,14	56,49	6.774,55	1,40	604,21	0,00	191,58	9.586,40
Malta	172,97	7,48	36,65	0,00	2.492,52	0,00	50,38	0,00	101,22	2.861,22
Norvegia	1.471,61	134,52	375,16	136,28	1.247,94	46,17	3.518,58	28,06	2.093,03	9.051,35
Olanda	5.349,10	2.010,69	2.821,89	213,37	56.609,82	1.371,97	15.562,13	454,74	9.414,38	93.808,07
Polonia	3.512,46	113.436,50	6.558,42	38.671,26	14.141,03	22.404,36	61.130,53		6.886,00	266.740,54
Portogallo	10.351,90	195,05	1.180,03	3.563,16	3.607,23	461,95	14.699,05	14,33	4,64	34.077,35
Regno Unito	41.087,73	499,63	40.564,03	86.779,16	109.545,99	6.872,79	28.161,27	166,86	32.466,33	346.143,78
Repubblica Ceca	1.025,08	315,17	2.628,62	471,51	8.379,85	2.510,73	5.932,37	0,42	3.482,02	24.745,77
Romania	3.840,77	10.174,34	506,84	199.138,37	33,87	102.616,99	9.183,72	0,00	6.368,41	331.863,31
Slovacchia	4.859,07	741,44	548,08	331,87	916,23	1.577,18	5.527,12	0,52	0,00	14.501,50
Slovenia	428,63	214,18	48,32	376,93	994,89	498,57	2.385,28	0,16	1.088,88	6.035,84
Spagna	15.376,13	15.119,62	3.344,97	26.014,63	47.323,39	7.229,47	22.427,33	32,79	24.078,31	160.946,63
Svezia	1.516,83	3.303,68	3.702,85	62.084,29	8.943,36	1.318,46	30.362,64	10,64	4.340,67	115.583,42
Ungheria	2.445,43	1.997,07	2.285,01	26,50	3.045,34	3.981,11	5.528,26	0,46	2.978,31	22.287,50
Totale attività	157.279,06	162.228,41	150.117,29	740.879,51	970.989,65	194.258,10	367.262,01	755,01	211.056,11	2.954.825,14

Tabella 7 – Rifiuti prodotti nel 2006 nei 27 paesi dell'Unione Europea con l'aggiunta della Norvegia. Valori assoluti in migliaia di tonnellate (Fonte Eurostat e Commissariato francese per lo sviluppo sostenibile)

1.2.3 I rifiuti pericolosi

I rifiuti pericolosi sono oggetto di particolare attenzione in tutto il mondo, sia dal punto di vista normativo che da quello statistico.

Nel 1989 è stata stipulata una convenzione tra 164 stati (Basel convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal o “Convenzione di Basilea”) che regola i movimenti transfrontalieri internazionali di rifiuti nocivi. La stessa convenzione dà una definizione omogenea di rifiuto pericoloso e vincola gli stati aderenti alla riduzione progressiva del volume prodotto, allo sviluppo di tecnologie per lo smaltimento sicuro e alla diffusione delle stesse nei paesi in via di sviluppo. Un punto importante della Basel Convention è il divieto per i paesi OCSE di trasportare i rifiuti pericolosi in nazioni al di fuori dell'area OCSE.

riferito all'Estonia, con un prodotto di più di 4 tonnellate di rifiuti nocivi per ogni abitante⁵. Queste disparità possono imputarsi alla struttura produttiva dei singoli paesi (presenza di attività minerarie, di industrie pesanti ecc...). Tuttavia, come accennato nei paragrafi precedenti, i dati di queste fonti sono quasi sempre disomogenei, parziali o non aggiornati, pertanto ogni conclusione basata su di essi deve essere considerata con la massima cautela.

Nella tabella 8 sono riportati i dieci maggiori produttori di rifiuti nocivi (in valore assoluto) al mondo. Si nota che, insieme alle economie industriali più sviluppate (come gli Stati Uniti, la Francia e la Germania) e ai paesi dall'industria più arretrata ma dall'elevato peso territoriale e demografico (come Cina, India e Russia) compaiono anche nazioni relativamente piccole e/o poco popolate e dallo sviluppo industriale relativamente recente (Ucraina, Kirgizstan, Estonia). Queste singolarità potrebbero essere dovute alla presenza di attività industriali o minerarie particolarmente consistenti. La quantità e qualità di rifiuti prodotti infatti, anche nel caso dei rifiuti tossici, sono strettamente legate alla struttura produttiva di un paese.

Paese	Ultimo anno disponibile	Rifiuti pericolosi generati (in 1000 Tonn)	Popolazione stimata 2006/2007	Kg pro capite
Federazione Russa	2001	139.193,50	142.114.903	979,4
Ucraina	2004	62.910,70	46.192.309	1.361,9
Stati Uniti	2005	34.788,40	301.621.157	115,3
Germania	2004	18.401,00	82.365.810	223,4
Cina	2005	11.620,00	1.324.655.000	8,8
Francia	2000	9.150,00	61.707.072	148,3
India	2000	7.243,80	1.134.023.232	6,4
Kyrgyzstan	2004	6.410,00	5.234.800	1.224,5
Estonia	2000	5.965,80	1.341.672	4.446,5
Italia	2004	5.365,40	59.375.289	90,4

Tabella 8 – Primi 10 paesi produttori di rifiuti nocivi (in valore assoluto)
fonte: ONU questionari UNSP/UNEP; EUROSTAT, OCSE

Restringendo il campo all'ambito europeo, i 27 paesi membri hanno prodotto complessivamente 2.946.667 migliaia di tonnellate di rifiuti

⁵ In Estonia è particolarmente abbondante lo scisto bituminoso, un minerale sedimentario ricco di bitume che viene utilizzato come surrogato del petrolio. Le attività estrattive correlate e il complesso procedimento chimico necessario per la raffinazione, tuttavia, comportano un consistente impatto ambientale e la produzione di grandi quantità di rifiuti nocivi.

nel 2006. Di questi il 3%, pari a 88.642 migliaia di tonnellate, era rappresentato da rifiuti nocivi. La percentuale di rifiuti nocivi sul totale varia grandemente da stato a stato, con l'Estonia sempre al primo posto (figura 9).

Una parte dei rifiuti nocivi deriva dalle abitazioni e dalle attività

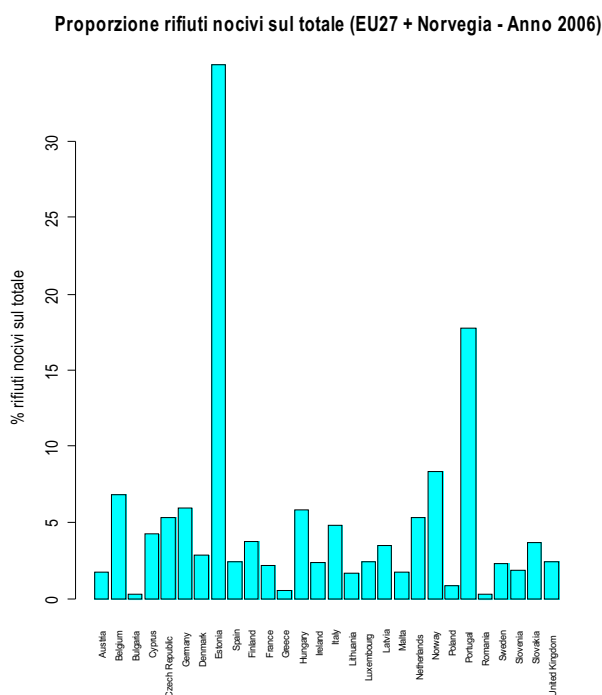


Figura 9 – Percentuale di rifiuti pericolosi (Kg pro capite) prodotti nei paesi dell'Unione Europea (27 membri) nel 2006 - (fonte: EUROSTAT)

assimilate. Nei paesi che forniscono il dato separatamente (Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Germania, Danimarca, Estonia, Spagna, Finlandia, Francia, Italia, Lituania, Lussemburgo, Lettonia, Malta, Olanda, Norvegia, Polonia, Svezia, Slovenia, Regno Unito) l'ammontare complessivo di rifiuti nocivi prodotti da attività domestiche e similari è stato di 2.663,18 migliaia di tonnellate nel 2006, pari al 3,4% del totale dei rifiuti nocivi prodotti negli stessi paesi.

Per quanto riguarda la distribuzione della produzione pro-capite, la maggior parte dei paesi dell'Unione Europea (con l'aggiunta della Norvegia) nel 2006 si attestava sotto i 200 kg per ciascun cittadino.

Si distinguono la Germania, la Svezia, i Paesi Bassi, il Portogallo e la Finlandia, e, per le ragioni già esposte, l'Estonia (fig. 10).

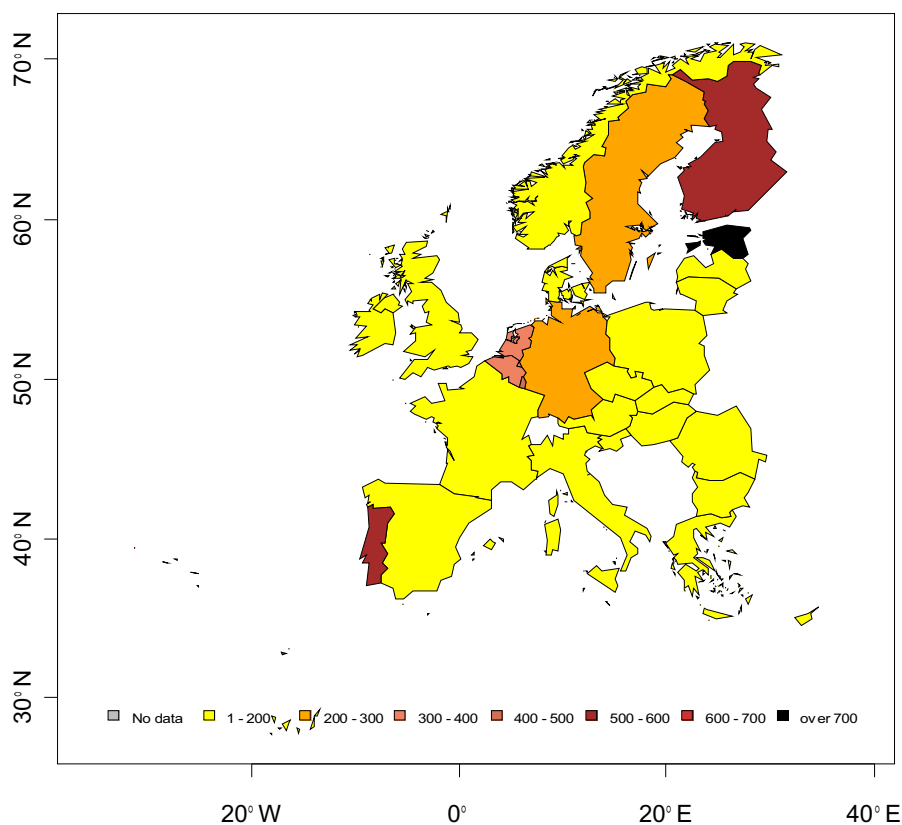


Figura 10 – Rifiuti pericolosi (Kg pro capite) prodotti nei paesi dell'Unione Europea e Norvegia nel 2006
(fonte: EUROSTAT)

Nell'Unione Europea⁶ I principali settori economici responsabili della generazione di rifiuti pericolosi sono l'industria manifatturiera per il 26%, il settore del trattamento dei rifiuti e dei fanghi di depurazione per il 25% ed il settore edile per 19% (fig.11).

⁶ In questo caso si intendono i 27 stati che attualmente compongono l'Unione, con l'aggiunta della Norvegia e con l'eccezione dell'Irlanda, per la quale non sono interamente disponibili i dati per settore di produzione.

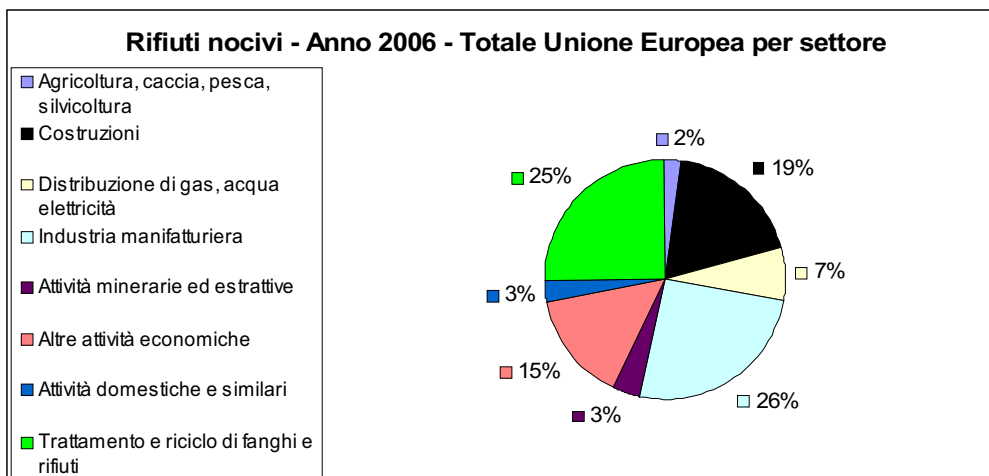


Figura 11 – Rifiuti pericolosi prodotti nei paesi dell'Unione Europea nel 2006 per settore di attività (fonte: EUROSTAT)

Il contributo dei diversi settori varia però grandemente da stato a stato, in corrispondenza con la particolare struttura economica e produttiva sottostante (fig. 12). Come sempre, non si può del tutto escludere che alcune disparità possano derivare da differenti metodi di contabilizzazione dei dati. L'industria manifatturiera è quasi sempre la sorgente principale dei rifiuti pericolosi, tuttavia esistono notevoli eccezioni, come l'Estonia, in cui la fonte largamente prevalente, per i motivi sopra esposti, è l'industria connessa alla produzione e distribuzione di energia. Altre eccezioni notevoli sono l'Olanda, in cui il settore maggioritario è l'edilizia, e l'Ungheria, dove la maggior parte dei rifiuti nocivi deriva dalle attività di smaltimento e trattamento.

Analizzando nel dettaglio l'industria manifatturiera (fig.13), si può notare che la maggior parte dei rifiuti pericolosi generati da questo settore provengono dalla lavorazione dei metalli (40% dell'intera produzione di rifiuti nocivi del comparto manifatturiero) e dall'industria della gomma e delle materie plastiche (31%).

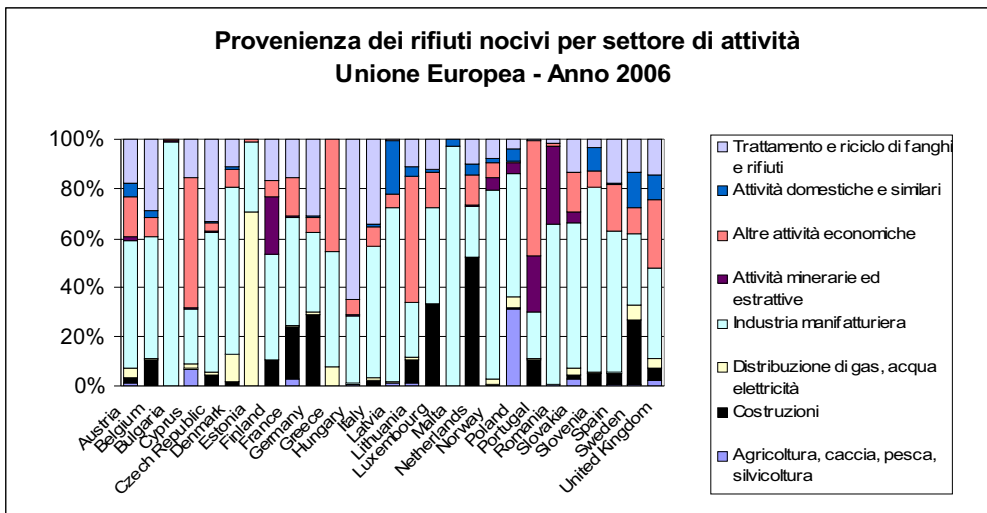


Figura 12 – Provenienza dei rifiuti pericolosi prodotti in ciascuno dei paesi dell'Unione Europea nel 2006 per settore di attività (fonte: EUROSTAT)

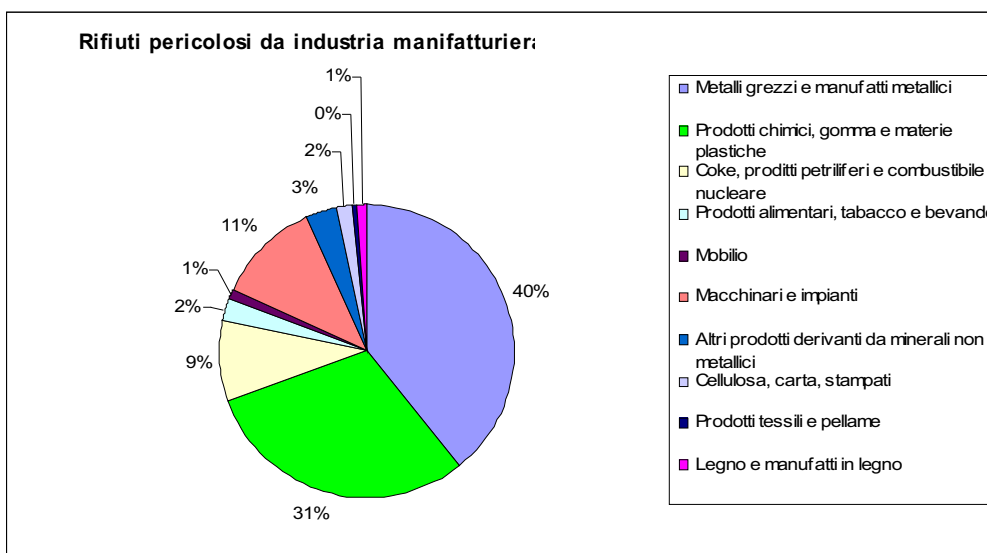


Figura 13 – Settore di provenienza dei rifiuti pericolosi prodotti dall'industria manifatturiera Unione Europea e Norvegia - Anno 2006 (fonte: EUROSTAT)

1.3 Considerazioni di sintesi sulla produzione dei rifiuti

Dai dati esposti, pur con le cautele cui si è più volte accennato, si possono ricavare alcuni tratti di sintesi:

- dal punto di vista geografico, la produzione dei rifiuti, come è naturale aspettarsi, è concentrata prevalentemente nei Paesi a più alta industrializzazione e a più alto reddito. Tuttavia esistono enormi zone buie dal punto di vista informativo, in nazioni meno sviluppate ma molto popolose, che impediscono di avere un quadro complessivo della reale produzione mondiale.
- La produzione di rifiuti nocivi, tuttavia, presenta importanti “picchi” in paesi piccoli e dall'economia arretrata. Potrebbe essere un segnale che alcune attività vengono delocalizzate dai paesi ricchi e con maggior attenzione ai temi ambientali a paesi emergenti, più interessati ai vantaggi immediati sull'economia che alla nocività a lungo termine sulla popolazione.
- Sotto il profilo temporale, la produzione dei rifiuti è andata aumentando rapidamente in tutti i paesi OCSE dagli anni 80, con un rallentamento solo a partire dal 2000.
- La distribuzione dei rifiuti di tipo industriale, pur con notevoli variazioni, si concentra in poche attività, segnatamente l'edilizia e le attività minerarie. Tuttavia il comparto manifatturiero, per quanto il suo contributo al volume totale prodotto sia abbastanza marginale, è il principale responsabile della produzione di rifiuti nocivi. Mentre le attività più “antiche” quindi, contribuiscono alla quantità generale dei rifiuti prodotti, sono le attività industriali che generano rifiuti nocivi dal punto di vista sanitario ed ambientale. Si può dedurre che l'aumento

mondiale della ricchezza non ha solo provocato un aumento netto della quantità di rifiuti, ma ne ha anche modificato la qualità, introducendo flussi di materiali dallo smaltimento problematico.

CAPITOLO 2

Il trattamento dei rifiuti

2.1 Premessa

Non si possono esaminare gli effetti sulla salute umana del trattamento dei rifiuti senza una visione panoramica dell'intero sistema. Data la complessità dell'argomento, si scopre spesso che soluzioni teoricamente ottimali non sono attuabili, a causa di limitazioni di varia natura. Non solo: trattamenti apparentemente "virtuosi" nascondono insidie dalla pericolosità difficilmente calcolabile, che possono essere delineate solo affrontando l'argomento in modo globale.

Il trattamento dei rifiuti sta assumendo sempre di più un ruolo centrale per il funzionamento delle società industriali, tanto da coinvolgere vasti settori delle stesse non solo per la risoluzione degli aspetti tecnici, ma, soprattutto, per la gestione dei conflitti politici sull'utilizzo del territorio. Persino la magistratura e le polizie sono ormai indispensabili nei meccanismi di controllo dei procedimenti di smaltimento: come dimostra la cronaca recente, esistono vasti interessi internazionali, spesso in mano ad organizzazioni criminali che operano sfruttando le ambiguità normative del settore, quando non in aperta violazione di esse. A causa dei forti interessi economici, accade spesso che le conseguenze più pesanti di uno smaltimento incontrollato siano pagate proprio dalle società meno coinvolte nella produzione di rifiuti: le periferie delle città dei paesi in via di sviluppo sono spesso assediate da giganteschi accumuli di materiali nocivi in buona parte provenienti dai paesi industrializzati, complici l'insufficiente controllo del territorio e la disparità delle forze in campo.

Ogni attore del processo, dal semplice cittadino al legislatore, ed ogni singola fase dello stesso (raccolta, trasporto, trattamento, deposito), si caricano quindi di nuove responsabilità, che coinvolgono anche il benessere di popolazioni lontanissime dai confini nazionali.

La consapevolezza della complessità dell'argomento deve essere alla base di adeguate politiche per un'equa gestione dei rifiuti: *il trattamento dei rifiuti ha subito negli ultimi due decenni una trasformazione culturale non indifferente, in particolare per l'evoluzione della complessità con cui viene percepito dalla società e dagli stessi operatori del settore, il cui ruolo si è evoluto “[...] dalla limitata prospettiva di occuparsi di rifiuti al nuovo obiettivo di gestire il metabolismo della nostra società”* (da Waste Management Report, 2002 – International Solid Waste Association e UNEP)

2.2 Le linee guida internazionali e la “gerarchia dei rifiuti”

Nonostante la variabilità degli approcci in tema di rifiuti – si veda l'appendice 1 per i dettagli - nel corso degli ultimi vent'anni sono state definite delle linee guida accettate internazionalmente: l'Agenda 21⁷, uno degli accordi più importanti stipulati tra le nazioni in tema di gestione sostenibile e sviluppo, dedica un'ampia sezione alla gestione dei rifiuti solidi. In particolare, l'articolo 21.4 stabilisce che *“Un trattamento dei rifiuti sostenibile dal punto di vista ambientale deve andare oltre il mero smaltimento o il riciclaggio e*

⁷ Si tratta di uno dei documenti ufficiali prodotti dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. In esso vengono pianificate le azioni che i governi dovranno mettere in campo nel corso del ventunesimo secolo per garantire la sostenibilità ambientale delle attività umane.

cercare di affrontare le radici del problema, sforzandosi di modificare le modalità di produzione e consumo quando incompatibili con la sostenibilità”.

L'obiettivo primario che si sono date le nazioni firmatarie è quello di ridurre il volume e la pericolosità dei rifiuti prima che essi giungano agli impianti di trattamento.

Uno degli strumenti concettuali alla base delle principali normative sui trattamenti è la “gerarchia dei rifiuti”, l'elenco delle azioni da intraprendere classificate in ordine di accettabilità. Quasi tutte le nazioni industrializzate l'hanno adottato ed è frequentemente ribadito in molti accordi multilaterali in materia, come ad esempio quello che concerne il trattamento dei materiali tossici. Lo scopo finale è quello di ottenere una gestione dei rifiuti che sia il più possibile sostenibile a livello ambientale.

In ambito europeo, la direttiva del 2008 in materia di smaltimento definisce la gerarchia in questi termini:

- **Prevenzione** – volta a ridurre il volume e la pericolosità dei rifiuti prima ancora che i prodotti diventino tali (ad esempio con espedienti di progettazione che ne allunghino il ciclo vitale, ne facilitino il riutilizzo e ne riducano il contenuto tossico)
- **Riutilizzo** – vale a dire le operazioni di riparazione, controllo e pulizia che consentano il reimpiego del rifiuto senza ulteriori trattamenti
- **Riciclaggio** – ossia qualsiasi trattamento di recupero, compreso il trattamento organico, che permetta di ottenere dai rifiuti materiali adatti a nuovi utilizzi. Il riciclaggio non comprende la produzione di energia o di carburanti
- **Recupero** – comprendente il recupero di energia o altre operazioni volte a sostituire con i rifiuti altre materie prime,

come ad esempio i combustibili fossili.

- **Smaltimento** - consistente in tutte quelle operazioni diverse dal recupero come lo stoccaggio in discarica, la biodegradazione dei fanghi liquidi, l'iniezione in pozzi, faglie naturali e cupole saline. Lo smaltimento è considerato tale anche nei casi in cui come sottoprodotto si ottengano sostanze utili (ad esempio biogas) o energia.

Parallelamente, anche l'EPA ha elaborato una gerarchia molto simile, avente in cima alla lista per preferibilità la prevenzione e all'ultimo posto lo stoccaggio in discarica e l'incenerimento.

Ben diversa è la situazione nei paesi in via di sviluppo: non di rado l'unica modalità di trattamento prevista è la combustione a cielo aperto dei rifiuti indifferenziati, pratica altamente indesiderabile per gli effetti sull'ambiente e sulla salute umana. Questo metodo di smaltimento viene applicato senza distinzione tra rifiuti nocivi e non: se si considera che le lavorazioni industriali più pericolose spesso vengono delocalizzate nei paesi in via di sviluppo, si comprende quanto possa essere dannosa questa mancanza di differenziazione, combinata a trattamenti inadeguati.

2.3 Le principali scelte strategiche in tema di rifiuti⁸

Come si può notare, le indicazioni contenute nella “gerarchia dei rifiuti” sono alquanto generiche poiché l'estrema variabilità dei rifiuti prodotti impedisce di formulare delle soluzioni universali: l'approccio più seguito è la ricerca del *mix* ottimale di tecnologie e trattamenti, che possa conciliare le esigenze del territorio con le risorse disponibili e la normativa vigente.

⁸ La fonte principale di questo paragrafo è il Waste Management Report – ISWA/UNEP 2002

Anche tra i paesi più avanzati vi è una sostanziale differenza tra le politiche seguite per affrontare il problema dei rifiuti. I paesi dell'Unione Europea hanno investito più di tutti nell'obiettivo di ridurre il volume dei materiali di scarto, di limitarne la tossicità e di “sganciare” l'incremento del PIL dall'aumento di produzione di rifiuti. La preoccupazione principale delle politiche UE è la salute dell'ambiente, mentre la sostenibilità economica è affrontata in modo marginale. Questo ha consentito di investire ingenti risorse nello sviluppo di tecnologie affidabili e nella ricerca di soluzioni alternative alla discarica. La legislazione europea più recente, inoltre, estende il concetto di “trattamento dei rifiuti” da semplice azione finale di un flusso al controllo globale del ciclo di vita del prodotto. In questo processo vengono coinvolti attivamente tutti gli attori del ciclo industriale (dai produttori ai consumatori finali).

La normativa degli Stati Uniti in materia affronta la questione in modo più pragmatico e con maggior attenzione alla sostenibilità economica dei trattamenti. Lo smaltimento in discarica è ancora l'opzione più frequente, dati i costi relativamente contenuti e la disponibilità di spazi disabitati nel territorio degli Stati.

Le altre nazioni a reddito medio/alto si dividono tra quelle che seguono l'approccio europeo e quelle che affrontano il problema in modo simile a quello degli Stati Uniti. Il fattore principale che orienta la scelta è la disponibilità di territorio. Paesi ad alta densità di popolazione come il Giappone, Hong Kong e Singapore seguono un approccio di tipo “europeo”, mentre altri, come l'Australia, che possono disporre di vaste aree ancora disabitate, prediligono la soluzione delle discariche.

Nei paesi in via di sviluppo, le differenze di approccio tra uno stato e l'altro variano grandemente, in parte a causa di differenze di tipo sociale, climatico, geologico, economico e legale. Sebbene il

problema sia simile ovunque, diversissimi sono i sistemi messi in campo per affrontarlo. Nella maggior parte dei casi non ci sono risorse tecnologiche e finanziarie per predisporre dei sistemi di smaltimento sicuri e universali. La raccolta non è capillare e, nelle aree dove è presente, si riduce al semplice trasporto dei rifiuti in aree disabitate, dove ci si limita ad accumularli. Non sono rari i casi in cui si ricorre al fuoco per ridurre il volume e limitare la presenza di parassiti. Va anche detto che nei paesi in via di sviluppo vi è una significativa attività di riuso e recupero di materiali dal flusso dei rifiuti (prevalentemente carta e cartone, plastica e metalli), tanto che interi distretti produttivi dipendono esclusivamente da questa risorsa.

Limitando l'analisi al rapporto incenerimento/discarica in ciascun paese, è possibile ricavare qualche indicazione sui fattori che orientano per l'una o l'altra soluzione.

Nella tabella 10 sono riportate le nazioni che dichiarano rispettivamente la maggior percentuale di RSU smaltiti in discarica e la maggior percentuale di RSU smaltiti in inceneritore.

Si può notare come i paesi che più spesso ricorrono alla discarica sono quelli con basso PIL pro capite e, in generale, una densità di abitanti per chilometro quadro abbastanza contenuta.

D'altro canto, i paesi che hanno optato per l'incenerimento si caratterizzano quasi tutti per un alto PIL pro capite e un'elevata densità di abitanti. Singapore, Macao e il Giappone, pur mostrando un PIL pro-capite inferiore agli altri paesi della lista, si distinguono per l'elevata densità di popolazione e la bassa percentuale di terreno disponibile per uso agricolo. Anche la Svezia, benché la densità della sua popolazione sia di soli 20 abitanti per chilometro quadro, emerge per la scarsità di terreno destinabile a scopi agricoli.

In conclusione, la decisione di utilizzare gli inceneritori (come altre

tecnologie, ad esempio il recupero e il compostaggio) sembra condizionata principalmente dalle disponibilità economiche: la discarica è l'opzione più economica, in particolare dove le normative non sono eccessivamente stringenti sotto il profilo ambientale e sanitario.

Quando però scarseggia il territorio utile alle attività umane, i paesi che se lo possono permettere si dotano di tecnologie meno esigenti dal punto di vista dell'uso del terreno, sebbene più costose sia in termini economici che di *know-how*.

Per completezza, nella tabella 9 è riportata la situazione di due paesi "intermedi", Italia e USA: nel nostro Paese, ad un PIL pro capite non elevato si accompagna una densità di popolazione relativamente contenuta. Gli Stati Uniti si distinguono invece per l'elevato PIL pro capite e la bassissima densità di popolazione.

In entrambi i casi l'opzione per le discariche è sembrata ancora ragionevole, anche se, come si vedrà, la tendenza è per la progressiva riduzione del numero di impianti.

Italia e USA									
Paese	Ultimo anno disponibile	Totale Rifiuti Urbani raccolti	RSU smaltiti in discarica	RSU smaltiti in inceneritore	RSU riciclati	RSU compostati	PIL pro capite \$USA	% superficie agricola	Densità popolaz. ab/Kmq
Italia	2007	32.776	48,9	11,8	...	...	35.585	46,1	197,80
USA	2005	222.863	54,3	13,6	23,8	8,4	45.047	42,7	32,37

Fonte: www.unstats.un.org/environment

Tabella 9 – Proporzione di RSU per tipo di trattamento in rapporto al PIL pro capite, la disponibilità di terreno agricolo e la densità di popolazione – Confronto Italia-USA

PAESI CON QUOTE DI RSU SMALTITI IN DISCARICA SUPERIORI AL 90%

Paese	Ultimo anno disponibile	Totale Rifiuti Urbani raccolti	RSU smaltiti in discarica	RSU smaltiti in inceneritore	RSU riciclati	RSU compostati	PIL pro capite \$USA	% superficie agricola	Densità popolaz. ab./Km ²
Mauritius	2007	432	91,2	...	2,0	...	5.846	49,5	627,45
Lituania	2007	1.354	91,9	0,0	...	...	11.308	41,3	50,86
Siria	2003	7.500	93,9	5,3	1,1	...	1.883	75,0	114,63
Madagascar	2007	419	96,7	0,0	0,0	3,5	377	69,6	32,55
Messico	2006	36.088	96,7	0,0	3,3	0,0	8.386	54,4	55,26
Marocco	2000	6.500	98,0	0,0	2,0	0,0	2.316	67,1	70,78
Antigua e Barbuda	2007	112	99,0	...	1,0	...	12.799	29,4	196,83
Algeria	2003	8.500	99,9	...	0,1	...	3.912	17,3	14,43
Tunisia	2004	1.316	99,9	...	...	0,1	3.390	60,1	62,15
Armenia	2007	392	100,0	...	...	...	3.057	54,3	103,45
Bielorussia	2007	3.220	100,0	...	...	...	4.621	43,1	46,62
Belize	2005	120	100,0	...	...	...	4.429	6,6	13,11
Cile	2006	5.333	100,0	...	...	...	9.854	20,8	22,22
Cuba	2005	4.416	100,0	0,0	4,8	11,1	4.641	60,2	101,97
Dominica	2005	21	100,0	...	...	...	4.838	30,6	89,21
Kyrgyzstan	2007	1.659	100,0	...	...	...	704	53,7	27,08
Palestina	2001	1.350	100,0	...	...	...	1.359	62,0	688,87
Panama	1998	379	100,0	...	...	...	5.904	29,5	45,01
Uganda	2006	224	100,0	0,0	...	0,0	403	53,2	131,29
Yemen	2007	1.447	100,0	...	...	...	967	44,7	43,41

PAESI CON QUOTE DI RSU SMALTITI IN INCENERITORE SUPERIORI AL 30%

Paese	Ultimo anno disponibile	Totale Rifiuti Urbani raccolti	RSU smaltiti in discarica	RSU smaltiti in inceneritore	RSU riciclati	RSU compostati	PIL pro capite	% superficie agricola	Densità popolaz. ab./Km ²
Olanda	2007	10.332	2,2	31,9	...	...	46.669	51,2	442,47
Belgio	2007	5.211	4,3	32,9	...	...	43.470	44,9	346,89
Germania	2007	46.448	0,6	34,0	...	...	40.162	47,5	230,36
Francia	2007	35.233	33,3	35,0	...	...	40.090	53,3	112,49
Lussemburgo	2007	331	18,7	35,3	...	...	108.217	50,7	186,00
Martinica	2006	325	60,2	35,7	1,0	2,5	...	25,4	365,70
Svezia	2007	4.717	4,0	46,4	...	...	49.873	7,1	20,86
Svizzera	2007	5.460	0,0	49,1	...	...	56.579	37,8	182,69
Singapore	2007	4.823	15,3	49,3	47,2	0,0	36.370	1,1	6.546,10
Danimarca	2007	4.364	5,1	53,3	...	...	57.257	61,8	126,65
Giappone	2003	54.367	3,4	74,0	16,8	...	34.225	12,3	336,82
Isole Vergini Brit.	2005	37	0,0	80,3	0,0	0,0	51.273	53,0	152,32
Macao SAR	2007	289	20,5	99,6	0,0	...	39.731	0,0	18.137,93
Andorra	2007	32	...	116,1	0,0	0,0	43.504	55,6	179,49
Monaco	2007	41	27,1	131,5	4,3	...	40.090	0,0	16.500,00

Nota: la percentuale di rifiuti trattati può superare 100 in quanto alcuni impianti possono lavorare anche materiali provenienti da fonti diverse da quelle degli RSU

Fonte: www.unstats.un.org/environment

Tabella 10 – Proporzioni di RSU per tipo di trattamento in rapporto al PIL pro capite, la disponibilità di terreno agricolo e la densità di popolazione
Confronto tra paesi con prevalenza di discarica e paesi con prevalenza di incenerimento

In linea di massima, gli elementi che condizionano la progettazione locale dei sistemi di trattamento dei rifiuti possono raggrupparsi nelle seguenti categorie:

- 1) Disponibilità finanziarie
- 2) Disponibilità di territorio
- 3) Natura e composizione dei rifiuti da smaltire

Disponibilità finanziarie

Paesi con budget limitato, basso costo della manodopera e presenza di un consistente settore informale prediligono soluzioni a basso contenuto tecnologico (cfr. UNEP, 2005). Paesi ricchi di risorse, come gli USA, ma particolarmente attenti alla sostenibilità economica, sono orientati a soluzioni che bilancino i costi con il benefici.

Paesi come quelli dell'Unione Europea, più preoccupati per la sostenibilità ambientale che per quella economica, investono ingenti risorse nella progettazione di sistemi tecnologicamente sicuri, per quanto costosi.

Va anche tenuto presente che le risorse stanziare per lo sviluppo, il mantenimento e il monitoraggio dei sistemi di trattamento dei rifiuti dipendono non solo dalla ricchezza presente nel territorio, ma anche dal grado di consapevolezza sull'importanza della questione. Spesso però, alla scarsità di risorse si accompagna anche l'insufficiente interesse per le questioni ambientali e sanitarie, senza contare che in molti paesi prevale l'errata convinzione che investire nei rifiuti sottragga risorse allo sviluppo.

D'altro canto, un'elevata consapevolezza non è sufficiente a dotarsi di tecnologia più sicura, in mancanza di risorse adeguate.

Qualunque sia la situazione di base, tuttavia, è universalmente riconosciuto il principio che "chi inquina paga", vale a dire che i costi dello smaltimento devono essere divisi in modo proporzionale alla quantità e pericolosità del rifiuto prodotto. Questo può essere un problema nei paesi in via di sviluppo, dato che non tutti i cittadini sono in grado di affrontare le spese per la raccolta dei rifiuti: le conseguenze immediate sono l'abbandono e/o il trattamento incontrollato da parte dei singoli.

Anche per ovviare a questo tipo di inconvenienti, molti governi e

organizzazioni sovranazionali intervengono stanziando appositi sussidi che rendano convenienti modalità di smaltimento altrimenti difficili da affrontare.

Ingenti investimenti nel campo della prevenzione vengono fatti anche dai paesi più attenti al profilo economico perché numerose esperienze hanno dimostrato che investire nello smaltimento sicuro è meno costoso del ripristino ambientale successivo ad una politica non corretta: attualmente, negli USA, vengono impiegati più fondi per interventi sulle aree precedentemente inquinate che non nel trattamento corrente dei rifiuti pericolosi, nonostante l'incessante incremento quantitativo di questi ultimi (cfr. International Solid Waste Association [ISWA]/UNEP 2002).

Un altro fattore economico da tenere in considerazione è il prezzo dei combustibili derivati dal petrolio: se questo è elevato, può risultare più conveniente la costruzione di impianti di produzione del Combustibile Derivato dai Rifiuti (CDR) e di inceneritori in grado di generare energia elettrica.

Per quanto riguarda il recupero o il riciclaggio è importante che esista un mercato disposto ad acquistare i materiali ricavati dai rifiuti. In mancanza di acquirenti, la destinazione finale di tali prodotti sarà nuovamente la discarica o l'inceneritore.

Disponibilità di territorio

Come si è visto, la discarica è un metodo relativamente sicuro e poco costoso per smaltire i rifiuti, ma richiede vaste aree di terreno libero e lontano da fiumi e falde acquifere. Dove il costo del terreno rende questa opzione poco conveniente, è più facile che si cerchino delle alternative.

Ma, sia che si tratti di una discarica o di un inceneritore, l'apertura di un nuovo impianto è resa problematica dall'opposizione degli abitanti prossimi al sito. La cosiddetta "sindrome NIMBY" (*not in my backyard*) è un aspetto che non va mai sottovalutato e che, di fatto, rende sempre più difficile l'identificazione di aree adatte.

Natura e composizione dei prodotti da smaltire

Le diverse modalità di trattamento/smaltimento sono solo parzialmente interscambiabili: la scelta è fortemente condizionata dalle caratteristiche fisico-chimiche dei rifiuti, estremamente variabili con le abitudini di vita e le economie delle società che li producono.

In generale occorre distinguere tre gruppi principali di rifiuti, a ciascuno dei quali sono associate tecnologie di trattamento differenti:

- Rifiuti solidi urbani (spesso comprendenti anche quelli di attività commerciali o istituzionali)
- Rifiuti industriali, suddivisi in base al tipo di settore da cui provengono
- Rifiuti pericolosi

Come più volte accennato, questa distinzione è relativamente rigida nei paesi industrializzati, mentre può mancare del tutto in molti paesi in via di sviluppo, dove i rifiuti vengono semplicemente mischiati.

Anche rimanendo nell'ambito dei soli rifiuti urbani, la progettazione di un sistema integrato di gestione dei rifiuti deve necessariamente tenere conto delle caratteristiche degli stessi: se si presentano come una massa pesante e ricca di liquidi (come avviene nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo, dove gli scarti di cucina ne costituiscono la componente principale) il materiale ha scarso potere calorico, pertanto l'incenerimento diventa controproducente, in quanto ci sarà bisogno di integrare il materiale con altri combustibili. Di contro, le discariche sono una scelta particolarmente rischiosa

quando nel materiale raccolto sono mescolati rifiuti pericolosi: occorre tener conto che le sostanze tossiche veicolate dal percolato possono inquinare il terreno sottostante. Il compostaggio è una strategia conveniente quando la frazione organica è abbondante e facilmente separabile, altrimenti potrebbe rivelarsi inadeguata e costosa.

In generale vi sono molte differenze tra i diversi Paesi nella composizione dei rifiuti smaltiti, soprattutto per quanto riguarda la proporzione di residui organici su altri materiali. Tale composizione inoltre tende a variare da zona a zona e stagionalmente all'interno dello stesso paese. Nella tabella 11 è riportata la composizione dei rifiuti urbani in 5 città di paesi in via di sviluppo confrontata con quella degli Stati Uniti.

Quantità e composizione degli RSU in alcune città di paesi in via di sviluppo¹ e negli USA² (% sul peso alla raccolta)

Materiale	Ulan Bator (Mongolia)	Quezon City (Filippine)	Olongapo City (Filippine)	Lima (Perù)	Buenos Aires (Argentina)	USA
Umido	24,0	52,0	44,4	34,3	30,5	32,5
Carta	12,9	17,1	17,5	24,3	22,9	31,0
Metalli	2,5	3,2	3,1	3,4	5,1	8,4
Vetro	6,4	3,1	2,0	1,7	2,8	4,9
Plastica, gomma, pellami, tessuti	17,5	22,3	11,6	4,6	17,1	19,9
Altro	36,7	2,3	21,4	31,7	21,6	3,3
Kg/procapite Al giorno	0,33	0,55	0,44	0,96	1-3	8,15

¹ Solid Waste Management – UNEP 2005

² Municipal solid waste Generation, recycling and disposal in the United States: Facts and Figures 2008 – EPA 2009

Tabella 11 – Materiali prevalenti negli RSU di alcuni paesi in via di sviluppo confrontati con gli USA

È riconoscibile anche un trend storico caratteristico dei paesi industrializzati e in via di industrializzazione: con il miglioramento delle condizioni economiche delle famiglie aumenta anche la quantità di carta e cartone nel flusso dei rifiuti. L'EPA, ad esempio, stima che attualmente circa il 40% del volume dei materiali conferiti nelle discariche di rifiuti solidi urbani degli USA sia costituito da carta

(fonte: www.epa.gov - 2010).

Altre caratteristiche di cui occorre tenere conto sono la densità, misurata in Kg/mq, la distribuzione per grandezza dei frammenti e la percentuale di umidità. Questi parametri condizionano le caratteristiche del materiale, in particolare la sua densità per unità di volume, ed orientano di conseguenza le opzioni per le tecniche di smaltimento da adottare.

La separazione all'origine viene adottata molto spesso per ridurre il volume dei rifiuti e indirizzare i materiali utili agli impianti di riciclaggio o compostaggio. Occorre però tenere presente che la raccolta separata entra in competizione con gli impianti presenti sul territorio: spesso esiste una quantità minima necessaria per farli funzionare a regime. Inoltre, gli inceneritori necessitano di una determinata componente di plastica e carta per ottenere la corretta temperatura di combustione.

2.4 La raccolta e il trasporto

La gestione del rifiuto inizia dalle operazioni di raccolta e trasporto. Anche nelle realtà locali meno sviluppate questa fase è cruciale per le azioni successive, qualunque sia la destinazione finale che si darà ai rifiuti. Essa implica una serie di decisioni organizzative e logistiche spesso assai impegnative, che devono necessariamente coinvolgere la popolazione con capillari campagne di informazione e di educazione. Anche a questo livello una progettazione inadeguata può comportare dei rischi per la salute: a titolo di esempio, basti pensare ai problemi sanitari causati da una insufficiente frequenza di raccolta nelle periferie urbane dei paesi tropicali, oppure all'inquinamento supplementare da traffico pesante prodotto da una

scelta infelice dei depositi intermedi.

La raccolta (*I contenuti di questo paragrafo sono tratti prevalentemente da "Solid waste management" – UNEP 2005*)

L'origine di qualsiasi sistema di trattamento dei rifiuti è la raccolta. Questa va calibrata accuratamente in base alle esigenze socio-ambientali della popolazione: fattori come il clima, il reddito medio, la densità abitativa, la struttura urbana, le abitudini di consumo, il budget a disposizione dell'amministrazione competente, e, in certi casi, persino le credenze religiose, condizionano il progetto dei sistemi di raccolta.

La copertura capillare garantisce da sola l'abbattimento di molti rischi ambientali e sanitari, benché nei paesi in via di sviluppo le aree povere e più densamente popolate vengano spesso escluse dalla raccolta, pur essendo quelle che avrebbero maggior necessità di un servizio efficiente. Questo accade perché i quartieri degradati non hanno le caratteristiche urbanistiche adatte al passaggio di mezzi meccanici, oppure perché si tratta di insediamenti illegali e quindi al di fuori del controllo dell'amministrazione competente, infine perché gli abitanti non sono in grado di far fronte alle tariffe richieste per il servizio.

Accade quindi che, sebbene il peso pro-capite dei rifiuti solidi urbani prodotti dai cittadini dei paesi in via di sviluppo sia solo il 30% - 40% di quello dei cittadini dei paesi industrializzati, la percentuale effettivamente raccolta dai sistemi urbani spesso non raggiunga il 50%. Ciò che non viene raccolto si accumula semplicemente negli incolti o viene gettato nei corsi d'acqua.

Allo scopo di ridurre i rischi per la salute umana, la frequenza e le modalità di raccolta vanno calcolate accuratamente in base alle caratteristiche già menzionate in apertura del paragrafo, cui occorre aggiungere informazioni come la frazione di umido mediamente

presente nei rifiuti e il ciclo vitale di alcuni parassiti. Nelle zone caratterizzate da alloggi piccoli e sovraffollati occorre prevedere una raccolta giornaliera oppure predisporre raccoglitori stradali numerosi e a poca distanza l'uno dall'altro per evitare la convivenza forzata dei residenti con la propria immondizia per più di 24 ore. La frequenza del prelievo andrà aumentata nei climi tropicali e nei periodi più caldi delle zone temperate, soprattutto quando la componente organica nei rifiuti è elevata. Una cadenza di raccolta almeno settimanale è indispensabile per evitare la propagazione della mosca domestica, il cui ciclo vitale (dalla schiusa dell'uovo alla maturazione dell'adulto) è di 7-8 giorni. Tuttavia, la putrefazione della materia organica a determinate temperature può comportare dei rischi già dopo due-tre giorni, rendendo consigliabile una frequenza almeno trisettimanale. In tutti i casi è fondamentale che i raccoglitori, sia domestici che comunali siano dotati di una copertura per impedire l'ingresso di roditori e parassiti. Anche gli addetti alle operazioni di raccolta e trasporto fanno parte della popolazione potenzialmente esposta a rischi: questi ultimi, infatti, se le procedure seguite sono inadeguate, possono venire facilmente in contatto con materiali tossici o infettivi.

Il trasporto

Il trasporto riguarda le operazioni di trasferimento dei rifiuti dai punti di raccolta agli impianti di trattamento o smaltimento.

Le fasi di raccolta e trasporto sono la parte più costosa dell'intero processo di trattamento dei rifiuti, per questo motivo la flotta dei mezzi e la distanza degli impianti vanno accuratamente pianificati in base alle specificità territoriali e al corretto bilanciamento tra costi e benefici. Di seguito, senza alcuna pretesa di esaustività, si riportano alcuni dei punti critici che emergono in questa fase:

- la menzionata “sindrome NIMBY” spinge gli amministratori a collocare gli impianti molto lontano dai centri abitati, ma in questo caso la distanza si traduce nell'intensificarsi del traffico di camion, a detrimento della salute dei residenti lungo la tratta.
- la raccolta differenziata nella versione “porta a porta”, può contribuire ad aumentare le emissioni in città, visto che i mezzi sono costretti a procedere per brevi soste ed accelerazioni e a coprire capillarmente i centri urbani.
- soprattutto nei paesi in via di sviluppo riveste un'importanza cruciale la scelta dei mezzi di trasporto: in generale i mezzi adatti alle zone residenziali a bassa densità di popolazione, con strade larghe e poco trafficate, sono inadatti ai quartieri più poveri, che, spesso, vengono semplicemente ignorati dalla rete di raccolta.
- mezzi sovradimensionati per la raccolta urbana o sottodimensionati per il trasporto a lunga distanza possono contribuire all'aumento dell'inquinamento.

2.5 Il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti solidi e le relative ripercussioni sull'ambiente

Il trattamento è definito come *“qualsiasi processo che trasformi le caratteristiche fisiche, chimiche o biologiche di un rifiuto per renderlo il più possibile innocuo per l'ambiente. Il trattamento può neutralizzare il rifiuto, recuperarne energia o materie prime, renderlo meno pericoloso, o più facile e sicuro da trasportare, immagazzinare o smaltire”* (definizione tratta da www.epa.gov).

Come si è visto, nella gerarchia dei rifiuti dopo la riduzione delle fonti

e il riutilizzo vengono il riciclaggio, il recupero e, da ultimo, lo smaltimento.

Non si tratta di modalità mutuamente esclusive: in un sistema integrato "ideale" in cui si cerca di riciclare tutto, ciò che residua dal riciclaggio va al recupero e ciò che residua dal recupero va comunque smaltito.

In appendice viene riportata una breve disamina dei metodi più diffusi di smaltimento raggruppati secondo le linee della gerarchia e un elenco di alcune delle sostanze tossiche derivanti dai rifiuti.

In questo contesto viene evidenziato il rapporto tra le diverse modalità di trattamento e le rispettive ripercussioni ambientali.

Il riciclaggio

Il riciclaggio consiste in una serie di operazioni prevalentemente meccaniche per la separazione dei materiali dai rifiuti al fine di ricavarne materie prime utili. Nei paesi sviluppati - se le operazioni vengono effettuate secondo gli standard di legge - non dovrebbero esserci ricadute sull'ambiente ad eccezione delle normali emissioni prodotte dai mezzi di trasporto e dai macchinari. Al contrario, nei paesi in via di sviluppo la maggior parte del riciclaggio avviene in modo informale, a volte direttamente nei siti di discarica, con gravi ripercussioni ambientali. La separazione dei metalli dalla plastica, per citare un esempio, viene effettuata per mezzo del fuoco, con rilascio di sostanze tossiche nell'atmosfera e nei corsi d'acqua.

Il compostaggio

Si tratta di una forma antica di trattamento dei rifiuti organici, relativamente sicura e facile da attuare anche a livello domestico. Anch'esso richiede tuttavia delle cautele: in primo luogo, il materiale destinato al compostaggio, se non adeguatamente protetto, attrae

facilmente roditori e insetti potenzialmente nocivi per l'uomo. Inoltre, quando insieme ai resti vegetali vengono trattati i fanghi di depurazione delle deiezioni umane o animali, c'è sempre il rischio che qualche agente patogeno entri in contatto con l'ambiente.

Il compost può anche contenere sostanze tossiche e metalli. Le prime possono essere prodotte dai meccanismi di decomposizione dei vegetali, mentre i secondi, se l'ambiente di crescita è inquinato, si depositano sulla superficie foliare con le piogge. I metalli si possono trovare anche nel compost derivante dalle attività zootecniche.

L'incenerimento

Consiste nella combustione controllata dei rifiuti in appositi forni, quasi sempre associata a varie forme di recupero energetico. Tutti i processi di combustione liberano nell'atmosfera svariate sostanze più o meno nocive a seconda dei materiali utilizzati, della temperatura raggiunta e della quantità di ossigeno presente nel forno. Tra queste ci sono alcuni gas come il cloruro di idrogeno, il fluoruro di idrogeno, il biossido di zolfo, il monossido e biossido di azoto oltre alle diossine e a metalli come il mercurio, il cadmio, il cromo.

Un altro sottoprodotto della combustione sono le cosiddette "micropolveri", frammenti di materiale di diametro così piccolo da poter raggiungere gli alveoli polmonari. Il particolato più piccolo (le polveri "ultrafini") riesce anche a varcare la membrana alveolare per entrare direttamente nel circolo sanguigno. La pericolosità delle micropolveri è legata alla loro capacità di veicolare sostanze tossiche, spesso cancerogene.

Un inceneritore coinvolge diverse matrici ambientali:

- l'atmosfera, come si è visto

- i corsi d'acqua superficiali, che ricevono lo sversamento delle acque di raffreddamento e di pulizia dei filtri
- il suolo dove, in appositi siti, vengono raccolte le ceneri non inertizzabili.

Le normative attuali richiedono controlli estremamente rigidi delle emissioni, con limiti giornalieri della fuoriuscita nell'ordine di pochi mg (quando non frazioni di mg) per metro cubo per la maggior parte delle sostanze. Alcune delle sostanze emesse, come le diossine e i metalli, combinano un'alta tossicità con un'alta stabilità, che le porta ad accumularsi nell'ambiente: anche una minima quantità prodotta giornalmente può condurre nel tempo a concentrazioni nocive per l'uomo e per l'ambiente.

La discarica

Consiste nell'accumulo al suolo dei rifiuti, in sito adeguato (non deve avere contatti con il sistema idrico superficiale e profondo) e previo un accurato isolamento del terreno.

La discarica produce emissioni in forma liquida (percolato) e - in minor misura – in forma gassosa (biogas).

La minaccia ambientale più consistente è rappresentata dal percolato, un liquido che si forma quando l'acqua meteorica penetra nella copertura superiore della discarica e ne attraversa gli strati fino al fondo caricandosi delle sostanze potenzialmente nocive contenute nei materiali. Se l'impianto è costruito secondo le normative, il percolato viene raccolto da appositi sistemi di captazione e la parte residua non raggiunge il suolo perché viene bloccata dagli strati isolanti del fondo. Il problema si pone per gli impianti più vecchi, non a norma e contenenti materiali di natura incerta: in questi casi non si può escludere la contaminazione del suolo e, se presenti, delle acque superficiali e di falda.

La composizione (e quindi la tossicità) del percolato è molto variabile: dipende essenzialmente dal tipo di rifiuti accumulati e anche dalla “maturità” della discarica, poiché una parte delle sostanze tossiche deriva dai processi di decomposizione biologica. Nel percolato si possono trovare azoto ammoniacale, vari composti organici contenenti cloro, bromo, iodio, fluoro oltre a metalli, solfati, solfuri e cloruri.

Quanto alle emissioni gassose, generate dalla decomposizione della frazione organica, sono costituite per la maggior parte da metano, che, se non captato all'origine, può contaminare l'ambiente.

2.6 Evoluzione nel tempo del tipo di trattamenti

Nel corso degli anni i governi dei paesi sviluppati hanno messo in campo innovazioni normative volte a ridurre la quantità di rifiuti prodotti e smaltiti. In particolare l'Unione Europea e gli Stati Uniti hanno cercato di scoraggiare il ricorso alla discarica in favore di forme di trattamento a minor impatto sul suolo.

Gli effetti di queste politiche in Europa sono evidenziati nella figura 14, dove si vede la graduale riduzione della quota di rifiuti urbani smaltita in discarica in favore di altri trattamenti (prevalentemente riciclo) e, in minor misura, dell'incenerimento.

Evoluzione nel periodo 1995-2009 della proporzione di RSU per tipo di trattamento

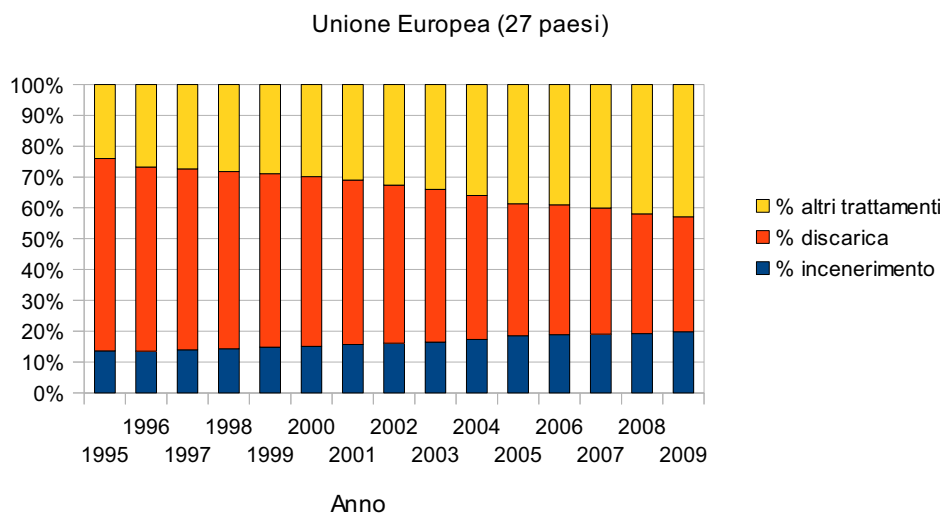


Figura 14: Composizione degli RSU prodotti nell'Europa dei 27 per tipo di trattamento (% su kg pro capite) - Fonte Eurostat

Evoluzione del trattamento dei RSU nel periodo 1960-2009

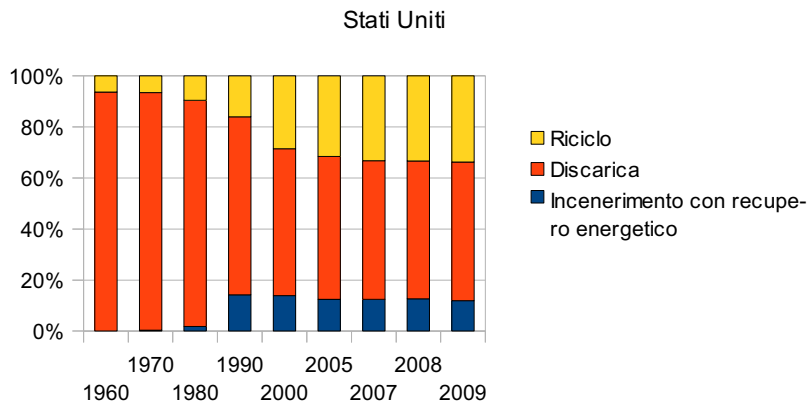


Figura 15: Evoluzione nella composizione dei rifiuti solidi urbani per tipo di trattamento negli Stati Uniti (Fonte: Rapporto EPA MSW, 2009)

La situazione oltreoceano è riportata nella figura 15. Anche negli USA si è visto un graduale incremento della quota di RSU riciclati e inceneriti a svantaggio delle discariche. L'opzione della discarica è tuttavia ancora la scelta maggioritaria, con una percentuale complessiva di rifiuti che nel 2009 si attestava sul 54,3%, a fronte di

un 37,23% dei paesi europei nello stesso anno. L'incenerimento negli USA sembra non essere decollato, con un 11,9% di RSU trattati contro il 19,88% in Europa.

In tabella 12 viene riportato il numero delle discariche presenti in diversi paesi UE prima e dopo l'applicazione della direttiva europea sulle discariche. Si può facilmente vedere come la direttiva abbia quasi ovunque portato ad una notevole riduzione dei siti, in alcuni casi anche molto consistente.

In tabella 13 viene riportato il numero di impianti di trattamento termico dei rifiuti in alcuni paesi europei. Coerentemente con quanto visto, il numero degli impianti è aumentato quasi ovunque in pochi anni.

Numero di discariche in alcuni paesi europei prima e dopo l'applicazione della direttiva europea sulle discariche 1999/31/EC

Paese	Anno	Pericolosi	Non pericolosi	Inerti
Austria	1998	0	61	400
	2001	0	53	752
Belgio-Fiandre	2001	6	11	11
	2004	4	7	5
Belgio-Vallonia	2002	10	13	16
	2004	10	10	16
Danimarca	1998	1	120	37
	2004	1	120	37
Finlandia	1998	7	351	8
	2003	15	162	71
Francia	1992	14	1200	N.D.
	2005	13	20	N.D.
Germania	2000	22	1838	N.D.
	2002	23	1775	N.D.
Grecia	2000	0	14	0
	2005	0	39	0
Irlanda	2001	0	48	2
	2005	0	30	2
Italia	2001	10	765	626
	2002	8	642	591
Lussemburgo	2001	0	2	10
	2004	0	2	10
Olanda	1999		38	
	2004		30	
Portogallo	2002	1	57	1
	2005	0	45	N.D.
Spagna			N.D.	
Svezia	1998		500	
	2002	44	225	47
Regno Unito	2001	200	2300	
	2004	12	938	

Tabella 12: Effetto della direttiva europea 1999/31/CE sul numero di discariche in alcuni paesi membri (Fonte: Rapporto Golder Europe EEIG, 2005)

Numero impianti di combustione dei rifiuti in Europa

Paese	Numero impianti	
	2001	2005
Austria	2	9
Belgio	18	18
Repubblica Ceca		3
Danimarca	32	34
Finlandia		1
Francia	112	127
Germania	60	68
Gran Bretagna	3	22
Ungheria	1	1
Italia	51*	51
Olanda	11	11
Norvegia	4	13
Portogallo	2	3
Spagna	8	10

* Il dato si riferisce all'anno 2003

Tabella 13: Numero degli impianti di trattamento termico dei rifiuti in alcuni paesi Europei – (Fonte: Rapporti ISWA sulla produzione di energia dai rifiuti - Anni 2002 e 2006)

CAPITOLO 3

Valutazione epidemiologica della nocività per la salute umana del trattamento dei rifiuti

3.1 Strumenti e metodi delle ricerche epidemiologiche

In questo paragrafo vengono richiamate alcune questioni di metodo specifiche per le ricerche epidemiologiche nel campo dei rifiuti.

i) MISURA DELL'ESPOSIZIONE

Per "esposizione" di un individuo ad un determinato fattore di rischio, nel presente contesto, si intende il contatto tra una superficie corporea (cute, tratto digerente, polmoni ecc...) e l'agente di rischio presente in determinate matrici ambientali (aria, suolo, acqua, catena alimentare ecc...). La matrice da considerare può essere diversa in relazione alla patologia che si intende analizzare.

La base di partenza di uno studio epidemiologico sulla nocività di un impianto di trattamento è l'esposizione individuale ad uno o più inquinanti.

La misura più precisa dovrebbe essere la rilevazione di un qualche biomarcatore che indichi il livello effettivo di esposizione di un individuo ad una sostanza. Chiaramente le rilevazioni che si possono condurre con questo metodo si devono limitare a test poco costosi e non invasivi, facili da condurre anche su popolazioni abbastanza numerose. Questo approccio consente di superare l'incertezza dovuta alle stime, anche se è più costoso di altri metodi e applicabile solo ad un numero ristretto di inquinanti. Si tratta comunque di una modalità sempre più utilizzata negli studi sulla

popolazione, anche perché negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi biomarcatori di esposizione, come si può rilevare dall'elenco sottostante.

Esempi di sostanze inquinanti per le quali sono stati sviluppati biomarcatori di esposizione (cfr. *Enhance Health*, 2007)

Sostanze	Biomarcatori
Piombo	Piombo nel sangue
Cadmio	Cadmio nelle urine
Cromo	Legami incrociati proteina-DNA
Mercurio	Mercurio nelle urine
Policlorobifenili (PCB)	PCB serico
Composti organici volatili (COV)	COV nel sangue
Pesticidi organoclorurati	Pesticidi nel latte materno
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	Addotti al DNA
DDT	DDE e altri metanoli nel tessuto adiposo

Benché gli studi basati sui biomarcatori consentano una misura più precisa dell'esposizione individuale a specifici inquinanti, non danno la garanzia di giungere a risultati definitivi. Due i motivi principali (cfr. Mattews et al., convegno WTO 2007):

- 1) Legame tra emissione ed esposizione: in assenza di dati ambientali specifici, l'esposizione da sola non è informativa circa la reale provenienza dell'inquinante e le sue modalità di ingresso nell'organismo.
- 2) Legame tra esposizione ed esiti: l'impatto sulla salute dell'esposizione a sostanze tossiche è noto solo per un numero limitato di esse. Inoltre si conoscono poco gli effetti sul

metabolismo individuale delle stesse e delle loro combinazioni. Fattori quali l'età, il sesso, la genetica potrebbero modificare in modo importante gli esiti patologici a parità di dose assunta.

Raramente si è provveduto alla misurazione diretta della qualità dell'aria all'interno o nei pressi delle abitazioni⁹.

Il più delle volte l'esposizione individuale viene stimata utilizzando *proxy* come la distanza dell'abitazione dalla fonte di inquinamento e il tempo di permanenza nell'area interessata. Negli studi descrittivi di tipo geografico possono venire utilizzati i **rapporti standardizzati proporzionali di mortalità per residenti stabili**, per evidenziare differenze di mortalità tra i residenti di lunga data e gli immigrati.

Il modo più semplice per attribuire a ciascun individuo una stima di esposizione è quello dicotomico (esposti/non esposti, generalmente su base geografica). In altri casi la popolazione viene classificata in base al tipo di contatto con gli inquinanti (lavoratori dell'impianto/popolazione esposta/popolazione non esposta) oppure in base a fasce di distanza della residenza dalla fonte di emissione. In alcuni casi vengono utilizzati i codici di avviamento postale per classificare le zone a rischio. Gli studi condotti fino ad ora mostrano un'ampia variabilità delle distanze ritenute "critiche": le indagini sulle discariche riportate in letteratura considerano distanze che variano dai 2 ai 10 km. Fino ad ora però nessuno studio ha dimostrato che la prossimità ad una discarica sia una *proxy* efficace. Uno dei motivi è il fatto che l'esposizione ad alcuni inquinanti, come le diossine, avviene prevalentemente attraverso la catena alimentare. Nei paesi dell'Europa Occidentale è raro che la popolazione consumi cibi prodotti localmente, e le fonti di acqua potabile sono generalmente

⁹ Tra gli altri: Janerich et al., 1981; Clark et al., 1982; Kharrazi et al., 1997 nell'ambito di una serie di studi aventi ad oggetto l'area urbana sorta sopra una ex discarica nel Love Canal (Stato di New York)

lontane dalle zone ritenute "a rischio" (cfr. Christopher, 2007, rapporto HEIMSTA).

Metodi più sofisticati prevedono l'utilizzo di modelli di dispersione, in grado di stimare la concentrazione delle sostanze tossiche a livello di singola abitazione, data una fonte di emissione. In questo modo è anche possibile "separare" la distribuzione degli inquinanti riconducibili a diverse origini. L'applicazione dei modelli richiede ovviamente la conoscenza approfondita delle caratteristiche della sorgente e del territorio, inclusa la meteorologia locale. La loro bontà dipende pertanto fortemente dalla qualità dei dati di partenza. Mentre le normative vigenti obbligano i gestori degli impianti a misurare periodicamente le emissioni di inquinanti in prossimità della fonte (camino, acque di scarico, percolato), non esistono normative altrettanto stringenti per i controlli ambientali, che vengono effettuati all'interno delle normali reti di monitoraggio della qualità di acqua e aria. È possibile che l'applicazione di un determinato modello richieda quindi delle misurazioni supplementari per integrare i dati esistenti.

In alcuni studi (Fielder et al., 2001) si è utilizzata la segnalazione di odori molesti come *proxy* di esposizione, altri (Lagakos et al., 1986; Wrensch et al., 1990, Deanne et al., 1992) hanno utilizzato come indicatore la fornitura e/o il consumo d'acqua proveniente da fonti contaminate.

Un filone di ricerca abbastanza promettente prevede il monitoraggio degli animali domestici e selvatici presenti nelle aree a rischio (De Nardo, 2005 – Rapporti ISTISAN). La vita breve degli animali e le loro abitudini alimentari e residenziali relativamente stabili ne fa dei soggetti ideali per l'identificazione degli inquinanti e delle relative modalità di ingresso negli organismi viventi.

La misura dell'esposizione rimane tuttavia la principale difficoltà delle

ricerche sui siti di trattamento dei rifiuti: uno dei fattori che consentono una indicazione di causalità tra un effetto e una fonte di rischio è la gradualità dose-risposta. Se al crescere della dose aumentano la probabilità e l'intensità degli esiti avversi, si può dedurre una relazione causale (fatti salvi i limiti che ogni dichiarazione causale comporta). Negli studi sugli impianti di trattamento, la debolezza della misura di esposizione rende difficile verificare legami dose-risposta, ad eccezione dei pochi casi di inquinamenti "acuti" accidentali, che non possono però essere generalizzati. Risulta quindi assai difficile indicare con chiarezza la responsabilità di un impianto circa lo stato di salute della popolazione residente.

ii) SELEZIONE E RILEVAZIONE DEGLI EFFETTI NOCIVI

La scelta degli *outcome* da indagare pone ulteriori problemi alle analisi statistico-epidemiologiche.

In generale gli studi si sono concentrati sull'analisi dei tumori e sulle patologie correlate alla gravidanza e al parto, mentre negli studi sugli inceneritori l'attenzione è rivolta preferibilmente alle patologie dell'apparato respiratorio.

In alcuni casi sono state riscontrate correlazioni significative tra l'esposizione a determinate sostanze (indipendentemente dalla fonte di emissione) e specifiche patologie. Molte indagini si sono quindi concentrate sugli effetti noti degli inquinanti prodotti dallo smaltimento dei rifiuti, sebbene fino ad oggi non siano state descritte patologie direttamente ed esclusivamente collegabili all'esposizione a determinati inquinanti. Tutte presentano eziologia multifattoriale, pertanto, anche in presenza di correlazioni significative, occorre esaminare la possibile presenza di altre cause.

Gli studi condotti sui tumori sono i più problematici, dato che si tratta

di patologie a) in alcuni casi rare nella popolazione generale b) con lunghi o lunghissimi periodi di latenza. La bassa frequenza dei casi sottopone le conclusioni all'incertezza delle fluttuazioni casuali, mentre il lungo periodo di latenza rende problematica la stima dell'esposizione.

Dolk suggerisce che gli studi sui tumori dovrebbero concentrarsi sui rischi delle aree industriali (piuttosto che di una specifica discarica) oppure utilizzare disegni caso-controllo con la ricostruzione retrospettiva delle storie residenziali (Dolk, 2007, convegno WHO).

Spesso vengono raggruppate manifestazioni patologiche simili tra loro per probabile origine. Questo permette di ottenere risultati più stabili, potendo contare su un numero più alto di "casi", tuttavia rende difficile la ricostruzione eziologica dei singoli esiti avversi all'interno del gruppo.

Alcuni studi hanno preso in considerazione sintomi auto-riportati (mal di testa, nausea, stress ecc...), attraverso la somministrazione di questionari. Per ovviare al pericolo di influenze psicologiche sulle risposte, a volte i questionari vengono fatti seguire da riscontri medici.

Talvolta la scelta della patologia da indagare è orientata dalla pubblicazione di altri studi nella stessa area che indicano correlazioni significative, o dalla rilevazione di particolari emergenze da parte delle autorità sanitarie o, ancora, dalla pronta reperibilità dei dati.

Molte sostanze tossiche interferiscono in modo complesso con il sistema riproduttivo maschile e femminile. Gli effetti teratogeni sul feto sono prodotti dall'esposizione materna o paterna all'inquinante prima del concepimento oppure dall'esposizione materna durante la gravidanza. Gli studi sugli effetti avversi sulla riproduzione sono tra i settori di indagine privilegiati: tralasciando la loro importanza dal

punto di vista sociosanitario, essi presentano il vantaggio del breve tempo di latenza tra l'esposizione e la manifestazione dei sintomi. In questo modo diviene più agevole collegare l'esposizione alla presenza di inquinanti (o, viceversa, in studi esplorativi, indicare le aree a rischio per la presenza di inquinanti a effetto teratogeno). Inoltre si ritiene che i feti siano particolarmente sensibili all'esposizione a sostanze nocive anche alle basse dosi emesse da impianti in condizioni normali di operatività. Non è stata invece dimostrata la possibile eziologia comune per le malformazioni fetali e i tumori negli adulti: non è detto che un inquinante teratogeno possa essere automaticamente anche oncogeno.

Un altro filone di indagine riguarda la misurazione di inquinanti e di sostanze mutagene o promutagene accumulate nell'organismo umano esposto alle emissioni collegate ai rifiuti (cfr. Kurttio et al., 1998; Scarlett et al., 1990; Ma et al.1992). In questi studi i risultati sono quasi sempre significativi, tuttavia la presenza di tossici nell'organismo non ha un riscontro significativo sullo stato di salute.

iii) INCIDENZA E PREVALENZA DEGLI ESITI AVVERSI

Una volta identificati gli esiti avversi e la popolazione di riferimento, è necessario indagare l'incidenza/prevalenza delle patologie oggetto di studio.

Il modo più rapido e meno costoso si basa sull'utilizzo delle **statistiche correnti** di mortalità e ricoveri ospedalieri, rilevate sistematicamente in quasi tutti i paesi industrializzati. Per gli studi sugli esiti riproduttivi vengono utilizzati i registri degli aborti e delle anomalie congenite. In particolare, il confronto tra i dati di mortalità di aree a rischio e non a rischio consente di individuare rapidamente eventuali criticità da indagare successivamente con strumenti più raffinati. Meno utilizzate le Schede di Dimissione Ospedaliera (SDO),

poiché non tutte le patologie di interesse vengono necessariamente trattate con ricoveri ospedalieri. In molte aree sono presenti i registri dei tumori il cui utilizzo in studi di piccole aree non ha tuttavia rivelato vantaggi superiori a quelli delle statistiche di mortalità (Enhance Health, 2007). Una possibile insidia dell'utilizzo di dati aggregati dai registri è stata dimostrata da Armstrong et al. (2007) in uno studio sulla variabilità geografica delle anomalie congenite: se gli esiti considerati sono molto rari, gli usuali metodi statistici possono rilevare dei cluster significativi anche con pochissimi casi. È necessario in questi casi un esame a livello individuale per ricostruire i legami di parentela tra gli individui affetti. Se questi appartengono alla stessa famiglia, l'interpretazione diventa problematica, dato che la patologia può derivare da fattori ambientali molto localizzati, ma anche da predisposizione genetica indipendente dall'esposizione.

Un altro modo per raccogliere dati sulla salute della popolazione sono i **questionari**, che presentano il vantaggio della retrospettività e del basso costo. I dati raccolti in questo modo scontano però i noti problemi di autoselezione, sovra o sotto stima dei sintomi, errori di memoria e vanno pertanto utilizzati con le dovute cautele. Diversi studi hanno dimostrato che chi si dichiara maggiormente consapevole dei rischi ambientali riporta sintomi più intensi, indipendentemente dalla distanza dell'impianto dalla sua residenza (cfr. ad es. Ozonoff et al., 1987).

In altri casi si utilizzano studi su campioni di popolazione, sottoponendo gli individui a **indagini cliniche specifiche**. Raramente però la popolazione residente in zone particolarmente a rischio è oggetto di programmi di sorveglianza sanitaria.

Va sottolineato che, in qualunque modo vengano misurate incidenza e prevalenza, i ricercatori non hanno quasi mai a disposizione le

corrispondenti misure "*baseline*", rilevate nella stessa popolazione prima dell'entrata in esercizio degli impianti. Tra i pochi che hanno potuto confrontare i dati prima e durante l'attività di una discarica Elliot et al. (2001), hanno riscontrato un eccesso del rischio di effetti avversi alla nascita nel periodo di esercizio dell'impianto rispetto al precedente periodo.

iv) METODI DI RICERCA

Come per la maggior parte degli studi epidemiologici su popolazioni umane, vengono escluse, per ovvi motivi pratici ed etici, le situazioni sperimentali. Gli studi sono pertanto osservazionali, di tipo descrittivo e analitico. Di seguito si riportano, senza pretesa di esaustività, i principali disegni di studio e le relative criticità.

► Cluster di malattia

Sebbene siano stati condotti studi di cluster su piccole aree (ad esempio: Viel et al. 2000), questi richiedono metodi statistici e tecniche di analisi non banali. Nella maggior parte dei casi non si tratta di uno specifico disegno di ricerca, ma della segnalazione di raggruppamenti anomali di patologie in aree circoscritte. Generalmente vengono rilevati e comunicati da medici di base od ospedali, che, nel corso della normale attività, si imbattono in manifestazioni patologiche che presentano una frequenza superiore alla norma in un'area circoscritta. In molti casi è l'evento che dà l'avvio alla ricerca epidemiologica vera e propria.

Un cluster può essere casualmente generato da una distribuzione omogenea sul territorio oppure essere associato a qualche causa precisa. Le analisi statistiche mirano a separare la componente dei cluster derivata da un pattern casuale da quella prodotta da eventuali trend con una determinata struttura spaziale.

► Studi descrittivi

Uno dei disegni più utilizzati sono le **indagini descrittive ecologiche di tipo geografico** basate su statistiche correnti (tipicamente rapporti standardizzati di mortalità per causa, meno frequentemente esiti di natalità, schede di dimissione ospedaliera, registri dei tumori ecc.). Le unità di indagine sono generalmente i comuni e loro aggregazioni. I vantaggi sono la velocità di esecuzione e il basso costo, mentre il difetto principale è il rischio di **fallacia ecologica**. Vengono spesso utilizzati come analisi preliminari per evidenziare le distribuzioni anomale da indagare successivamente con altri strumenti.

Più sofisticate sono le **analisi spaziali di eterogeneità** delle cause di morte. Viene indagata la popolazione dei comuni rientranti in un'area circolare con centro sulla fonte del rischio. Di questa si calcolano i rapporti standardizzati di mortalità per le cause di morte che da altre fonti o dalla letteratura si ritengono legate alle emissioni o che sono state rilevate come critiche da ricerche precedenti. Si suppone che, in assenza di correlazione spaziale, la mortalità sia distribuita uniformemente con distribuzione gamma in tutta l'area considerata. Il confronto tra il rischio atteso sulla base del parametro di dispersione stimato tramite la massima verosimiglianza e quello rilevato sul campo dà la misura di eventuali eterogeneità tra i comuni (cfr. Martuzzi, Hills, 1995).

► Studi analitici

Negli studi analitici si ricorre spesso al disegno **caso/controllo**. Agli individui affetti dall'*outcome* oggetto di studio vengono abbinati uno o più individui non affetti residenti nella stessa zona. Nel caso di studi sulla mortalità i controlli sono scelti tra i morti per cause diverse dalla patologia in studio. Sia per i casi che per i controlli viene poi

ricostruita la storia residenziale e occupazionale in un periodo di tempo precedente all'insorgenza dei sintomi e di ampiezza compatibile con la latenza della patologia di interesse. Negli studi di mortalità vengono somministrati dei questionari ai parenti più stretti superstiti. I limiti principali di questo metodo sono rappresentati da *recall bias* (quando le variabili vengono ricostruite retrospettivamente tramite questionari) e dalla possibile non rappresentatività dei controlli. Vantaggi: quando le patologie sono molto rare, non è possibile ricorrere a studi di coorte, e altri disegni implicherebbero una popolazione di riferimento di dimensioni eccessivamente impegnative.

Sebbene altamente probanti, gli studi di **coorte** vengono raramente applicati agli studi su impianti di trattamento dei rifiuti. Nella maggior parte dei casi le malattie oggetto di indagine hanno un'incidenza bassa e un lungo tempo di latenza. Sono alti di conseguenza i rischi di censura per emigrazione o decesso per altre cause ed è probabile che nella coorte selezionata nessun individuo sviluppi la patologia. Inoltre non è da trascurare la possibilità di diagnosi più accurate per gli esposti che per i non esposti, che porterebbero ad una distorsione delle stime di rischio. Per questi motivi vengono preferiti gli studi di coorte retrospettivi, che non sono esenti però dal rischio di distorsioni selettive della memoria. Ove possibile, studi di coorte retrospettivi possono essere effettuati tramite procedure di record-linkage tra dati censuari e sanitari.

► **Rassegne sistematiche**

Come già accennato, tra gli studi epidemiologici sugli impianti di trattamento, sono pochi quelli che giungono ad un livello sufficiente di evidenza. Tuttavia, anche se le conclusioni dei singoli studi sono in apparenza "deboli", non possono venire ignorate quando un certo

numero di indagini indipendenti evidenziano associazioni dello stesso segno.

Nel corso degli anni sono state prodotte alcune rassegne sistematiche che sintetizzano i risultati degli studi ritenuti di miglior qualità. Analisi "pooled" e meta-analisi sembrano invece assenti (perlomeno con gli strumenti di ricerca bibliografica utilizzati da chi scrive) probabilmente per la varietà di esiti, metodi e popolazioni considerati che rende gli studi disponibili difficilmente confrontabili con metodi quantitativi di tipo statistico.

Rassegne parziali sono state prodotte da svariati enti per i propri scopi istituzionali o nell'ambito delle valutazioni di impatto ambientale per progetti locali.

Le più recenti si basano prevalentemente sul reperimento e analisi di studi presenti in grossi database come Medline, integrando però i risultati con database "minori", ricerche bibliografiche particolari e relazioni di convegni. Si cerca in questo modo di limitare il *selection bias* dovuto alla tendenza di pubblicare "solo" risultati positivi e su riviste internazionali. È possibile tuttavia che i materiali selezionati si sovrappongano in misura più o meno importante tra una rassegna e l'altra, il che porta a ritenere che gli studi di buona qualità e facilmente accessibili non sono moltissimi.

A titolo di esempio, nella tabella 14, si sono confrontate tre rassegne epidemiologiche sull'impatto degli inceneritori sulla salute della popolazione, scritte in anni diversi, in Paesi diversi e da istituzioni

Tabella 14 – Sovrapposizione di studi in tre rassegne sistematiche aventi ad oggetto studi epidemiologici sull'esposizione a inceneritori

Titolo	Autori	Anno di pubblicazione	Organizzazione e paese	N. studi complessivi esaminati	Di cui presenti in almeno una delle due rassegne precedenti	Percentuale di sovrapposizione sul numero di studi valutati
Health effects of waste incineration: a review of Epidemiologic studies	Suh-Woan Hu, Carl M. Shy	2001	Air&Waste Management Association (USA)	21		
Health and Environmental Effects of Landfilling and Incineration of Waste – A Literature Review (solo il capitolo dedicato all'incenerimento)	HRB – Ireland	2003	Health Research Board (IR)	21	14	66,67
Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies	Michela Franchini et al.	2004	Istituto Superiore di Sanità (IT)	46	19	41,3

con scopi diversi. Si nota una buona percentuale di sovrapposizione. Inoltre va aggiunto che dodici studi, pubblicati tra la fine degli anni '80 e il 2000 sono comuni a tutte e tre le rassegne.

v) ELEMENTI STRATEGICI DEGLI STUDI EPIDEMIOLOGICI

► Riferimento territoriale

La maggior parte delle ricerche viene condotta nelle vicinanze di un particolare impianto ritenuto potenzialmente pericoloso (**studi monosito**). Generalmente l'indagine si attiva per le preoccupazioni espresse dalla popolazione o dagli amministratori locali sulla nocività del sito, quasi mai per iniziativa di un ente di ricerca interessato alla verifica di un'ipotesi. Tuttavia, dato che gli impianti sorgono lontano dalle aree più urbanizzate, spesso la popolazione interessata è troppo poco numerosa in relazione alla rarità degli esiti avversi oggetto di studio, con ripercussioni sulla (bassa) potenza nelle stime. Per arginare questo inconveniente molte ricerche coinvolgono impianti di aree diverse (**studi multisito**). In questo modo si incrementa la popolazione di riferimento, ma aumentano le incertezze dovute alla non omogeneità delle aree, degli impianti, dei materiali trattati e dei residenti.

► Popolazione di riferimento e sorgente di emissione

Gli studi epidemiologici condotti finora possono essere raggruppati in tre categorie principali. In base alla sorgente di emissione degli inquinanti si possono distinguere studi: sulle discariche, sugli inceneritori, sugli altri trattamenti, mentre i (pochissimi) studi su forme illegali di trattamento vanno collocati in una categoria a parte. All'interno poi di ciascuna di queste categorie si possono ulteriormente considerare, in base alla popolazione oggetto di

analisi, studi condotti sui residenti e sugli operatori.

► **Popolazione di confronto**

In certe circostanze può essere difficile identificare correttamente la popolazione di confronto. Ad esempio, si è calcolato che circa l'80% della popolazione del Regno Unito vive nelle vicinanze di una discarica (cfr. Saunders, 2007): in questo caso la quota dei non esposti è decisamente inferiore a quella degli esposti.

In certi casi la popolazione in esame risulta più simile per caratteristiche socio-demografiche e di abitudini a quella di altre regioni che non alla popolazione media della regione di appartenenza. Una scelta infelice della popolazione di confronto conduce a rischi di sovrastima o sottostima del rischio relativo, quando la patologia studiata è legata anche a fattori diversi dall'esposizione.

► **Intervallo temporale**

La scelta dell'intervallo temporale di riferimento deve essere compatibile non solo con il periodo di latenza della malattia (ad esempio, nel caso di molte forme tumorali si devono comprendere le esposizioni di un decennio precedente alla diagnosi, mentre nel caso di alcune malformazioni del feto i primi tre mesi di gravidanza), ma anche con la dimensione della popolazione esposta, con il tasso di incidenza della patologia e con la forza dell'associazione tra inquinante e malattia.

In molti casi nelle ricerche epidemiologiche relative a impianti di smaltimento tutte e tre le variabili sono basse, cosicché è necessario prendere in considerazione periodi di tempo più ampi. Lunghi intervalli di tempo, tuttavia, comportano l'introduzione di svariate fonti di variabilità di cui non sempre è possibile tenere conto

(modifiche della concentrazione di inquinanti, della popolazione residente, trend di malattia della popolazione generale, variazioni dei protocolli diagnostici ecc...).

Nella valutazione dell'intervallo temporale va anche considerato che per le patologie con insorgenza "silenziosa" come i tumori, può essere difficile stabilire l'esatto inizio della malattia. L'errata attribuzione dell'origine di una malattia alla finestra temporale di esposizione, può portare a delle sovrastime o sottostime del rischio.

► **Fonti di distorsione**

Quasi tutti gli studi sono affetti da possibili distorsioni derivanti da varie fonti.

Negli studi ecologici condotti con statistiche correnti occorre tener presente che le schede di mortalità possono essere affette da una qualità di diagnosi inferiore a quella delle analisi cliniche, e possono presentare variabilità dipendenti sia dai medici che dai classificatori che hanno compilato le schede di decesso. In particolare, può essere difficile identificare la causa principale di morte in caso di compresenza di più patologie. Inoltre può succedere che vi siano sistematiche misclassificazioni per alcuni gruppi di patologie. Anche gli studi basati sulle schede di dimissione ospedaliera, pur essendo di qualità più accurata dal punto di vista clinico, presentano notevoli punti deboli: in primo luogo la selezione dei casi, dato che per molte patologie si ricorre al ricovero solo se lo richiede la gravità dei sintomi, se esistono strutture adatte in zona o, al contrario, se non esistono strutture per il trattamento non ospedaliero; in secondo luogo il numero di ospedalizzazioni non tiene conto dei ricoveri multipli della stessa persona per la stessa malattia, pertanto un aumento dei ricoveri non significa necessariamente un pari aumento del numero dei malati.

In generale, gli studi basati sulla mortalità e/o sulla prevalenza di patologie possono subire distorsioni dovute alla qualità dell'assistenza sanitaria presente in zona: strutture sanitarie di livello non eccellente possono portare a sovrastime della mortalità e a sottostime della prevalenza. Anche i dati di incidenza risentono della capacità diagnostica delle strutture locali. Se poi gli studi vengono condotti su piccole aree, occorre considerare la mobilità dei pazienti verso centri ritenuti di migliore qualità, circostanza che rende difficilmente comparabili gli stati morbosi di gruppi di persone esposte agli stessi inquinanti ma che hanno avuto accesso a strutture di differente capacità.

Negli studi retrospettivi è sempre in agguato il rischio di *recall bias*: in particolare quando si tratta di ricostruire la misura dell'esposizione, coloro che sono affetti da una patologia sono portati a ricordare con maggior forza l'esposizione all'inquinante cui attribuiscono l'origine del male.

Negli studi longitudinali c'è il rischio di *ascertainment bias*, poiché è possibile che tutti gli attori coinvolti (popolazione e personale medico) tendano ad intensificare i controlli clinici sulle patologie che si ritengono associate all'esposizione oggetto di studio essendo consapevoli dei rischi ambientali.

Negli studi sugli esiti di natalità, quando vengono condotti in paesi che ammettono l'interruzione volontaria di gravidanza, potrebbero essere sottovalutate le malformazioni, in quanto gli aborti volontari sono più frequenti quando il feto presenta anomalie genetiche. Inoltre non va sottovalutata la possibile tendenza delle madri a spostarsi in altre zone durante la gravidanza (per la consapevolezza della possibile esposizione a inquinanti) portando ad una sottostima degli esiti avversi nei nati.

Negli studi sui lavoratori, una possibile fonte di distorsione è l'effetto

"lavoratore sano", poiché gli impiegati che si ammalano per cause che possono anche essere legate all'esposizione individuale tendono a terminare anticipatamente il rapporto di lavoro (morte, prepensionamento, invalidità, trasferimento in ambienti più salubri) cosicché i campioni di lavoratori potrebbero essere formati da individui più sani della media.

Gli studi basati su sintomi autoriporati come insonnia, difficoltà di concentrazione, irrequietezza nei bambini ecc... possono essere affetti da una maggiore sensibilità psicologica dei rispondenti nelle zone esposte quando questi sono consapevoli della preoccupazione per la salute pubblica nella propria area di residenza (*reporting bias*). Nelle rassegne sistematiche, Vrijheid sottolinea un possibile *bias* di pubblicazione, in quanto gli studi "negativi", essendo ritenuti meno interessanti, hanno meno possibilità di venire pubblicati rispetto agli studi "positivi", portando a sovrastime nei risultati.

► **Confondenti**

In qualsiasi modo vengano ottenute, le stime di esposizione vanno usualmente corrette con altri fattori individuali quali l'età, lo stato di salute, la condizione socio-economica, l'abitudine al fumo e l'alimentazione. Non sempre tuttavia sono disponibili le opportune informazioni qualitative.

Uno dei confondenti principali è quello legato alla **condizione socio-economica**: quasi tutti gli studi hanno evidenziato l'associazione tra condizioni di salute e status dei soggetti. Spesso la forza dell'associazione tra l'eccesso di rischio e le caratteristiche socio-economiche è maggiore di quella spiegata dai soli fattori ambientali. Tra l'altro si tratta di una variabile difficilmente controllabile, vista la complessità dei fattori sottesi, rendendo necessario ricorrere a delle *proxy* per stimarne l'entità. Una misura utilizzata spesso negli studi

geografici di tipo ecologico è l'**indice comunale di deprivazione sociale**, ricavato da dati censuari, che consiste in una combinazione di variabili quali: la frequenza scolastica, il tasso di disoccupazione, la proporzione di alloggi in proprietà, la superficie media degli alloggi, la proporzione di famiglie monogenitore (cfr. Martuzzi, Mitis, 2005). Nelle indagini basate sulla raccolta di questionari le *proxy* più utilizzate sono il titolo di studio e l'occupazione. La consapevolezza dell'importanza di questo confondente ha spinto alcuni alla ricerca di metodi più sofisticati per la sua classificazione: ad esempio, negli studi epidemiologici del progetto europeo ENHance Health è stato costruito un indicatore a 5 livelli attraverso un'analisi fattoriale basata sui dati censuari (cfr. Erstamer et al. 2004).

Molte popolazioni sono il frutto di flussi migratori da varie zone. Alcuni studi (Mitis et al., 2004) sulla mortalità delle popolazioni residenti in aree urbane industrializzate del nostro Paese sono stati penalizzati dalla compresenza di tre gruppi con caratteristiche di mortalità differenti: la popolazione stabile, in linea con il resto della regione, immigrati dal Sud con mortalità inferiore e immigrati dal Nord Est con mortalità più elevata.

Alcune abitudini di vita, come il fumo, l'uso di sostanze alcoliche o le abitudini alimentari, sono indicate in letteratura come possibile causa di patologie. Ad esempio il fumo di sigaretta è associato al tumore al polmone e alla vescica. Molte malformazioni congenite sono legate alla dieta della madre o all'abuso di alcol dei genitori. La sindrome di Down è associata all'età della madre al parto. Gli studi che hanno come oggetto queste patologie devono necessariamente tener conto dei fattori eziologici "concorrenti", che possono essere controllati solo con la raccolta di dati individuali.

► **Identificazione della sorgente di inquinamento**

Anche gli studi che riportano correlazioni positive e significative tra esposizione ed effetti avversi sulla salute, scontano l'incertezza dovuta alla sorgente delle emissioni.

Non è quasi mai possibile indicare un particolare impianto come principale sorgente degli inquinanti. Gli inceneritori, ad esempio, sono spesso collocati in zone altamente industrializzate, che presentano quindi svariate altre fonti di rischio. Lo stesso traffico veicolare associato all'impianto potrebbe essere responsabile di un buon numero di emissioni. Nel caso delle discariche, alcuni studi (Briggs et al., 2007) hanno dimostrato che le aree urbane presentano numerosi impianti non più in esercizio, rendendo difficoltoso il contrasto con le emissioni di quelle ancora attive.

In alcune aree, anche nel nostro Paese, sono presenti siti di smaltimento illegali difficilmente identificabili e utilizzati per smaltire sostanze di natura ignota. La vicinanza di tali siti con gli impianti "legali" oggetto delle indagini potrebbe sopravvalutare i rischi reali in modo non quantificabile.

È emblematico il caso dell'inceneritore di Barcellona (Kogevinas e Gonzales, 1999). Si tratta di uno studio caso-controllo basato sulla rilevazione a intervalli regolari dei livelli di diossina nel sangue di 104 residenti entro un raggio di 1.5 km dall'inceneritore e di 97 controlli, residenti a più di 4 km dall'impianto. Le analisi hanno riscontrato in tutti i soggetti (sia i casi che i controlli) un incremento dei livelli di diossina del 40% in 4 anni. La conclusione degli autori è stata che l'incremento dell'inquinante fosse da ascrivere ad un aumento generalizzato dell'esposizione dovuto a cibi contaminati o ad altre fonti sconosciute.

Più indicative sono a questo riguardo le rarissime indagini che confrontano la situazione sanitaria della popolazione prima e dopo

l'attivazione di un nuovo impianto, o, come negli studi relativi alla discarica del Love Canal, prima e dopo la bonifica del sito.

vi) METODI STATISTICI

La maggior parte degli studi riguarda la mortalità per alcuni sottoinsiemi di cause specifiche oppure gli esiti di natalità con malformazioni. La scelta è in parte dovuta alla presenza di registri di buona qualità reperibili in quasi tutti i paesi. Più complessa è l'identificazione delle misure *baseline* di confronto. Si utilizzano per questo motivo le misure rilevate su altre popolazioni, abbastanza vicine da escludere differenze importanti di stili di vita ed esposizione ambientale "di base", ma abbastanza lontane dall'impianto da essere considerate non esposte. In alcuni casi è stato possibile utilizzare come popolazione di confronto quella della stessa area, ma con misure riferite ad un periodo precedente l'apertura dell'impianto.

Lo scopo di quasi tutte le analisi è verificare l'esistenza di un aumento significativo del **rischio relativo** - o alternativamente dell'**odds ratio** - della popolazione esposta rispetto a quella di confronto.

Negli studi longitudinali e trasversali l'odds ratio tra esposti e non esposti viene ricavato dai parametri stimati attraverso regressioni logistiche, mentre negli studi ecologici vengono utilizzati gli SMR (*standardized mortality ratio*) a livello comunale o sub-comunale, ottenuti come rapporto tra il tasso di mortalità/morbosità locale e quello di un'area più ampia (in Italia, ad esempio, la Regione).

A volte vengono considerati i casi attribuibili o il numero di anni di vita persi (Forastiere et al., 2010). Meno frequentemente la quantità di confronto è una misura, ad esempio il peso alla nascita, la cui media viene confrontata con quella di una popolazione di riferimento

che si suppone non esposta.

In questi studi viene quasi sempre esaminata anche la distribuzione spaziale del rischio: si tratta di una conseguenza dell'utilizzo della distanza come misura dell'esposizione. Per convalidare l'ipotesi di un legame causale si cerca di dimostrare l'associazione tra patologia e presenza dell'impianto attraverso il crescere del rischio con l'aumentare dell'esposizione. Un eccesso di rischio non significativo ma che presenti una struttura spaziale significativa¹⁰ (con decremento associato alla distanza dalla fonte) potrebbe dare delle indicazioni su una possibile causalità. Anche la presenza di trend temporali di malattia nella popolazione stabile può dare conferma di una possibile causalità, supponendo che anche il tempo di permanenza possa essere utilizzato come *proxy* di esposizione per gli inquinanti più "longevi" (cfr. Zambon P. et al., 2007).

Poiché la numerosità della popolazione consente raramente approssimazioni nel continuo, i modelli probabilistici utilizzati per stimare la significatività si basano su distribuzioni discrete: generalmente la distribuzione di Poisson per il numero di osservazioni, la binomiale negativa per i rapporti standardizzati.

Sotto l'ipotesi nulla, si suppone dunque che il numero di casi osservati segua la distribuzione di Poisson, con parametro stimato in base al rischio della popolazione di confronto.

Tuttavia il rischio non è quasi mai distribuito uniformemente nelle varie unità del territorio di confronto, per cui la stima del parametro "nullo" è anch'essa variabile. Si suppone che, in condizioni di omogeneità, i tassi (di mortalità, morbosità, incidenza ecc...) siano distribuiti tra la popolazione come una v.c. Gamma, che quindi va incorporata nei modelli. Questo porta ad un indebolimento dei livelli di significatività delle osservazioni (cfr. Stone, 1988).

¹⁰ Ad. esempio, Michelozzi et al. (1998) riguardo al rischio di cancro alla laringe per gli uomini residenti vicino ad un inceneritore nella periferia romana.

Nel caso di studi su fonti puntiformi di inquinanti non è possibile escludere una struttura spaziale nella distribuzione dei rischi. Il test di Stone è basato sul rapporto di massima verosimiglianza tra l'ipotesi nulla di rischio uniforme e quella alternativa di distribuzione non crescente e viene spesso utilizzato per verificare la significatività di un trend spaziale.

Per gli studi ecologici viene a volte utilizzato il metodo bayesiano gerarchico che consente di rendere più stabili le stime dei rapporti tra casi osservati e casi attesi rispetto ai semplici SMR. Il metodo bayesiano consente infatti di incorporare nello stimatore anche la distribuzione di probabilità dei rischi rendendo più attendibili le stime quando la scarsa numerosità dei casi e/o della popolazione rende gli SMR molto variabili (cfr. Bianchi et al., 2005).

Dato il peso importante che assume come fattore di confondimento, la deprivazione socio economica merita un discorso metodologico a parte. Trattandosi di una caratteristica multifattoriale, per poterla includere nei modelli va sintetizzata con un indicatore. Questo viene costruito in vario modo con dati censuari o ricavabili da questionari. Un indice utilizzato spesso nel Regno Unito per indagini epidemiologiche ecologiche è il cosiddetto "*Carstairs deprivation index*", che si basa sulla combinazione di quattro variabili rilevate da dati censuari: proporzione di disoccupati, proporzione di proprietari di automobile, proporzione di residenti appartenenti a classe sociale bassa, sovraffollamento abitativo calcolato come proporzione di individui che risiedono in abitazioni con più di una persona per stanza. L'indice finale è una combinazione non pesata delle proporzioni standardizzate. Alcuni indici più sofisticati fanno uso dell'analisi fattoriale per quantificare la deprivazione attraverso una serie di variabili sociali.

3.2 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati dalle discariche

Oltre alle già descritte limitazioni nella quantificazione dell'esposizione, uno dei principali fattori che rendono difficile la valutazione di studi epidemiologici condotti sulle popolazioni vicine alle discariche è la natura del rifiuto, in particolare la distinzione tra rifiuti tossici e rifiuti urbani.

Le normative che identificano alcuni rifiuti come "tossici" variano tra paese e paese, oltre ad aver subito profonde modificazioni nel corso degli anni. Inoltre non c'è mai la certezza che le discariche di rifiuti urbani non ospitino anche rifiuti tossici, magari negli strati più profondi.

Per le discariche più antiche sono anche difficilmente reperibili informazioni "storiche" fondamentali come l'anno di apertura, il tipo di materiali smaltiti negli anni, la destinazione dell'area prima dell'apertura dell'impianto. Quest'ultima può costituire un importante confondente nei casi in cui l'utilizzo precedente del sito era di tipo minerario o industriale con emissioni potenzialmente tossiche.

Nel corso degli ultimi 30 anni sono stati condotti studi in prossimità delle discariche in quasi tutta Europa e negli USA. Molti di essi hanno riguardato impianti di smaltimento di rifiuti tossici o industriali e i due principali *outcome* indagati sono stati i tumori e gli esiti di natalità (tipicamente malformazioni congenite di origine sia genetica che non genetica e basso peso alla nascita). Solo raramente sono stati riscontrati eccessi di rischio significativi, e principalmente nelle indagini che riguardavano gli esiti di natalità in prossimità di rifiuti tossici. Tuttavia, a fronte di queste indagini ne sono state pubblicate altre di altrettanto buona qualità che non hanno rilevato effetti significativi.

I risultati sui tumori sono stati meno convincenti, anche per la grande varietà di manifestazioni morbose e di organi bersaglio.

In alcuni casi (Musumeci et al., 2004) lo studio epidemiologico è stato associato ad una caratterizzazione ambientale più accurata possibile degli impianti di discarica, con l'analisi della qualità di acqua e aria nelle zone adiacenti e la ricerca di eventuali altre fonti di rischio (industrie, utilizzo di fitofarmaci ecc.). Tale inquadramento può essere complicato per la mancanza/incompletezza/vetustà delle basi di dati ambientali cui attingere, in assenza di normative precise che impongano un monitoraggio ambientale omogeneo. Anche in questi studi, sebbene si siano riscontrate delle associazioni significative tra vicinanza al sito e alcune patologie, non è stato possibile attribuirle ad una fonte specifica.

Nella tabella 15 vengono riportati in sintesi i risultati di alcune delle rassegne sistematiche pubblicate negli ultimi anni aventi ad oggetto le discariche.

Nella tabella 16 vengono riepilogati alcuni studi epidemiologici dai quali si può dedurre la varietà di conclusioni raggiunte e le debolezze che ne minano la significatività complessiva.

In generale sembra che i risultati più robusti si siano avuti per il basso peso alla nascita dei nati da madri residenti presso alcuni siti di discariche, specialmente quelle contenenti rifiuti tossici. Tali risultati sono anche in linea con la letteratura medica che indica il basso peso alla nascita come uno degli effetti dell'esposizione a inquinanti durante la gravidanza. Studi epidemiologici relativi a situazioni "acute" (come ad. es. quelli relativi all'area residenziale edificata sopra una ex discarica nel Love Canal [stato di New York]) confermano queste ipotesi.

Aumenti significativi del rischio di nascita con anomalie congenite sono stati riscontrati dagli studi condotti su popolazioni residenti

Tabella 15 – ALCUNE RASSEGNE EPIDEMIOLOGICHE RIGUARDANTI LE DISCARICHE

Titolo	Autore	Anno	Studi esaminati	Metodo	Conclusioni
Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste	Porta et al.	2009	Studi in lingua inglese pubblicati tra il 1983 e il 2008, tra cui due rassegne sistematiche (Saunders e Russi), 10 studi di popolazione e 1 relativo ai lavoratori	Esame dei disegni di studio e dei potenziali bias, quantificando le sovra-sottostime su una scala di tre livelli	La maggior parte degli studi su discariche non presenta sufficiente evidenza. Lievi ma limitatamente significativi eccessi di rischio sono stati riscontrati per il basso peso alla nascita e le anomalie genetiche in nati da madri residenti entro 2 km da un impianto (2% e 6%, rispettivamente). L'eccesso di rischio tende ad aumentare quando si considerano solo gli impianti di rifiuti tossici
A systematic review of the evidence of an increased risk of adverse birth outcomes in populations living in the vicinity of landfill waste disposal sites ¹	Saunders	2008	29 studi in tutte le lingue pubblicati dal 1960 al 2006 riguardanti l'associazione tra esiti avversi alla nascita e residenza della madre in prossimità di una discarica. Di questi 18 erano multisito e 11 monosito	Selezione dai principali database e direttamente dagli autori per gli studi non pubblicati. Stima della rilevanza di ciascuno nell'ambito della rassegna	La maggior parte degli studi che mostrano associazioni significative sono di buona qualità, tuttavia la metà dei lavori considerati non evidenzia tale significatività e la maggior parte di questi ultimi sono altrettanto ben condotti. Gli studi migliori mostrano effetti deboli o nulli. Nessuno riporta una misura affidabile dell'esposizione e molti sono affetti da altre distorsioni. L'evidenza di associazione tra effetti avversi alla nascita e prossimità ad una discarica non è convincente
Health and environmental risk assessment in municipal and hazardous waste disposal.	Musumeci	2004	Più che di una rassegna, si tratta di un insieme di 4 studi esplorativi multi-sito, condotti in varie regioni d'Italia con vari metodi e fonti di dati diverse. Gli esiti considerati sono stati la mortalità della classe 0-14 per malformazioni, leucemie, tumori dell'encefalo, le malformazioni congenite, la natimortalità e abortività spontanea, il peso alla nascita e il sex/ratio. Per la classe 0-65 varie malattie tumorali e non.	Analisi del rischio ambientale di una serie di discariche italiane considerate rappresentative e successive indagini epidemiologiche nelle aree circostanti	Sebbene siano stati riscontrati alcuni aumenti significativi del rischio relativo, in particolare per le malformazioni congenite, non è stato possibile valutare il nesso di causalità tra le associazioni a carattere epidemiologico e la presenza di discariche. Viene sottolineata l'opportunità di procedere a studi di approfondimento successivi. Si auspica inoltre l'avvio di programmi mirati di sorveglianza sanitaria nelle aree dove sono stati riscontrati eccessi significativi di mortalità
Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites: A Review of Epidemiologic Literature	Vrijeid	2000	41 studi singolo-sito e 10 studi multisito pubblicati dal 1980 al 1998 prevalentemente negli USA. Gli esiti avversi considerati variano dai difetti congeniti, al basso peso alla nascita, a vari tipi di tumore, fino a sintomi autoriporati come stanchezza, insonnia ecc... Molti degli studi sono stati condotti a seguito di sversamenti accidentali di inquinanti ben noti, pertanto l'esposizione individuale è stata calcolata con accuratezza. Tuttavia le emissioni della normale attività di una discarica non possono essere paragonate a questi episodi.	Selezione dei principali studi condotti negli USA nell'ambito del progetto Superfund e di alcuni studi europei. I lavori sono stati raggruppati per metodo e esiti avversi considerati.	Benché affetti da molti problemi metodologici, distorsioni e potenziali confondenti, alcuni studi hanno riscontrato correlazioni limitatamente significative tra alcuni effetti sulla salute e la residenza vicino a particolari impianti. L'aumento consistente dei sintomi auto-riportati tra i residenti vicino ai siti indagati viene riportato in molti studi. Tuttavia non è possibile escludere che si tratti di reporting bias piuttosto che di effettivi danni tossicologici. Le evidenze circa maggiori rischi di sviluppare tumori sono invece nel complesso deboli. Più consistenti sono i risultati riguardanti il basso peso alla nascita, specie negli studi singolo-sito.

1 WHO Workshop 2008 – Roma – Annex 1

2 Rapporti ISTISAN 04/05

Tabella 16 – ALCUNI DEGLI STUDI EPIDEMIOLOGICI SULLA POPOLAZIONE RESIDENTI IN PROSSIMITA' DI DISCARICHE CONDOTTI NEGLI ULTIMI ANNI										
Dove non diversamente specificato, la tabella è una libera rielaborazione dalla rassegna sistematica di Porta et al. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste										
Titolo	Autore	Anno	Caratteristiche Sito	Popolazione	Disegno	Effetti avversi	Confondenti considerati	Misura esposizione	Conclusioni	Punti deboli
Increased incidence of cancer and asthma in houses built on a former dump area	Pukkala et al. (Finlandia)	2001	Discarica non più attiva di rifiuti solidi industriali e domestici	Residenti delle abitazioni costruite sopra l'area dell'ex discarica	Coorte	Cancro e asma	Sesso ed età	Tempo di permanenza	Eccesso di rischio di tumore al pancreas e alla pelle, crescente con il tempo di permanenza	Stima dell'esposizione basata solo sul tempo di permanenza, probabile presenza di confondenti residuali, stima degli effetti avversi imprecisa
Cancer risks in populations living near landfill sites in Great Britain.	Jarup et al. (UK)	2002	Studio multisito, comprendente 9.565 discariche di rifiuti tossici e non attive tra il 1982 e il 1997 in Gran Bretagna	Residenti entro un raggio di 2 km dagli impianti	Geografico	Cancro	Età, sesso, deprivazione sociale	Distanza dall'impianto	Nessun eccesso di rischio per tumori al rene, cervello, cancro epato-biliare e leucemia	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza
Small area study of mortality among people living near multiple sources of air pollution.	Mchellozzi et al. (IT)	1998	Discarica di RSU di Malagrotta, collocata nella stessa area di un inceneritore e una raffineria	Residenti entro un raggio di 10 km dal sito	Geografico basato sui tassi standardizzati di mortalità	Cancro	Età, sesso, deprivazione sociale	Distanza dall'impianto	Nessuna associazione tra distanza e tumore al fegato, ai polmoni, al sistema linfatico. Rischio decrescente con la distanza per il tumore alla laringe	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza, stima dell'incidenza con la mortalità, confondenti socio-economici probabilmente non del tutto controllati
Risk of congenital anomalies near hazardous-waste landfill sites in Europe: the EUROHAZCON study ¹	Dolk et al. - EUROHAZCON	1998	Studio multisito, comprendente 21 discariche di rifiuti tossici in 5 nazioni europee	Nati (vivi e morti) e aborti da madri residenti entro un raggio di 7 km dagli impianti distinguendo due fasce: 0-3km e 3-7km.	Caso-controllo	Anomalie congenite di origine non genetica	Età della madre, status socioeconomico	Distanza dall'impianto	Eccesso significativo di rischio di anomalie congenite nei nati da madri residenti entro 3 km dall'impianto (OR 95% 1.33 – CI 1.11-1.59)	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza, diagnosi non omogenee delle anomalie
Chromosomal congenital anomalies and residence near hazardous waste landfill sites ²	Vrijheid et al. - EUROHAZCON	2002	Studio multisito, comprendente 23 discariche di rifiuti tossici in 17 siti europei	Nati (vivi e morti) e aborti da madri residenti entro un raggio di 3 km dagli impianti distinguendo due fasce: 0-3km e 3-7km.	Caso-controllo	Anomalie congenite di origine genetica	Età della madre, status socioeconomico	Distanza dall'impianto	Eccesso significativo di rischio di anomalie congenite nei nati da madri residenti entro 3 km dall'impianto (OR 95% 1.41 – CI 1.00-1.99)	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza
Risk of adverse birth outcomes in populations living near landfill sites.	Elliott et al. (UK)	2001	Studio multisito, comprendente 9.565 discariche di rifiuti tossici e urbani attive tra il 1982 e il 1997 in Gran Bretagna	Nati (vivi e morti) e aborti spontanei da madri residenti entro un raggio di 2 km dagli impianti – Popolazione di riferimento residente a distanze superiori.	Geografico	Anomalie congenite e basso peso alla nascita	Sesso, anno di nascita, regione amministrativa, deprivazione sociale	Distanza dall'impianto	Eccesso significativo di rischio di anomalie congenite (OR 95% 1.01 – CI 1.005-1.023) e di basso peso alla nascita nei nati da madri residenti entro 2 km dagli impianti (OR 95% 1.05 – CI 1.047-1.055)	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza, possibili misclassificazioni nei registri correnti delle anomalie
Geographic density of landfill sites and risk of congenital anomalies in England.	Elliott et al. (UK)	2009	Studio multisito, comprendente 8804 discariche di rifiuti tossici e urbani attive tra il 1982 e il 1997 in Gran Bretagna. L'analisi è stata condotta separatamente per gli impianti di rifiuti tossici	Nati da madri residenti nell'area comprendente le discariche nel periodo 1983-1998. L'area è stata suddivisa in quadrati di 5x5km	Geografico	Anomalie congenite		Densità di impianti presenti entro un raggio di 2km dal luogo di nascita.	Debole associazione tra la nascita in zone con forte presenza di discariche di rifiuti tossici e alcune anomalie congenite. Nessuna associazione con la densità di discariche di rifiuti urbani	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza.
Risk of congenital anomalies in the vicinity of waste landfills in Denmark; an epidemiological study using GIS.	Kloppenberg et al. (DK)	2005	Studio multisito, comprendente 48 discariche danesi	Nati vivi da madri residenti vicino ad una discarica nel periodo 1997-2001	Geografico	Anomalie congenite		Distanza dall'impianto	Nessuna associazione tra distanza e rischio per quasi tutte le anomalie studiate, ad eccezione delle anomalie cardiovascolari che mostravano un RRR debolmente decrescente con la distanza	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza, rischio di confondenti socio-economici.
Down syndrome in births near landfill sites.	Jarup et al. (UK)	2007	Studio multisito, comprendente 6829 discariche attive tra il 1986 e il 1997 in Gran Bretagna	Nati vivi da madri che hanno risieduto entro 2km dall'impianto nei 2 anni precedenti la gravidanza	Geografico	Sindrome di Down	Età della madre, status rurale/urbano, deprivazione	Distanza dall'impianto	Nessuna associazione tra distanza e rischio, indipendentemente dalla natura dell'impianto	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza
Adverse birth outcomes associated with open dumpsites in Alaska native villages.	Gilbreath et al. (USA)	2006	Studio multisito riguardante discariche a cielo aperto contenenti rifiuti di varia pericolosità	Nati tra il 1997 e il 2001 da madri residenti in 197 villaggi dell'Alaska	Studio di coorte retrospettivo	Basso peso alla nascita, nascita prematura, ritardo di crescita intrauterina	Origine etnica della madre (nativa o no)	Distanza dall'impianto	Eccessi di rischio significativi e crescenti con la distanza dall'impianto per basso peso alla nascita e ritardo intrauterino. L'effetto era più marcato per i nati da donne native.	Stima dell'esposizione basata solo sulla distanza
Health study of New York City Department of Sanitation landfill employees.	Gelbert et al. (USA)	1997	Studio monosito riguardante la discarica di Fresh Kills (New York)	238 impiegati della discarica e 262 impiegati maschi in altri settori	Studio trasversale	Sintomi respiratori, dermatologici, neurologici e uditivi auto riportati e riferiti ad un periodo precedente di 6 mesi le interviste	Età, abitudine al fumo, status socio-economico, stile di vita	Impiego presso l'impianto	Prevalenza dei sintomi significativamente maggiore nei casi che non nei controlli, indipendentemente dal ruolo lavorativo	Mancanza di riscontro da altri studi analoghi
Valutazione del rischio sanitario e ambientale nello smaltimento di rifiuti urbani e pericolosi ³	Belli et al. (IT)	2004	Studio multisito riguardante i comuni di 8 province italiane in cui fosse presente almeno una discarica di rifiuti solidi urbani e/o pericolosi	Comuni delle 8 province nel periodo 1983/1997 – Sono state considerate due fasce demografiche: 0-4 anni e 5-14 – La popolazione di riferimento per ciascuna provincia è quella della regione di appartenenza	Studio ecologico con finalità esplorative	Cause di morte per malformazioni congenite, leucemia e tumore dell'encefalo	Età, sesso, anno di calendario	Comune di residenza	Mortalità perinatale superiore all'attesa negli aggregati comunali delle province di Napoli, Caserta, Lecce, Torino. Mortalità per anomalie congenite superiore all'attesa nei comuni della provincia di Napoli (solo malformazioni cardiache), Caserta e Reggio Emilia (solo malformazioni del sistema nervoso)	Limiti impliciti dell'indicatore (mortalità a livello comunale) – Mancanza di informazioni sul periodo di attività degli impianti – Patologie con eziologia multifattoriale -
Waste treatment and health in Campania, southern Italy ⁴	Martuzzi, Mitis (IT)	2006	Studio multisito riguardante i comuni delle province di Napoli e Caserta.	Popolazione residente nei 196 comuni nel periodo 1994-2002	Studio ecologico da registri correnti	Mortalità per cancro e prevalenza anomalie congenite		Comune di residenza	Mortalità significativamente superiore a quella media regionale nelle due province per molte cause di cancro. Lo stesso è emerso per le malformazioni congenite cardiache e urogenitali. Il rischio si concentra particolarmente in 40 dei comuni esaminati, un'area dove sono conosciute frequenti attività di smaltimento illegale	Mancanza di misure dirette di esposizione, presenza di molti altri fattori di rischio nella stessa area tra cui la diffusa attività industriale e elevatissima densità di popolazione.

1 Lancet 1998; 352: 423–27.

2 Lancet 2002; 359: 320–22

3 Rapporti ISTAT 04/05

4 Convegno WHO – Roma 2007 – Annex 1

vicino alle discariche di rifiuti tossici (Dolks et al., 1998; Vrijheid et al., 2002).

Eccessi consistenti e significativi di rischio per alcuni tumori e anomalie genetiche sono stati riscontrati da Martuzzi e Mitis in un'area di 40 comuni tra le province di Napoli e Caserta, nota per la diffusa presenza di siti di smaltimento illegali.

Gli studi che hanno indagato i sintomi autoriporati nelle popolazioni residenti vicino agli impianti hanno evidenziato quasi tutti delle correlazioni significative. Tuttavia, in assenza di riscontri medici, non è stato possibile escludere l'effetto prevalente del *reporting bias* dovuto alla consapevolezza dei potenziali pericoli.

Altri esiti avversi, come i difetti congeniti o i tumori, hanno dato risultati contraddittori, e, quando positivi, non generalizzabili. Gli studi sui lavoratori sono rari e considerano prevalentemente sintomi respiratori, neurologici, dermatologici (Gelbert et al., 1997). Nonostante le associazioni positive riscontrate, non è facile generalizzare tali risultati in mancanza di verifiche indipendenti o studi analoghi presso siti diversi. La maggior parte delle indagini, comunque, è stata condotta presso impianti vecchi, o illegali, o responsabili di episodi di inquinamento delle falde acquifere. Occorreranno nuove ricerche sugli impianti di più recente costruzione, aperti secondo normative più rigide.

3.3 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati dagli inceneritori

Dal punto di vista ambientale, le discariche si differenziano dagli inceneritori principalmente per la modalità di emissione prevalente: mentre per le prime il rischio principale è rappresentato dal percolato, i secondi emettono inquinanti in atmosfera sotto forma di gas o di particelle¹¹ che si depositano al suolo a distanze dipendenti dalle loro caratteristiche fisiche, dalla meteorologia locale e dall'altezza del camino. Quest'ultima può variare dai 70 ai 120 metri e consente una maggior diluizione delle emissioni in atmosfera. Gli studi epidemiologici sugli inceneritori si concentrano maggiormente sulle patologie relative all'apparato respiratorio, che si presume il più colpito dagli inquinanti dispersi per via aerea, anche se tali sostanze possono essere introdotte nell'organismo con il consumo di alimenti e acqua contaminati.

Dato che si tratta di emissioni minime ma continue nel tempo e che anche altre fonti (come il riscaldamento domestico, il traffico veicolare, le attività produttive) sono responsabili di flussi dello stesso tipo, quantificare l'esposizione individuale alle sole sostanze tossiche derivanti dall'incenerimento dei rifiuti risulta particolarmente complesso.

La misura dell'esposizione si basa sempre più spesso su modelli di dispersione, in grado di distinguere le varie origini degli inquinanti. A questo fine occorre individuare degli indicatori chimici (denominati *traccianti*) sufficientemente specifici da poter essere fatti risalire unicamente all'inceneritore, come ad esempio i metalli pesanti. I modelli di dispersione vengono talvolta completati con altri modelli

¹¹ Tra queste il particolato, classificato in: PM10, PM5, PM2.5 e particelle ultrafini in base al diametro massimo misurato in micron

statistici che, sulla base delle misure alla fonte e su alcuni punti al suolo detti recettori, stimano il contributo di ogni sorgente alla concentrazione degli inquinanti (*receptor model*).

La normativa vigente in Europa sugli inceneritori fissa le modalità e la periodicità dei controlli delle emissioni dal camino, mentre il monitoraggio delle matrici ambientali circostanti è demandato ai controlli di qualità dell'acqua e dell'aria. È necessario però che le rilevazioni siano di buona qualità per poterle incorporare nelle elaborazioni. Grazie a modelli di dispersione sempre più precisi¹² e all'utilizzo di *Geographic Information Systems* (GIS) per la georeferenziazione delle abitazioni, la stima dell'esposizione individuale basata sul luogo di residenza è divenuta sempre meno approssimativa con il progredire delle ricerche.

Per la valutazione dell'esposizione è importante anche distinguere tra inceneritori di vecchia e nuova concezione. In Europa la normativa sulle emissioni è stata rivista nel 2000, imponendo limiti molto più stringenti agli inquinanti: per alcuni di essi (come le diossine) la soglia giornaliera ammissibile è stata abbassata di centinaia di volte. Gli impianti di nuova generazione sono però raramente oggetto di studi epidemiologici, stante lo scarso lasso di tempo intercorso e il lungo periodo di latenza delle patologie collegate¹³.

Fino ad ora la maggior parte degli studi si sono concentrati sugli inceneritori più vecchi, anche perché occorrono diversi decenni per

12 Erspamer et al. nel rapporto ISTISAN 07/41 citano due lavori di validazione dei modelli di dispersione gaussiani, uno svolto in Francia e uno a Monaco (rispettivamente: Floret et al., 2006 e Cyrus et al., 2005): in entrambi i casi il confronto tra le misurazioni al suolo e le concentrazioni stimate dai modelli ne ha riscontrato l'affidabilità.

13 Linzalone e Bianchi (*Epidemiologia&Prevenzione* – n. 31 – Gennaio/Febrero 2007) citano ricerche che indicano i nuovi impianti come responsabili di una maggior produzione di particolato fine e ultrafine, poiché la combustione ad alte temperature provoca la frammentazione del particolato grossolano. L'alta tossicità delle polveri fini e ultrafini (prodotte dal traffico veicolare e da tutte le forme di combustione) giustificherebbe un approfondimento sul contributo aggiuntivo dei termovalorizzatori all'emissione in atmosfera di questi inquinanti.

accumulare nell'ambiente concentrazioni di sostanze tossiche potenzialmente nocive.

Va da sé che, per quanto precisa, la stima della concentrazione di inquinanti nei pressi di un'abitazione è solo una *proxy* della reale esposizione dei residenti e come tale sconta le difficoltà già rilevate nel paragrafo precedente. In alcuni casi è possibile risalire tramite record linkage alla storia residenziale della popolazione, tuttavia la residenza anagrafica da sola non è indicativa del tempo trascorso nella propria abitazione. Per questo motivo molti studi hanno integrato le stime anche con questionari sulle abitudini di vita dei residenti.

A differenza dei lavoratori delle discariche, gli studi condotti sugli impiegati degli inceneritori sono più numerosi. Si tratta sicuramente degli individui più esposti agli inquinanti, ma gli eventuali risultati ottenuti difficilmente possono essere estesi alla popolazione generale per una serie di confondenti quali il sesso (prevalentemente maschile), l'età (più giovane della media della popolazione adulta), lo stile di vita e per l'effetto "lavoratore sano". Inoltre le modalità di esposizione non sono sovrapponibili, in quanto i lavoratori vengono in contatto con ceneri e scorie, mentre la popolazione è interessata dalle emissioni del camino.

Anche in questo campo si sono stratificati negli anni diversi studi epidemiologici, spesso indotti dalla preoccupazione dei residenti riguardo a possibili danni per la salute.

Nella tabella 17 vengono schematizzati le caratteristiche e i risultati di alcune rassegne sistematiche.

Tabella 17 – ALCUNE RASSEGNE EPIDEMIOLOGICHE RIGUARDANTI GLI INCENERITORI					
Titolo	Autore	Anno	Studi esaminati	Metodo	Conclusioni
Health effects of waste incineration: a review of Epidemiologic studies	Suh-Woan Hu, Carl M. Shy	2001	11 studi sulla salute di popolazioni e 11 dei lavoratori pubblicati tra il 1985 e il 1999. 4 di essi riguardavano gli esiti riproduttivi, 4 i tumori, 2 le patologie respiratorie, uno gli effetti sulle funzioni polmonari ed epatiche	Classificazione per popolazione e inceneritore, stima dell'esposizione, esiti considerati	Risultati contraddittori per eccesso di parti gemellari e di basso sex ratio. Associazione significativa per tumore al polmone (RR 6,7), alla laringe e altre sedi con rischio decrescente con la distanza (Biggeri, Michelozzi, Elliott), anche se i risultati non sono conclusivi per la presenza di altre fonti e confondenti non interamente controllati. Capacità polmonare significativamente ridotta in soggetti sensibili (Shy). Tra i lavoratori, significativo aumento di mortalità per cancro allo stomaco, crescente con la durata dell'impiego. La significatività si indebolisce considerando il basso numero di morti.
Health hazards and waste management	Rushton	2003	Sottoinsieme di 10 studi pubblicati dal 1992 al 2001 riguardanti gli inceneritori un una più vasta rassegna concernente lo smaltimento in generale. 3 di essi riguardano la tossicità di singoli inquinanti che possono essere emessi anche dagli inceneritori. 2 riguardano i lavoratori.	Analisi informale	Studi condotti sui singoli inquinanti hanno mostrato che l'esposizione a livelli ambientali di particolato e biossido di zolfo causa un aumento della mortalità e morbidità cardiovascolare e respiratoria. Si riscontra scarsa evidenza di esiti riproduttivi avversi e di patologie respiratorie, mentre ci sono evidenze di aumenti significativi di rischio per molti tumori decrescenti con la distanza dagli impianti. I risultati sui lavoratori sono contraddittori. Aumenti significativi dei livelli organici di sostanze tossiche sono stati riscontrati tra i lavoratori, ma non sembra abbiano dato esiti patologici evidenti.
Health and Environmental Effects of Landfilling and Incineration of Waste – A Literature Review	Health Research Board – Ireland	2003	253 articoli pubblicati e peer review ed estratti da MEDLINE integrati con articoli non presenti in MEDLINE ma pubblicati in siti di organizzazioni nazionali, internazionali e accademiche. Sono state incluse anche le ricerche epidemiologiche condotte nell'ambito delle valutazioni di impatto sanitario. Gli articoli riguardavano sia discariche che inceneritori. Tra gli studi selezionati per gli inceneritori 4 riguardavano patologie respiratorie non oncologiche, 3 gli effetti riproduttivi, 7 i tumori	Selezione e analisi informale degli studi	C'è qualche evidenza di correlazione tra la vicinanza ad un inceneritore e disturbi respiratori. Un certo numero di studi ha riportato associazione tra la residenza vicino ad un impianto e alcune forme di tumore, in particolare del fegato, laringe, polmone e sarcoma dei tessuti molli. I risultati relativi all'eccesso di parti gemellari e alterato rapporto tra i sessi alla nascita non sono conclusivi. Si sottolinea la necessità di ulteriori indagini basate su misure di esposizione più precise e sugli effetti a lungo termine di singoli inquinanti. Riguardo ai lavoratori presso gli inceneritori, viene riportato un eccesso di rischio di cardiopatie ischemiche crescenti con la durata dell'occupazione.
Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies	Franchini et al.	2004	46 studi pubblicati tra il 1987 e il 2003. 32 riguardano gli effetti sulla popolazione esposta, 11 gli effetti dell'esposizione occupazionale, 2 riguardano l'ambiente e l'occupazione e 1 gli effetti patogenici della diossina. La rassegna epidemiologica viene introdotta da un elenco di potenziali agenti cancerogeni accompagnati dal livello di evidenza della relazione tra esposizione e patologie.	Classificazione per disegno di studio e patologia considerata. Di ciascuno studio vengono sintetizzati i risultati, la misura dell'esposizione e degli effetti inoltre vengono evidenziati i confondenti controllati.	Si riscontrano associazioni significative per tumori al polmone, tumori infantili, sarcoma dei tessuti molli e linfoma non-Hodgkin. Vengono mostrate associazioni positive anche per le malformazioni congenite, e le alterazioni degli ormoni tiroidei, mentre gli studi relativi al tumore al fegato e laringe nonché ad altre forme patologiche non sono conclusivi.
Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes	DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) UK	2004	23 studi epidemiologici e quattro rassegne sistematiche pubblicati tra il 1989 e il 2001	Gli studi sono stati valutati sulla base del potere statistico, del controllo dei confondenti e della stima dell'esposizione	Gli autori classificano come non conclusivi quasi tutti gli studi. Quelli che evidenziano associazioni significative (es. Biggeri, Michelozzi, Elliott) presentano confondenti non del tutto controllati oppure la mancanza di misure ambientali non consente di attribuire gli effetti patologici ad una fonte specifica. In ogni caso viene evidenziato che tutti gli studi riguardano impianti di vecchia generazione e, anche se qualche effetto ci fosse, esso non sarebbe generalizzabile alla situazione attuale.
Inceneritori: non solo diossine e metalli pesanti, anche polveri fini e ultrafini ²	Linzalone et al.	2007	13 tra rassegne e singoli studi relativi ad impianti di vecchia generazione pubblicati tra il 1992 e il 2004 – 13 studi relativi a impianti di nuova generazione e/o effettuati con l'utilizzo di tecniche di modellizzazione o dei biomarcatori per la misura dell'esposizione pubblicati tra il 2000 e il 2006	Analisi informale	Presso impianti di vecchia generazione sono stati riscontrati aumenti significativi di biomarcatori nei lavoratori. Sintomi respiratori ed alcuni tipi di tumori nella popolazione residente. Gli studi più recenti evidenziano le differenze di impatto tra residenti nei pressi di vecchi e nuovi impianti e livelli alterati di biomarcatori per diossine e metalli nei lavoratori degli impianti di nuova generazione. Studi basati sui biomarcatori hanno riscontrato maggiori concentrazioni di diossine tra chi consuma cibi prodotti in loco e chi non consuma prodotti locali. Queste differenze crescono tra i residenti in prossimità degli impianti.
Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste	Porta et al.	2009	Sottoinsieme di 18 studi in lingua inglese pubblicati tra il 1988 e il 2005 relativi agli inceneritori, raccolti nell'ambito di una più vasta rassegna comprendente anche altri tipi di trattamenti. Si tratta di 10 studi di tipo geografico, 5 caso-controllo e 3 trasversali. A questi si aggiungono 4 studi (pubblicati dal 1992 al 2003) relativi ai lavoratori impiegati presso gli impianti – 3 sono studi trasversali e 1 è uno studio di coorte retrospettivo	Esame dei disegni di studio e dei potenziali bias, quantificando le sovra-sottostime su una scala di tre livelli	tumori (in particolare: stomaco colon, fegato, polmoni, linfoma non Hodgkin) per i residenti in prossimità di inceneritori. La compresenza di altre fonti di inquinamento, la debolezza delle misure di esposizione e dubbi sul completo controllo dei confondenti limitano tuttavia l'interpretazione generale dei risultati. Alcuni lavori hanno riscontrato maggiore probabilità di parti gemellari e un alterato rapporto tra i sessi dei nati (con nascite di femmine superiori all'attesa). Per le malformazioni congenite e la natimortalità le evidenze sono limitate e contraddittorie. Inadeguata evidenza complessiva degli studi aventi per oggetto le patologie acute (asma, dermatiti ecc...). Tra i lavoratori, alcuni studi rilevano maggior rischio di tumore allo stomaco e patologie respiratorie, anche se, a causa delle molte incertezze, i risultati non si possono considerare conclusivi.

¹ Articolo pubblicato sulla rivista SNOP APRILE 2006 – N. 67

² Articolo pubblicato su EPIDEMIOLOGIA & PREVENZIONE gennaio/febbraio 2007

In conclusione le evidenze sulla nocività degli inceneritori esistono anche se sono limitate e diversi studi si contraddicono reciprocamente. La difficoltà consiste nell'identificare l'apporto individuale dell'inceneritore all'esposizione complessiva, data la compresenza di altre attività industriali, traffico veicolare, discariche temporanee ad uso delle aziende e dello stesso inceneritore. Anche le indagini condotte sui lavoratori non hanno condotto a risultati definitivi. Maggiore significatività si è riscontrata nella misurazione di livelli di sostanze tossiche nei capelli dei residenti, sangue e urina dei lavoratori. Tuttavia non è stato stabilito un legame preciso tra parametri organici e presenza di patologie.

3.4 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati dalla raccolta e da altri tipi di trattamento

Gli studi sulla raccolta dei rifiuti, il compostaggio e il riciclaggio sono scarsi e riguardano prevalentemente i lavoratori. Molti si basano prevalentemente su sintomi auto-riportati, ma ci sono anche *follow-up* con misurazioni della capacità respiratoria (Bünger et al., 2007) e misurazioni dell'esposizione ambientale associati a test della capacità respiratoria (Sigsgaard et al., 1994). Per questo genere di lavoratori i rischi derivano principalmente dall'inalazione di polveri e composti organici volatili, nonché dal contatto con sostanze tossiche, spore fungine e batteri. Rischi supplementari derivano agli addetti alla raccolta da una maggior frequenza di infortuni sul lavoro e problemi muscolo-scheletrici. Si tratta infatti di una categoria che svolge mansioni impegnative dal punto di vista fisico.

Le operazioni di compostaggio generano composti organici volatili derivanti da microorganismi (il c.d. *bioareosol*) che possono

rappresentare una minaccia non solo per i lavoratori, ma anche per la popolazione residente nelle vicinanze degli impianti.

Per tutte le categorie si sono riscontrati sintomi di tipo respiratorio, con irritazione delle vie aeree e ridotta capacità polmonare. Sembrano frequenti anche i problemi cutanei e gastro-intestinali, mentre gli studi sui tumori hanno dato risultati contraddittori.

Nella tabella 18 sono sintetizzate le conclusioni riportate in tre rassegne sistematiche aventi ad oggetto forme di trattamento diverse.

Tabella 18 – ALCUNE RASSEGNE EPIDEMIOLOGICHE RIGUARDANTI GLI ALTRI TIPI DI TRATTAMENTO

Titolo	Autore	Anno	Studi esaminati	Metodo	Conclusioni
Health hazards and waste management	Rushton	2003	Sottoinsieme di 6 studi riguardanti altri tipi di trattamento in una più vasta rassegna concernente lo smaltimento in generale. 4 riguardano gli addetti alla raccolta e trasporto, 1 gli addetti al compostaggio, 1 riguarda gli addetti alla bonifica di rifiuti pericolosi	Analisi informale	Tra gli addetti alla raccolta si segnalano infortuni sul lavoro e problemi muscolo-scheletrici più frequenti rispetto ad altre categorie di lavoratori. Tra gli addetti alla raccolta e al riciclaggio si segnalano sintomi respiratori e gastro-intestinali. Studi non conclusivi e in reciproca contraddizione segnalano maggiore incidenza di tumore al polmone e allo stomaco tra gli addetti alle stazioni di transito di due inceneritori. Lo studio sugli addetti al compostaggio sottolinea una maggiore e significativa incidenza di disturbi gastro-intestinali e alle vie aeree. Lo studio sugli addetti alle bonifiche rivela che il rischio di morte per incidenti sul lavoro è di ordini di grandezza maggiore a quello di ammalarsi di tumore.
Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes	DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) UK	2004	4 studi sui lavoratori addetti al riciclaggio, 6 studi su addetti al compostaggio, 3 sulla popolazione residente vicino a impianti di compostaggio	Gli studi sono stati valutati sulla base del potere statistico, del controllo dei confondenti e della stima dell'esposizione	Tra i lavoratori degli impianti di riciclaggio sono stati riportati sintomi quali asma, allergie, nausea irritazioni di occhi e pelle, affaticamento, sintomi respiratori. Ci sono forti evidenze di maggiore incidenza di disturbi allergici tra gli addetti al compostaggio, come pure disturbi gastro-intestinali dovuti all'esposizione a funghi e endotossine. Due degli studi sulla popolazione residente vicino a impianti di compostaggio non hanno riscontrato eccessi di rischio, mentre uno (Herr et al., 2003) ha evidenziato un rischio significativamente elevato di irritazioni a occhi, pelle, vie aeree.
Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste	Porta et al.	2009	Sottoinsieme di 12 studi, raccolti nell'ambito di una più vasta rassegna comprendente anche altri tipi di trattamenti. 2 riguardano i lavoratori addetti alla raccolta, 2 i lavoratori addetti agli impianti di compostaggio, uno la popolazione residente vicino a impianti di compostaggio. 7 studi riguardano la salute dei lavoratori addetti al riciclaggio. Gli studi su raccolta e compostaggio si basano su sintomi auto-riportati	Esame dei disegni di studio e dei potenziali bias, quantificando le sovra-sottostime su una scala di tre livelli	I risultati sugli addetti alla raccolta, riguardanti disturbi gastrointestinali e respiratori sono in reciproca contraddizione. Associazioni significative sembrano esserci tra sintomi di irritazione delle vie respiratorie e residenza vicino a impianti di compostaggio. Tra i lavoratori degli impianti di compostaggio gli studi rilevano prevalenza di problemi respiratori e cutanei. Presso i lavoratori degli impianti di riciclaggio vengono riportati problemi respiratori e gastrointestinali, in particolare tra coloro che lavorano la carta.

3.5 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati da trattamenti illegali

Gli studi epidemiologici si sono quasi esclusivamente concentrati sull'analisi dei metodi di smaltimento rispondenti alle indicazioni di legge. Anche se i siti oggetto di studio sono entrati in esercizio per la maggior parte quando erano in vigore normative meno restrittive delle attuali, gli impianti si inquadrano comunque in un contesto di vigilanza ambientale e sanitaria e il tipo di materiali ammessi è stabilito a priori.

Uno studio epidemiologico su trattamenti di cui non si sa nulla è invece un terreno insidioso, non potendosi identificare né la sorgente degli inquinanti né la loro natura.

In alcuni Paesi, specialmente quelli in via di sviluppo, sono in funzione impianti che sarebbero sicuramente considerati illegali in paesi più maturi sotto il profilo ambientale, ma che, in mancanza di norme e/o di adeguata sorveglianza, non vengono sanzionati.

A complicare il quadro c'è spesso la connivenza dei residenti, quando larghe fasce della popolazione traggono sostentamento dal recupero di rifiuti attuato con modalità inopportune.

Un caso tipico è il recupero di metalli dai cavi elettrici usati.

Per separare la plastica dal metallo, le procedure corrette prevedono l'utilizzo di appositi inceneritori oppure di macchine granulatrici che effettuano una separazione meccanica dei materiali.

Il modo più semplice e meno costoso è invece la combustione incontrollata all'aria aperta, che libera nell'ambiente metalli pesanti, particolato e altre sostanze altamente tossiche, oltre alle diossine.

Uno studio trasversale condotto nella zona di Wanli, nella parte meridionale di Taiwan, ha esaminato la capacità polmonare dei bambini esposti dalla nascita a questa fonte di inquinamento (Wang

et al., 1992). Gli autori hanno effettuato misurazioni della qualità dell'aria e hanno sottoposto a spirometria due campioni di 100 scolari dodicenni. Il campione di controllo è stato selezionato tra i residenti della città più vicina, simili per caratteristiche sociodemografiche, ma residenti in zone non esposte. Inoltre sono stati somministrati dei questionari ai genitori, con lo scopo di controllare i fattori di confondimento. È stato tenuto in debita considerazione anche il *bias* derivante dal timore che l'emergere di problemi sanitari inducesse le autorità a chiudere l'attività di recupero: i bambini per i quali i genitori non avevano segnalato sintomi respiratori sono stati sottoposti a esami clinici più approfonditi. Il confronto tra i due gruppi ha evidenziato un'incidenza significativamente molto maggiore di anomalie della funzione polmonare tra i bambini esposti e non esposti. Si tratta di un fenomeno che gli autori considerano preoccupante e meritevole di approfondimenti, anche se sottolineano la difficoltà di ottenere dati da organismi diversi per competenza e temono che indagini ambientali più mirate possano venire ostacolate da interessi politici ed economici.

Anche nelle nazioni dove esiste una rigorosa normativa ambientale, tuttavia, possono manifestarsi fenomeni di illegalità. È il caso della Campania, dove coesistono discariche in regola e sversamenti incontrollati in aree molto vaste e densamente popolate. Le discariche non autorizzate e i siti di abbandono si concentrano specialmente nella parte nord-occidentale della regione e precisamente: il litorale Domizio-Flegreo, l'Agro Aversano, l'area a sud di Caserta e l'area a nord-est di Napoli. Molti dei siti contengono rifiuti industriali pericolosi e spesso si segnalano attività di incenerimento illegale.

Dopo il commissariamento, avvenuto nel 1994, la regione è stata oggetto nel tempo di diverse campagne di monitoraggio su iniziativa della Protezione Civile. Nel 2004 è stato varato uno studio epidemiologico in più fasi sulle implicazioni sanitarie del ciclo dei rifiuti in Campania. Il lavoro, commissionato dalla Protezione Civile, ha coinvolto l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), l'Istituto Superiore di Sanità (ISS), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), oltre all'ARPA Campania e l'Osservatorio Epidemiologico della Regione Campania (i risultati delle varie fasi di ricerca sono pubblicati nel sito Internet ufficiale della Protezione Civile www.protezionecivile.gov.it). L'indagine, conclusasi nel 2007, ha preso in esame le anomalie congenite, la mortalità per tumori e la mortalità per cause non tumorali nel periodo 1994-2002. Le prime fasi, costituite da analisi geografiche e descrittive delle anomalie congenite, hanno evidenziato un'area di maggior rischio sanitario, compresa tra le province di Napoli e Caserta. Allo studio pilota sono state affiancate mappature precise dei siti a rischio, dell'indicatore rifiuti (IR)¹⁴ e dell'indice di deprivazione. Le indagini successive, incorporando come covariate l'indice di deprivazione e l'IR, hanno approfondito l'associazione tra inquinamento da rifiuti e salute umana. Gli esiti considerati sono stati: le malformazioni congenite, la mortalità per tumore e la mortalità per cause non tumorali. L'impiego di tecniche di clusterizzazione e di georeferenziazione ha consentito di sovrapporre le aree a maggior degrado ambientale con quelle che presentavano maggiori rischi sanitari. I risultati sono stati corretti con le caratteristiche socioeconomiche, poiché la stessa area si caratterizza anche per gli indici di deprivazione tra i più alti della

14 L'indicatore rifiuti è calcolato a livello comunale ed è formato dalla combinazione di diversi parametri quali: il numero di porzioni di censimento intersecate da aree di impatto, l'area comunale occupata da aree di impatto, la percentuale di popolazione residente in aree di impatto, il numero dei siti per tipo. In base all'IR, ai comuni viene assegnata una classe di rischio che varia da I (minore pressione ambientale) a V (pressione ambientale massima)

regione. Lo studio di correlazione, anche con la correzione dell'indice di deprivazione, conferma quanto emerso dai precedenti studi descrittivi: le aree a maggior rischio di alcune malformazioni congenite e di mortalità per alcune cause neoplastiche coincidono con quelle interessate dallo smaltimento illegale. Inoltre è stata mostrata una gradualità significativa dell'eccesso di rischio per un sottoinsieme di patologie, che cresce con l'aumentare della classe di pressione ambientale, calcolata tramite l'IR. Anche molte patologie non tumorali contribuiscono in modo rilevante all'eccesso generale di mortalità. I risultati emersi sono significativi per alcuni degli esiti considerati - in modo particolare per i tumori del fegato e dotti biliari e le malformazioni congenite dell'apparato urogenitale - anche se, come sempre, possono rimanere residui di confondenti non controllati e cause ambientali non esaminate. Tuttavia non sono pochi i punti di forza dello studio che suggeriscono una possibile relazione causale tra patologie e rifiuti: la coerenza dei risultati epidemiologici ottenuti con strumenti diversi, la sovrapposibilità spaziale delle zone di maggior degrado ambientale alle zone di maggior rischio sanitario, la somiglianza tra le cause di mortalità tra maschi e femmine che porta ad escludere modalità di esposizione di origine occupazionale.

3.6 Gli studi sugli effetti nocivi degli inquinanti generati da impianti obsoleti

L'attuale normativa in materia di emissioni fissa dei limiti molto ristretti per un gran numero di sostanze dagli effetti tossici conosciuti. Fino agli anni '90 i limiti erano molto più ampi e alcune sostanze non erano neppure contemplate. Molti di questi impianti

sono rimasti in funzione per parecchi anni prima della chiusura, pertanto gli effetti sulla salute della popolazione residente sono ancora oggetto di indagine.

Uno dei casi più conosciuti è quello del Love Canal, nello stato di New York. Si trattava di un tratto di canale utilizzato dal 1942 al 1952 come deposito di rifiuti tossici (tra cui diossine) da parte di un'azienda chimica. Dopo la chiusura dell'attività e l'interramento della discarica, la zona è stata oggetto di intensa urbanizzazione. Nei decenni successivi, a seguito di importanti contaminazioni delle risorse idriche e dei terreni, il sito fu sottoposto a bonifica ambientale e molte abitazioni vennero evacuate.

Le prime segnalazioni di inquinamento da percolato hanno dato l'avvio ad un vasto movimento di difesa dell'ambiente.

Tra le altre misure, sono stati condotti una serie di studi epidemiologici sugli abitanti della zona residenziale interessata dal Love Canal. Tra gli altri: Janerick et al. (1981) indagarono eccessi di rischio neoplastico tra il 1955 e il 1977; Heath et al. (1984) verificarono l'incidenza di mutazioni cromosomiche tra i residenti nel 1978 e la stessa analisi venne replicata nel 1981/1982. Nessuno di questi studi fu in grado di identificare eccessi di rischio significativi.

Un altro filone di indagine furono le anomalie alla nascita: Paigen et al. (1987) mostrarono stature significativamente inferiori tra i bambini che avevano trascorso almeno due terzi della vita nei pressi del Love Canal; Vianna e Polan (1984) riscontrarono un eccesso di basso peso alla nascita durante il periodo di attività della discarica.

Più vicino a noi nel tempo e nello spazio, un recente studio di Zambon et al. (2007). Si tratta di uno studio caso-controllo sul rischio di sarcoma da diossine in tre USL della Regione Veneto che coprono le zone di Venezia, dell'entroterra Veneziano e della Riviera

del Brenta.

Gli autori hanno indagato l'incidenza di sarcomi diagnosticati tra il 1990 e il 1996. Tra il 1970 e il 1988 erano attivi in tutta l'area 26 inceneritori di rifiuti urbani, industriali e ospedalieri, oltre a 3 centrali elettriche, una raffineria e tre impianti di produzione dell'alluminio. Gli inceneritori sono stati quasi tutti chiusi o adeguati nel 1988.

Applicando ad un modello di dispersione i dati di emissione ricostruiti sulla base delle informazioni storiche, a ciascun indirizzo di casi e controlli è stato attribuito un valore stimato di esposizione. Le sostanze esaminate sono state prevalentemente le diossine, per il loro presunto ruolo nell'eziologia dei sarcomi. Oltre al valore stimato di concentrazione, è stato calcolato anche il tempo di esposizione, stimato attraverso la storia residenziale.

Dallo studio sono emersi odds ratio significativi per entrambi i sessi nella categoria di esposizione più elevata (permanenza ≥ 32 anni ed esposizione media collocata nella classe più alta), con un valore di 3.30 (1.24-8.76 95% CI). Eccessi significativi sono stati riscontrati per le sole donne con un OR di 2.41 (1.04-5.69 95%CI) e per il sarcoma dei tessuti molli. L'analisi dei cluster ha inoltre identificato un eccesso di casi significativo localizzato nell'area della Riviera del Brenta dove il modello di dispersione indicava la massima concentrazione di inquinanti. Si tratta di quattro comuni (Vigonovo, Stra, Fiesso d'Artico e Dolo) geograficamente collocati sulla stessa linea di un grande inceneritore, quello di Camin, tuttora in attività.

Nello studio tuttavia non è specificato in che modo si sono distinti gli effetti dei soli inceneritori da quelli prodotti dalle industrie del petrolchimico di Porto Marghera.

3.7 Aspetti critici delle ricerche epidemiologiche nell'ambito del trattamento dei rifiuti

La ricerca di associazioni rilevanti tra alcune patologie e la presenza nel territorio di impianti di trattamento dei rifiuti non è un esercizio facile. I principali motivi di tale complessità si possono riassumere come segue:

- 1) Difficoltà di valutare l'effettivo livello di esposizione di ciascun individuo oggetto di studio. Nella maggior parte dei casi questo può essere solamente stimato in base al luogo di residenza e al tempo di esposizione. Tale stima è resa ancora più ardua dalla mancanza in molti casi di rilevazioni ambientali sui livelli di inquinanti.
- 2) Legata al punto precedente è la definizione della "popolazione a rischio". Data la mobilità della popolazione umana, occorre tener conto che i residenti in una data area potrebbero essersi trasferiti da poco tempo, oppure possono trascorrere la maggior parte della giornata in zone distanti dagli impianti. Al contrario, tra la popolazione a rischio potrebbero essere inclusi residenti in altre zone che, per vari motivi, trascorrono la maggior parte del tempo vicino al sito oggetto di studio. Inoltre, data la natura di taluni inquinanti (come le diossine), che si propagano attraverso i corsi d'acqua e la catena alimentare, è possibile che la popolazione veramente a rischio si trovi in zone molto lontane dalle sorgenti di emissione.
- 3) Definizione della natura dei rifiuti trattati. Sotto la voce "Rifiuti Solidi Urbani" possono in realtà celarsi i più disparati rifiuti nocivi. In particolare nelle discariche si stratificano nei decenni rifiuti la cui composizione potrebbe essere condizionata da

normative evolutesi nel tempo.

- 4) In generale, dato il lungo periodo di latenza di molte delle patologie studiate, gli effetti nocivi vanno fatti risalire alle emissioni prodotte negli anni (se non decenni) precedenti lo studio, pertanto, alle sopra citate difficoltà si aggiungono quelle derivanti dalla ricostruzione retrospettiva dell'esposizione.
- 5) Presenza di fattori di confondimento non adeguatamente rilevabili. Gli impianti sorgono generalmente in zone industrializzate e ad alto traffico veicolare. Gli effetti sulla popolazione potrebbero essere dovuti anche ad altre fonti di inquinamento. Inoltre le abitazioni collocate in prossimità degli impianti sono spesso quelle a minor costo, pertanto la popolazione residente potrebbe appartenere a fasce socioeconomiche svantaggiate e scontare quindi un minore accesso alle strutture sanitarie. Anche gli stili di vita dei residenti (specie se appartenenti a culture diverse) possono agire da fattori di confondimento.
- 6) Le patologie studiate sono generalmente rare nella popolazione e si manifestano nel corso di decenni, pertanto le fluttuazioni dovute al caso (o a diagnosi errate) possono essere particolarmente rilevanti. L'esiguità dello scarto tra popolazioni esposte e non esposte, associata all'insufficiente numerosità dei campioni, conduce a test dalla bassa potenza statistica.
- 7) Identificazione della patologia da esaminare: sugli effetti degli inquinanti derivati dal trattamento dei rifiuti si possono fare solo delle ipotesi. Essi possono dar luogo a svariate infermità a carico di organi diversi. Ciascuno studio epidemiologico si concentra necessariamente su un set ristretto di patologie,

rendendo difficili i confronti. Inoltre l'effetto degli inquinanti potrebbe anche manifestarsi in forme non patologiche, come un alterato rapporto tra i sessi alla nascita o un eccesso di parti gemellari.

- 8) Scarsa conoscenza della tossicità di emissioni continue a basso dosaggio. Gli effetti nocivi riscontrati dalla letteratura medica relativamente alle sostanze tossiche derivano da esperimenti su animali o dall'osservazione di soggetti umani esposti in modo accidentale. I dosaggi di esposizione in questi casi sono molto più alti di quelli che si riscontrano nell'ambiente.
- 9) Sovrastima dell'incidenza di patologie nell'area oggetto di studio a causa delle diagnosi dovute ad esami clinici supplementari indotti dallo studio stesso (*ascertainment bias*).
- 10) Tendenza degli studi a concentrarsi su esiti e siti già oggetto di indagini precedenti, per i quali sono disponibili dei dati o sui quali si concentra l'opinione pubblica del momento.

Gli studi epidemiologici che mostrano correlazioni significative tra le patologie e la presenza di impianti nel territorio non sempre mettono in risalto le limitazioni sopramenzionate. Spesso accade che a fronte di ricerche che mostrano correlazioni significative ne esistano altre analoghe che non riescono a cogliere tale significatività.

Comunque negli studi che evidenziano correlazioni statisticamente significative, il rischio supplementare associato all'impianto non appare quasi mai "drammaticamente" superiore a quello dei gruppi di controllo residenti altrove. E ciò a maggior ragione se si tiene conto dell'incertezza introdotta dalla presenza di numerosi fattori di confondimento non completamente controllabili, che rendono "di fatto" instabili gli stessi risultati "positivi".

Gli studi condotti sui lavoratori e quelli che indagano gli esiti riproduttivi sembrano aver riscontrato i risultati più "solidi", pur risultando anch'essi spesso in reciproca contraddizione.

CAPITOLO 4

La percezione e la comunicazione del rischio sanitario associato ai rifiuti

4.1 La percezione del rischio

Il concetto di “rischio” assume almeno tre distinti significati: quello scientifico, quello psicologico e quello sociale.

Il rischio dal punto di vista epidemiologico viene misurato in termini di eventi avversi alla salute (degli individui esposti) in eccesso rispetto a quelli attesi. In linea di principio dovrebbe costituire il parametro consolidato da cui far partire ogni ulteriore considerazione nel dibattito tra i vari portatori di interesse. Tuttavia esso soffre di alcune limitazioni. Benché gli strumenti per stimarlo e misurarlo la significatività siano rigorosi e collaudati, sarebbe fuorviante considerarlo una misura “oggettiva”, poiché, quanto più incerte sono le risultanze, tanto più sono necessarie delle valutazioni da parte degli esperti. Accade spesso che i ricercatori siano in disaccordo tra di loro e producano stime diverse nello stesso ambito. È stato più volte dimostrato (Lynn, 1987; Dietz et al. 1989) che l'opinione espressa da un professionista riguardo ad uno specifico rischio è influenzata dall'organizzazione da cui dipende (strutture sanitarie, università, organismi di controllo). Poiché nell'ambito della gestione dei rifiuti le evidenze epidemiologiche sono molto labili e i risultati instabili da studio a studio, difficilmente è possibile esibire una prova che indichi con sufficiente evidenza la nocività o l'innocuità di un impianto.

In campo ambientale, quando il rischio di cui si parla viene

concretamente a ricadere su una precisa popolazione e sulla sua discendenza, assumono grande importanza i punti di vista psicologico e sociale.

In questo ambito “le misure” del rischio espresse, per esempio, in termini di morti aggiuntive assumono un ruolo marginale, in favore di argomentazioni quali la fiducia, l'equità sociale, la giustizia.

Starr (1969) ha dimostrato che una persona è tanto meno propensa ad assumersi un rischio, quanto più è convinta che non sia una libera scelta. Fumare, cibarsi in modo inappropriato, praticare sport estremi, sono attività più pericolose di un inquinamento ambientale a basso dosaggio, eppure le misure di rischio diffuse dai mezzi di comunicazione non servono a dissuadere gli individui da simili comportamenti. Al contrario, rischi oggettivamente trascurabili ma che vengono imposti sono percepiti come un oltraggio cui opporsi.

Esistono dunque circostanze che generano molto allarme e altre che vengono ignorate, nonostante le valutazioni degli esperti siano di segno contrario. Per cercare una spiegazione a questa discrepanza, l'approccio psicometrico ha fatto uso delle tecniche di analisi multivariata e fattoriale creando delle “mappe cognitive” della sensibilità verso il rischio. Un primo risultato emerso nell'ambito di questi studi è il *gap* tra il pericolo percepito e quello ritenuto tollerabile, segno che la gente non è generalmente soddisfatta del modo in cui il mercato e altri meccanismi regolatori hanno bilanciato rischi e benefici (Slovic, 1987). Esiste quindi una sfiducia di fondo con cui devono confrontarsi i decisori anche nei contesti in cui la partecipazione dei cittadini è la migliore possibile. Parte di questa sfiducia può essere giustificata da casi eclatanti avvenuti nel passato che hanno reso più guardinga l'opinione pubblica.

Le analisi fattoriali del rischio percepito hanno rivelato l'esistenza di due fattori principali, denominati “rischio temibile” e “rischio

sconosciuto” (Slovic, 1987). È emerso anche un terzo fattore legato al numero di persone esposte. L'opinione della gente comune colloca i rischi in modo abbastanza uniforme in questo spazio. Agli estremi dell'asse del fattore “rischio temibile” stanno la caffeina da un lato e gli incidenti nucleari dall'altro. Agli estremi del fattore “rischio sconosciuto” stanno gli incidenti d'auto e, all'opposto, la bioingegneria. Nello studio di Slovic non si fa esplicito riferimento al trattamento dei rifiuti, ma a singoli inquinanti, come il cadmio, il mercurio, il tricloroetilene, le scorie nucleari. Le preoccupazioni relative a queste sostanze vengono collocate nel quadrante dei rischi ignoti e temibili.

La componente più evidente della percezione del rischio è quella manifestata da una società: frequentemente le comunità reagiscono in modo diverso alle medesime minacce ambientali. Questo dipende molto dalla cultura, ma anche dalla struttura demografica. Fowlkes e Miller (1987), ma anche Ostry et al. (1993) hanno riscontrato una percezione del rischio più elevata tra le persone giovani e con figli.

L'origine di un inquinamento ha un ruolo fondamentale nella percezione: se esso è causato dalle attività della comunità diviene in qualche modo “familiare” e non genera allarme. È il caso della città di Wanli a Taiwan, o di una comunità descritta da Fitchen et al. (1987) dove una contaminazione delle acque da tricloroetilene non destava preoccupazione perché causata dalle attività locali, perché molti dei cittadini avevano familiarità con il tossico e non lo temevano e, infine, per la fiducia nei rappresentanti istituzionali locali.

Al contrario, nel caso di discariche e inceneritori, quando emerge il sospetto - più o meno giustificato - che l'impianto sia sovradimensionato rispetto alle esigenze della popolazione locale e che quindi possa accogliere rifiuti provenienti da altre zone, l'opposizione si fa molto più forte, tanto che in alcuni casi si è dovuto

sospendere la costruzione di un nuovo impianto o l'allargamento di uno esistente (Rabl et al., 1999, inceneritore di Barcellona). Oltre al ragionevole timore di un aumento del traffico pesante, probabilmente esistono valutazioni sugli ingiusti benefici economici che si sospetta possano essere ricavati dalle aziende di smaltimento trattando rifiuti per conto di altri utilizzando il territorio della comunità locale.

Nell'ambito di un più vasto progetto europeo volto a stabilire degli standard operativi nelle valutazioni di impatto in caso di conflitti ambientali, Rabl et al. (1999) hanno esaminato dieci studi di caso in diversi paesi europei (Austria, Belgio, Danimarca, Francia, Spagna, Svizzera, UK).

Attraverso una serie di *focus-group* e di questionari somministrati ai principali rappresentanti delle parti in causa, è emersa una serie di contestazioni sollevate invariabilmente in tutti i casi esaminati. Il principale motivo di opposizione è la sensazione che l'impianto sia sovradimensionato se non addirittura inutile e che non si sia adeguatamente presa in considerazione l'opzione del riciclaggio. Quanto alla tecnologia utilizzata, viene quasi sempre accusata di essere troppo inquinante. Occorre dire che all'epoca dei casi esaminati (1996-1999) le emissioni di diossine e furani non erano regolamentate per gli inceneritori di RSU, ma solo per gli inceneritori di rifiuti industriali, con un limite di legge stabilito in $0,1 \text{ Ng/Nm}^3$. Si stima che le emissioni di un inceneritore di RSU fossero dalle 10 alle 100 volte superiori. Tuttavia le ragioni dell'ostilità sembrano più complesse: in certi casi l'opposizione dei cittadini alla costruzione di un inceneritore per rifiuti industriali motivata da timori sull'inquinamento da diossine non era coerente con l'accettazione di tre inceneritori di RSU nella stessa area (Rabl et al, 1999, caso di Lille). Gli autori attribuiscono questa divergenza ad una diversa percezione di costi e benefici tra i rifiuti urbani e quelli industriali.

In casi più rari l'opposizione deriva dalla paura della devastazione del paesaggio, anche se generalmente la scelta dei siti ricade su aree già industrializzate o ritenute di scarso pregio ambientale. In ogni caso l'ubicazione del sito è sempre motivo di conflitto, denotando una componente "territoriale" nelle reazioni dei residenti. Un altro punto controverso è il fatto che la popolazione viene coinvolta solo in fase avanzata di progettazione, quando le decisioni sono già state prese e questo tende a rendere sterile ogni dibattito. Le stime di impatto ambientale vengono accolte con sospetto, in particolare quando provengono dallo stesso privato che gestirà l'impianto. Anche la dichiarazione di emissioni entro i limiti di legge, per quanto dimostrata e veritiera, non sempre è considerata tranquillizzante, poiché le normative vigenti vengono talvolta ritenute eccessivamente tolleranti. In questo gioca un ruolo molto importante l'autorevolezza dell'ente che stabilisce i parametri.

Da quanto esposto finora si deduce che i motivi di conflitto nei confronti degli impianti di smaltimento sono principalmente: sensazione di "oltraggio" per l'imposizione di un rischio non voluto; mancanza di indicazioni chiare sulla nocività; mancanza di fiducia nei soggetti privati e istituzionali; sensazione che si tratti di un "sacrificio inutile" in quanto basterebbe riciclare.

Le motivazioni di fondo sono quindi complesse e oltrepassano i semplici timori circa la qualità di aria e acqua. Infatti altre fonti importanti di inquinamento come i veicoli a motore, il riscaldamento domestico, la produzione e l'uso di pesticidi, non causano reazioni così forti e focalizzate come quelle che si riscontrano nei confronti degli impianti di smaltimento.

4.2 I cittadini europei e la gestione dei rifiuti

Non sono moltissimi i sondaggi di opinione condotti sulla cittadinanza e quasi sempre riguardano solo aspetti generici e collaterali del trattamento rifiuti. Spesso le indagini condotte sulla popolazione in merito ad uno specifico impianto vengono viste con ostilità da parte dei decisori, probabilmente per il timore che il coinvolgimento massiccio del pubblico possa ostacolare le scelte effettuate (Rabl et al.,1999). I dati a disposizione a livello europeo consentono comunque di tracciare un profilo.

Nell'ambito di un sondaggio telefonico commissionato dall'Environmental Protection Agency irlandese nel 2006, il 56% degli adulti intervistati ha indicato la gestione dei rifiuti come il principale problema ambientale che il loro Paese doveva affrontare. Tra i rispondenti è emerso che circa il 10% dichiarava di effettuare la combustione domestica dei rifiuti, sebbene l'80% fosse consapevole che tale pratica rappresenta un rischio per la salute. Il 15% degli intervistati considerava la combustione domestica dei rifiuti una pratica accettabile, anche se la metà si dichiarava consapevole dei pericoli conseguenti. Sembra quindi che la consapevolezza non si traduca automaticamente in buona pratica.

Solo l'1% dei rispondenti ha ammesso di abbandonare illegalmente i rifiuti nell'ambiente (anche se questo comportamento è più diffuso) mentre il 96% ha dichiarato di applicare qualche forma di riciclo.

Un sondaggio telefonico svolto dall'ARPA Toscana, nel 2009, rivela che lo smaltimento dei rifiuti e l'inquinamento del suolo sono al vertice delle preoccupazioni dei cittadini intervistati, con un punteggio medio di 4,9 su una scala da 1 a 5.

Anche i toscani affermano di praticare la raccolta differenziata (86,3%), coerentemente con l'alta percentuale di intervistati (47,9%)

convinta che il primo soggetto responsabile del miglioramento della qualità ambientale sia il singolo cittadino.

Inoltre il 45,8% degli intervistati ritiene che andrebbero aumentati i controlli su discariche e inceneritori, molti più di coloro che vorrebbero un maggior rigore sulle verifiche della qualità dell'aria (33,5%).

L'indagine Eurobarometro 2005 sulle opinioni degli europei in materia di ambiente indica come il 30% degli europei (22% degli italiani) consideri allarmante il crescente volume dei rifiuti. La maggior parte è invece preoccupata per l'inquinamento dell'acqua e dell'aria (55% e 47% rispettivamente). Confrontando questo dato con quelli delle indagini menzionate precedentemente, si può dedurre che i cittadini considerano un problema non tanto i rifiuti, quanto l'inquinamento derivante dal loro trattamento. Quanto all'informazione, i cittadini europei si sentono per la maggior parte (54%) abbastanza bene informati in materia ambientale. Per gli italiani la percentuale scende al 48%. La fonte di informazione ritenuta degna di maggior fiducia sono le organizzazioni per la difesa dell'ambiente (42%), seguite da scienziati (32%) e televisione (27%), mentre le fonti istituzionali, i portavoce dei partiti politici e le aziende hanno molto meno credito.

Esiste quindi un'ampia consapevolezza dei problemi ambientali derivanti dai rifiuti, associata all'insoddisfazione per l'attuale gestione e alla convinzione che "occorre fare qualcosa". Il cittadino si sente responsabile della soluzione del problema e ritiene che la risposta più efficace, quando non risolutiva, sia la raccolta differenziata.

In molti casi l'opposizione dei cittadini alla costruzione di nuovi impianti deriva dalla convinzione che le forme tradizionali di smaltimento siano superabili in tempi brevi con un riciclaggio spinto all'estremo. Secondo una recente indagine della Confederazione

Italiana Agricoltori (CIA) per il 43% degli intervistati la priorità è la raccolta differenziata, per un altro 32% è prioritario sostituire i prodotti inquinanti e difficilmente smaltibili con materiali biodegradabili. Solo il 15% vede con favore l'apertura di nuovi termovalorizzatori. Anche l'indagine dell'Eurobarometro 2005 conferma questo orientamento: il 72% dei cittadini europei si dichiara pronto ad impegnarsi nella raccolta differenziata per risolvere i problemi ambientali. Solo il 39% ridurrebbe i consumi energetici, il 32% modificherebbe le abitudini di consumo per ridurre gli imballaggi, il 30% ridurrebbe l'uso dell'automobile e solo il 5% sarebbe disponibile a pagare tasse supplementari per la protezione dell'ambiente. Evidentemente la raccolta differenziata da sola viene considerata una soluzione efficace e a portata di mano per risolvere i problemi ambientali. Questo orientamento viene confermato da una recente indagine dell'Eurobarometro, svolta nel 2011: 9 europei su 10 dichiarano di effettuare qualche forma di differenziazione, 8 su 10 affermano di considerare importante l'impatto ambientale di un bene all'atto dell'acquisto e altrettanti sono disponibili ad acquistare prodotti fabbricati con materiali riciclati.

Nell'ambito dello studio di Rabl et al., ai cittadini di Losanna, Barcellona e Parigi è stato somministrato un questionario sotto forma di *Contingent Valuation* (CV) per verificare i loro orientamenti nei confronti di diverse opzioni di smaltimento. Si tratta di questionari in cui agli intervistati si chiedono valutazioni su temi molto specifici espresse in termini monetari.

Tra le altre cose, nei tre questionari venivano proposti i costi aggiuntivi in termini di tasse supplementari che gli intervistati erano disposti a sostenere in cambio di vari gradi di abbattimento del rischio sanitario. In generale è emerso che le persone sono disposte a pagare più tasse quando gli venga garantita la massima riduzione

del rischio. Inoltre la preferenza è lineare: per una riduzione del rischio del 100% gli intervistati erano disposti a pagare il doppio di quanto avrebbero dato per una riduzione del 50%. Un altro risultato emerso dai questionari è che i rispondenti tendono a preferire la termovalorizzazione alla discarica: il 50% dei cittadini di Barcellona si è dichiarato favorevole all'inceneritore, contro il 25% di preferenze per la discarica.

4.3 La comunicazione del rischio

La comunicazione è un aspetto fondamentale quando si voglia informare la comunità locale di un potenziale pericolo, al contrario, ridimensionare un rischio percepito.

La quantità delle parti in gioco, dei loro interessi e dei loro potenziali conflitti costituisce un fattore di grande complessità nella comunicazione. Questo processo vede coinvolti: i cittadini singoli o associati in comitati, le autorità istituzionali, gli organismi tecnici di controllo, le imprese interessate.

I media hanno un ruolo importante di diffusori di informazioni tra i vari portatori di interesse, spesso interpretando ed amplificando le preoccupazioni dei cittadini. In questo campo hanno ancora molto peso le forme tradizionali di comunicazione: nell'indagine ARPA Toscana del 2009 la maggioranza degli intervistati (69,3%) afferma di attingere notizie sull'ambiente da radio e televisione. Solo il 6,4% si informa attraverso Internet e uno sparuto 0,4% si informa partecipando a convegni e seminari.

Il principale ostacolo ad una corretta comunicazione è la differenza tra il rischio in senso epidemiologico e quello avvertito dal pubblico. È necessario evitare di considerare degno di maggior fiducia il primo

e trascurabile il secondo, in quanto non suffragato da ipotesi scientifiche. Slovic (1987) rileva che benché l'opinione della gente comune può mancare di alcune informazioni, ha un'articolazione più ricca di quella degli esperti, in quanto riflette legittime preoccupazioni che nelle valutazioni di rischio effettuate dai professionisti non vengono considerate. Inoltre accade sempre più spesso che i cittadini si organizzino in comitati locali dotati di sufficiente competenza e autorevolezza.

Il secondo ostacolo da superare è la sfiducia nelle istituzioni e negli operatori che gestiscono gli impianti. Qualsiasi comunicazione, anche se corretta, è destinata a naufragare se gli interlocutori non sono considerati credibili. In particolare, le informazioni sulla sicurezza fornite dalle imprese che gestiscono gli impianti sono sospettate di parzialità e autoreferenzialità sia dalle organizzazioni di cittadini che dai media.

Vengono al contrario considerati molto credibili i rappresentanti di comitati o gruppi che difendono la comunità dalla minaccia intravista nella gestione dei rifiuti. Spesso sono costituiti da professionisti esperti ed autorevoli nel loro campo (medici, biologi ecc...) che riprendono gli studi epidemiologici disponibili desumendone evidenze di significatività, non sempre tenendo nel debito conto le cautele metodologiche espresse dagli stessi epidemiologi.

Del resto, la comunicazione diretta dei riscontri epidemiologici rischia di produrre effetti imprevedibili, quando non controproducenti. Affermazioni come "statisticamente significativo/non significativo" difficilmente vengono comprese dai non addetti. Le autorità cui è demandato l'onere della comunicazione hanno bisogno di indicazioni chiare, operativamente utili, non di affermazioni di tipo probabilistico. Accade così che le conclusioni degli esperti vengano ignorate oppure semplificate da chi si assume il compito di informare i

cittadini. Si può citare il caso recente del terremoto in Abruzzo: l'affermazione dei sismologi "è improbabile il rischio a breve di una scossa come quella del 1703, ma la probabilità non è del tutto esclusa" è stata semplificata nella comunicazione alla cittadinanza in: "la probabilità è bassa, il rischio è trascurabile". Nel caso delle ricerche sulla nocività dei rifiuti, un'affermazione del tipo "non ci sono evidenze di effetti avversi sulla salute umana" può venire trasformata in "non c'è alcun pericolo" da una delle parti e interpretata come un deliberato tentativo di minimizzazione dalla parte contrapposta.

Anche quando espresse in modo chiaro e comprensibile a tutti, le evidenze non modificano automaticamente le precedenti opinioni sul rischio: in presenza di convincimenti forti e radicati, ogni nuova informazione viene considerata affidabile se coerente con le opinioni iniziali, altrimenti viene rifiutata come errata o non rappresentativa (R.Nisbett e L. Ross, 1980). Al contrario, in assenza di idee preliminari, l'opinione pubblica viene influenzata dal modo in cui l'informazione viene presentata: ad esempio, esporre i tassi di mortalità invece di quelli di sopravvivenza ha un impatto diverso sul pubblico (A.Tversky e D. Kahneman, 1981).

Un altro fattore di complessità della comunicazione deriva dal fatto che essa si deve rivolgere ad un ampio spettro di interessati, ciascuno con un diverso ruolo: la cittadinanza, i rappresentanti politici, i media, i sanitari, la magistratura, i gruppi di pressione.

Il Center for Disease Control and Prevention (CDC) di Atlanta (USA) ha formulato delle linee guida per la gestione di cluster di malattia associabili ad un problema ambientale. Nelle raccomandazioni del CDC si sottolinea che in ciascuna fase del processo di analisi epidemiologica vengano prodotti dei rapporti studiati per ciascuna delle componenti sopra elencate. Sono cruciali anche i tempi della comunicazione: prima della decisione, durante la progettazione,

dopo l'entrata in esercizio. Un caso di conflitto risolto grazie anche alla comunicazione è quello dell'inceneritore di Vienna. Aperto nel 1992 con la migliore tecnologia disponibile, ha superato le resistenze di una città che nel 1986 aveva assistito all'incendio del vecchio impianto, con conseguente inquinamento atmosferico. Uno dei punti di forza è stato il monitoraggio in tempo reale delle emissioni i cui risultati vengono costantemente esposti al pubblico.

Spesso le stime contenute nei rapporti tecnici, anche se semplificati, vengono giudicate troppo difficili dalla popolazione. Questo è dovuto alla scarsa familiarità con i numeri, abbastanza diffusa nella cultura generale.

Rabl consiglia di esprimere l'incremento di rischio legato ad una tecnologia di smaltimento in termini di confronto con rischi più familiari. L'unità di misura ritenuta più efficace sono i Days of Life Lost (DOLL), che consentono un confronto diretto tra eventi accidentali (come quello per gli incidenti stradali) che coinvolgono persone di tutte le età, e i danni alla salute derivanti dall'inquinamento, le cui vittime sono generalmente anziani e persone debilitate.

Più oscure e soggette a fraintendimenti risultano le affermazioni di cautela metodologica o la descrizione di fatti per i quali non si hanno abbastanza informazioni: in generale, comunicare l'incertezza è molto più difficile che comunicare le stime di rischio (Rabl et al., 1999).

CAPITOLO 5

Considerazioni finali

5.1 La questione dei rifiuti

Il problema dei rifiuti si sta facendo sempre più pressante, sia per l'aumento della quantità che viene prodotta in tutto il mondo, sia per il progressivo incremento della quota non biodegradabile sulla massa complessiva, sia per il crescente numero di persone che viene esposto alle potenziali minacce dei vari sistemi di trattamento più o meno legali. Sebbene siano stati fatti molti sforzi per ridurre la produzione all'origine e per renderne meno tossico lo smaltimento, la situazione è ancora ben lungi dall'essere sotto controllo, senza contare la produzione pregressa accumulatasi nei decenni. A complicare ulteriormente la situazione c'è l'attrattiva che i vasti interessi in campo esercitano sulle organizzazioni criminali, creando situazioni di estremo degrado in varie parti del mondo.

5.2 Le scelte possibili sulle modalità di gestione

Le principali opzioni disponibili per il trattamento sono la discarica, l'inceneritore e il riciclo. La scelta tra le diverse modalità è condizionata non solo dalle preoccupazioni sulla salute dei residenti ma anche – quando non prevalentemente - da fattori economici.

La discarica è meno costosa di un inceneritore ma più esigente in termini di spazio e, a parità di altre condizioni, viene preferita quando i terreni disponibili sono abbondanti e a buon mercato.

D'altro canto **l'inceneritore** richiede ingenti investimenti sia per la costruzione che per il funzionamento a regime, tuttavia consente di sfruttare i rifiuti per la produzione di energia e viene ritenuto conveniente quando i prezzi dei combustibili derivati dal petrolio sono più alti.

Il riciclo necessita di una popolazione consapevole e collaborativa, altrimenti la scarsa qualità della differenziazione diventa un problema. Inoltre è necessario che esista un mercato disposto ad acquistare le materie prime recuperate: in assenza di acquirenti la destinazione dei materiali è lo smaltimento in discarica o l'incenerimento.

Raccolta differenziata e incenerimento sono inoltre in reciproca concorrenza poiché l'incenerimento necessita di un adeguato mix di materiali in cui siano presenti anche plastica e carta.

Occorre anche considerare che, qualunque sia l'alternativa scelta, le ceneri della combustione devono essere smaltite in apposite discariche, come pure la parte non riciclabile dei rifiuti differenziati.

Nella maggior parte dei casi, i sistemi di smaltimento sono frutto di strategie miste assestate nel tempo.

5.3 Le indagini sulla salute della popolazione

Inceneritori e discariche sono responsabili di emissioni inquinanti potenzialmente nocive per le popolazioni residenti. Nel corso degli anni le normative internazionali si sono fatte sempre più stringenti riguardo al controllo delle emissioni, tanto che attualmente la parte di gran lunga più costosa degli impianti è costituita dai sistemi di filtraggio, contenimento e monitoraggio. In termini assoluti, le quantità emesse giornalmente di sostanze conosciute come

potenzialmente nocive sono estremamente basse. Va considerato però che molti inquinanti resistono nel tempo (ad esempio: metalli e diossine) e anche una produzione quotidiana trascurabile può generare negli anni concentrazioni ragguardevoli.

Negli ultimi 30-40 anni sono stati condotti diversi studi epidemiologici per verificare l'ipotesi che gli inquinanti derivati dai rifiuti comportino un aumento dei rischi di specifici *outcome* avversi nelle popolazioni residenti. Tranne casi rari e non generalizzabili, pochi hanno ottenuto evidenze che presentassero una marcata significatività statistica. Nel caso degli inceneritori sono state riscontrate in diversi studi limitate evidenze di affetti avversi, specialmente con riguardo ad alcune forme tumorali. Tuttavia, in presenza di altre fonti di inquinamento nella stessa area, è difficile identificare chiaramente la responsabilità di uno specifico impianto.

Mentre gli effetti di inquinamenti "acuti" sono relativamente facili da rilevare e circoscritti nel tempo, gli effetti di un accumulo costante ma a basso dosaggio sono in larga parte sconosciuti. Nonostante la vastità dell'argomento, tuttavia, le indagini ritenute di livello accettabile dalla comunità scientifica non sono molte. Quantomeno limitatamente al materiale reperito da chi scrive, gli stessi studi vengono riportati in diverse meta-analisi e sono poco rappresentate alcune categorie di soggetti esposti, come i lavoratori delle discariche. Mancano i *panel* a lungo termine e sono rarissimi gli studi condotti sia prima che dopo l'apertura di nuovi impianti.

Le rassegne potrebbero essere distorte dalla selezione a priori di articoli pubblicati e *peer-reviewed* prevalentemente in lingua inglese. Alcuni autori di rassegne sistematiche (es. Vrijheid) segnalano una possibile sotto-rappresentazione degli studi "negativi", in quanto ritenuti meno interessanti per la pubblicazione.

Le indagini epidemiologiche sugli impianti di smaltimento dei rifiuti

sono affette inoltre da distorsioni di varia origine, dal rischio di bassa potenza dovuto alla rarità degli *outcome* e/o alla scarsità della popolazione in studio, dalle debolezza delle stime di esposizione, dalla presenza di confondenti.

Sono ancora molto rari gli studi con taglio multidisciplinare, comprendenti competenze nel campo chimico/fisico, meteorologico, socio-sanitario oltre che statistico.

Nonostante queste limitazioni di base, gli studi effettuati in questi decenni consentono di delineare alcuni risultati, sebbene con un livello di evidenza quasi sempre limitato (cfr. Porta et. al., 2008).

Effetti nocivi delle discariche: dall'insieme degli studi emerge un possibile maggior rischio di anomalie congenite e basso peso alla nascita per nati da madri residenti entro 2 km da una discarica di rifiuti tossici. In particolare i risultati più robusti si sono ottenuti per il basso peso alla nascita. Non sono emerse indicazioni adeguate per i tumori e le altre patologie degli adulti.

Effetti nocivi degli inceneritori: si sono riscontrate limitate evidenze di associazione tra la residenza nei pressi di un inceneritore (entro i 3 km) e tumori dello stomaco, colon-retto, polmoni, fegato, sarcomi dei tessuti molli e linfomi non-Hodgkin. Le evidenze per quanto riguarda gli esiti di natalità sono inadeguate, ad eccezione dei difetti congeniti oro-facciali e la displasia renale (residenza della madre entro i 10 km dall'impianto). I dati riguardano inceneritori abbastanza vecchi, con emissioni molto più alte di quello imposte dalla normativa attuale. Finora non sono stati condotti studi sugli impianti di nuova generazione, anche se questi ultimi sono responsabili di un contributo aggiuntivo in termini di polveri fini e ultrafini, cioè di una frazione di particolato la cui tossicità per l'uomo

è stata dimostrata (cfr. Linzalone e Bianchi, 2007).

I pochi studi che hanno esaminato gli effetti di **trattamenti illegali** hanno invece riscontrato eccessi di rischio consistenti e significativi per alcune patologie, dalla scarsa capacità polmonare ai tumori.

Ambiente e deprivazione. A margine, va sottolineato un dato che emerge da quasi tutti gli studi epidemiologici considerati e cioè che lo status socio-economico si rivela un confondente in grado di spiegare da solo buona parte degli *outcome* negativi riscontrati nella popolazione (cfr. Carstairs e Russel, 1989).

Sorprende che questo avvenga anche in paesi che offrono assistenza sanitaria universale e in aree dove questa è di buona qualità. Se ne può dedurre che la deprivazione socio-economica sia un fattore di rischio importante indipendentemente dall'ambiente e che sia meritevole di campagne di monitoraggio a sé stanti.

Oltre a costituire un rischio supplementare in sé, casi come quello della Campania suggeriscono che la deprivazione si accompagni ad una ridotta capacità di controllo del territorio con conseguenti maggiori problemi ambientali. In alcuni casi, come nel sud di Taiwan, la povertà spinge le persone ad accettare i rischi sanitari derivanti da una fonte di inquinamento, se sono generati da un'attività che produce reddito.

Non sorprende quindi che gli impianti di trattamento dei rifiuti siano spesso collocati in aree deprivate e già sottoposte a forte pressione ambientale derivante da altre fonti. Sotto questa luce, la questione della nocività delle diverse forme di trattamento assume un diverso significato: posto che non sono emerse a tutt'oggi evidenze nette circa la nocività degli impianti, non è nemmeno possibile escludere che non esista un rischio, per quanto minimo. La pianificazione dei siti di smaltimento dovrebbe essere guidata da principi di giustizia

ambientale, cercando possibilmente di non penalizzare con nuove sorgenti di inquinamento popolazioni già svantaggiate sia dal punto di vista ambientale che dal punto di vista sociale.

5.4 Percezione e comunicazione dei rischi

Il rischio sanitario associato ai rifiuti è una misura che va ben oltre l'ambito epidemiologico: investendo la vita delle comunità, esso si carica di significati politici, sociali e psicologici.

Accade così che la gestione dei rifiuti, pur essendo un'attività inquinante al pari di molte altre, viene percepita come altamente pericolosa e indesiderabile e, di conseguenza, la collocazione di nuovi impianti è quasi sempre motivo di conflitto.

Il fattore principale che orienta l'atteggiamento degli individui verso l'accettazione di un rischio è la sua volontarietà: un rischio alto ma volontario è meno temuto di un rischio basso ma imposto. Nel campo dei rifiuti esiste poi la convinzione che comportamenti "virtuosi", come il riciclaggio e gli acquisti eco-compatibili rendano inutili le tradizionali modalità di smaltimento, pertanto l'imposizione è avvertita come un inspiegabile sopruso.

Il sentimento di "oltraggio" viene acuito dalle reticenze dei decisori, dalla nebulosità delle misure di rischio fornite dagli esperti, dalla sensazione di essere stati coinvolti dopo che l'iter progettuale era già concluso. La comunicazione delle risultanze epidemiologiche non viene compresa e rischia di essere interpretata in modo distorto.

La reciproca sfiducia e la sottovalutazione dei timori della popolazione, unite a tutti gli altri fattori, in molti casi hanno portato a situazioni di stallo irrisolvibile.

Il caso dell'inceneritore di Vienna, costruito nel centro cittadino con il

consenso della popolazione, dimostra al contrario che un'accurata gestione dell'informazione e la garanzia della migliore tecnologia disponibile possono creare il terreno ideale per la soluzione condivisa dei problemi ambientali generati dai rifiuti.

APPENDICE 1

Sintesi delle modalità di trattamento dei rifiuti più usate

IL RICICLAGGIO

Il riciclaggio della frazione non organica

Il riciclaggio (come il riuso) è una pratica ben nota nelle economie pre-industriali ed è tuttora molto diffuso nei paesi in via di sviluppo. Nelle economie industriali, dopo qualche decennio di euforia consumistica (la "disposable society") ci si è scontrati con la necessità di trovare collocazione alla crescente mole di rifiuti e con l'esaurimento progressivo delle risorse¹⁵

Il riciclaggio consiste in una serie di operazioni che trasformano in materie prime riutilizzabili dall'industria ciò che altrimenti sarebbe un rifiuto, riducendo nel contempo il flusso dei materiali da smaltire e il prelievo di risorse dall'ambiente.

Dal punto di vista operativo, le tecnologie usualmente impiegate sono costituite da un mix di trattamenti manuali e meccanici, variabili in base ai materiali e al grado di separazione alla fonte: se questa è effettuata correttamente, alcune delle operazioni descritte di seguito non sono necessarie.

La **selezione manuale** consente una scrematura dei rifiuti a monte o a valle dei processi meccanici di separazione. Viene effettuata da lavoratori disposti ai due lati di un nastro trasportatore che identificano a vista i materiali difformi e li rimuovono manualmente. I rischi per la salute in questa fase riguardano naturalmente gli operatori, che possono essere esposti al contatto con sostanze tossiche o residui organici infetti.

Alla selezione manuale si aggiungono varie operazioni meccaniche, spesso precedute da una riduzione di volume attraverso procedimenti di granulazione, triturazione o simili. I frammenti vengono poi ulteriormente suddivisi in base alle dimensioni con l'uso di centrifughe e setacci. Il materiale così ridotto viene sottoposto ad ulteriori lavorazioni per separarne le diverse componenti.

La **separazione ad aria** sfrutta le caratteristiche aerodinamiche dei materiali da trattare. Con l'aiuto di getti d'aria opportunamente indirizzati si ottiene principalmente la divisione tra la frazione più leggera – costituita prevalentemente da carta e plastiche – e quella più pesante, in cui predominano il vetro e i metalli. Questa viene poi sottoposta alla **separazione magnetica** che consente il recupero del solo materiale ferroso.

Per l'estrazione dei materiali non ferrosi (tipicamente il vetro e l'alluminio) si ricorre a tecniche più sofisticate: nel caso dell'alluminio e di altri metalli si selezionano i frammenti con l'aiuto di un flusso di corrente elettrica. Nel caso del vetro si adopera la fluitazione in apposite sostanze schiumose o il riconoscimento ottico attraverso specifici apparati elettronici. Si tratta in entrambi i casi di metodi complessi e costosi, in particolare quando sia necessario separare il vetro in base al colore.

In certi casi, specialmente quando dal rifiuto indifferenziato si voglia produrre combustibile derivato dai rifiuti (CDR), la frazione non riciclabile viene sottoposta a ulteriori processi di essiccazione e di densificazione (compattamento in balle, mattoni o altro). La densificazione è utile in ogni caso per facilitare il trasporto e, per la parte destinata allo smaltimento, ridurre l'ingombro in discarica.

Le percentuali di recupero variano a seconda della natura del flusso di rifiuti in ingresso: la quota di materie prime adatte al mercato può superare l'80% quando si attua la raccolta differenziata, mentre scende al 20-25% quando il rifiuto trattato è misto.

Come si è visto, i trattamenti per il riciclaggio – per lo meno limitatamente ai rifiuti urbani – consistono sostanzialmente in operazioni meccaniche di separazione e frantumazione. Tutte le lavorazioni avvengono prevalentemente in stabilimenti chiusi e lo stoccaggio dei

¹⁵ Si stima che con l'alluminio che i cittadini USA gettano ogni tre mesi si potrebbe ricostruire l'intera flotta aerea commerciale del loro Paese – Fonte: The QuestForLess – EPA 2002

rifiuti è soltanto temporaneo. L'impatto dei trattamenti, se si escludono le emissioni prodotte dai mezzi di trasporto, è pertanto confinato nell'ambiente di lavoro e i rischi per la salute umana coinvolgono prevalentemente gli operatori, qualora non vengano messi in atto i dispositivi previsti dalle normative di sicurezza.

Ben diverso è il riciclaggio nei paesi in via di sviluppo, dove è presente una vasta industria informale in questo campo. Spesso i trattamenti utilizzati per il recupero sono rudimentali e non vi è la minima tutela per la salute dei lavoratori e dell'ambiente. Alcuni processi altamente tossici (come la rigenerazione di batterie per automobili) sono addirittura elaborati a livello casalingo, con bassi livelli di attenzione per la sicurezza. In molti paesi è inoltre diffuso il fenomeno dello *scavenging*, la ricerca di materiali riutilizzabili presenti nelle immondizie. Il prelievo può avvenire direttamente nelle strade, prima dell'arrivo dei mezzi di raccolta, oppure nelle discariche, dove frequentemente gli *scavengers* stabiliscono le loro abitazioni. Intorno ai siti di raccolta delle città più popolate del terzo mondo possono risiedere anche migliaia di persone, a volte addirittura organizzate in vere e proprie città abusive, i cui abitanti sono perennemente a rischio di intossicazioni e di infezioni. Inoltre non è raro che gli *scavengers* vengano coinvolti in incendi e smottamenti, eventi che possono verificarsi facilmente quando i materiali vengono accumulati senza seguire alcun criterio di precauzione. Poiché tali insediamenti ospitano intere famiglie, anche i figli degli *scavengers* sono esposti fin da piccoli ai rischi di un ambiente malsano, quando non sono addirittura costretti a collaborare alle operazioni di recupero.

Spesso tali discariche sono alimentate da materiali provenienti dai paesi industrializzati e destinati in origine ad altre e più rigorose forme di trattamento. Potenti fattori economici incoraggiano questo fenomeno: ad esempio smaltire in Germania un vecchio monitor con il tubo catodico costa circa 3,50 euro mentre spedirlo in un container in Ghana costa non più di 1,50 euro (*Clemens Höges, 2009, "I rifiuti dei paesi ricchi bruciano ad Accra", Der Spiegel, Germania*). Nonostante la convenzione di Basilea (cfr. cap. 1.1) regolamenti severamente il transito transfrontaliero dei rifiuti pericolosi, non è chiaramente definita la natura di alcuni tipi di materiali: ad esempio è difficile stabilire un confine tra un computer destinato al riuso e un'apparecchiatura elettronica da rottamare. Questo consente a grosse organizzazioni di esportare rifiuti sotto forma di merci usate in zone dove il riciclo si trasforma in smaltimento non controllato. Una volta accumulati, i rifiuti elettronici vengono smembrati con mezzi di fortuna dagli *scavengers* - spesso giovanissimi - che separano le parti metalliche dalle materie plastiche per mezzo del fuoco. La combustione provoca l'emissione di sostanze tossiche come piombo, cadmio, arsenico, diossina, furani e policlorobifenili che contaminano anche le risorse idriche, estendendo gli effetti nocivi anche ai residenti di zone lontane dai depositi.

Compostaggio

Una forma particolare di riciclaggio è il compostaggio, definito come la decomposizione controllata di materiale organico finalizzata alla produzione di ammendante per uso agricolo. Al contrario di altre tecnologie, il compostaggio è quasi sempre applicabile anche ai paesi in via di sviluppo, stanti il costo contenuto e la flessibilità dei procedimenti. La frazione organica dei rifiuti solidi urbani proviene da due fonti principali: il verde da sfalci e potature e i residui organici di cucina. A questi si aggiungono i fanghi biologici derivati dalla depurazione di liquami civili, agricoli o industriali.

Ove possibile il compostaggio viene eseguito a livello casalingo, pratica spesso incoraggiata dalle amministrazioni, che nel contempo vigilano sulla sua corretta attuazione da parte dei cittadini. Il resto della frazione organica viene convogliato agli impianti di trattamento.

Le fasi iniziali sono molto simili a quelle già descritte (riduzione del volume, frantumazione, estrazione magnetica dei residui metallici, estrazione meccanica e/o manuale di eventuali contaminanti). Successivamente il materiale organico depurato viene esposto all'azione controllata di vari organismi (batteri, funghi e vermi) che, susseguendosi gli uni agli altri, metabolizzano il composto rendendolo alla fine biologicamente stabile. Le colonie di microorganismi e i vermi possono essere presenti naturalmente nella materia prima oppure appositamente introdotte per compensare eventuali carenze che possano compromettere i processi di digestione.

Trattandosi di un processo biologico, il rendimento sarà condizionato dalla qualità del substrato, variabile in base al clima e alle stagioni. Il fattore più importante è il rapporto tra carbonio e azoto: più è alto, più la decomposizione sarà difficoltosa. In caso di materiale con elevato rapporto carbonio/azoto vengono aggiunte al composto sostanze come l'urea o i fertilizzanti chimici allo scopo di rendere l'ambiente chimico più favorevole alle esigenze dei microorganismi.

Anche la disponibilità di ossigeno e di acqua in misura adeguata condiziona la corretta stabilizzazione della materia organica. L'idratazione della massa organica negli impianti di compostaggio deve essere costantemente controllata e, per evitare l'eccessivo compattamento che porterebbe alla generazione di sacche anaerobiche nel composto, il materiale viene rimescolato periodicamente. Se eseguito accuratamente, il compostaggio abbatte i rischi per la salute umana presenti nei materiali organici decomposti. Una delle fasi della digestione aerobica, la cosiddetta fase termofila, produce temperature superiori a 60°, per un tempo sufficientemente lungo da eliminare i microorganismi non termofili. Tuttavia, quando al materiale vengono mescolati fanghi di depurazione, i processi biologici non sono sufficienti da soli a garantire la scomparsa di tutti i patogeni pericolosi, in particolare quando il rimescolamento imperfetto impedisce l'azione dei batteri termofili in alcune zone del deposito. È sufficiente però un anno di stoccaggio per eliminare questo pericolo, in quanto i patogeni, lontani dall'ambiente protetto del corpo umano, soccombono facilmente alle condizioni ostili e agli altri microorganismi.

Il compost derivato dalla lavorazione della frazione organica del rifiuto indifferenziato può essere utilizzato come materiale biostabilizzato per ripristini ambientali, mentre il compost derivato dalla raccolta differenziata possiede la qualità necessaria per l'impiego in agricoltura e viene pertanto immesso sul mercato a questo fine.

Trattamenti anaerobici

Il compostaggio, come si è detto, sfrutta l'azione di microorganismi che operano in ambiente aerobico, emettendo anidride carbonica come sottoprodotto gassoso del loro metabolismo. La decomposizione della materia organica da parte di organismi anaerobici produce invece prevalentemente metano.

La digestione anaerobica viene pertanto utilizzata per trattare la parte organica del rifiuto urbano indifferenziato (la c.d. FORSU) ricavandone biogas e materiale biostabilizzato conferibile in discarica o utilizzabile come CDR.

Gli impianti di biostabilizzazione si differenziano da quelli di compostaggio perché trattano la frazione organica del rifiuto urbano indifferenziato e non la parte organica proveniente dalla raccolta differenziata. Quello che si ottiene pertanto non è compost utilizzabile in agricoltura, ma materiale inerte con fermentescibilità ridotta e privo di emissioni di metano. Tale materiale può essere utilizzato al posto della terra come copertura di discariche o per il recupero ambientale e paesaggistico (ad esempio: ripristino di cave, realizzazione di aree verdi).

Nonostante l'apparenza "rassicurante", il compostaggio e la biostabilizzazione dei rifiuti urbani possono presentare rischi non indifferenti per la salute pubblica e per l'ambiente.

Nei rifiuti vegetali sono presenti sostanze potenzialmente nocive, come l'azoto, residui di fitofarmaci nonché sostanze tossiche generate dalla decomposizione. Occorre anche tenere presente che le piante di città possono essere contaminate da metalli e varie sostanze nocive presenti nell'aria che si depositano sulla superficie delle foglie e che si concentrano nel prodotto finale. Anche i fanghi derivati dalle attività zootecniche e di depurazione possono presentare elevate concentrazioni di metalli come il rame e lo zinco. Gli impianti di compostaggio, pertanto, vanno accuratamente isolati dal contatto con l'ambiente circostante e le concentrazioni di sostanze tossiche costantemente monitorate. Occorre inoltre porre particolare attenzione a confinare il percolato e i liquidi di drenaggio, affinché non compromettano la qualità di acqua e suolo.

Non è da trascurare nemmeno il fatto che i rifiuti organici urbani della raccolta differenziata (scarti di cucina, resti di ristoranti ed esercizi del settore alimentare) se non vengono adeguatamente isolati e rimossi tempestivamente attraggono un gran numero di insetti e roditori che se ne nutrono e spesso nidificano nelle loro cavità.

IL RECUPERO

Il principio del recupero energetico dei rifiuti ha avuto un primo salto di qualità negli anni '70, all'affacciarsi della crisi petrolifera, quando si è compreso che una parte consistente dei rifiuti poteva essere utilizzata come sostituto di combustibili più costosi e in via di esaurimento. Il rifiuto indifferenziato può essere trasformato nel già menzionato CDR, mentre dal rifiuto organico è possibile ricavare gas. Tali combustibili possono essere utilizzati subito, in forma di calore da ridistribuire alle abitazioni, oppure stoccati per utilizzi futuri.

Il potenziale energetico del CDR dipende dalla sua composizione. In linea di massima, ciò che caratterizza il valore di un materiale come combustibile è il suo contenuto in carbonio e idrogeno nonché il tasso di umidità. La componente organica del CDR, ricca d'acqua, ne abbassa il potere calorico rendendo necessari preventivi trattamenti di essiccazione, allo stesso modo la presenza di una grossa quantità di materiale non combustibile (come le ceneri) ne compromette la resa. Al contrario, l'abbondanza di carta e plastiche ne migliora il rendimento energetico. Nei paesi in via di sviluppo le caratteristiche del rifiuto urbano (frazione umida superiore al 50%, abbondanza di ceneri e scarsità di carta e plastiche) rendono pertanto controproducente il recupero, ma anche nei paesi industrializzati la raccolta differenziata può impoverire eccessivamente il potere calorico del materiale.

Ci sono molti modi di convertire i rifiuti in energia. **L'incenerimento del rifiuto non trattato** è il principale, usato in tutto il mondo e particolarmente in Europa. Il recupero energetico tramite incenerimento consiste nella combustione controllata dei rifiuti allo scopo di produrre vapore utile per generare altre forme di energia (riscaldamento, elettricità). L'incenerimento dei rifiuti solidi non trattati viene incontro a due necessità basilari: la generazione di energia e la riduzione del volume dei rifiuti. Lo svantaggio consiste nella necessità di gestirne le emissioni, principalmente nella forma di inquinanti atmosferici, ceneri (pesanti e sottili), acque di scarico.

La produzione di CDR, prevede invece una sequenza di lavorazioni prima di poter utilizzare il combustibile. La prima parte è molto simile a quella già vista per il riciclo: spesso la produzione di CDR deriva direttamente dalla frazione residuale al termine di tutti i processi di separazione precedentemente descritti. In molti casi la separazione a scopo di riciclo e la produzione di CDR avvengono addirittura nello stesso impianto. La lavorazione consente di ottenere dal rifiuto indifferenziato un materiale dotato di maggior omogeneità nel rendimento energetico.

Il CDR viene successivamente convertito in energia tramite combustione in appositi inceneritori oppure utilizzato come combustibile supplementare in caldaie a carbone. Tuttavia, rispetto al carbone, di cui è parzialmente un sostituto, la combustione di CDR genera acido cloridrico e una quantità di ceneri 5-6 volte superiore. Gli impianti alimentati del tutto o in parte con CDR devono essere pertanto dotati di accorgimenti costruttivi che ne prevengano la corrosione precoce e permettano la raccolta di grandi quantità di cenere.

In certi casi il rifiuto viene trasformato in combustibile gassoso attraverso procedimenti di gassificazione termica o di biogassificazione. Si tratta in entrambi i casi di procedure complesse e costose, usate ancora raramente e solo nei casi in cui vi sia scarsità di analogo combustibile fossile a basso prezzo, sebbene la ricerca di nuovi procedimenti tecnologici sia tuttora in corso.

La **biogassificazione** si ottiene attraverso la digestione anaerobica del rifiuto organico, che, come visto, produce metano. Il processo può essere innescato in modo controllato in appositi impianti che utilizzano la frazione umida dei rifiuti urbani indifferenziati, o può aver luogo in modo naturale nelle discariche che, allo scopo, vengono dotate di dispositivi di captazione. I residui del processo sono costituiti prevalentemente da fanghi simili a quelli prodotti dal compostaggio e quindi possono essere utilizzati come fertilizzanti. Tuttavia, se nel materiale originario erano presenti anche feci umane, per scongiurare il pericolo che alcuni batteri nocivi possano diffondersi nell'ambiente, prima della destinazione finale i fanghi vengono sottoposti ad un processo di digestione aerobica.

Con la **gassificazione termica** (detta anche "pirolisi"), invece, i rifiuti vengono esposti ad alte temperature in ambiente privo di ossigeno o con quantità minime dello stesso. In

questo modo si evita la combustione della parte organica e, con essa, l'emissione di CO₂ e sostanze tossiche come le diossine. Dalla decomposizione termochimica dei composti organici in assenza di ossidazione si ottengono gas (prevalentemente metano), olii, catrame e carbone. La quantità relativa di questi prodotti dipende dalla temperatura e dalla pressione applicate.

Rispetto al normale incenerimento, da cui si ricavano direttamente energia e ceneri, la pirolisi e analoghi trattamenti termici consentono di ottenere combustibili adatti ad essere conservati per essere impiegati in tempi successivi e, al posto delle ceneri, un residuo vetroso molto stabile che può essere utilizzato come materiale da costruzione. Si tratta comunque di un tipo di recupero che, alle condizioni attuali del mercato, non è ancora conveniente poiché richiede una notevole quantità di energia per raggiungere la temperatura necessaria. Dal punto di vista ambientale, tuttavia, può rappresentare un modo efficiente e sicuro di recuperare i rifiuti, senza contare che alcuni tipi di pirolisi possono gestire efficacemente alcuni rifiuti "problematici" come i copertoni o i fanghi di depurazione.

LO SMALTIMENTO

Nei paesi industrializzati, le principali opzioni per lo smaltimento definitivo dei rifiuti sono costituite dallo stoccaggio in discarica e dall'incenerimento, con o senza recupero di energia. L'orientamento degli ultimi anni dell'Unione Europea e, più recentemente, degli USA tende verso la progressiva riduzione del numero delle discariche, sia con l'accentramento degli impianti che con la chiusura progressiva di quelli più datati.

L'incenerimento

L'incenerimento consiste nell'ossidazione delle sostanze organiche contenute nei rifiuti, riducendole ad anidride carbonica, acqua e residui inorganici. Esso garantisce la completa distruzione delle sostanze tossiche di natura organica ed è quindi particolarmente adatto come forma di trattamento di alcuni tipi di rifiuti speciali (residui di prodotti chimici, fitofarmaci, fanghi industriali ecc...).

Le condizioni in cui avviene la combustione (presenza di ossigeno, temperatura e durata dell'esposizione) sono cruciali per assicurare la completa distruzione delle componenti organiche e prevenire la formazione di ossido di carbonio e idrocarburi incombusti.

Gli inceneritori

La struttura tipo di un inceneritore comprende diverse unità di processo, che si possono schematizzare come segue:

- aree di stoccaggio (vasche, cisterne ecc...) destinate a raccogliere i materiali da trattare
- fornace
- sistemi di raccolta dei residui (solidi e liquidi) della combustione
- impianti di trattamento dei fumi, che a loro volta possono essere composti da:
 - camera di post-combustione, per il trattamento termico dei fumi
 - torre di quenching, per il raffreddamento e il filtraggio delle polveri grossolane e dei gas acidi
 - filtro acido per la raccolta ulteriore delle sostanze acide e delle polveri sottili
 - filtro alcalino per la raccolta dell'ossido di zolfo
 - elettrofiltro a condensazione, che "cattura" le particelle presenti nei fumi dotate di carica elettrica
 - catalizzatore, che con l'uso di acqua ammoniacale riduce gli ossidi di azoto ed elimina diossine e furani
 - camino, per l'immissione in atmosfera dei fumi trattati

Spesso, prima dei filtri, è presente anche una caldaia a vapore per il recupero dell'energia termica prodotta dalla fornace.

La camera di combustione, o fornace, è il cuore dell'inceneritore. Può avere diverse forme e dimensioni, a seconda della consistenza dei rifiuti da trattare e del tempo necessario di esposizione al calore, a sua volta dipendente dalla composizione dei materiali. È dotata di griglie mobili che mescolano i materiali facilitandone l'esposizione al calore e di ugelli per la regolazione della quantità d'aria al suo interno. A volte nel progetto viene inclusa una seconda fornace per il post-trattamento di eventuali materiali usciti incombusti dalla camera primaria.

Le emissioni

Già dalla fine del 17mo secolo, la combustione dei rifiuti nelle fornaci veniva considerata un modo efficace e sicuro per ridurre il peso e il volume. La tossicità dei residui di combustione non destava preoccupazioni, anche per la natura sostanzialmente organica dei rifiuti pre-industriali. Fu solo più tardi, negli anni '60 del secolo scorso, che ci si rese conto della pericolosità delle emissioni prodotte da impianti, sotto questo profilo, ancora primitivi, tanto che negli USA venne disposta la chiusura di quasi tutti gli inceneritori allora presenti (*Solid Waste Management – UNEP, 2005*). Nei Paesi dell'Europa Occidentale l'uso dell'incenerimento rimase al contrario molto diffuso, ma venne migliorato il controllo dei fumi e sviluppato il recupero energetico.

Attualmente nelle nazioni industrializzate gli inceneritori sono sottoposti a normative rigidissime per il controllo delle emissioni, in particolare per i fumi. I cosiddetti sistemi APC (Air Pollution Control) devono garantire che la concentrazione di un gran numero di inquinanti sia al di sotto di soglie estremamente basse (si parla di ordini di grandezza come parti per milione o per miliardo). Il controllo avviene sia durante il processo di combustione all'interno della fornace, sia nelle fasi successive e si avvale di svariate tecniche come reagenti chimici e sistemi meccanici o elettrici per la gestione dei gas di combustione. La complessità degli impianti attuali deriva dalla necessità di bruciare i rifiuti limitando al minimo la fuoriuscita nell'ambiente di sostanze tossiche. Per dare un'idea della complessità di tali dispositivi, il costo degli APC costituisce ben il 30% dell'intero investimento per la costruzione di un inceneritore (*UNEP, 2005*).

In ambito europeo la materia delle emissioni è regolata dalla direttiva 2000/76/CE che stabilisce, tra l'altro, le condizioni di esercizio degli inceneritori.

Negli ultimi due decenni sono state investite molte energie per sviluppare metodi efficaci per rilevare e controllare i sottoprodotti inquinanti della combustione più insidiosi perché prodotti in piccole quantità: tra gli altri le diossine, i furani e diversi metalli.

Alcune delle caratteristiche principali di queste sostanze sono riassunte nella tabella riportata alla fine del capitolo.

Un inceneritore produce emissioni di diverso tipo:

- fumi, composti da gas e microparticelle che possono disperdersi nell'aria
- residui secchi, costituiti dalle ceneri di combustione e dagli scarti della depurazione dei gas
- acque reflue derivanti dalla depurazione dei gas

I fumi

L'accurata regolazione delle condizioni in cui avviene la combustione è il primo passo per ridurre la produzione di inquinanti, ma il ruolo principale spetta alla camera di post-combustione che ha il compito di raccogliere e "bruciare" i fumi provenienti dalla fornace. Il fumo viene poi instradato in una sequenza di diversi dispositivi di filtraggio prima di essere definitivamente immesso nel camino.

La citata direttiva 2000/76/CE impone ai gestori degli impianti di sottoporre i fumi della combustione ad una temperatura di almeno 850° (1.100° nel caso di rifiuti pericolosi) per due secondi all'uscita della fornace.

La stessa direttiva fissa i limiti medi giornalieri per le emissioni di inquinanti in atmosfera. A titolo indicativo si riportano i principali:

- Polveri totali: 10 mg/m³

- Cloruro di idrogeno: 10 mg/m³
- Fluoruro di idrogeno: 1 mg/m³
- Biossido di zolfo 50 mg/m³
- Monossido e biossido di azoto: 200 mg/m³

I valori limite degli altri inquinanti sono invece stabiliti come segue (valori medi per un periodo massimo di 8 ore): 0,1 mg/m³ per il mercurio e i suoi composti – 0,1 ng/m³ per diossine e furani - 0,01 mg/m³ per le altre sostanze (cadmio, cromo, arsenico ecc..) e i loro composti.

Le ceneri

I residui solidi della combustione dei rifiuti sono denominati genericamente “ceneri” e si dividono in due flussi: ceneri di deposito e ceneri leggere.

In totale i due flussi rappresentano dal 20 al 40% del peso dei rifiuti da cui originano.

La normativa europea stabilisce che le scorie e le ceneri non possono contenere più del 3% di carbonio organico totale.

Le ceneri pesanti vengono raffreddate con acqua per consentirne la rimozione ed il trasporto in discarica. Sia l'acqua di raffreddamento che le ceneri devono subire dei trattamenti preventivi prima di essere raccolte da discariche speciali.

Le acque reflue

Le acque reflue e gli scarichi provenienti dal processo di depurazione dei gas di scarico vanno obbligatoriamente verificate prima di essere immesse nell'ambiente idrico naturale.

Qualora la concentrazione di inquinanti sia superiore alle soglie di legge, esse vanno trattate in appositi impianti. Anche le acque piovane o provenienti da operazioni di estinzione di incendi devono essere raccolte ed analizzate prima di essere scaricate. I valori limite dei vari inquinanti vengono fissati dalla normativa europea in ragione di mg per litro. A titolo indicativo, il valore limite di diossine e furani è stabilito in 0.3 mg/l. Il limite per cadmio, tallio e mercurio è di 0.03 mg/l.

Lo smaltimento in discarica controllata

La discarica generalmente è utilizzata per lo smaltimento permanente dei rifiuti solidi urbani non pericolosi, anche se spesso le discariche per RSU raccolgono anche materiali inerti da attività edilizie e fanghi di depurazione non tossici.

La complessità costruttiva delle discariche nasce dalla necessità di provvedere al deposito al suolo di materiale potenzialmente inquinante per lunghissimi periodi limitando al massimo la contaminazione delle risorse idriche. La progettazione dello scavo, inoltre, deve consentire la massima capacità di carico con l'impiego della minor superficie possibile.

Tecnicamente la discarica è costituita da uno scavo nel terreno successivamente impermeabilizzato con uno spesso strato di argilla compatta rivestito di geomembrana flessibile che preservi le falde acquifere e il terreno circostante dalle infiltrazioni di percolato. La parte superiore dell'impianto viene quotidianamente rivestita con altro materiale impermeabile per impedire all'acqua piovana di filtrare attraverso i materiali e di incrementare così la produzione di percolato. Quest'ultimo viene raccolto da appositi sistemi di captazione prima che raggiunga lo strato basale a contatto con il suolo.

L'integrità dei sistemi di rivestimento e drenaggio va costantemente monitorata durante l'attività della discarica, inoltre tutti i dispositivi descritti devono continuare a mantenere le loro caratteristiche anche molto tempo dopo la chiusura definitiva dell'impianto.

La progettazione degli impianti è condizionata dalle caratteristiche idrogeologiche del terreno: alcuni siti possiedono caratteristiche naturali di isolamento idrico, rendendo superfluo l'utilizzo di rivestimenti artificiali. Altri, al contrario, possono essere così problematici sotto questo profilo da renderne improponibile l'utilizzo.

Altri fattori condizionanti sono: la presenza di falde sotterranee e di acquiferi utilizzabili, la stabilità del terreno, la piovosità della regione circostante.

I materiali utilizzati e le specifiche di progettazione del bacino e degli impianti annessi sono soggetti a precise normative, in particolare per gli impianti di captazione dei gas e

del percolato. Le normative prevedono anche le condizioni di esercizio degli impianti. In particolare le operazioni meccaniche di stoccaggio e compattamento devono essere eseguite in modo da assicurare costantemente la stabilità del materiale, evitando che eventuali smottamenti compromettano l'integrità degli isolamenti.

La legge italiana¹⁶ divide le discariche in tre categorie a seconda del tipo di rifiuti che vi andranno conferiti.

Le discariche di **categoria 1** sono destinate allo smaltimento di RSU e assimilabili, fanghi di depurazione di scarichi civili e altri rifiuti non pericolosi.

Le discariche di **categoria 2** sono destinate a rifiuti speciali. La categoria è a sua volta divisa in tre sottoclassi: la 2A è destinata ai rifiuti speciali inerti, come i residui dell'attività edilizia; la 2B prevede il conferimento anche di rifiuti pericolosi purché le concentrazioni dei tossici siano al di sotto di soglie prescritte; la classe 2C è destinata al conferimento di rifiuti speciali industriali e agricoli non riconducibili a RSU nonché i residui delle attività di trattamento dei rifiuti e depurazione delle acque.

Infine le discariche di **categoria 3** sono destinate al conferimento di rifiuti speciali pericolosi, quali i rifiuti ospedalieri, gli infiammabili, i rifiuti con alta concentrazione di sostanze tossiche.

Le discariche di categoria 2A e 2B, data la natura inerte dei rifiuti in esse conferiti, non generano percolato. Per la loro costruzione non sono previsti pertanto dispositivi di impermeabilizzazione e drenaggio. Per le discariche di tipo 1 tali dispositivi sono obbligatori solo in presenza di conformazioni del sottosuolo che rendano possibili le contaminazioni delle falde e dei corsi d'acqua. Nelle discariche di categoria 2C i dispositivi di impermeabilizzazione, drenaggio e captazione sono invece sempre obbligatori.

Le discariche di categoria 3, infine, non necessitano di impermeabilizzazione e drenaggi, in quanto i rifiuti vi vengono stoccati in appositi contenitori ermetici.

Alle discariche di categoria 1 e, se necessario, a quelle di categoria 2C vanno applicati dispositivi di captazione del biogas prodotto dalla fermentazione della parte organica.

A fine esercizio gli impianti di categoria 1 e 2C devono essere ricoperti con uno spesso strato di argilla impermeabile sopra il quale va steso un metro di terriccio vegetale seminato a prato. Le discariche di categoria 2A e 2B possono essere riconvertite ad altri usi senza altri accorgimenti, mentre per quelle di categoria 3 non è previsto alcun riutilizzo del sito.

Nel corso del periodo d'esercizio e dopo la chiusura fino alla definitiva stabilizzazione, le discariche emettono inquinanti in forma liquida (percolato) e gassosa (biogas).

Percolato

Il percolato viene prodotto dall'acqua infiltratasi nei rifiuti, sia direttamente dalle precipitazioni sia dallo scorrimento laterale delle acque superficiali. Anche i sistemi di rivestimento più efficaci, infatti, non sono in grado di impedire che una certa quantità d'acqua riesca a raggiungere il materiale stoccato. Il liquido che raggiunge il fondo dell'impianto contiene sostanze di natura dipendente dal tipo di rifiuti che ha attraversato. Alla raccolta del percolato provvedono appositi sistemi di captazione costituiti da tubazioni immerse in strati drenanti che convogliano i liquidi verso i pozzetti di raccolta.

La normativa impone che la composizione e il volume del percolato debbano essere costantemente monitorati, così come lo stato delle acque sotterranee e di drenaggio.

Nel nostro Paese la materia è regolata da Dlgs 36/2003 che prevede misurazioni di volume con cadenza mensile e di composizione con cadenza trimestrale durante l'esercizio della discarica. Lo stesso decreto prevede controlli semestrali dopo la chiusura della discarica.

I controlli sulle acque profonde hanno lo scopo di individuare in tempo eventuali contaminazioni dovute a infiltrazioni nel sottosuolo. Allo scopo devono essere previsti dei pozzi di prelievo sia a monte che a valle dell'impianto.

La composizione del percolato varia grandemente non solo in base al tipo di materiale da

¹⁶ D.Lgs 36/2003 recante "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti" e il D.M. 13/03/2003 contenente "Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica"

cui origina, ma anche dall'età della discarica. Nelle prime fasi - in cui prevalgono i batteri aerobici - il percolato è acido, in seguito tende a diventare basico. L'azoto ammoniacale è l'inquinante che caratterizza il percolato delle discariche più datate. Un altro parametro importante da rilevare è la quantità di AOX (alogeni organici assorbibili) che consente di rilevare sostanze organiche contenenti cloro, bromo, iodio, fluoro. Altri inquinanti che si rilevano nel percolato sono vari metalli, solfati, solfuri e cloruri.

La variabilità della composizione del percolato lo rende difficile da smaltire: i normali trattamenti dei liquami non sono sempre sufficienti a garantire un'adeguata depurazione degli inquinanti anche se non è raro che il percolato venga immesso direttamente nelle fognature, senza un adeguato pretrattamento.

Gas

I processi biologici attivi nelle discariche contenenti materiali organici portano alla produzione di biogas, composto per il 98% da diossido di carbonio e metano. Mentre il primo è più pesante dell'aria e viene raccolto con il percolato, il secondo tende a fuoriuscire in pressione dalla membrana di rivestimento, con il pericolo di danni all'impianto e all'ambiente. Il gas viene pertanto raccolto da una serie di tubazioni poste sotto la membrana di copertura, che lo convogliano verso dispositivi di raccolta per un eventuale riutilizzo come combustibile o, più semplicemente, verso una fiamma libera. I dispositivi di raccolta devono garantire l'efficienza per un periodo molto lungo: fino a 90 anni, tanto durano i processi di generazione del gas dopo la chiusura della discarica. Le moderne discariche con tecnologia a bioreattore sono però in grado di accelerare i tempi di stabilizzazione attraverso opportuni accorgimenti, quali il ricircolo del percolato e l'immissione di acqua, che stimolano l'attività dei batteri anaerobici. Quando la produzione di metano si arresta, in alcuni impianti viene immessa aria sul fondo, in modo da stimolare la degradazione aerobica e completare ancora più rapidamente la stabilizzazione della materia organica (cfr. S.Manfredi e T.H. Christensen, 2009)

Lo smaltimento dei rifiuti liquidi tramite pozzi di iniezione

Si tratta di una modalità di smaltimento utilizzata comunemente negli Stati Uniti. Consiste nel pompaggio dei liquidi in profondità nel terreno, in strati di roccia porosa come l'arenaria e il calcare oppure negli strati superficiali del suolo. I liquidi smaltiti in questo modo sono: acqua, liquami, acqua salina o soluzioni chimiche. La profondità del pozzo è correlata alla pericolosità dei liquidi cui è destinato. L'utilizzo estensivo dei pozzi di iniezione negli USA risale al 1930, quando iniziarono a venire utilizzati per disperdere l'acqua salata risultante dalla lavorazione del petrolio. Negli anni 50 l'uso si estese anche alle industrie chimiche, che lo considerarono un modo sicuro e poco costoso per liberarsi dei sottoprodotti indesiderati, anche pericolosi. Tuttavia, solo nel 1974 il Congresso, con l'approvazione del Safe Drinking Water Act (SDWA), introdusse degli standard minimi federali per regolamentare i pozzi di iniezione a tutela delle falde acquifere.

Modalità di smaltimento per altri rifiuti non RSU

Rifiuti ospedalieri

Gli ospedali e i luoghi di cura, oltre ai RSU derivanti dalla normale attività amministrativa e alberghiera, producono flussi di rifiuti patogenici o infettivi nonché rifiuti tossici derivanti dalle attività di laboratorio. Si tratta di materiali con diversi tipi di pericolosità: biologica, chimica, radioattiva, che necessitano di particolari cautele già nella fase di raccolta e conferimento. La frazione pericolosa viene resa innocua prima dello smaltimento tramite trattamenti di tipo termico o radioattivo per eliminarne i patogeni e/o la tossicità. Successivamente ciascun tipo di materiale - in particolar modo gli oggetti taglienti o appuntiti - viene imballato secondo puntuali prescrizioni di legge per poter essere trasportato al luogo di smaltimento.

I rifiuti infettivi vengono smaltiti in inceneritore, previo trattamento di sterilizzazione in appositi impianti. Anche i farmaci vengono sottoposti a termodistruzione o, in alternativa, inertizzati in contenitori ermetici.

Rifiuti radioattivi

I rifiuti radioattivi vengono sottoposti ad una serie di trattamenti chimico fisici che ne riducono il volume. Il tipo di trattamento varia in funzione del livello di radioattività e della natura del substrato (liquido, acquoso, solido). Successivamente i materiali risultanti vengono inglobati in una matrice solida stabile che garantisca la tenuta chimico-fisica per almeno qualche decina di anni. Le due matrici più utilizzate sono il cemento e il vetro borosilicato. Lo stoccaggio definitivo dei rifiuti condizionati avviene in apposite strutture, garantendo che la popolazione residente non assuma una dose annua di radiazioni superiore ad una frazione della dose massima definita dalla vigente normativa.

Depositi di Copertoni usati

Si tratta di un flusso di materiali che pone seri problemi di smaltimento anche ai paesi più evoluti. Sia la composizione della gomma (parte naturale, parte sintetica, miscelata ad altre sostanze), che la forma, ne rendono problematica la gestione, a partire dallo stoccaggio. Quando vengono smaltiti in discarica tendono ad emergere in superficie ostacolando i normali processi biochimici di trasformazione dei materiali sottostanti.

I depositi di copertoni usati, specie quelli gestiti illegalmente, si prestano a diventare ricoveri ideali per molte specie di parassiti ed insetti nocivi all'uomo, che contribuiscono a diffondere malattie. Inoltre, dato l'alto potere calorico della gomma, possono innescarsi dei processi di autocombustione che danno luogo ad incendi difficili da domare. Inoltre il fumo prodotto da tali combustioni è tossico. Il riciclaggio della gomma degli pneumatici non è un'opzione valida, poiché richiede molta energia e il processo genera numerose sostanze tossiche come prodotti di scarto.

Macerie da attività di costruzione e demolizione

Sebbene, come si è visto nel capitolo 1, questi materiali formino la parte più sostanziosa del volume complessivo di materiali di scarto, la loro pericolosità è quasi sempre trascurabile. Nella maggior parte dei casi, infatti, si tratta di materiali inorganici inerti che non comportano rischi per la salute. Spesso vengono smaltiti in apposite discariche o utilizzati come riempimento di terrapieni o cavità del terreno. Occorre però tener conto che a volte, in particolare nei paesi industrializzati, ai materiali inerti possono essere mescolati residui di sostanze nocive, come l'amianto e frammenti di tubazioni in PVC.

APPENDICE 2

NATURA ED EFFETTI NOTI O PRESUNTI SULL'UOMO DI ALCUNE SOSTANZE INQUINANTI

Natura e origine del tossico	Effetti sulla salute umana e modalità di esposizione
<p>L'arsenico è un elemento relativamente abbondante in natura, ed entra anche nei processi metabolici di molti organismi, tanto da essere rilevabile in quasi tutti i tessuti degli esseri viventi. In terreni incontaminati, ad esempio, la presenza di arsenico varia da 1 a 40 mg/kg. La concentrazione naturale può tuttavia venire incrementata dalle attività antropiche. Episodi di grave contaminazione ambientale si sono verificati in passato in prossimità di impianti industriali che utilizzavano carbone come combustibile.</p> <p>Trova impiego, in minime quantità, nell'industria metallurgica, per conferire durezza ad alcune leghe e in elettronica per la fabbricazione di semiconduttori. In passato veniva utilizzato in quantità nella produzione di fitofarmaci, conservanti del legno, antiparassitari e rodenticidi. Oggi ne è stato quasi completamente vietato l'uso per questi scopi.</p>	<p>L'arsenico e i suoi composti presentano una tossicità variabile a seconda della forma chimica: è massima nei composti inorganici, minima nella forma gassosa.</p> <p>Nelle sue forme inorganiche viene facilmente assorbito dal tratto gastro-intestinale. Viene assorbito anche per via cutanea e polmonare. A seconda del composto di cui fa parte, si accumula nella cute, nel fegato, nel rene, nell'intestino e nelle ossa. È anche in grado di attraversare la barriera placentale.</p> <p>Sebbene in piccole dosi sia sempre stato utilizzato nella preparazione di svariati farmaci, l'assunzione continuativa risulta avere effetti cancerogeni a carico della pelle, dei polmoni e del fegato e può causare lesioni al sistema nervoso.</p>
<p>Il cadmio è un metallo non ferroso che trova ampie applicazioni in metallurgia come componente di leghe e come trattamento protettivo dell'acciaio.</p> <p>I sali di cadmio sono utilizzati per la fabbricazione di gomme, vernici fluorescenti, vetri e porcellane. Il solfuro di cadmio è inoltre impiegato come pigmento e per la realizzazione di celle fotovoltaiche.</p>	<p>Il cadmio si lega alle cellule del sangue e tende ad accumularsi nell'organismo dove può rimanere anche per parecchi decenni.</p> <p>L'assunzione cronica di cadmio per via alimentare produce patologie a carico dello scheletro e delle articolazioni. L'esposizione prolungata inoltre aumenta il rischio di contrarre malattie renali.</p> <p>Test di laboratorio hanno messo in evidenza possibili legami con il tumore alla prostata e al polmone</p>
<p>Il cloruro di idrogeno (meglio noto come acido cloridrico o acido muriatico) è una delle sostanze più corrosive. È il principale componente del succo gastrico e viene utilizzato come reagente in numerosi processi industriali. A temperatura ambiente si presenta in forma gassosa.</p>	<p>Nell'organismo umano solo l'epitelio gastrico è immune dall'azione corrosiva del cloruro di idrogeno. L'esposizione al composto in forma gassosa può provocare danni ai tessuti dei polmoni, alle mucose e agli occhi.</p>
<p>Il Cromo è un metallo poco diffuso in natura e mai in forma libera. È molto usato come protettivo e lucidante dei metalli (cromatura). È il componente di pigmenti gialli e verdi utilizzati per la colorazione di vetri e ceramiche. Alcuni composti di cromo vengono usati nell'industria dei pellami e in tessitura.</p>	<p>La tossicità del cromo dipende dallo stato di ossidazione. Il cromo (III) viene assunto normalmente con l'alimentazione ed è indispensabile all'organismo, tanto che la sua carenza comporta problemi di salute. Altrettanto non si può dire per il cromo (VI), o cromo esavalente, la cui esposizione provoca la compromissione di vari organi, come la pelle, le mucose, lo stomaco, i polmoni. Può inoltre indebolire il sistema immunitario e aumentare il rischio di cancro al polmone.</p>
<p>Il diossido di zolfo (anidride solforosa) è un gas incolore facilmente solubile in acqua. Intacca i metalli e le materie plastiche. Viene usato come sbiancante e, in piccole quantità, nella vinificazione. Viene prodotto principalmente dalla combustione di materiali contenenti zolfo e dalle eruzioni vulcaniche.</p>	<p>Il diossido di zolfo è uno dei principali inquinanti presenti in atmosfera. L'esposizione prolungata anche a basse concentrazioni provoca danni alle vie respiratorie, alle mucose e al naso.</p>
<p>I termini "diossine" e "furani"¹⁷ indentificano genericamente un gruppo di 210 composti chimici aromatici clorurati (composti cioè di idrogeno, ossigeno, carbonio e cloro). La caratteristica di queste sostanze è di essere molto stabili nell'ambiente, non essendo idrosolubili e resistendo alla degradazione chimica e biologica. Ad esempio, la TCDD, la più tossica delle diossine, ha un'emivita nel suolo che può variare tra i 9 e i 100 anni, a seconda della profondità. Inoltre sono tutte altamente liposolubili e metabolicamente disponibili per gli organismi viventi, pertanto entrano con facilità nella catena alimentare, passando dai vegetali agli erbivori e da questi ai carnivori moltiplicando la loro concentrazione ad ogni passaggio.</p>	<p>7 diossine e 10 furani sono stati identificati come tossici. In particolare la 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p-diossina (la TCDD, c.d. "diossina di Seveso") rappresenta finora l'unico congenere riconosciuto come agente cancerogeno per l'uomo.</p> <p>Sono ancora allo studio, tuttavia, le patologie correlate alle diossine. La più nota di queste è la cloracne, che si manifesta con eruzioni cutanee estese e protratte anche per diversi anni.</p> <p>Alcuni studi hanno evidenziato come esposizioni a dosi anche limitate possono provocare alterazioni a carico del sistema immunitario umano e animale, danneggiando i linfociti. Le diossine possono anche compromettere</p>

¹⁷ Sintesi elaborata a partire dal documento dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e i servizi Tecnici "Diossine, Furani e PCB" - APAT, 2006

<p>Vengono generate quasi esclusivamente come sottoprodotto indesiderato (essendo prive di qualsiasi utilità pratica) di attività antropiche. Due sono le fonti prevalenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - i processi industriali di sintesi dei composti clorurati (impiegati come componente di alcuni erbicidi, disinfettanti o generati dalla lavorazione della plastica) - la combustione di alcuni materiali, come le plastiche, gli oli usati e i legni trattati con conservanti. 	<p>irreversibilmente il sistema immunitario, il sistema nervoso e l'equilibrio ormonale della tiroide, se l'esposizione avviene durante la gestazione. È stata anche riscontrata la capacità di queste sostanze di interferire con il sistema endocrino, alterando la regolazione dei processi riproduttivi e di sviluppo.</p> <p>Escludendo l'esposizione massiccia dovuta a fuoriuscite fortuite, la modalità principale di assunzione "cronica" per l'uomo è attraverso il consumo di alimenti contaminati, in particolare latticini, latte, carne e pesce. Essendo liposolubili, le diossine si accumulano prevalentemente nei grassi animali. Come tutti gli organismi che si trovano ai livelli più alti della catena alimentare, l'uomo sconta i fenomeni della bioconcentrazione e della biomagnificazione, per cui a livelli minimi di concentrazione nell'ambiente corrispondono concentrazioni nocive nei tessuti. Se a questo si aggiunge la stabilità nell'ambiente di questi composti, si comprende come anche l'emissione continua di quantità altrimenti trascurabili produca livelli di esposizione finale potenzialmente tossici.</p>
<p>Il fluoruro di idrogeno (o acido fluoridrico) è un acido minerale debole. A temperatura ambiente si presenta in forma gassosa. Viene utilizzato come catalizzatore in molti processi industriali e per la produzione di composti fluorurati.</p>	<p>Il fluoruro di idrogeno è estremamente tossico sia per inalazione che per contatto. L'ingestione ha spesso esiti mortali. Danneggia il tessuto osseo e quello nervoso. Inoltre i sintomi si presentano anche a distanza di 12 ore dall'esposizione, caratteristica che può limitare i trattamenti preventivi.</p>
<p>Il mercurio è un metallo presente in natura allo stato liquido. Viene impiegato in svariati campi dell'industria per le sue proprietà fisico-chimiche ed elettriche. Oltre ad essere presente in alcuni oggetti di uso relativamente comune, come i termometri e le pile al mercurio, viene utilizzato per fabbricare catodi industriali per l'elettrolisi e per separare l'oro e l'argento da altri minerali. In passato trovava impiego anche in campo medico e agricolo, come componente di farmaci ed erbicidi. Attualmente ne è stata riconosciuta la tossicità e molti di questi impieghi sono stati vietati o limitati.</p>	<p>A seconda delle modalità di assunzione, i danni possono gravare sul sistema respiratorio in caso di inalazione dei vapori, sui reni in caso di ingestione e sul sistema nervoso in caso di esposizione prolungata. L'intossicazione della donna in gravidanza si estende anche al feto. Il mercurio può diffondersi nell'ambiente attraverso l'acqua, dove viene ingerito dagli organismi acquatici che lo accumulano nei loro tessuti. Le popolazioni più a rischio sono quelle che utilizzano le acque contaminate e che si cibano del pesce che vi si trova.</p>
<p>Il monossido di carbonio è un gas inodore e incolore altamente infiammabile. Viene prodotto dalla combustione incompleta di combustibili organici ed è esso stesso un combustibile. Era uno dei componenti del gas utilizzato per gli usi domestici prima della diffusione del metano.</p>	<p>Il monossido di carbonio si lega all'emoglobina impedendo il regolare trasporto di ossigeno da parte dei globuli rossi. L'esposizione cronica a basse concentrazioni provoca un'intossicazione che prende il nome di ossicarbonismo i cui sintomi variano a seconda della percentuale di emoglobina compromessa e si manifestano a partire da concentrazioni dell'ordine di 12 parti per milione. I danni sono a carico del sistema respiratorio, cardiocircolatorio e nervoso.</p>
<p>Il nicel è un metallo duro, malleabile e duttile. Inoltre è un discreto conduttore di calore ed elettricità. Sulla crosta terrestre non si trova mai allo stato puro, ma disciolto negli oceani e, spesso unito a zolfo e arsenico, in diversi minerali. Nell'ambiente si trova normalmente in quantità molto basse. Il suo utilizzo prevalente è la preparazione di leghe (in particolare l'acciaio inossidabile), cui conferisce resistenza al calore e alla corrosione.</p>	<p>In piccole quantità il nichel è presente nell'organismo umano, dove svolge importanti funzioni come coenzima nel metabolismo del glucosio, di alcuni ormoni e delle membrane cellulari.</p> <p>Viene assunto normalmente con il consumo di vegetali, specialmente quelli oleosi, ma anche attraverso l'utilizzo di contenitori e rubinetti in acciaio, o per inalazione di fumi prodotti dalla combustione di carburanti e derivati della gomma. Il consumo di vegetali cresciuti in terreni contaminati può essere un'importante fattore di intossicazione cronica.</p> <p>La quantità eccessiva provoca allergie cutanee e danni alla mucosa intestinale. In caso di prolungate assunzioni al di sopra del fabbisogno quotidiano si sospettano correlazioni con tumori all'utero e ai polmoni.</p>
<p>Gli ossidi di azoto vengono generati come sottoprodotti di qualsiasi combustione. Il diossido di azoto in particolare è un gas di colore bruno e dall'odore caratteristico. Si trova più concentrato al livello del suolo, essendo più pesante dell'aria.</p>	<p>Il diossido di azoto è estremamente irritante per i polmoni anche a concentrazioni modeste. È inoltre ritenuto cancerogeno.</p>
<p>Il piombo è un metallo pesante molto diffuso nell'ambiente, sia perché abbondante in natura, sia perché largamente utilizzato in svariate attività antropiche. Una delle cause</p>	<p>I composti organici del piombo sono facilmente assorbiti dal tratto gastrointestinale (quando ingeriti) e dal sistema respiratorio (per inalazione di fumi e polveri).</p>

<p>principali della diffusione del piombo fino a pochi anni fa era il suo impiego nella benzina come antidetonante, sotto forma di piombo tetraetile. Attualmente è ancora presente nelle tubature per l'acqua potabile, nelle vecchie otturazioni dentarie, in alcune vernici. Il piombo entra inoltre nella composizione di molte leghe metalliche, alcune delle quali sono impiegate nella fabbricazione di batterie (circa un terzo della produzione mondiale del metallo è utilizzato a questo scopo) e di accumulatori elettrici.</p>	<p>L'assorbimento per via gastrointestinale è maggiore nei bambini rispetto agli adulti. Il piombo tende ad accumularsi nell'organismo soprattutto nelle ossa, dove tende a sostituirsi al calcio. Il piombo che non si deposita nel sistema scheletrico si accumula nei tessuti molli, dove è più tossico. Nel sangue è presente all'interno dei globuli rossi. È presente anche nel latte materno ed è in grado di attraversare la placenta. L'avvelenamento cronico da piombo si manifesta prevalentemente con disturbi al sistema nervoso centrale, più frequenti nei bambini, e alla muscolatura liscia del sistema gastrointestinale.</p>
<p>Le polveri (o particolato o polveri sottili) sono naturalmente presenti in atmosfera. Circa il 10% di esse è dovuto alle attività antropiche. La fonte principale del particolato di origine antropica deriva dai processi di combustione, in particolare dagli scarichi dei veicoli a motore, dalla combustione di biomasse e da processi produttivi.</p>	<p>La pericolosità del particolato dipende, oltre che dalla natura delle particelle, anche dalla loro dimensione. In generale, più sono sottili, più profondamente riescono a penetrare nelle strutture polmonari. Gli effetti di un'esposizione cronica al particolato di origine antropica sono a carico dell'apparato respiratorio e vanno dall'asma fino ai tumori.</p>
<p>Il rame è un metallo dotato di elevata conducibilità elettrica e termica e di notevole resistenza alla corrosione. In natura si trova raramente allo stato puro, più frequentemente sotto forma di minerali. Viene impiegato per la fabbricazione di fili e cavi elettrici, come rivestimento di tubature e contenitori di liquidi. Entra inoltre nella composizione di leghe con diversi metalli. Per le sue proprietà antibatteriche viene impiegato in agricoltura come fungicida (ad esempio, sotto forma di solfato di rame).</p>	<p>Il rame ha un ruolo cruciale in svariati processi organici (tra cui la sintesi dell'emoglobina, della noradrenalina, dei fosfolipidi, della melanina e la produzione dell'RNA), tanto che ne viene consigliata l'assunzione quotidiana di 3 mg da parte di adulti sani. Quantità fino a 35 mg possono essere tollerate senza danno. L'intossicazione acuta si manifesta dopo l'assunzione di dosi superiori al grammo comportando gravi danni al livello del sangue (distruzione dei globuli rossi) con esiti che possono essere fatali. L'intossicazione cronica causa invece lesioni epatiche, in quanto questo metallo si deposita di preferenza nel fegato.</p>
<p>Il tallio è un metallo relativamente abbondante sulla superficie terrestre. È abbastanza reattivo, ossidandosi rapidamente all'aria e si discioglie in acqua. Alcuni dei suoi composti sono impiegati nell'industria elettronica come semiconduttori. In passato il solfato di tallio era utilizzato per la produzione di antiparassitari e topicidi. Attualmente, riscontrata la tossicità di questi preparati, il suo impiego è stato fortemente limitato.</p>	<p>Il tallio viene assorbito attraverso la pelle, l'apparato respiratorio e il tratto digestivo. L'avvelenamento acuto da tallio comporta dolori addominali e disturbi del sistema nervoso. Quando non porta al decesso, la compromissione degli organi bersaglio può essere irreversibile. Gli effetti dell'assunzione cronica si manifestano con stanchezza, emicranie, perdita dei capelli, disturbi alla vista e dolori articolari.</p>
<p>Lo zinco è un metallo moderatamente reattivo, solido a temperatura ambiente. È relativamente abbondante sulla crosta terrestre dove si trova in svariati minerali. Trova impiego in diverse leghe (tra cui l'ottone è la più nota) e, sotto forma di ossido, in vernici, pigmenti, gomme, creme solari.</p>	<p>Lo zinco è un elemento fondamentale per gli animali superiori. Nel corpo umano è il secondo oligoelemento dopo il ferro e la sua carenza provoca gravi conseguenze a tutti i livelli. Lo zinco metallico ha una bassa tossicità, tuttavia si è dimostrato che l'assunzione eccessiva e prolungata (nell'ordine di 100/150 mg al giorno) causa la riduzione del colesterolo "buono" e riduce l'assorbimento del rame.</p>

BIBLIOGRAFIA

Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e i servizi Tecnici

(2006) *Diossine, furani e PCB*, APAT, Roma

Armstrong B.G., Dolk H., Pattenden S., Vrijheid M., Loane M., Rankin J., Dunn C.E., Grundy C., Abramsky L., Boyd P.A., Stone D., Wellesley D. (2007) *Geographic variation and localised clustering of congenital anomalies in Great Britain*, Emerging Themes in Epidemiology, 4:14 doi:10.1186/1742-7622-4-14

ARPA Toscana (2009) *Indagine sul ruolo svolto da ARPAT per la protezione dell'ambiente nella percezione dei cittadini toscani*, ARPAT

ARPA Toscana (2010) *Analisi di rischio ambientale, bonifica di siti contaminati ed ecotossicologia. Un viaggio tra scienza e normativa*, ARPAT - A.F. Comunicazione e informazione

ARPA Veneto (2008) *Produzione e gestione rifiuti nel Veneto – Anni 2006/2007*, ARPAV

Bianchi F., Minichilli F., Linzalone N., Pierini A., Scarano G. (2005) *Trattamento dei rifiuti in Campania: impatto sulla salute umana Studio pilota – Malformazioni congenite nelle provincie di Napoli e Caserta (1996-2002): analisi descrittiva e struttura spaziale del rischio*, Dipartimento della Protezione Civile

Bianchi F. e Comba P. (2006) *Indagini epidemiologiche nei siti inquinati: basi scientifiche, procedure metodologiche e gestionali*,

prospettive di equità, Rapporti ISTISAN 06/19 Rev.

Carstairs V. and Morris R. (1989) *Deprivation: explaining differences in mortality between Scotland and England and Wales*, BrMedJ ; 299:886-9

Comba P. e Trinca S. (2005) *Linea d'approccio epidemiologico alle problematiche del ciclo dei rifiuti*, Rapporti ISTISAN 05/28

Commissariat général au développement durable (2009) *Production et traitement des déchets en France en 2006*, Études & documents – N. 9/06

Comune di Forlì (2007) *ENHANCE HEALTH Sistema di sorveglianza ambientale e sanitaria in aree urbane in prossimità di impianti di incenerimento e complessi industriali – n. 2E00401 programma Interreg III C Zona Est – Linee Guida Gennaio/Marzo*, Comune di Forlì

Cori L., Cocchi M., Comba P. (2005) *Indagini epidemiologiche nei siti di interesse nazionale per le bonifiche delle regioni italiane previste dai fondi strutturali dell'unione europea*, Rapporti ISTISAN 05/01 - Istituto Superiore di Sanità

Department for Environment, Food and Rural Affairs UK (2004) *Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes*, DEFRA UK - Written by Enviro Consulting Ltd and University of Birmingham with Risk and Policy Analysts Ltd, Open University and Maggie Thurgood

Dietz, T., Stern, P.C., Rycroft R.W. (1989) *Definitions of conflict and the legitimation of resources: The case of environmental risk*. Sociological Forum 4:47-70 (Cit. Health Research Board Ireland, 2003)

Dolk H., Vrijheid M., Armstrong B., Abramsky L., Bianchi F., Garne E., Nelen V., Robert E., Scott J.E.S., Stone D., Tenconi R. (1998) *Risk of congenital anomalies near hazardous-waste landfill sites in Europe: the EUROHAZCON study*, The Lancet, Volume 352, Issue 9126, P.423-427

Elliott P., Shaddick G., Kleinschmidt I., Jolley D., Walls P., Beresford J., Grundy C. (1996) *Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain*, British Journal of Cancer 73, 702-710

Environmental Protection Agency – Ireland (2006) *Public perceptions, Attitudes and Values on Environment*, EPA Ireland

Environmental Protection Agency U.S. (2000) *THE QUEST FOR LESS - Activities and Resources for Teaching K-6*, U.S. EPA

Erspamer L., Ranzi A., Lauriola P., Trinca S., Comba P. (2007) *Sorveglianza ambientale e sanitaria in aree prossime ad inceneritori: indicazioni emerse dal progetto europeo ENHance Health*, Rapporti ISTISAN 07/41 – Istituto Superiore di Sanità

EUROBAROMETER (2005) *The attitudes of European citizens towards environment*, Special Eurobarometer – Commissione Europea

EUROBAROMETER (2011) *Attitudes of Europeans towards resource efficiency Survey conducted by The Gallup Organization, Hungary upon the request of Directorate-General Environment*, Flash Eurobarometer - Commissione Europea

EUROSTAT (2009) – *Statistics in focus 30/2009*, European Communities

Fitchen, J.M., Heath, J.S., Fessenden-Raden, J. (1987) *Risk perception in community context: A case study*. In Johnson, B.B. and Covello, V.T. (Eds.) *The social and cultural construction of risk. Essays on risk selection and perception*. Reidel: Dordrecht, The Netherlands. (Cit. Health Research Board Ireland, 2003)

Forastiere F., Badaloni C., De Hoogh K., Von Kraus M.K., Martuzzi M., Mitis F., Palkovicova L., Porta D., Preiss P., Ranzi A., Perucci C.A., Briggs D. (2010) *Health impact assessment of waste management facilities in three European countries*, *Environmental Health*, 10:53

Franchini M., Rial M., Buiatti E., Bianchi F. (2004) *Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies*, *Ann Ist Super Sanità* ;40(1):101-115

Fowlkes, M.R. and Miller, P.Y. (1987) *Chemicals and Community at Love Canal*. In Johnson, B.B., Covello, V.T. (Eds.) *The social and cultural construction of risk. Essays on risk selection and perception*. Reidel: Dordrecht, The Netherlands. (Cit. Health Board Research Ireland, 2003)

Golder Europe EEIG (2005) *Report on Implementation of the Landfill Directive in the 15 Member States of the European Union*, Golder Europe EEIG (UK)

Golder S., Loke Y.K. and Bland M. (2011) *Meta-analyses of Adverse Effects Data Derived from Randomised Controlled Trials as Compared to Observational Studies: Methodological Overview*, PLoS Medicine May | Volume 8 | Issue 5 | e1001026

Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment (2007) *D 3.1.1 – Scoping report on health effects of key pollutants*, HEIMSTA

Health Protection Agency - UK (2011) *Impact on Health of Emissions From Landfill Sites*, HPA (UK)

Health Research Board Ireland (2003) *Health and Environmental Effects of Landfilling and Incineration of Waste – A Literature Review*, HRB Ireland

Heath C.W., Nadel M.R., Zack M.M., Chen A.T.L., Bender M.A., Preston J. (1984) *Cytogenetic findings in persons living near the Love Canal*. - JAMA 251:1437-1440

Hu S.W. and Shy C.M. (2001) *Health Effects of Waste Incineration: A Review of epidemiologic studies*, Journal of the Air & Waste Management Association – Volume 51 July

International Solid Waste Association (2006) *ENERGY FROM WASTE - State-of-the-Art-Report Statistics 5th Edition August*,

ISWA Working Group on Thermal Treatment of Waste

ISPRA (2008) *Rapporto rifiuti*, Dipartimento stato dell'ambiente e metrologia ambientale – servizio rifiuti ISPRA (A cura di Rosanna Laraia)

Janerich D.T., Burnett W.S., Feck G., Hoff M., Nasca P., Polednak A.P., Greenvald P., Vianna N. (1981) *Cancer incidence in the Love Canal area*. - Science: Vol. 212 no. 4501 pp. 1404-1407 (Cit. Vrijheid, 2000)

Juniper Consultancy Services Ltd (2008) *PYROLYSIS AND GASIFICATION FACTSHEET*, Juniper Consultancy Services Ltd

Lynn, F.M. (1987) *OHSA's carcinogenesis standard: Round one on risk assessment models and assumptions*. In Johnson, B.B. and Covello, V.T. (Eds.) *The social and cultural construction of risk. Essays on risk selection and perception*. Reidel: Dordrecht, The Netherlands. (Cit. Health Research Board Ireland, 2003)

Martuzzi M. and Hills M. (1995) *Estimating the Degree of Heterogeneity between Event Rates Using Likelihood*, Am. J. Epidemiol. 141(4): 369-374

Martuzzi M., Bianchi F., Comba P., Fazzo L., Minichilli F., Mitis F. (2007) *Trattamento dei rifiuti in Campania: impatto sulla salute umana. Studio di correlazione tra rischio ambientale da rifiuti, mortalità e malformazioni congenite*, Dipartimento della Protezione civile.

Manfredi S. and Christensen T.H. (2009) *Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling* Waste Management 29 32-43

Morris R. and Carstairs V. (1991) *Which deprivation? A comparison of selected deprivation indexes*, Journal of Public Health Medicine - Vol. 13, No. 4, pp. 318-326

Musumeci L. (2004) *Valutazione del rischio sanitario e ambientale nello smaltimento di rifiuti urbani e pericolosi*
Rapporti ISTISAN 04/05 – Istituto Superiore di Sanità

OECD (2002) *Environmental performance reviews Japan*, OECD

OECD (2008) *Environmental Data. Compendium 2006-2008*, OECD Environment Directorate

OECD (2008) *Key Environmental Indicators*, OECD Environment Directorate

OMS (2007) *Population Health and Waste Management: Scientific Data and Policy Options*, Atti del convegno organizzato dall'OMS Europa – Roma, 29-30 marzo

Ostry, A.S., Hertzmann, C., Teshcke, K. (1993) *Community risk perception: A case study in a rural community hosting a waste site used by a large municipality*. Canadian Journal of Public Health 84:415-418. (Cit. Health Research Board Ireland, 2003)

Paigen B., Goldman L.R., Magmant M.M., Highland J.H., Steegman A.T.(1987) *Growth of children living near the hazardous waste site, Love Canal.* - Hum Biol 59:489-508 (cit. Vrijheid, 2000)

Porta D., Milani S., Lazzarino A.I., Perucci C. A., Forastiere F. (2009) *Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste,* Environmental Health, 8:60 doi:10.1186/1476-069X-8-60

Rushton L. (2003) *Health hazards and waste management,* British Medical Bulletin; 68: 183–197

Rabl A., Azapagic A., Blin C., Burzynska-Weis B., Clift R., Desaignes B., Dresner S., Gandara G., Gilbert N., Krüger Nielsen S., Miller J., Riera P., Soguel N., Sørensen B., Spadaro J.V., Van Griethuysen P. (1999) *Impact Assessment and Authorization Procedure for Installations with Major Environmental Risks,* Contract ENV4-CT96-0236 (Environmental Risk), DG XII Environmental Research Programme: Research Area III Economical and Sociological Aspects of the Environment

Slovic P. (1987) *Perception of Risk,* Science 17 April: 280-285.

Stone R.A. (1988) *Investigations of Excess Environmental Risks around Putative Sources: Statistical Problems and a Proposed Test,* STATISTICS IN MEDICINE, VOL. 7., 649-660

Sturloni G. (2006) *Le mele di Chernobyl sono buone. Mezzo secolo di rischio tecnologico* – Sironi Editore Milano

United Nations Environment Programme (2002) *Waste Management Report*, International Solid Waste Association e UNEP

United Nations Environment Programme (2005) *Solid Waste Management*, UNEP

Vianna N.J. and Polan A.K. (1984) *Incidence of low birth weight among Love Canal residents* - Science 226:1217-1219 (Cit. Vrijheid, 2000)

Vrijheid M. (2000) *Health Effects of Residence Near Hazardous Waste Landfill Sites: A Review of Epidemiologic Literature*, Environmental Health Perspectives Vol 108, Supplement 1 March

Vrijheid M., Dolk H., Armstrong B., Abramsky L., Bianchi F., Fazarinc I., Garne E, Ide R., Nelen V., Robert E., Scott J.E.S., Stone D., Tenconi R. (2002) *Chromosomal congenital anomalies and residence near hazardous waste landfill sites*, Lancet; 359: 320–22

Wang Y.J., Hsiue T.R., Chen H.I. (1992) *Bronchial responsiveness in an area of air pollution resulting from wire reclamation*, Archives of Disease in Childhood; 67; 488-490

Zambon P., Ricci P., Bovo E., Casula A., Gattolin M., Fiore A.R., Chiosi F., Guzzinati S. (2007) *Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: a population-based case-control study (Italy)* Environmental Health, 6:19 doi:10.1186/1476-069X-6-19

Siti Internet consultati:

www.epa.gov

Sito ufficiale dell'Environmental Protection Agency (EPA) – USA

unstats.un.org/unsd/environment/qindicators.htm

UN Environment and energy statistics, United Nations Statistics
Division

epp.eurostat.ec.europa.eu

Environmental data centre on Waste, EUROSTAT

www.nlm.nih.gov/bsd

U.S. National Library of Medicine

www.protezionecivile.gov.it

Sito ufficiale della Protezione Civile

www.oecd.org

Sito ufficiale dell'OCSE

Elaborazioni grafiche realizzate con R©