

## I rifiuti

### Introduzione

Nella vita di tutti i giorni, produciamo tanti rifiuti. Pensaci bene, quando scartiamo una merendina, lasciamo nel piatto i broccoli o decidiamo che è il momento di cambiare videogiochi, stiamo dicendo che non vogliamo più usare quelle cose e quindi vogliamo disfarcene. È un gesto molto semplice, presa la decisione, gettiamo il tutto nella pattumiera e quando la pattumiera sarà colma, butteremo il sacchetto nel cassonetto. Da quel momento in poi, saranno i servizi predisposti a farsi carico dei nostri rifiuti e il problema sarà per noi risolto.

In realtà dietro ai rifiuti c'è molto da sapere e molto che possiamo fare. Innanzitutto, cosa sono i rifiuti?

### Cosa sono i rifiuti

#### Cosa sono e come nascono

Potremmo dire che il rifiuto è una sostanza o un oggetto, di cui la persona che lo produce vuole disfarsi. Spesso noi riusciamo solo a vedere i rifiuti della nostra pattumiera e non ci sembrano preoccupanti, ma in realtà questi rappresentano un serio problema per il Pianeta. Perché?

In natura non esiste il concetto di rifiuto: nei cicli biologici, infatti, ciò che viene scartato da un organismo diventa una risorsa per altri esseri viventi, così che nulla viene sprecato ma tutto si trasforma. Gli organismi morti, le deiezioni animali o i resti vegetali, sono definiti come scarti organici e sono usati come nutrimento per particolari organismi, detti decompositori, che trasformano gli scarti degli altri esseri viventi in preziose risorse e sono perciò molto importanti. Fino al secolo scorso, l'uomo si comportava in modo molto simile alla natura. Soprattutto nelle società contadine, la scarsità di risorse faceva sì che tutto venisse riutilizzato e nulla veniva gettato fintanto che era utile. Quasi tutto ciò che veniva gettato era organico e veniva smaltito dai decompositori presenti in natura.

L'avvento della rivoluzione industriale e l'aumento dei beni immessi nelle società, ha determinato anche un aumento del consumo e, quindi, un aumento dei rifiuti. Infatti, negli attuali modelli sociali e produttivi, a fronte di un prelievo di materia ed energia dall'ambiente per produrre beni di consumo, fa seguito una produzione di rifiuti. Questi non sono solo organici come quelli della società pre-industriale, ma sono anche inorganici (come ad esempio la plastica) e spesso rimangono nell'ambiente molto tempo, dato che non rappresentano una fonte di nutrimento per nessun organismo. Questo implica due cose: innanzitutto, che i rifiuti vengano generati sia da noi durante le nostre attività quotidiane, che dalle industrie che producono le cose che noi consumiamo per vivere, ma anche che non esistono degli spazzini che possono riusare gran parte dei nostri scarti e quindi questi si accumulano in grandi quantità. Gli esseri umani stanno cercando di trovare delle soluzioni. Quali?

#### I rifiuti nella società pre-industriale...

Sebbene, anticamente gli esseri umani producessero poche quantità di rifiuti, il problema di collocare ciò che veniva gettato esisteva. Tutto ciò che non poteva essere riciclato o riutilizzato veniva spesso gettato per strada, con gravi conseguenze problemi per la salute. Altrimenti i rifiuti venivano bruciati o interrati fuori dai centri abitati, dando origine alle prime discariche. I rifiuti dell'antichità erano molto diversi dai nostri: erano organici e si trattavano più che altro di scarti di bottega e di cucina, scorie di uomini e animali, carcasse e loro resti. I primi uomini ad avere l'idea di smaltire i rifiuti sotterrando nella terra sono stati i nostri antenati: vicino ai loro insediamenti preistorici, infatti, gli archeologi hanno trovato intatti i resti dei loro pranzetti (le ossa delle prede che cacciavano) e piccoli utensili e cocci. Pare che i Greci fossero invece i primi a sentire il bisogno di un servizio di pulizia pubblico cittadino, incaricando un gruppo di "netturbini" (probabilmente schiavi) di pulire la città di Atene. In epoca imperiale, i Romani istituirono il primo servizio pubblico di raccolta e smaltimento rifiuti ed esportarono il modello in tutto l'impero. Durante il Medioevo la situazione peggiorò sensibilmente e i cittadini consideravano la strada come luogo privilegiato per disfarsi dei rifiuti. In questo periodo

sorsero gli antenati delle discariche, i butti. I pochi rifiuti inorganici avevano un destino diverso. Prima di diventare rifiuti, gli oggetti “cambiavano proprietario” svariate volte, percorrendo l'intera catena sociale. Nelle società antiche e fino agli albori della società industriale, ciò che veniva buttato, perché considerato inutile dal ricco, diveniva prezioso per il povero.

### **...e nella società dei consumi**

Un grande cambiamento è avvenuto nella seconda parte XIX secolo. Con la Rivoluzione Industriale, infatti, è iniziato lo sfruttamento intensivo delle risorse. L'industria ha cominciato a fabbricare oggetti in serie, più economici di quelli artigianali e quindi più facilmente accessibili a tutti. In breve tempo l'uomo è passato da una società frugale e semiagricola a una industriale e consumistica, che ha adottato “l'usa e getta” come proprio stile di vita. Da alcuni decenni, gli oggetti non si riparano più, né vengono riutilizzati, in quanto possono essere facilmente rimpiazzati da altri nuovi. Il risultato è stato una produzione eccessiva di rifiuti rispetto alle capacità del pianeta di smaltirli, diventando il simbolo negativo della ricchezza e del benessere. Con l'era industriale è cambiata anche la natura dei rifiuti: oltre all'aumento dei rifiuti in vetro, metallo e organici, sono comparsi nuovi materiali come la plastica, che, non essendo biodegradabili rimangono, nell'ambiente per moltissimo tempo.

## **I numeri sui rifiuti**

### **Quali rifiuti**

I rifiuti che noi produciamo ogni giorno sono definiti come rifiuti solidi urbani (RSU) e includono ciò che viene scartato durante le nostre attività quotidiane. Tutti gli altri rifiuti sono detti rifiuti speciali e includono i rifiuti prodotti da attività industriali, artigianali, sanitarie, ecc.

Per agevolare il processo di gestione, gli RSU vengono divisi in base alla loro composizione, detta anche frazione merceologica. Le principali sono sei: 1) materiali riciclabili (carta, plastica, vetro, ecc.); 2) materiali compostabili (avanzi di cucina, sfalci di potatura, ecc.); 3) materiali ingombranti (divani, mobilia, ecc.); 4) beni durevoli, rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche (computer, televisori, frigoriferi, ecc.); 5) rifiuti urbani pericolosi (pile, farmaci, batterie, ecc.); 6) residuo (tutto ciò che non rientra nelle categorie precedenti).

I RSU possono essere considerati una sorta di documentazione degli usi e degli stili di vita di chi li ha prodotti. Infatti, le tipologie di rifiuti differiscono non solo da stato a stato, ma anche all'interno di uno stesso stato (per esempio, dalla città alla campagna o da un quartiere all'altro della stessa città). Se si analizza il sacchetto medio ipotetico della spazzatura degli italiani, si scopre che buona parte dei rifiuti prodotti, fino al 40% del totale, è costituita da materiali compostabili. L'altra principale componente dei nostri rifiuti è costituita da materiali riciclabili (circa 48%) suddivisibili a seconda della materia prima di cui sono fatti, in carta e cartone (20-30%), vetro (7-10%), plastica (10-14%) e metalli (4-6%), legno e tessili (5-7%). La restante parte è costituita da beni durevoli e rifiuti pericolosi.

### **Quanti rifiuti**

A grandi linee, si può affermare che, come avveniva in passato, la produzione di rifiuti urbani è proporzionale alla ricchezza, o meglio, al Prodotto Interno Lordo (PIL) pro capite. Nella maggior parte dei casi, in effetti, gli abitanti dei paesi più ricchi e industrializzati, producono più rifiuti degli abitanti dei paesi poveri e in via di sviluppo. Nell'ambito dell'Unione Europea nel 2014 gli Stati che hanno prodotto la maggior parte di rifiuti urbani sono Germania (50 milioni di tonnellate), Francia (33,7 milioni di tonnellate), Italia (29,6 milioni di tonnellate) e Regno Unito (31,1 milioni di tonnellate). La maggiore produzione pro capite invece è stata della Danimarca (758 kg/ab anno), Cipro (617 kg/ab anno) e Lussemburgo (616kg/ab anno). Nel 2015 in Italia sono stati prodotti circa 29,5 milioni di tonnellate con una produzione pro capite di circa 486,7 kg: questo significa che ognuno di noi produce in media 1,3 kg di rifiuti ogni giorno. Tali quantità possono diventare risorse altrettanto preziose di energia e materia prima, ma occorre costruire un sistema integrato di

recupero e trattamento così come lo prevede il Decreto Ronchi. Altrimenti, grandi quantità possono significare per noi soltanto grandi problemi di gestione e d'impatto ambientale.

(Fonte: EUROSTAT; ISPRA, *Rapporto Rifiuti Urbani*, edizione 2016)

## Normativa sui rifiuti

### Gestione dei rifiuti e legislazione

Fino agli anni Settanta, i rifiuti solidi urbani (RSU) erano raccolti in modo indifferenziato e smaltiti prevalentemente in discariche non controllate. In alternativa allo smaltimento diretto dei rifiuti nel suolo, si utilizzava il trattamento termico o incenerimento. Solo negli anni '90 ha cominciato in Italia a diffondersi il concetto di riciclaggio e di recupero dei materiali attraverso la raccolta differenziata. Risale a questo periodo anche l'emanazione di leggi che regolamentassero lo smaltimento dei rifiuti in discarica.

In Italia un provvedimento normativo molto importante dal punto di vista dello smaltimento dei rifiuti è stato il Decreto legislativo n. 22 del 1997, più conosciuto come "Decreto Ronchi", dal nome del Ministro che firmò la legge. L'aspetto più importante di questo decreto è che ha rappresentato una svolta nella legislazione di tutta la normativa riguardante i rifiuti. In sostanza, la filosofia del decreto è basata sulla convinzione che l'inquinamento prodotto dai rifiuti deve essere fronteggiato diminuendo la quantità totale di rifiuti prodotti e non solo attraverso il semplice smaltimento in discarica. Attualmente il Decreto Ronchi è stato superato e abrogato dal Decreto legislativo n. 152 del 2006. Successivamente, il decreto legislativo 3 dicembre 2010, n. 205 – in vigore dal 25 dicembre 2010 – ha recepito nell'ordinamento italiano la Direttiva Europea 2008/98/CE sui rifiuti.

### Direttiva europea 2008/98/CE

La direttiva stabilisce come devono essere trattati i rifiuti all'interno della Comunità. L'obiettivo primario della direttiva è proteggere l'ambiente e la salute umana, attraverso la prevenzione degli effetti negativi e pericolosi derivanti dalla produzione e dalla gestione dei rifiuti. Secondo la direttiva, una maggiore protezione dell'ambiente richiede la realizzazione di una serie di misure, applicabili per ordine di priorità: 1) prevenzione del rifiuto; 2) preparazione per il riutilizzo; 3) riciclaggio; 4) recupero di altro tipo (per esempio di energia); 5) smaltimento. Ciò significa che innanzitutto bisogna pensare a prevenire il rifiuto, evitando di produrlo; se proprio questo non è possibile, si prendono provvedimenti per riutilizzarlo, dopodiché si procede al riciclaggio e così via...Ogni Stato membro della Comunità Europea può attuare ulteriori misure legislative per rafforzare questa gerarchia, ma l'importante è che venga sempre garantita la salute umana e venga rispettato l'ambiente. Chiunque produca o detenga un rifiuto è obbligato a provvedere al suo trattamento, oppure deve consegnarlo a qualcun altro incaricato per farlo. In particolare, lo stoccaggio e il trattamento di rifiuti pericolosi deve seguire un codice ancora più severo di smaltimento rispetto al rifiuto domestico, per evitare qualsiasi rischio all'uomo o all'ambiente. Dal momento inoltre che la produzione di rifiuti tende ad aumentare in Europa, la normativa invita a rafforzare le misure in materia di prevenzione e riduzione degli impatti correlati e a incoraggiare il recupero dei rifiuti.

### Decreto Ronchi e Dlgs 52/2006

Il Decreto Ronchi definisce il rifiuto come "qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia deciso o abbia l'obbligo di disfarsi". In primo luogo, questa definizione presuppone che qualsiasi merce sia destinata, prima o poi, a diventare un rifiuto. In secondo luogo, si evince che la trasformazione da merce a rifiuto dipende soprattutto dalla volontà dei consumatori.

I rifiuti vengono classificati, secondo la loro origine, in Rifiuti Solidi Urbani (RSU) e Rifiuti Speciali (RS), e, secondo le loro caratteristiche di pericolosità, in Rifiuti Pericolosi (RP), se contengono almeno una delle sostanze elencate negli allegati del decreto, e in Rifiuti Non Pericolosi, se non contengono nessuna di tali sostanze. A titolo di esempio, vengono considerati RP le pile, i farmaci scaduti, gli olii esausti.

Rivolgendoci invece alla gestione del rifiuto, è bene ricordare che qualsiasi trattamento porta solo a una trasformazione del rifiuto e/o a un suo trasferimento da uno stato fisico a un altro ma, in nessun caso, a una sua distruzione (legge di

conservazione della massa). Quindi, il comportamento più sostenibile in materia di rifiuti è la riduzione a monte, che consiste nel produrne il meno possibile cercando di utilizzare ogni cosa più volte (come accadeva in passato). È basandosi su questi principi che il Decreto è stato scritto. Per il conseguimento di questi obiettivi, risulta fondamentale la sensibilizzazione dei cittadini e dei produttori. Ove non sia possibile una riduzione a monte o un riutilizzo dei materiali, è necessario differenziare i rifiuti che non possono essere recuperati da quelli che possono essere avviati al riciclaggio. Il Dlgs 152 del 2006 è entrato in vigore il 22 Aprile del 2006, abrogando contestualmente il Decreto Ronchi. Nel Dlgs 152/2006 viene disciplinata la gestione dei rifiuti, degli imballaggi e delle categorie speciali, quali rifiuti elettronici, sanitari, ecc. Il campo di applicazione del decreto riguarda la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati, anche in attuazione delle direttive comunitarie. L'attività di gestione ha il compito di assicurare un'elevata protezione dell'ambiente e controlli efficaci, tenendo conto della specificità dei rifiuti pericolosi, nonché quello di preservare le risorse naturali. I rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente. Il decreto promuove come fondamentale la prevenzione e la riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti, in particolare mediante lo sviluppo di: tecnologie pulite; tecniche per eliminare le sostanze pericolose nei rifiuti allo scopo di favorirne il recupero; e infine la riduzione dei rifiuti. In ultimo, le misure dirette al recupero dei rifiuti mediante riutilizzo, riciclo o ogni altra azione diretta devono puntare principalmente all'uso dei rifiuti come fonte di energia. Tra le novità principali del decreto rientrano le misure per incrementare la raccolta differenziata, tra cui la definizione degli obiettivi (obiettivo del 65% entro il 2012).

## Lo smaltimento dei rifiuti

### La gestione integrata

In accordo al D.lgs 152/06, il termine gestione include tutte le attività di raccolta, trasporto, recupero e smaltimento dei rifiuti, mentre il termine gestione integrata indica il complesso delle attività volte ad ottimizzare tale gestione. Un sistema di gestione integrata costituisce la trasposizione pratica dei principi fissati dalla Normativa Italiana e dalle Direttive Europee.

Gli aspetti che devono essere considerati nella pianificazione corretta di un sistema di gestione integrata sono diversi e tutti concorrono alla scelta della soluzione più idonea per lo smaltimento dei rifiuti prodotti nella situazione in esame. Innanzitutto, devono essere valutate le caratteristiche qualitative e quantitative dei rifiuti, devono essere stabiliti gli obiettivi di raccolta differenziata e i mezzi di trasporto utilizzati, devono essere individuati gli impianti di trattamento e smaltimento in grado di ricevere i rifiuti. Valutate queste variabili, si passa al vaglio degli strumenti operativi disponibili, con diverse opzioni possibili: raccolta differenziata, impianti per il pretrattamento del rifiuto prima dello smaltimento, impianti dedicati al recupero energetico (come inceneritori, gassificatori, ecc.), impianti di recupero di materiali, discariche controllate. Raccolti tutti i dati, i tecnici, gli ingegneri e i ricercatori incaricati scelgono la soluzione migliore utilizzando una serie di strumenti, quali: flussi di massa e di energia, valutazione di impatto ambientale (VIA), valutazioni economiche, l'analisi del ciclo di vita (LCA) e l'analisi di rischio.

Secondo l'ultimo rapporto ISPRA (edizione 2016), in Italia la discarica interessa ancora il 26% dei rifiuti urbani prodotti. Il riciclaggio delle diverse frazioni provenienti dalla raccolta differenziata o dagli impianti di trattamento meccanico biologico (TMB) dei rifiuti urbani raggiunge, nel suo insieme il 44% della produzione: il 18% è costituito dal recupero di materia della frazione organica da RD (umido+verde) e oltre il 26% dal recupero delle altre frazioni merceologiche. Il 19% dei rifiuti urbani prodotti è incenerito, mentre il 2% viene inviato ad impianti produttivi, quali i cementifici, centrali termoelettriche, ecc., per essere utilizzato all'interno del ciclo produttivo e per produrre energia (coincenerimento); l'1% viene utilizzato, dopo adeguato trattamento, per la ricopertura delle discariche, il 3%, costituito da rifiuti derivanti dagli impianti TMB, viene inviato a ulteriori trattamenti, e l'1% è esportato. Infine, nella voce "altro" sono incluse ad esempio le quantità di rifiuti che rimangono in giacenza alla fine dell'anno presso gli impianti di trattamento.

### Il riciclaggio

Con il termine riciclaggio, si intende l'insieme delle operazioni, strategie e metodologie, volte al recupero dei materiali e

alla riduzione dei quantitativi di rifiuti inviati a discarica e incenerimento.

Come abbiamo visto in precedenza, l'uomo è sempre stato abituato a recuperare i propri beni o a riciclare i propri rifiuti fino alla rivoluzione industriale. A partire da quel momento, la massiccia produzione di beni di consumo e la grande disponibilità di risorse non poneva più nell'uomo moderno la necessità di dover dare una seconda vita ai propri rifiuti. Tutto ciò iniziò a cambiare dagli anni '70, quando i costi dell'energia e la consapevolezza di vivere in un pianeta finito e con risorse limitate, spinsero a prendere provvedimenti per ridurre la pressione dell'uomo. Come abbiamo visto in precedenza, le direttive europee e la normativa italiana indicano la prevenzione e la riduzione a monte come le prime scelte praticabili nell'ambito della gestione dei rifiuti (gerarchia dei rifiuti). Se questo non fosse possibile, seguono le misure di preparazione al riutilizzo del rifiuto e, successivamente, le misure di riciclo.

Solo alcuni rifiuti di specifiche categorie materiali possono essere riciclati. Queste categorie di materiali seguono solitamente un percorso separato e vengono raccolti tramite un sistema apposito, la raccolta differenziata, che sperimentiamo anche noi tutti i giorni nelle nostre case. Le raccolte che si stanno dimostrando più efficienti ed economicamente sostenibili sono quelle relative alle materie prime di cui sono fatti gli imballaggi (carta, vetro, plastica, alluminio e legno). Per facilitare le procedure di gestione, raccolta e smaltimento sono stati creati consorzi specifici per ogni categoria di questi materiali. L'efficienza di recupero è spesso molto alta. Tale successo è da spiegarsi in due modi: innanzitutto, anche dopo aver espletato la loro funzione, questi materiali possiedono un valore di mercato sufficientemente alto da giustificare lo sforzo d'investimento; inoltre, l'impegno dei consorzi, dei produttori e dei distributori, nonché di noi consumatori, ha permesso di raggiungere negli anni alti livelli di efficienza.

## L'incenerimento

L'incenerimento con recupero di energia (o termovalorizzazione) è un'altra soluzione per smaltire i rifiuti e consiste nella loro combustione, al fine di:

- ridurre in peso e in volume il materiale;
- ossidare completamente i rifiuti in CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O;
- recuperare il contenuto energetico del rifiuto;
- sterilizzare i residui.

I rifiuti che vengono prodotti nelle nostre case hanno caratteristiche tali per cui non è necessario del combustibile per alimentare la combustione, ma vengono utilizzati e sono sufficienti i soli rifiuti immessi ai forni. Cosa succede ai rifiuti durante il processo? Il carbonio, l'idrogeno e lo zolfo in essi contenuti vengono ossidati e formano CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e SO<sub>2</sub>. L'umidità contenuta nei rifiuti viene trasformata in vapore acqueo, mentre la presenza di alogeni (Cl, F, Br) e azoto produce rispettivamente sostanze acide e ossidi di azoto (NOx). Infine, i metalli possono subire fenomeni di volatilizzazione e gli inerti divengono scorie. Un impianto di termovalorizzazione semplificato prevede una avanfossa, ovvero un locale separato in cui arrivano i rifiuti e che limita la fuoriuscita di cattivi odori, la fossa di accumulo e miscelazione, dove i rifiuti vengono scaricati, e il forno vero e proprio. L'incenerimento offre una serie di vantaggi, tra cui la massima riduzione del volume dei rifiuti e il recupero energetico, ma anche una serie di svantaggi molto problematici, come il controllo degli inquinanti prodotti durante la combustione, lo smaltimento dei residui e una gestione particolarmente complessa.

Sebbene in Italia questa soluzione sia spesso ostacolata e poco utilizzata (solo il 19% dei rifiuti viene attualmente incenerito), in Europa si tratta di una soluzione impiantistica largamente prevalente e molte città utilizzano l'energia prodotta dai loro stessi rifiuti per garantire il proprio funzionamento.

## La discarica

La discarica controllata prevede la disposizione in strati dei rifiuti sul terreno in modo opportuno e monitorato, al fine di minimizzare gli effetti negativi sull'ambiente e sulle persone. Si previene e si controlla quindi l'inquinamento delle acque

superficiali e sotterranee, l'emanazione di sostanze sgradevoli o tossiche, si cerca di ridurre l'impatto estetico. Nonostante il confinamento in discarica sia il sistema meno efficiente per gestire i rifiuti, in Italia questa risulta la soluzione ancora più adottata per quasi un rifiuto su due.

La discarica può essere suddivisa in tre comparti: una massa interna, che costituisce il comparto di maggiori dimensioni dove avviene la degradazione dei rifiuti putrescibili in assenza di ossigeno (degradazione anaerobica con formazione di biogas), uno strato superficiale di interfaccia tra la massa solida e aria, il percolato, un liquido prodotto dalla lisciviazione delle acque piovane tra i rifiuti e dall'umidità degli stessi. Le discariche vengono realizzate con la deposizione successiva di strati di altezza adeguata (al massimo di 2,5 m) a partire da un fondo opportunamente impermeabilizzato con materiali naturali (argilla o una miscela di sabbia e bentonite) o artificiali (geomembrane in PE e PVC). Disposto lo strato di rifiuti, si passa alla compattazione con mezzi meccanici (bulldozer o compattatori) al fine di diminuire il volume occupato, per una densità di circa 800 kg di rifiuti/m<sup>3</sup>. Giornalmente i rifiuti vengono ricoperti di materiale inerte, come terreno e ghiaia, mentre quando la discarica è esaurita il tutto viene ricoperto con terreno vegetale e recuperato solitamente come area verde. Un importante elemento della discarica, sono i sistemi di drenaggio e raccolta del biogas e del percolato, al fine da evitare la contaminazione dell'area.

Tutto questo accade nelle discariche controllate, ma spesso la discarica è associata a qualcosa di estremamente negativo, proprio per i rischi all'ambiente e alla salute che possono verificarsi, oltre a uno sgradevole problema estetico. Ciò è vero per quanto riguarda le discariche non controllate e illegali, che sono molto pericolose. La discarica controllata in sé non è negativa, ma il suo utilizzo deve essere il più possibile limitato e solo in assenza di alternative valide. Come abbiamo visto in precedenza infatti, la discarica si pone come ultima soluzione nella gerarchia della gestione dei rifiuti. I motivi sono diversi: innanzitutto, il rifiuto inviato in discarica non è più utile e da esso non può essere più recuperato nulla a livello materiale o energetico; inoltre la discarica necessita di grandi spazi per essere realizzata e grandi sforzi di costi e di gestione. Lo spazio e le risorse disponibili sul pianeta non sono infinite e in quest'ottica l'uso della discarica presuppone grossi sprechi.

## Raccolta differenziata

### Il recupero di materia

Con il [Decreto Ronchi](#), la raccolta differenziata è entrata nelle case italiane e fa ormai parte delle nostre pratiche quotidiane e del piccolo grande contributo che possiamo dare all'ambiente. La raccolta differenziata è il processo di separazione domestico dei rifiuti che ha lo scopo di reindirizzare a monte le varie specie di rifiuti presenti nelle nostre case e quindi ottimizzare la gestione delle stesse. I materiali che vengono raccolti separatamente dagli RSU, e che spesso costituiscono gli imballaggi dei prodotti da noi acquistati, sono: carta, vetro, plastica, alluminio, legno, frazione umida o organico, rifiuti elettronici (RAEE) e rifiuti ingombranti. Secondo l'ultimo rapporto ISPRA, i rifiuti differenziati nel 2015 ammontavano a 14 milioni di tonnellate (47,5% dei rifiuti totali prodotti), con la frazione organica preponderante (43,3% sul totale), a seguire la carta (22,5%), vetro (12,5%), plastica (8,4%), legno (5%), ingombranti misti (3,5%), metalli (1,9%), RAEE (1,6%), tessili (0,9%), altro (0,6%).

### Carta

La carta rappresenta uno dei materiali con il maggior tasso di riciclo nel nostro paese, tanto che nel 2015 la percentuale degli imballaggi in carta e cartone recuperati è stata del 88,7% e la raccolta pro capite media sul territorio è stata valutata di 51,5 kg/ab. La raccolta è estesa a tutti i tipi di carta, inclusa la carta da disegno, per usi grafici, per fotocopie e giornali, cartoni e sacchetti di carta. Non devono essere invece conferiti alla raccolta differenziata gli imballaggi o la carta sporca (come il cartone della pizza ad esempio), in quanto possono inquinare e contaminare la carta effettivamente riciclabile. Il consorzio di aziende che si occupa della raccolta e gestione di tali imballaggi si chiama Comieco. Fino agli anni '90, in Italia venivano importate grandi quantità di materiale vergine dal Nord Europa per approvvigionare la propria industria cartaria, mentre attualmente è un esportatore di carta e cartone riciclato.

Il ciclo per il riciclo della carta parte dalla separazione dei diversi tipi di carta e cartone che arrivano agli stabilimenti

preposti: imballaggi, scarti di cartone, carta mista. Dopodiché la carta viene spappolata in un apposito macchinario, denominato pulper, contenente acqua vagliata per rimuovere i contaminanti e infine vengono eliminati la colla e l'inchiostro in essa contenuti. Successivamente si passa alla miscelazione della pasta ottenuta con materia prima vergine. Infatti, il processo indebolisce le fibre di cellulosa che costituiscono la carta, rendendole "corte" ed è necessario prevedere un quantitativo aggiuntivo di materia prima vergine, al fine di ottenere le stesse prestazioni del prodotto di partenza. Questa degradazione si verifica a ogni turno di riciclo a cui viene sottoposto il materiale ed è stato riscontrato che il numero di turni massimo in cui la carta può essere riciclata è di 4. Il risparmio in termini di materiali ed energia è notevole: riciclando la carta abbiamo un risparmio energetico del 30%, un risparmio d'acqua del 50% e un risparmio di materiale del 100% visto che nessun albero verrà tagliato! Inoltre, il processo di sbiancamento della carta richiede spesso l'utilizzo di composti chimici, come il cloro, che possono essere particolarmente inquinanti per l'ambiente. Infine, secondo Comieco, ben 1.31 ton CO<sub>2</sub>eq vengono evitate per ogni tonnellata di carta riciclata.

Il riciclo della carta rappresenta quindi un doppio vantaggio per il nostro paese: dal punto di vista economico si riducono le importazioni di materia prima vergine e si riduce la quantità di materiale inviato a smaltimento, dal punto di vista ambientale si ottiene un notevole risparmio di energia, acqua e materie prime.

## Vetro

Fragile ed eterno al tempo stesso, il vetro è uno dei materiali più interessanti dal punto di vista del riciclo. Grazie alle sue proprietà fisiche e meccaniche, è un materiale particolarmente interessante che non viene degradato qualitativamente durante il processo di riciclo e può essere riutilizzato un numero pressoché infinito di volte. Una bottiglia che viene rifiuta nel forno di una vetreria, dà luogo ad un'altra bottiglia, con le stesse qualità della precedente e questa riciclabilità totale permette un notevole risparmio energetico nella fase di fusione. Anche per quanto riguarda questo materiale le percentuali di riciclo in Italia sono alte, pari al 70,9% nel 2015 del materiale immesso al consumo secondo le previsioni Co.Re.Ve, il consorzio incaricato per la raccolta e gestione del vetro. Il vetro raccolto viene sottoposto a una prima cernita per la rimozione dei materiali inquinanti, alla frantumazione e alla rimozione di eventuali corpi metallici e a un'ultima separazione manuale per togliere i residui di ceramica e metalli ancora presenti. Il materiale ottenuto viene detto rottame di vetro pronto al forno. A questo punto si passa con le fasi di produzione del vetro che prevedono: miscelazione di sabbia (silice) con calcare, soda e additivi più una percentuale variabile di rottame di vetro (fino al 90%). I materiali vengono cotti in forni speciali fino a 1500°C per raggiungere la fusione. La massa vetrosa ottenuta viene inviata alle macchine dove, tramite soffiatura in stampi appositi, viene trasformata in un nuovo contenitore. L'uso del rottame di vetro richiede una temperatura di fusione più bassa rispetto al materiale vergine e produce meno emissioni atmosferiche, inoltre occorre 1 kg di rottame di vetro per 1 kg di prodotto nuovo. Il risparmio energetico e di materiale è molto significativo, pari al 25-30% e 100% rispettivamente, mentre le emissioni di CO<sub>2</sub> eq sono ridotte del 40%.

## Plastica

Guardandoci intorno, possiamo notare che molti degli oggetti quotidiani che ci circondano sono realizzati in un materiale estremamente versatile, leggero e anche economico: la plastica. Lo spazzolino, la cover del cellulare, penne e pennarelli, il computer, la televisione, tutti questi oggetti e molti altri ne contengono almeno un po'. Ma di plastica non ne esiste una sola. Se ci pensiamo gli oggetti realizzati in questo materiale sono molto diversi tra loro, basta confrontare un sacchetto della spesa o al flacone del detersivo per notare subito molte differenze. Con il termine plastica infatti vengono solitamente raggruppate diverse famiglie di polimeri, ovvero lunghe catene di molecole dall'alto peso molecolare e costituite da un gran numero di gruppi molecolari derivanti dalla raffinazione del petrolio e contenenti carbonio, idrogeno, ossigeno e cloro. Ogni tipo di plastica corrisponde a un diverso materiale con caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche specifiche. Questa eterogeneità implica processi di riciclo diversi a secondo del polimero o della famiglia di polimeri trattata, per cui in questo caso non si può parlare genericamente di riciclo della plastica, perchè in realtà di plastiche ne esistono tante. Le più comuni e più diffuse nell'esperienza di consumo quotidiana si dividono in due grandi gruppi: le termoplastiche, le quali si ammorbidiscono con il calore e ritornano dure se raffreddate, e le termoindurenti le

quali si solidificano in modo irreversibile se esposte al calore. Le resine termoplastiche sono le più semplici da riciclare e tra queste le categorie più comuni nel nostro quotidiano sono:

- PE, polietilene, con cui generalmente si realizzano sacchetti, bottiglie, flaconi, pellicole, ecc, a seconda del tipo di lavorazione a cui viene sottoposto;
- PP, polipropilene, usato per una grande quantità di oggetti diversi, dalle vaschette per alimenti ai mobili da giardino;
- PVC, polivinilcloruro, per vaschette, film, tubi;
- PET, polietilene tereftalato, utilizzato per bottiglie per bibite e acqua minerale, fibre sintetiche;
- PS, polistirene, più conosciuto come polistirolo si usa principalmente per tappi, piatti, posate e vaschette per alimenti.

Il procedimento di riciclo può essere sia di tipo meccanico (più comune), che chimico. Innanzitutto, Nel caso del riciclo meccanico, il materiale raccolto durante la raccolta differenziata deve essere selezionato, in modo da individuare ed eliminare sostanze estranee e per separare i diversi tipi di imballaggi sia per polimero, che per colore dove possibile. Per garantire rese elevate, la selezione dei diversi materiale plastici è fondamentale. Il materiale vagliato viene quindi inviato alla linea di riciclaggio dove vengono sottoposte a triturazione, lavaggio, macinazione, essiccamento e infine granulazione, la fase finale in cui si ottengono granuli o scaglie utilizzabili negli impianti di trasformazione. Il riciclo chimico invece viene applicato a livello industriale e mira a rompere la macromolecola del polimero nelle sue unità più semplici di partenza (i monomeri), da utilizzare come nuove materie prime. I granuli e le scaglie sono utilizzabili per diversi usi a seconda del polimero di partenza: ad esempio dalle bottiglie in PET si possono realizzare fibre e materiali tessili (come le coperte di pile), dal PE flaconi e contenitori, dal PVC tubazioni per gli scarichi fognari materiali elettrico. In Italia è possibile eseguire la raccolta differenziata solo per gli imballaggi in plastica, per la quale è comunque alta la percentuale di recupero. Secondo i dati ISPRA, il riciclo degli imballaggi di plastica si attesta al 84,4%. Inoltre, a differenza della carta e del vetro, per la plastica si può prevedere anche il recupero energetico (ricordiamoci che la plastica deriva dal petrolio!), dato che il suo potere calorifico inferiore, ovvero la quantità di calore liberata durante la combustione, è sufficiente da giustificare tale opzione (30-35 MJ/kg). Quanto risparmiamo riciclando correttamente la plastica? Il risparmio energetico è alto, dal 40 al 90% e una media del 50%, mentre il risparmio di materia è addirittura del 100%! Se evitiamo di inviare la plastica in discarica e la ricicliamo correttamente, evitiamo l'emissione di 1,39 kg CO<sub>2</sub> eq per kg di plastica, contribuendo così a contrastare l'aumento delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera.

## Legno

Un materiale meno comune nella nostra raccolta differenziata quotidiana, ma di non meno importanza rispetto agli altri, è il legno. Il legno, come la plastica, non ha sempre le stesse caratteristiche: ne esistono infatti moltissime specie diverse, che vengono utilizzate in modo differente a seconda delle peculiarità. In ogni caso, riciclare il legno è molto importante per due motivi: in primo luogo, si conservano le risorse naturali, dato che recuperando materia si possono tagliare meno alberi; in secondo luogo, evitando di inviare il legno in discarica si risparmia l'emissione in atmosfera di metano e anidride carbonica, i quali sono gas climalteranti. Per quanto riguarda la raccolta differenziata domestica, i rifiuti in legno riguardano principalmente mobili, arredi, porte, infissi e ingombranti vari, mentre gli imballaggi di legno sono presenti in quantità irrisorie e includono cassette per prodotti ortofruccicoli, cassette di pregio per vini, liquori e distillati, piccole cassette per formaggi e tappi in sughero, occasionalmente pallet.

Per questo motivo, i materiali in legno seguono un circuito separato e vengono ritirato localmente previo accordo con il consorzio incaricato, Rilegno, oppure inviato personalmente presso stazioni o aree ecologiche attrezzate poste a servizio dei cittadini. Tutto il legno può essere riciclato e la materia risultante è di buona qualità. I rifiuti legnosi raccolti vengono prevalentemente sottoposti a riciclo meccanico: il materiale proveniente dalle piattaforme viene selezionato e ripulito da corpi estranei (metalli, carta, plastiche varie, inerti), dopo viene tritato in piccole scaglie pronte all'uso (chips). Queste



scaglie, dopo un processo di essiccazione necessario per contenere i livelli di umidità, vengono poi pressate, assieme a colle a bassissimo contenuto di formaldeide, per realizzare dei pannelli truciolari, dalle stesse caratteristiche di quelli nuovi e usati per la produzione di mobili, complementi d'arredo e rivestimenti per interni ed esterni di abitazioni e uffici. Il 95% dei rifiuti in legno segue questo destino. Le rimanenti quantità vengono utilizzate per la produzione di pasta cellulosica per le cartiere oppure subire trattamenti che li rendono idonei all'utilizzo come materia prima per la realizzazione di blocchi in legno - cemento per applicazioni nella bioedilizia. Una piccola parte può essere utilizzato presso impianti di compostaggio per la produzione di compost o terriccio (concime) per il commercio su vasta scala. Infine, il rifiuto può essere trasformato attraverso vari processi in combustibile solido per gli impianti di incenerimento oppure per impianti dedicati alla combustione delle biomasse atti alla produzione di calore ed energia. Un ulteriore percorso di rigenerazione è previsto per i pallet, che possono essere ripartiti e reimmessi nei circuiti di consumo. Secondo i dati ISPRA, nel 2015 il 64,2% degli imballaggi immessi al consumo in Italia è stato recuperato.

## Alluminio

Leggero e versatile, durevole e facilmente lavorabile, l'alluminio è un metallo dalle eccezionali caratteristiche che lo rendono particolarmente adatto non solo alla produzione delle lattine, ma anche componenti per auto e prodotti per l'edilizia. Riciclare l'alluminio è molto importante perchè la sua produzione è un processo particolarmente oneroso dal punto di vista materiale ed energetico: esso infatti si ricava dalla bauxite, una roccia sedimentaria, e sono necessari ben 4t di bauxite e 14 MWh di energia elettrica per ricavare 1 sola tonnellata di alluminio. Ma cosa succede alle nostre lattine dopo averle gettate nel sacco della raccolta differenziata, insieme alla plastica o al vetro? La raccolta dell'alluminio viene generalmente eseguita come raccolta multimateriale, ovvero insieme ad altri tipi di materiali come la plastica, per un problema di costi. Primo passo del recupero è la separazione delle lattine dagli altri imballaggi, quindi queste vengono frantumate e separate da eventuali residui ferrosi. Dopodichè le lattine subiscono un trattamento a 500°C al fine di rimuovere vernici e altre sostanze aderenti, infine fuse a 800°C per produrre nuovi materiali. Tra i vantaggi del riciclo dell'alluminio ritroviamo la mancanza di scadimenti qualitativi durante il processo, proprietà che permette a questo materiale di essere riciclato infinite volte, un notevole risparmio energetico (il risparmio di energia elettrica è circa il 95%), dato il processo particolarmente energivoro di lavorazione della bauxite, e di materiale. Possibile è anche il recupero energetico: la polvere e i fogli di alluminio, infatti, possono essere assimilati ai combustibili e se scaldato fino a 850°C 1 kg di alluminio rilascia 31 MJ di energia, la stessa energia liberata da 1 kg di carbone. Il risparmio di energia e risorse è altissimo: 95% di energia risparmiata e 100% di materiale! Secondo stime CiAI, nel 2015 il recupero degli imballaggi in alluminio è stato pari al 75,5%, e le emissioni di CO<sub>2</sub> evitate pari a 345mila tonnellate.

## RAEE

Sotto l'acronimo RAEE (Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche) si raggruppano tutti quei rifiuti diversi tra loro per composizione, modo di utilizzo e caratteristiche, ma tutti afferenti ai dispositivi elettronici, ovvero i dispositivi che utilizzano energia elettrica per il loro funzionamento. I RAEE possono essere di due tipi, domestici e professionali, e vengono suddivisi in 10 categorie:

- Grandi elettrodomestici
- Piccoli elettrodomestici
- Apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni
- Apparecchiature di consumo (elettronica di consumo)
- Apparecchiature di illuminazione
- Utensili elettrici ed elettronici
- Giocattoli e apparecchiature per il tempo libero e lo sport

- Dispositivi medici
- Strumenti di monitoraggio e di controllo
- Distributori automatici

In questi rifiuti è possibile trovare molte sostanze e materiali diversi, come plastica, metalli, sostanze chimiche, ecc... e per questo motivo il loro corretto smaltimento e riciclo è piuttosto oneroso. Fino a poco tempo fa questi rifiuti venivano erroneamente smaltiti in discarica, con gravi rischi per la salute e per l'ambiente. Per evitare questi danni, l'Unione Europea e i Paesi membri hanno promulgato una serie di misure per la corretta gestione di questi rifiuti. Come funziona il riciclo di materiali tanto speciali? Le fasi che seguono i RAEE sono 4: raccolta differenziata, messa in sicurezza, trattamento e recupero. La raccolta differenziata dei RAEE domestici avviene da parte dell'utilizzatore finale, che in questo caso non è sempre il consumatore, ma può essere anche un rivenditore o la stessa azienda che si incaricano di provvedervi. Per i cittadini vengono solitamente messi a disposizione dei centri di raccolta o un servizio di ritiro a domicilio, in alternativa al ritiro porta a porta. I RAEE professionali vengono raccolti direttamente presso l'azienda, ente o impianto. I RAEE depositati vengono presi in carico da ReMedia, il consorzio predisposto al trattamento, e messi in sicurezza. Questo perchè spesso i RAEE contengono sostanze nocive che devono essere separate preliminarmente al trattamento e rimosse per agevolare il riciclo dei materiali. I rifiuti vengono sottoposti a linee di produzione inverse, che li disassemblano e trasformano per recuperare le materie prime che possono essere riutilizzate in nuovi cicli produttivi.

## Frazione umida

Cosa succede a una buccia di banana dopo che l'abbiamo gettata? Se volessimo fare un esperimento e la lasciassimo in un giardino, noteremmo che nel giro di breve tempo la buccia si trasformerebbe fino a scomparire del tutto o quasi, lasciando al suo posto della nuova sostanza organica che verrà assorbita dal terreno. Ciò succede perchè la banana è un rifiuto organico ed è biodegradabile, come gli avanzi da cucina e gli sfalci verdi, e quindi viene facilmente decomposto e trasformato dai batteri saprofiti. Ma quindi potremmo pensare di recuperare anche i rifiuti organici? E se sì, come? I rifiuti organici vengono trasformati tramite un trattamento biologico, il compostaggio, al fine di recuperare il materiale organico in essi presente e ottenere un nuovo materiale denominato compost. Il compost non è un fertilizzante, ma viene definito ammendante organico, perchè apporta sostanza organica e nutrienti al terreno (azoto, fosforo e potassio), permettendo un minor uso di concimi chimici. Il processo prevede la decomposizione ad opera di microrganismi della sostanza organica in condizione aerobiche, ovvero in presenza di ossigeno, ottenendo come prodotti principali della reazione compost, CO<sub>2</sub>, acqua e calore. Si tratta di un fenomeno naturale che viene forzato tramite insufflazione di aria e rivoltamento periodico del materiale, al fine di accelerarlo. I tempi di produzione del compost variano in funzione del materiale o del periodo dell'anno, indicativamente da 2 a 6 mesi. I microrganismi sono i principali fattori del processo, sono molti e di diversi ceppi (batteri, funghi, alghe, protozoi, ecc) e di solito sono naturalmente presenti in misura sufficiente negli scarti; però perchè possano svolgere correttamente la loro funzione devono essere posti nelle condizioni ottimali. Pertanto, durante la produzione del compost, è importante prestare attenzione ad alcuni parametri: ossigeno e sufficiente porosità del materiale, per garantirne la circolazione, umidità e rapporto tra carbonio e azoto.

I materiali di partenza che devono essere utilizzati, in accordo con la normativa, sono: la frazione organica dei RSU, raccolta separatamente; rifiuti vegetali di coltivazioni agricole; segatura, trucioli, frammenti di legno; reflui zootecnici; carta e cartone (in piccole quantità); fanghi di depurazione reflui civili e scarti di legno non impegnato e non trattato. Assolutamente vietati i rifiuti pericolosi e i materiali che hanno subito trattamenti chimici, e infine gli inerti, che ostacolerebbero il processo di degradazione. Infatti, è molto importante che il compost non contenga sostanze inquinanti, metalli pesanti e agenti patogeni. Durante il processo di compostaggio i materiali sono opportunamente miscelati per ottenere un rapporto C/N ottimale, ad esempio i materiali umidi contengono un rapporto C/N basso, mentre i materiali secchi che agiscono come strutturanti hanno un rapporto alto. Vengono identificate due fasi principali nel compostaggio: una prima fase di bioossidazione accelerata (ACT, active composting time), dove i rifiuti sono fortemente putrescibile e il processo metabolico è molto veloce e consuma fortemente ossigeno, una fase di maturazione dove il

processo metabolico subisce un rallentamento e il consumo di ossigeno è ridotto, e infine eventuali pre-trattamenti o post-trattamenti di raffinazione. In funzione della qualità del materiale gli utilizzi sono diversi: fertilizzazione del terreno in copertura (miscelato con letame), pacciamatura, terreno di ricopertura delle discariche, ecc. Il compostaggio può essere praticato sia a livello domestico, con i piccoli volumi della propria raccolta dell'umido più altri materiali selezionati, oppure a livello industriale in cui vengono usati grandi volumi e tutti i parametri fisici e chimici sono opportunamente monitorati al fine di ottenere un compost di qualità che possa essere rivenduto sul mercato. Il compostaggio domestico può essere facilmente realizzato con compostiere di diversa capienza (da 30 a 60 l solitamente) reperibili in commercio.

## Energia dai rifiuti

### Combustibili Solidi Secondari

Nel quadro della strategia waste-to-energy ritroviamo i cosiddetti combustibili solidi secondari (CSS), ottenuti da rifiuti non pericolosi e utilizzati per il recupero di energia in impianti di incenerimento (anche chiamati termovalorizzatori). Il range di rifiuti impiegato è molto ampio e comprende residui esclusi dai processi di riciclo, rifiuti dell'industria e della distribuzione, fanghi della depurazione delle acque, rifiuti industriali pericolosi, scarti di biomasse, ecc. Questi devono essere trattati adeguatamente per poter soddisfare i criteri, le normative e le specifiche industriali atte a raggiungere un potere calorifico adeguato.

Uno dei metodi meno costosi e più affermati per produrre i CSS è il pre-trattamento meccanico biologico (mechanical biological pre-treatment, MBT). In un impianto MBT si separano dagli RSU i metalli (che vengono riciclati) e gli inerti (ad esempio il vetro) e le frazioni organiche (che vengono inviate agli impianti di compostaggio, con o senza una fase di digestione anaerobica), scegliendo le frazioni con un potere calorifico più elevato per la produzione di CSS. Altre soluzioni oltre al MBT sono la biostabilizzazione e la bioessiccazione del materiale, precedentemente privato di metalli e inerti, dove la frazione organica viene stabilizzata e perde parte dell'umidità, ottenendo una frazione finale con un potere calorifico più elevato adatta alla combustione e composta da carta e cartone, legno, plastica e tessili che possono essere bruciati direttamente. Le quantità totali di CSS prodotte da RSU nell'Unione Europea sono stimate in circa 3 milioni di tonnellate con una produzione italiana di 200.000 tonnellate e una resa di 300kg per tonnellata di RSU. Le caratteristiche che il prodotto ottenuto durante i trattamenti possa essere utilizzato come CSS sono diverse e riguardano, tra gli altri, un potere calorifico inferiore di almeno 15 MJ e un'umidità del 25%.

Quali sono attualmente gli usi del CSS? Le possibilità sono molteplici tra cui: termovalorizzatori, cementifici, centrali termiche per il teleriscaldamento, impianti siderurgici, centrali termoelettriche a carbone, ecc, e, a seconda dell'impianto, sono utilizzati sia come unico combustibile sia come combustibile ausiliario.

### Biogas

Buccia di mela, lisca di pesce, pasta avanzata e una manciata di scarto di mais. No, non è qualche strana ricetta segreta, ma sono solo alcuni degli elementi necessari per la produzione di un combustibile molto particolare, il biogas. Il biogas è un gas, ma, a differenza del metano estratto dal sottosuolo, viene prodotto dalla decomposizione della materia organica (l'umido dei nostri rifiuti), reflui civili e zootecnici, biomasse agricole, ecc. in condizioni di anaerobiosi, ovvero in assenza di ossigeno molecolare ( $O_2$ ) o legato ad altri elementi (ad esempio come nel caso dell'azoto nitrico  $NO_3^-$ ). Ricordi la produzione del compost? Il concetto è simile, dato che si tratta di decomposizione di materia organica, ma i prodotti e le modalità con cui ciò viene realizzato sono differenti. I principali prodotti della reazione sono metano e anidride carbonica ed è la presenza del primo che rende il biogas adatto per essere utilizzato come combustibile. A differenza però del tradizionale gas metano, il biogas è una risorsa energetica rinnovabile, potenzialmente producibile a partire da materia prima disponibile localmente e rifiuti, se gli impianti per la produzione sono progettati e gestiti correttamente recuperando ciò che altrimenti sarebbe solo materiale di scarto. Il trattamento realizzato è denominato anerobico ed è finalizzato alla stabilizzazione del materiale organico, alla produzione del biogas e al recupero del materiale di rifiuto in appositi reattori chiusi, detti digestori. Questo trattamento prevede l'accelerazione di un fenomeno naturale a mezzo di apporto di calore e miscelazione continui del materiale e il controllo di importanti parametri di

processo, come pH, temperatura, contenuto di solidi, acidi grassi volatili e alcalinità. L'intervallo di attività biologica è ampio, compreso tra i  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $+70^{\circ}\text{C}$ , a opera di tre differenti classi di microrganismi anaerobici, ciascuna attiva in un certo intervallo di temperatura. Inizialmente il processo di digestione anaerobica aveva il solo scopo di stabilizzare il materiale organico, mentre attualmente si realizzano veri e propri sistemi industriali per la produzione di biogas, a partire, come già accennato, da acque derivanti dall'industria agro-alimentare, fanghi degli impianti di trattamento delle acque reflue, deiezioni animali, biomasse di natura agricola, residui organici industriali e la frazione organica di rifiuti urbani. Ma quanto e cosa possiamo ottenere dalla digestione anaerobica? Valori medi di processo sono una produzione di biogas di circa  $100\text{-}150\text{ m}^3\text{ t}^{-1}$ , di cui il  $\text{CH}_4$  corrisponde al 60-65% del volume e la  $\text{CO}_2$  al 35-40%, il potere calorifico è di  $23\text{-}25\text{ MJ m}^{-3}$ . La produzione del biogas può avvenire anche nelle discariche in modo non controllato, quindi è molto importante prevederne la captazione, sia per il recupero, sia per evitare la dispersione in atmosfera o incidenti. Diversi i benefici: 1) il biogas è una fonte energetica rinnovabile prodotta a partire da rifiuti, quindi offre una possibile soluzione sia dal punto di vista energetico, che ambientale; 2) si evita la produzione e rilascio di metano in atmosfera; 3) il ciclo di produzione del biogas è definito carbon neutral, perchè l'anidride carbonica contenuta in esso è la stessa anidride carbonica precedentemente fissata dalle piante, e non viene realizzata ex novo come avviene tramite la combustione di petrolio o carbone. D'altro canto è necessario porre attenzioni ad alcuni aspetti tecnici affinché non sia compromessa la sostenibilità dell'impianto. È molto importante, infatti, che questo sorga in aree adatte, magari in prossimità di allevamenti, per evitare il trasporto di ingenti quantità di materiale organico, e che venga evitato il più possibile l'utilizzo di colture dedicate come materia prima, in modo da non sottrarre eccessivamente aree alla produzione agricola.

## Termovalorizzazione

Cosa fare di tutti i rifiuti per cui non è possibile il recupero di materia? Secondo la piramide gerarchica dei rifiuti l'opzione preferibile è la termovalorizzazione, ovvero un incenerimento con recupero di energia e/o calore, prima dell'invio in discarica (in cui non può essere recuperata né energia né materia). In un termovalorizzatore, o inceneritore, i rifiuti vengono bruciati per sfruttare il contenuto calorifico degli stessi (ricordate che per esempio la plastica viene prodotta a partire dal petrolio e pertanto possiede un potere calorifico alto), generare calore, riscaldare acqua per produrre vapore al fine di ottenere energia elettrica. Tale energia può essere utilizzata quindi per produrre calore, per produrre elettricità o per la produzione combinata di calore e elettricità (cogenerazione). La termovalorizzazione inoltre permette di ridurre la massa dei rifiuti del 80-85% e il loro volume di circa il 96%. Fino a circa 20 anni fa, i rifiuti venivano bruciati solo per ridurre il loro volume e renderli inerti, senza alcun recupero di energia, ma oggi la situazione è diversa e gli ingegneri, ricercatori e tecnici studiano come migliorare dal punto di vista tecnologico questi impianti, rendendoli sempre più sicuri ed efficienti. In molti paesi, la termovalorizzazione è una soluzione impiantistica già consolidata (Giappone, Svezia, Danimarca ad esempio), mentre in Italia solo il 19% dei rifiuti viene incenerito. Ma cosa viene bruciato dei RSU? La frazione "combustibile" è costituita principalmente da carta, plastica, umido (erba e legno, scarti alimentari) e da un punto di vista energetico i rifiuti possono essere in qualche modo equiparati ai combustibili fossili, dato che si tratta di materiale organico con al suo interno elementi ossidabili (carbonio e idrogeno). Il processo di termovalorizzazione è complesso e coinvolge diverse reazioni chimiche, il cui risultato è sensibile delle condizioni operative utilizzate, e tecnologie e processi sviluppati appositamente per i RSU, con le possibili soluzioni operative:

- combustione diretta, in cui i rifiuti vengono bruciati e l'energia termica del calore viene trasferita a un vettore termico (vapore d'acqua);
- conversione in un combustibile intermedio liquido o gassoso, mediante pirolisi o gassificazione.

La combustione avviene all'interno di forni appositi ed è articolata in 4 fasi: riscaldamento ed essiccamento, pirolisi, combustione e/o ossidazione parziale, combustione e/o gassificazione del materiale carbonioso. Oltre al calore sprigionato dalla combustione, vengono prodotti ceneri ed emissioni gassose, entrambi richiedono opportuni trattamenti per ridurre il loro carico inquinante ed essere rilasciati nell'ambiente senza rischi per la salute. Il calore sviluppato dalla combustione dei rifiuti viene recuperato e utilizzato per produrre vapore. A sua volta, il vapore generato aziona una

turbina, che, accoppiata a un alternatore e un motoriduttore, converte l'energia termica in energia elettrica; in alternativa il vapore sarà usato come vettore di calore. Quanta energia otteniamo bruciando i rifiuti? I rendimenti di un termovalorizzatore sono comunque inferiori a quello di una centrale elettrica tradizionale, dato il basso potere calorifico dei rifiuti: l'efficienza è quindi variabile e si aggira tra il 17% e il 25% (si arriva anche al 30% circa nei cicli più spinti), ma aumenta con il recupero del calore oltre il 50%, producendo indicativamente 0,67 MWh di elettricità e 2 MWh di calore per teleriscaldamento per tonnellata di rifiuti trattata. Ciò non ha impedito ad alcune città di utilizzare questa soluzione impiantistica per ottimizzare la loro richiesta di energia e lo smaltimento dei propri rifiuti, come avviene ad esempio nelle città di Oslo, Parigi e Vienna.

## Gassificazione e pirolisi

La combustione mediante incenerimento può essere una delle soluzioni per recuperare il contenuto energetico dei rifiuti, ma presuppone una serie di difficoltà, tra cui l'emissione di effluenti gassosi che necessitano un oneroso trattamento di depurazione e che inducono ricercatori e ingegneri a vagliare più soluzioni impiantistiche. Tra queste, la gassificazione e la pirolisi sono in fase di sperimentazione come potenziale alternativa ai termovalorizzatori. Anche se nel campo dei rifiuti vengono considerate tecnologie innovative, la gassificazione e la pirolisi hanno una storia più lontana, che parte addirittura dal XIX secolo. I primi esempi applicativi prevedevano l'uso di carbone, mentre i rifiuti sono stati impiegati a partire dagli anni '90. Come si differenziano queste tecnologie dalla termovalorizzazione? Durante la combustione, gli elementi combustibili presenti nel rifiuto vengono ossidati in presenza di ossigeno in eccesso, producendo un rilascio di calore e prodotti di scarto, come i fumi di combustione e un residuo solido inerte. Diversamente, durante la gassificazione avviene la conversione di un materiale solido o liquido in un gas combustibile (syngas), mediante una ossidazione parziale in cui l'aria viene utilizzata in quantità minori rispetto a quello che sarebbe necessario per il completamento della reazione e si ottiene un gas arricchito di ossido di carbonio (CO) e idrogeno. Infine, al contrario di quanto avviene nella combustione, la pirolisi è condotta in assenza di ossigeno e permette di ottenere tre prodotti in fasi diverse, tutti combustibili: il syngas, il tar (sostanza condensabile presente nel syngas che si presenta come un prodotto liquido), il char (residuo carbonioso). Ma quali sono gli usi? Il syngas trova impiego come combustibile o come materia prima per l'industria chimica, il tar ha svariati utilizzi, tra cui la co-combustione insieme al carbone per produzione di energia elettrica, fertilizzanti, combustibili per centrali termoelettriche, ecc; infine il char può essere trattato con acido cloridrico per la produzione di carbone o con anidride carbonica per la produzione di carbone attivo, un materiale usato nella depurazione delle acque. Da 1 kg di RSU si ottengono mediante pirolisi da 0,15 a 0,3 kg di syngas, da 0,5 a 0,6 kg di tar e da 0,2 a 0,3 kg di char; la gassificazione prevede invece una maggiore produzione di gas rispetto alle altre due componenti.