

# Rifiuti e cambiamento climatico: dallo smaltimento corretto alla prevenzione

## *Il protocollo di Kyoto e gli obiettivi di riduzione delle emissioni*

⇒ Roberto Cavallo, E.R.I.C.A. (✉ presidenza@cooperica.it) – ⇒ Enzo Favino, Scuola Agraria del Parco di Monza (✉ monzaflora@monzaflora.it)  
⇒ Luca Mercalli, Società Meteorologica Subalpina (✉ info@nimbus.it) – ⇒ Federica Stupino, E.R.I.C.A.

Negli ultimi 150 anni la temperatura media della superficie terrestre e degli oceani ha subito un aumento significativo, dell'ordine di 1 °C. Tale variazione è ormai accertata secondo quanto emerge dal Quarto rapporto IPCC ed è dovuta con elevata probabilità alla forzatura indotta dall'aumento di concentrazione atmosferica di gas serra, principalmente biossido di carbonio derivante dalla combustione di composti organici fossili (petrolio, carbone, gas naturale) e metano emesso prevalentemente da processi naturali accelerati dalle attività umane (agricoltura, allevamento, gestione rifiuti) <sup>(14)</sup>. Secondo i dati provenienti dal carotaggio della calotta glaciale antartica, la concentrazione attuale di CO<sub>2</sub> (circa 385 ppmv) è la più elevata da almeno 650.000 anni, superando il valore massimo precedente pari a circa 300 ppmv.

Di questa alterazione climatica imputabile all'uomo si è discusso a livello mondiale fin dal 1992 a Rio de Janeiro, giungendo alla firma della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), che costituisce il primo trattato internazionale vincolante riferito specificatamente ai cambiamenti climatici. Gli Stati aderenti sottoscrissero tale convenzione nella consapevolezza che essa avrebbe costituito un trampolino per un'azione più energica nel futuro. Istituito un processo permanente di esame, di discussione e di scambio di informazioni, la Convenzione ha permesso l'adozione di impegni supplementari adattati all'evoluzione delle conoscenze scientifiche e della volontà politica. Il primo esame dell'adeguamento degli impegni assunti si ebbe, come previsto, nella prima sessione della Conferenza delle Parti (CP-1), a Berlino, nel 1995. Le Parti decisero che gli impegni dei Paesi sviluppati, di mantenere le emissioni dell'anno 2000 ai livelli del 1990, non permetteva di perseguire l'obiettivo di impedire "interferenze antropiche (attribuibili all'attività umana) pericolose per il sistema climatico". Per questo i ministri e gli alti funzionari coinvolti risposero aprendo un nuovo giro di consultazioni per rafforzare gli impegni dei Paesi sviluppati. La negoziazione finale fu caratterizzata dalla sottoscrizione del Protocollo di Kyoto nel dicembre del 1997 <sup>(14)</sup>.

Il Protocollo di Kyoto impegna i Paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione (i Paesi dell'est europeo) a ridurre complessivamente del 5% nel periodo 2008 – 2012 le principali emissioni antropogeniche di gas capaci di alterare l'effetto serra naturale del nostro pianeta:

- anidride carbonica (CO<sub>2</sub>);
- metano (CH<sub>4</sub>);
- protossido di azoto (N<sub>2</sub>O);
- idrofluorocarburi (HFC);
- perfluorocarburi (PFC);
- esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>).

Nell'adempiere agli impegni di riduzione delle emissioni, ogni Paese elabora politiche e misure, quali ad esempio:

- il miglioramento dell'efficienza energetica in settori rilevanti dell'economia nazionale;
- la protezione e il miglioramento dei meccanismi di rimozione e di raccolta dei gas ad effetto serra;
- la promozione di metodi sostenibili di gestione forestale, di imboscamento e di rimboscamento;
- la promozione di forme sostenibili di agricoltura;
- la ricerca, promozione, sviluppo e maggiore utilizzazione di energia rinnovabile;
- la riduzione progressiva, o eliminazione graduale, delle imperfezioni del mercato, degli incentivi fiscali, delle esenzioni tributarie e di sussidi in tutti i settori responsabili di emissioni di gas ad effetto serra, ed applicazione di strumenti di mercato;
- l'adozione di misure volte a limitare e/o ridurre le emissioni di gas ad effetto serra nel settore dei trasporti;
- la limitazione e/o riduzione delle emissioni di metano attraverso il recupero ed utilizzazione del gas nel settore della gestione dei rifiuti, nonché nella produzione, il trasporto e la distribuzione di energia.

La riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera deve essere intesa come riduzione delle "emissioni nette", vale a dire in termini di bilancio tra quanto complessivamente aggiunto all'atmosfera e quanto complessivamente sottratto dall'atmosfera. Uno dei principali assorbitori di gas-serra, ed in particolare dell'anidride carbonica, è costituito da piante, alberi e, in generale, dall'accumulo di biomassa attraverso la crescita della copertura vegetale <sup>(1)</sup>. Ai Paesi aderenti è inoltre permesso di raggiungere gli obiettivi avvalendosi dei cosiddetti "meccanismi flessibili":



- Commercio delle Emissioni (Emission Trading – ET), per il quale se un Paese riesce a ridurre le proprie emissioni più della quota assegnata può vendere la rimanente parte delle sue emissioni consentite ad un altro Paese che non riesce a raggiungere l'obiettivo che gli spetta;
- Meccanismi di Sviluppo Pulito (Clean Development Mechanism - CDM): i Paesi sviluppati possono decidere di ridurre tramite compensazione parte delle proprie emissioni in paesi terzi con progetti di trasferimento di tecnologie "verdi" o progetti per lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili o anche di valorizzazione del patrimonio forestale;
- Attuazione Congiunta (Join Implementation – JI): alcuni Paesi possono decidere di formare un gruppo per attuare congiuntamente i loro impegni, accordandosi al loro interno su di una distribuzione diversa degli obblighi rispetto alla distribuzione prevista originariamente da Kyoto, purché venga rispettato l'obbligo complessivo risultante dall'unione di tutti gli obblighi individuali spettanti ai singoli Paesi coinvolti <sup>(2)</sup>.

I Paesi che non soddisfano gli obiettivi fissati vengono multati. Inoltre il Protocollo contiene due criteri necessari affinché l'accordo entri in vigore. Primo, almeno 55 partecipanti alla Convenzione sul Clima devono ratificare, accettare, approvare o accedere al Protocollo. Secondo, tra questi vi devono essere dei partecipanti inclusi nella lista dell'Appendice I del Protocollo (Paesi industrializzati), che complessivamente siano responsabili del 55 per cento circa delle emissioni totali di anidride carbonica emessa nel 1990 <sup>(3)</sup>. Gli obiettivi di riduzione definiti dal Protocollo di Kyoto, anche se rispettati, non sono sufficienti, comunque, a determinare uno scenario di emissione "sostenibile". Secondo il Comitato Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC), infatti, questi obiettivi comportano riduzioni a lungo termine delle emissioni annuali globali al di sotto del 50% dei livelli attuali. Nei Paesi in via di sviluppo, per i quali il Protocollo di Kyoto non prevede obiettivi di riduzione, la crescita delle emissioni di anidride carbonica e degli altri gas serra sta attualmente avvenendo con ritmo che è circa triplo (25% nel periodo 1990-1995) di quello dei Paesi sviluppati (8% nel periodo 1990-95). Ciò vuol dire che attorno al 2010 non solo questo impegno dei Paesi industrializzati verrà vanificato, ma anche che le emissioni mondiali di gas-serra saranno cresciute complessivamente di circa il 30% rispetto ai livelli del 1990. Dunque, il Protocollo di Kyoto rischia di essere vanificato se non si trovano soluzioni che garantiscano la crescita dei Paesi in via di sviluppo assicurando nel contempo che gli obiettivi stabiliti nel Protocollo vengano effettivamente raggiunti a livello mondiale <sup>(4)</sup>.

bale causato in un determinato periodo di tempo (di solito 100 anni) da un chilo di gas ed il riscaldamento provocato da un chilo di CO<sub>2</sub>. Per esempio, il GWP per il metano è pari a 21 e per il protossido d'azoto 310. Ciò significa che le emissioni di 1 milione di tonnellate di metano e protossido sono rispettivamente equivalenti alle emissioni di 21 e 310 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> (Tabella 1).

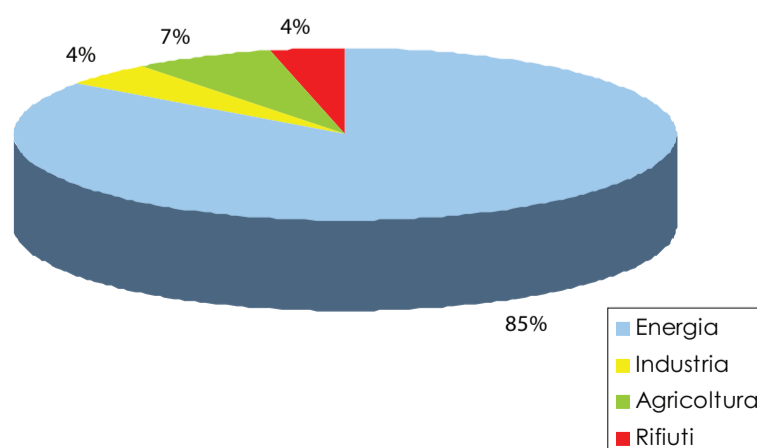
Gas	Atmospheric Lifetime	100-year GWP <sup>a</sup>	20-year GWP	500-year GWP
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	50-200	1	1	1
Methane (CH <sub>4</sub> ) <sup>b</sup>	12±3	21	56	6.5
Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)	120	310	280	170
HFC-23	264	11,700	9,100	9,800
HFC-125	32.6	2,800	4,600	920
HFC-134a	14.6	1,300	3,400	420
HFC-143a	48.3	3,800	5,000	1,400
HFC-152a	1.5	140	460	42
HFC-227ea	36.5	2,900	4,300	950
HFC-236fa	209	6,300	5,100	4,700
HFC-4310mee	17.1	1,300	3,000	400
CF <sub>4</sub>	50,000	6,500	4,400	10,000
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10,000	9,200	6,200	14,000
C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	2,600	7,000	4,800	10,100
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3,200	7,400	5,000	10,700
SF <sub>6</sub>	3,200	23,900	16,300	34,900

**Tabella 1 - Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP) e arco di vita dei gas nell'atmosfera (Fonte: IPCC (1996)).**

Il potenziale di riscaldamento globale dei singoli gas ad effetto serra permette quindi di comparare il totale delle emissioni stimate provenienti da diverse sorgenti antropogeniche. In particolare, osservando i valori riportati nella Tabella 2, possiamo notare come l'effetto delle emissioni provenienti dai rifiuti sia rilevante, e paragonabile alle emissioni del settore industriale. Il processo di gestione dei rifiuti apporta un contributo rilevante alla crescita dell'effetto serra in quanto caratterizzato dall'emissione in atmosfera del metano, che presenta un valore di GWP pari a 21 <sup>(5)</sup>.

Sector	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>Energy</b>							
SAR GWP (Used in Inventory)	5,141.9	5,452.4	5,629.9	5,697.9	5,709.5	5,793.9	5,962.6
TAR GWP	5,162.6	5,471.6	5,648.6	5,716.2	5,727.6	5,811.2	5,979.4
Difference (%)	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
<b>Industrial Processes</b>							
SAR GWP (Used in Inventory)	295.7	301.9	312.3	322.4	322.1	310.8	312.8
TAR GWP	291.8	299.6	310.8	321.7	323.1	312.6	315.5
Difference (%)	-1.3%	-0.8%	-0.5%	-0.2%	0.3%	0.6%	0.8%
<b>Agriculture</b>							
SAR GWP (Used in Inventory)	448.4	476.4	481.3	485.9	487.6	485.0	485.1
TAR GWP	451.3	479.6	483.6	487.9	489.7	487.1	487.1
Difference (%)	0.6%	0.7%	0.5%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%
<b>Land-Use Change and Forestry</b>							
SAR GWP (Used in Inventory)	(1,097.7)	(1,110.0)	(1,108.1)	(887.5)	(885.9)	(896.4)	(902.5)
TAR GWP	(1,097.7)	(1,110.0)	(1,108.1)	(887.5)	(885.9)	(896.4)	(902.5)
Difference (%)	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
<b>Waste</b>							
SAR GWP (Used in Inventory)	244.7	251.1	246.3	241.9	236.9	239.8	240.6
TAR GWP	267.0	273.5	268.7	263.8	258.3	261.5	262.4
Difference (%)	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%	9.0%	9.0%	9.0%
<b>Net Emissions (Sources and Sinks)</b>							
SAR GWP (Used in Inventory)	5,033.0	5,371.8	5,561.7	5,860.5	5,870.3	5,933.1	6,098.7
TAR GWP	5,074.9	5,414.7	5,603.6	5,902.1	5,912.9	5,975.9	6,141.8
Difference (%)	0.8%	0.8%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%

**Tabella 2 - Confronto tra emissioni in diversi settori utilizzando i valori di GWP (t CO<sub>2</sub> eq).**



**Figura 1 - Rielaborazione ERICA da IPCC (1996).**

## I rifiuti e le emissioni

Come accennato in precedenza la maggiore imputata dei fenomeni di surriscaldamento globale che caratterizzano la nostra epoca è l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), che viene prodotta in tutti i fenomeni di combustione utilizzati per le attività umane. Tuttavia vi sono altri gas che contribuiscono all'aumento dell'effetto serra del nostro pianeta.

Per meglio definire l'apporto di ognuno di questi gas sui fenomeni di riscaldamento globale, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha elaborato un parametro di riferimento, il Potenziale di Riscaldamento Globale (Global Warming Potential, GWP), valore che rappresenta il rapporto fra il riscaldamento glo-

L'impatto dei rifiuti sui fenomeni di riscaldamento globale dovuti ai gas serra deriva soprattutto dal metano rilasciato dalla decomposizione dei rifiuti biodegradabili nelle discariche. Basti pensare infatti che circa un terzo delle emissioni antropogeniche di metano in Europa possono essere attribuite a questa fonte. Per contro solo l'1% delle emissioni di protossido d'azoto e meno del 0,5% di CO<sub>2</sub> sono emissioni riferibili ai rifiuti.

Per questo la riduzione delle emissioni di metano nelle discariche (vedi paragrafo finale) rappresenta un enorme potenziale nella riduzione dei fenomeni di riscaldamento globale. Inoltre, dal momento che l'arco di vita del metano in atmosfera è relativamente corto (solo 12 anni), si stima che le emissioni totali necessitino di essere ridotte dell'8% dai livelli attuali. Questa è una percentuale molto più piccola di riduzione che quella necessaria a stabilizzare le concentrazioni di altri due gas serra, la CO<sub>2</sub> e il protossido d'azoto (6).

Il potenziale contributo alla riduzione dei gas serra e climalteranti che una gestione integrata dei rifiuti può dare diventa ancor più interessante, e complessa da definire, se non ci si limita a valutare l'impatto dello smaltimento finale, ma se si estende il ragionamento all'intero ciclo integrato dei rifiuti. In particolare il recupero di materia e l'energia risparmiata a seguito di riciclo di materia prima seconda derivante dalle raccolte differenziate in sostituzioni di materie prime vergini o ancora la sostituzione di beni con servizi, la dematerializzazione, la prevenzione, lo sviluppo di processi di filiera corta, incidono sia in modo diretto che indirettamente nella diminuzione delle emissioni: basti pensare alla riduzione dei trasporti.

### Il contributo della raccolta differenziata alla riduzione delle emissioni

Per quale motivo i rifiuti dovrebbero essere i responsabili dell'aumento del livello del mare, dell'innalzamento delle temperature e delle emissioni di gas serra? Ogni stadio nel ciclo di vita produttivo dei beni di uso quotidiano, partendo dall'estrazione della materia prima, passando per la manifattura del prodotto, per la sua distribuzione e utilizzo, e arrivando al suo smaltimento come rifiuto contribuiscono in maniera diretta o indiretta alla concentrazione di gas serra nell'atmosfera (15). Ciò che contribuisce in maniera differente all'impatto che il rifiuto avrà sull'atmosfera dipende dalla natura del rifiuto e dalle modalità di trattamento di questo (7).

Strategie di gestione dei rifiuti	Materie prime e produzione	Variazioni del C a disposizione nelle foreste e nel suolo	Gestione dei rifiuti
Riduzione a monte	diminuzione delle emissioni di gas serra dovute ai processi di estrazione e trasformazione	incremento del carbonio disponibile nelle foreste (solo per la carta ed il legno)	nessuna emissione
Riciclaggio	diminuzione delle emissioni di gas serra dovute ai minori quantitativi di energia richiesta rispetto alla estrazione e trasformazione di materie vergini	incremento del carbonio disponibile nelle foreste (solo per la carta ed il legno)	emissioni associate ai processi di riciclaggio sono conteggiate con la fase di produzione

Compostaggio	diminuzione delle emissioni di gas serra dovute ai minori quantitativi di energia richiesta rispetto alla estrazione e trasformazione di materie vergini (es. per i concimi di sintesi e le torbe)	Incremento del C disponibile nei suoli in conseguenza dell'impiego degli ammendanti compostati	Emissione di CO <sub>2</sub> biogenica, utilizzo di energia per la trasformazione di scarto organici in compost (conteggiata con la fase di produzione)
Incenerimento	non applicabile	non applicabile	emissione CO <sub>2</sub> biogenica e fossile, N <sub>2</sub> O,
Discarica	non applicabile	non applicabile	emissioni di metano, emissioni per il trasporto

Tabella 3 - Rielaborazione da U.S. EPA (2006).

Come ridurre i gas serra nel processo di gestione dei rifiuti urbani? E' stato dimostrato che grazie al riciclaggio e al compostaggio le emissioni di gas serra nell'atmosfera sono minori se comparate con quelle dovute ai rifiuti smaltiti in discarica. Queste diminuzioni variano da 260 a 470 kg di CO<sub>2</sub> eq. per tonnellata di rifiuti. Per arrivare quindi ad una scelta del sistema di trattamento a minor impatto in termini di emissione di CO<sub>2</sub> è necessario analizzare l'intero ciclo di vita del prodotto. L'EPA stima che una semplice incremento della raccolta differenziata e riciclo dal 30 al 35% su base nazionale negli Stati Uniti significa ridurre l'emissione di gas ad effetto serra di 10 milioni di tonnellate di biossido di carbonio equivalente (8). L'Unione Province Italiane, in un suo documento sui cambiamenti climatici, presentato alla Commissione Ambiente della Camera, sostiene che "ogni incremento del 10% della quota di riciclo (su base nazionale, nda), equivale all'incirca al 15% dell'obiettivo di riduzione aggiuntivo dell'Italia (41 milioni di tonnellate) e a oltre un terzo dell'obiettivo che si ritiene di conseguire attraverso la direttiva Emission Trading".

In uno studio realizzato da COMIECO sono stati analizzati, su casi reali, i consumi energetici e le emissioni di CO<sub>2</sub> di diverse tipologie di raccolta differenziata e di modalità di recupero della carta.

Ciò ha consentito di stimare gli effetti energetici e di produzione di emissioni climalteranti dall'intero sistema di riciclo della carta.

Gli impatti energetici e di CO<sub>2</sub> del sistema del riciclo sono quindi stati confrontati con quelli della produzione cartaria da fibre vergini e con le alternative di smaltimento. I consumi energetici per le fasi di raccolta risultano molto variabili, in primo luogo in funzione delle condizioni logistiche. Sull'insieme del processo è la fase di raccolta quella che determina il maggior onere sia in termini di consumi energetici che in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Le emissioni cumulate di CO<sub>2</sub> eq per le raccolte monomateriali oscillano tra 13 - 62 kg CO<sub>2</sub> eq per tonnellata di carta, con un valore medio di 32 kg CO<sub>2</sub> eq per tonnellata. Per le raccolte multimateriali le emissioni cumulate di CO<sub>2</sub> eq si collocano nel range tra 35 e 207 kg CO<sub>2</sub> eq/t di frazione utile recuperata. Tali quantità di biossido di carbonio sono compensate dai risparmi di gas serra derivanti dalle fasi di riciclo. I processi di riciclo, infatti determinano emissioni evitate sia rispetto alla alternative di produzione (risparmio di materie prime, energia, acqua e trasporti) sia rispetto alle alternative di smaltimento. Secondo la banca dati italiana I-LCA (Anpa, 2000) e le elaborazioni condotte da Ambiente Italia, il riciclo di una tonnellata di carta determina, assumendo i valori ponderati tra carte grafiche e cartone, una emissione evitata per ca. - 210 kg CO<sub>2</sub> eq per tonnellata di carta, come differenza tra le

emissioni generate per la produzione di carta da fibre di riciclo e le emissioni evitate dalla produzione con fibre vergini. A queste si aggiungono le emissioni evitate per effetto del mancato smaltimento, pari a 1098 kg CO<sub>2</sub>eq per tonnellata di carta, sulla media del sistema di smaltimento italiano (si assume assumeva, in linea con la composizione del quadro complessivo della gestione dei rifiuti di allora in Italia, che il rifiuto residuo era smaltito per l'83% in discarica, per il 9% con trattamenti meccanico-biologici, per l'8% con trattamenti termici con recupero di energia). Per ogni tonnellata di carta riciclata, sul sistema italiano, si ha di conseguenza una evitata generazione di CO<sub>2</sub>eq pari a 1308 kg. Sul totale della carta derivante da raccolta differenziata (1.476.000 tonnellate nel 2001), ciò equivale ad una riduzione delle potenziali emissioni per 1,9 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>eq che, sui 525 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>eq del bilancio nazionale, corrispondono allo 0,37% del totale delle emissioni <sup>(9)</sup>.

Emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dal ciclo di Rd e riciclo (kg CO<sub>2</sub>eq/t carta)

	kg CO <sub>2</sub> eq/t carta
raccolta e selezione	32
Riciclo	-210
Evitato smaltimento	-1130
<b>Totale</b>	<b>-1308</b>

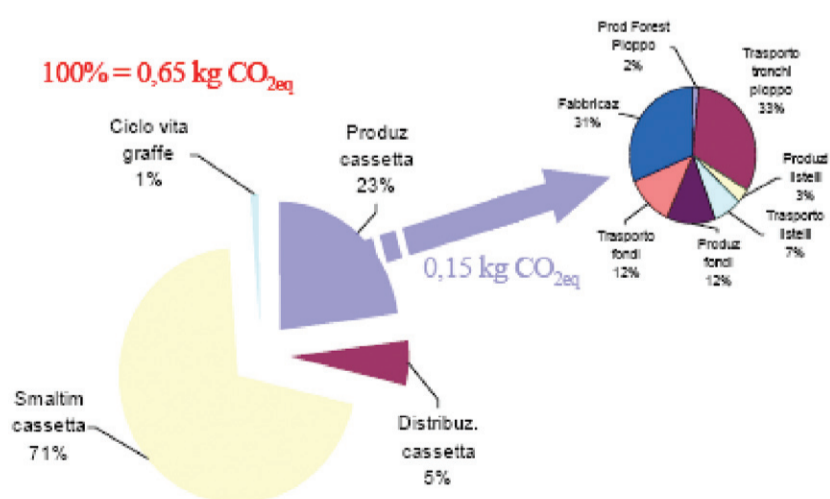
Fonte: Elaborazione Ambiente Italia

Impatto sulle emissioni italiane di CO<sub>2</sub>eq

	kt CO <sub>2</sub>
Emissioni evitate per 1000 t di carta recuperata	1,31
Quantità di carta recuperata (1000 t)	1.476
Totale emissioni evitate	1.931
Totale emissioni nazionali	525.000
% emissioni evitate su emissioni nazionali	0,37%

**Tabella 4 - Emissioni evitate grazie al riciclo di carta (da Ambiente Italia, 2003).**

Utilizzando la stessa metodologia, il Consorzio Rilegno ha condotto uno studio per valutare gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali lungo tutta la vita di un prodotto di legno. Sono stati usati diversi indicatori, tra i quali l'influenza dei singoli stadi del ciclo di vita sull'effetto serra. La quantità in massa di ciascuna sostanza emessa nell'atmosfera, calcolata sull'intero ciclo di vita del prodotto, viene moltiplicata per il potenziale di riscaldamento globale (GWP). Sommando poi i contributi delle varie sostanze si ottiene il valore aggregato dell'indicatore. Sul ciclo di vita totale di una cassetta di legno risultano emessi 0,65 kg di CO<sub>2</sub>eq. Dallo studio emerge come la parte nettamente più importante degli impatti in termini di effetto serra (71%) è attribuibile alla fase di smaltimento della cassetta.



**Figura 2 - Indicatore dell'effetto serra sul ciclo di vita della cassetta di legno (da Rilegno, 2004).**

Infatti, nonostante la parte di rifiuto legnoso destinata a riciclaggio in pannelli truciolari sia del 30%, rimane una quota pari al 63% che viene smaltita in discarica, dove libera carbonio sotto forma di CO<sub>2</sub> (biogena, dunque neutra dal punto di vista del cambiamento climatico) e CH<sub>4</sub>. Quest'ultimo viene completamente perso nella discarica incontrollata e recuperato solo in parte nella discarica controllata. Gli effetti di questa dispersione sono notevoli, in quanto il metano, come riportato in precedenza, è un gas serra molto più rilevante della CO<sub>2</sub> nel calcolo dell'indicatore (GWP pari a 21). I risultati dello studio indicano che il riciclaggio è molto vantaggioso dal punto di vista ambientale e rappresenta la migliore soluzione possibile di fine vita della cassetta. Questi valori rappresentano comunque una sottostima dei benefici del riciclaggio, perché l'utilizzazione di legno riciclato, oltre a diminuire l'emissione di CO<sub>2</sub> eq nell'atmosfera, abbassa la domanda complessiva di legno vergine sul mercato, incrementando quindi l'accumulo di biomassa delle coperture vegetali <sup>(10)</sup>.

Lo stesso tipo di analisi è stata effettuata prendendo in considerazione i rifiuti organici. Nel 1990 le emissioni di gas serra nell'atmosfera ad opera del settore agricolo ammontavano all'11% del totale delle emissioni, costituite essenzialmente da metano e protossido d'azoto. Come mitigare l'impatto di queste emissioni? L'utilizzo di ammendanti organici in sostituzione dei fertilizzanti chimici contribuisce alla riduzione dei gas serra, evitando il prelievo di energia legato ad estrazione e trasformazione dei materiali vergini, alla distribuzione in campo, e potendo diminuire, se applicato correttamente, il rilascio di N<sub>2</sub>O post-applicazione (nel caso dei concimi azotati) <sup>(17)</sup>. Inoltre il compost rappresenta una fonte di carbonio per i suoli, che negli ultimi vent'anni, soprattutto a causa del massiccio diffondersi dell'agricoltura di tipo industriale, si è ridotto di circa il 50%; ripristinare i livelli di fertilità organica nei suoli, significa avere, nel bilancio complessivo del C, meno carbonio in atmosfera, e più carbonio nei suoli (che possono dunque agire da "sink" – "accumulatori" di C – garantendo un "sequestro" dello stesso per un tempo più o meno lungo) <sup>(17)</sup>.

## La prevenzione dei rifiuti e la riduzione delle emissioni

La metodologia utilizzata per determinare l'impatto ambientale della gestione di alcune categorie di rifiuto in termini di emissione di gas serra è quella della Valutazione del Ciclo di Vita (o LCA, Life Cycle Assessment) <sup>(11)</sup>.

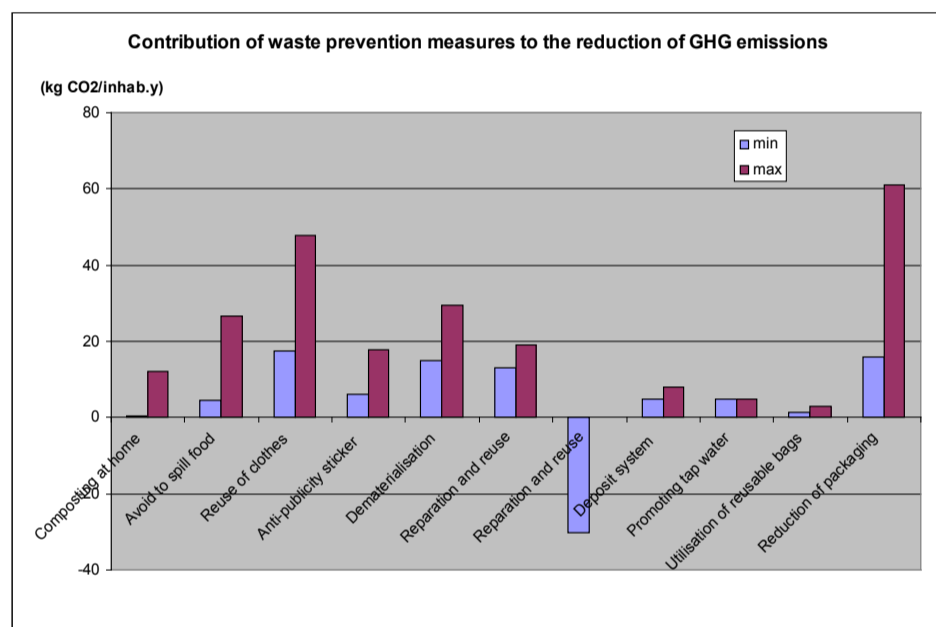
Tale metodologia studia gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali lungo tutta la vita di un prodotto dalla acquisizione delle materie prime, attraverso la fabbricazione e l'utilizzazione, fino allo smaltimento. Essa è molto utile in quanto permette tra l'altro di stimare quali sono nel ciclo di vita di un prodotto le fasi più impattanti a livello di emissione di CO<sub>2</sub> e attuare misure di prevenzione. In particolare, basandosi su questa metodologia, ACR+ ha comparato l'impatto di una serie di azioni di prevenzione nella produzione di rifiuti sull'emissione di gas serra nell'atmosfera. Ogni azione conduce alla riduzione nella produzione di rifiuti, e lo scopo è quello di valutare quantitativamente, in termini di bilancio di CO<sub>2</sub>, la possibile riduzione delle emissioni. Nella Tabella 5 sono riportati i risultati di questo studio.

Actions for the 4 flows	Amount (kg)	Potential waste reduction (kg/inhab./year)*	Potential CO2 reduction (kg/inhab./year)**
<b>Organic waste :</b>	<b>220</b>	<b>40</b>	<b>57</b>
- Promote composting at source (at home, local, in green spaces...)	180	30	11
- Fight against food waste	30	8	27
- Promote reusable nappies	10	2	19
<b>Paper waste:</b>	<b>100</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
- fight against unwanted flyers or newspapers	20	5	5
- Encourage dematerialisation (schools and offices)	80	10	11
<b>Packaging :</b>	<b>150</b>	<b>25</b>	<b>30</b>
- Choose products whose packaging can be returned to place of purchase	35	12	7
- Promote tap water	6	2	4
- Develop reusable bags	2	1	2
- Fight against over-packaging	107	10	17
<b>Bulky or other waste :</b>	<b>130</b>	<b>20</b>	<b>57</b>
- Promote reuse of clothes	8	4	37
- Promote reuse of furniture, WEEE, toys, other bulky waste	110	13	>20
- Fight against excess buying	12	3	NI
	<b>600</b>	<b>100</b>	<b>&gt; 160</b>

\* Sources : Internal working groups 2006- ACR+

\*\* GHG Balance of Prevention Actions, RDC for IBGE-Bruxelles Environnement, January 2007

**Tabella 5 - Potenziale di riduzione di CO2 di diverse azioni di prevenzione della produzione di rifiuti. (Fonte: RDC (2006)).**



**Figura 3 - Contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra ad opera delle azioni di prevenzione dei rifiuti.**

Come possiamo notare dall'istogramma le emissioni di CO<sub>2</sub> vengono ridotte in particolar modo per azioni di sensibilizzazione al riutilizzo e alla riduzione. Ciò trova spiegazione nel fatto che gran parte delle emissioni dovute alla produzione dei beni di consumo, con adeguate azioni di promozione del riutilizzo, vengono a mancare <sup>(12)</sup>.

## Lo smaltimento e la riduzione delle emissioni: tecnologie a confronto

Il cambiamento climatico è solo uno degli impatti ambientali derivanti dai diversi processi per la gestione dei rifiuti. Impatti sulla salute sono ad esempio attribuibili a sostanze emesse durante tutto il ciclo di gestione del rifiuto, quali NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, diossine e polveri sottili; da non dimenticare inoltre gli effetti deleteri che alcune sostanze hanno sulla fascia di ozono, o che sono responsabili della contaminazione delle acque. Al fine di stimare la natura di questi impatti sull'ambiente la Commissione Europea DG Ambiente ha analizzato le diverse strategie oggi utilizzate per la gestione dei rifiuti, prendendo in considerazione, come parametro di riferimento, il flusso di gas ad effetto serra derivante da ognuno dei proces-

si analizzati. Sono stati presi in considerazione:

- Discariche e rifiuti non trattati: i rifiuti non trattati vengono stoccati in discarica, nella quale avviene produzione di metano (catturato da sistemi a diverso grado di efficienza, ma in misura maggiore rilasciato in atmosfera).
- Inceneritore: incenerimento dei rifiuti con o senza la produzione di energia.
- Trattamento meccanico-biologico (TMB): i rifiuti vengono trattati per separare la frazione organica putrescibile e stabilizzarla. Il prodotto finale, che non può essere utilizzato in agricoltura per la sua scarsa qualità, viene stoccato in discarica. Il trattamento produce una riduzione significativa (80-90%) nella potenziale formazione di metano generata dal materiale organico non trattato. I metalli inoltre vengono recuperati nella fase di trattamento, come anche parte della plastica e della carta. Queste ultime, in particolare, sono inviate o alla discarica o all'inceneritore (mediante produzione di CDR).
- Compostaggio: gli scarti alimentari e vegetali di buona qualità sono separati a monte e compostati, producendo un residuo stabilizzato, il compost appunto, che è di qualità adatta per essere venduto come ammendante in agricoltura e orticoltura.
- Digestione anaerobica: come il compostaggio, si ha produzione di compost a partire da rifiuti differenziati a monte, prodotto questo che può essere utilizzato in agricoltura. I rifiuti sono digeriti in condizioni anaerobiche, e durante questo processo avviene produzione di biogas ricco soprattutto in metano. Il biogas è raccolto e utilizzato come combustibile (totalmente da fonte rinnovabile) per la generazione di elettricità.
- Riciclaggio: carta, vetro, metalli, plastiche, tessili e rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche sono separate dai rifiuti e lavorate per produrre materia prima secondaria.

Nella tabella che segue riportiamo le principali emissioni di gas serra relative ad ognuna di queste tipologie di trattamento dei rifiuti.



<b>Tutte le tipologie</b>	emissione di CO <sub>2</sub> e altri gas
<b>Discarica</b>	emissioni di metano dai rifiuti biodegradabili, contributo al riscaldamento globale
<b>Inceneritore</b>	emissioni di inquinanti nocivi per atmosfera quali NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , HCl, polveri sottili e diossina emissione di CO <sub>2</sub> da rifiuti quali le plastiche e protossido d'azoto, che contribuiscono al riscaldamento globale Solo parte dell'energia prodotta è rinnovabile, in quanto proveniente da materiali di origine biogena, il resto delle emissioni di CO <sub>2</sub> sono di origine fossile e dunque vanno conteggiate come emissioni climalteranti.
<b>Riciclaggio</b>	Risparmio di energia (meno energia è richiesta per produrre un prodotto da materia prima secondaria) e minor emissione di gas serra e altri inquinanti
<b>Compostaggio</b>	No produzione di metano dalla degradazione dei rifiuti organici in quanto trattati di processo aerobico e produzione di un ammendante organico per la sostituzione di concimi di sintesi e fertilizzanti organici
<b>Digestione anaerobica</b>	produzione di metano usabile come fonte energetica rinnovabile (l'energia recuperata sostituisce i carburanti fossili) e produzione di un ammendante organico per la sostituzione di concimi di sintesi e fertilizzanti organici
<b>TMB – Trattamento meccanico biologico</b>	riduzione della produzione di metano per via della riduzione del materiale organico nelle discariche

**Tabella 6 - Rielaborazione degli autori da EC DG Environment (2001).**

Ciò che emerge è come la scelta di strategie operative basate sul riciclaggio e il compostaggio apportino all'ambiente un minor flusso di gas serra rispetto alle altre tipologie di trattamento, in quanto vengono a mancare gran parte delle emissioni prodotte nelle discariche con presenza di materiali non trattati (decremento di circa 260-470 kg di CO<sub>2</sub> eq). Va comunque precisato che l'efficacia di tali sistemi dipende in larga misura anche dall'efficienza dei controlli delle emissioni gassose delle discariche, ovvero dell'utilizzo di tecnologie per limitare le fuoriuscite di metano; in altri termini, maggiore è l'efficacia dei sistemi di cattura e sfruttamento del biogas da discarica, minore sarà il beneficio netto delle opzioni alternative: stando ai calcoli però un beneficio netto è sempre determinato in misura marcata. Per quanto riguarda tutti gli altri materiali il loro riciclaggio comporta una riduzione delle emissioni di gas serra che variano da 30 a 95 kg CO<sub>2</sub> eq per tonnellata di materiale, se confrontata con lo stesso quantitativo di rifiuti non trattati e stoccati in discarica. Confrontando invece le emissioni di una discarica incontrollata e di un inceneritore si desume come quest'ultimo emetta all'incirca 1400 kg CO<sub>2</sub> per tonnellata di rifiuto, ai quali vanno sottratti però i quantitativi di CO<sub>2</sub> fossile evitati dal recupero di energia (termica ed elettrica con cogenerazione) che, per la parte biogena del rifiuto bruciato, sostituisce i combustibili fossili; con un saldo compreso tra 0,7 e 1,2 tonnellate di CO<sub>2</sub> per tonnellata di rifiuto bruciato (20); nel caso di una discarica incontrollata, ipotizzando di considerare le emissioni di metano (quelle di CO<sub>2</sub> sono neutre in quanto di origine biogena), si ha un flusso netto di CO<sub>2</sub> equivalente pari a circa 1700 kg per tonnellata di rifiuto (18).

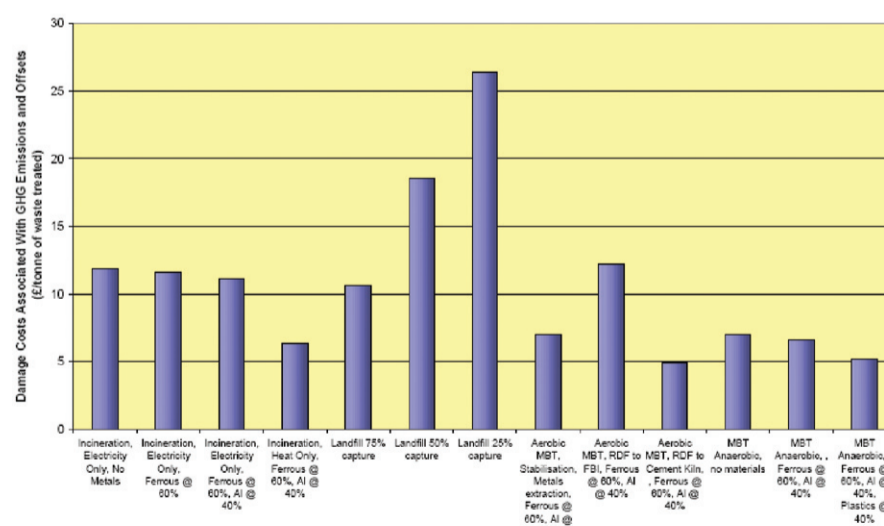
Tali emissioni però sono più basse se il materiale finale che viene depositato in discarica a seguito delle operazioni di separazione delle frazioni riciclabili viene trattato (TMB). Le discariche con-

trollate nelle quali vengono smaltiti rifiuti preventivamente trattati (TMB con preselezione e/o stabilizzazione della frazione organica) permettono di evitare gran parte del metano di fermentazione (1181 kg/t equivalenti di CO<sub>2</sub>) riducendo drasticamente le emissioni di gas serra della discarica: eliminando semplicemente questa componente dal confronto la discarica risulterebbe in vantaggio sull'inceneritore. L'efficienza dei due sistemi dipenderà quindi dalla capacità di controllo delle emissioni gassose delle discariche e dall'efficienza del recupero energetico ottenibile con l'incenerimento (elettricità e/o calore). È chiaro come, in considerazione dei dati sopra citati, le conclusioni possono essere radicalmente diverse. La supremazia del riciclaggio e compostaggio (o digestione anaerobica) è sempre confermata, mentre la scelta tra le diverse opzioni di smaltimento (discarica, TMB, o incenerimento) dipenderà soprattutto dalle circostanze locali di utilizzo delle diverse tecnologie (13). Si può tuttavia sicuramente concludere che le discariche non controllate (specie se vi si conferiscono rifiuti indifferenziati non trattati) sono la soluzione peggiore dal punto di vista delle emissioni di gas serra. La Tabella 7 conferma in sintesi le valutazioni appena descritte.

Bilancio dei gas serra per scenario: 60% RD e 40% incenerimento				
	Quantitativo	CO <sub>2</sub> emessa	CO <sub>2</sub> risparmiata	CO <sub>2</sub> netta
raccolta differenziata	100.000	741		741
riciclaggio	40.000	28.580	36.220	-10.650
trattamento frazione organica	20.000	2.210	7.959	-5.749
incenerimento	40.000	16.427	18.403	-1.976
<b>totale</b>	<b>100.000</b>	<b>47.951</b>	<b>62.581</b>	<b>-17.640</b>

**Tabella 7- Fonte: Schleiss, Favoino (ISWA WG "Biological Treatment"); "The contribution of biological treatment to reduce greenhouse gases", Prc. ISWA International Conference, 2006.**

Le emissioni, secondo i recenti principi di esternalità economica, possono essere monetizzate, basti pensare che nel primo semestre del 2007 la tonnellata di CO<sub>2</sub> equivalente sul mercato vale circa 23 euro. Un recente studio di Eonomia ha messo a confronto i costi sociali delle emissioni dei diversi trattamenti finali dei rifiuti.



**Figura 4 - Costi sociali (in sterline/tonnellata) delle emissioni dei gas ad effetto serra dai trattamenti dei rifiuti residuali (19)**

Dall'analisi del grafico, senza entrare nel dettaglio dello studio, si nota che, sotto il mero profilo della lotta al cambiamento clima-

tico, il recupero energetico è soluzione migliore rispetto allo smaltimento in discarica ancorché dotata di un efficiente sistema di recupero del biogas; pare altrettanto evidente però come il Trattamento Meccanico Biologico a freddo, sia esso aerobico che anaerobico, è il miglior processo di smaltimento, in particolare se gli output del trattamento sono il recupero dei materiali ferrosi e la produzione di un combustibile da rifiuti (RDF) da destinare alla co-combustione in cementificio.

## Bibliografia e siti internet

- [1,4] Ministero dell'Ambiente (2001), *Relazione sullo stato dell'ambiente*.
- [2] [www.osservatoriokyoto.it](http://www.osservatoriokyoto.it)
- [3] <http://unfccc.int/2860.php>
- [5] IPCC - *Climate Change 1995 (1996), The Science of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- [6] Greenhouse Gas Inventory Program Office of Atmospheric Programs U.S. Environmental Protection Agency (April 2002), *Greenhouse gases and global warming potential values*.
- [7] U.S. EPA (September 2006), *Solid Waste Management and Greenhouse Gases, A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*.
- [8] EPA (2002), *Global warming... is a waste*.
- [9] Ambiente Italia, COMIECO (2003), *Studio su consumi energetici della raccolta e della selezione di carta e cartone*.
- [10] Rilegno (2004), *Rapporto scientifico: ecobilancio di prodotti in legno*.
- [11] ISO 14040 (1997), *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principle and framework*.
- [12] Research Development & Consulting (November 2006), *GHG Balance of Prevention Actions for ACR+ - Draft Final Report*
- [13] *Waste management options and climate change - European Commission, DG Environment – April 2001*
- [14] IPCC - *Climate Change 2007 (2007), The Physical Science Basis*.
- [15] U.S. EPA (September 2008), *Greenhouse Gas Emissions from Management of selected materials in municipal solid waste*.
- [16] <http://europa.eu/scadplus/leg/it/s15012.htm>
- [17] Favoino, E. and Hogg, D., [2006], *The potential contribution of Biowaste to tackle climate change: shortcomings of life cycle analysis concerning Biowaste and relevance to policy-making, Orbit 2006 Proceedings*.
- [18] ATO R - Associazione d'Ambito Torinese per il Governo dei Rifiuti (Novembre 2006), *Il termovalorizzatore della zona nord della provincia di Torino*.
- [19] Hogg, D. (2006), *A Changing Climate for Energy from Waste? Final Report for Friends of the Earth*.
- [20] IPCC (2001), *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.