

---

# Incenerimento dei rifiuti urbani

---

Il mito della sostituzione  
dei combustibili fossili e  
del contributo al bilancio  
energetico nazionale

---

Massimo Cerani  
[www.energ-etica.eu](http://www.energ-etica.eu)  
( v. Giugno 2013)

---

## 1. UNA TECNOLOGIA RESIDUALE CON RENDIMENTI DI CONVERSIONE SCADENTI

Per il calcolo dell'effetto utile di una conversione energetica, si possono utilizzare vari parametri termodinamici universalmente riconosciuti, applicabili alle macchine termiche, oppure la R1 formula, contenuta nell'allegato alla Direttiva UE 98/2008:

Parametri termodinamici			Parametro non termodinamico
rendimento di 1° principio	Rendimento di 2° principio	Rendimento exergetico	R1 formula (Dir. UE 98-2008)
$\eta_I = \frac{L}{\dot{Q}} \quad \eta = \frac{P_{mec}}{\dot{Q}}$	$\eta_{II} = \frac{P_{mec}}{P_{max}}$	$\eta_{ex} = \frac{Ex_{ut}}{Ex_{in}}$ $= \frac{P_{mec} + Q \left(1 - \frac{T_a}{T_{ml}}\right)}{\dot{m} * Ex_{rsu}}$	$Eff = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 * (E_w + E_f)} > 0,65$
Rapporto tra il lavoro ottenuto e il calore immesso, o tra la potenza meccanica ottenuta e la potenza termica immessa	Rapporto tra potenza meccanica ottenuta e quella massima ottenibile con ciclo teorico di Carnot	Rapporto tra l'exergia utile e l'exergia in ingresso. Il contributo della potenza meccanica-elettrica è tutta exergia, mentre il calore è pesato in base alla sua temperatura secondo il "fattore di Carnot"	Ep= energia prodotta, ottenuta moltiplicando per 2,6 quella elettrica e per 1,1 quella termica; Ef= energia in ingresso da combustibili ausiliari; Ew= energia da rifiuti; Ei=energia importata tranne Ew e Ef; 0,97= parametro che tiene conto delle perdite di energia alle scorie e per radiazione.

[L= lavoro meccanico; Q= calore entrante;  $\dot{Q}$  = Potenza termica; Ex=exergia; Ta= temperatura ambiente; Tml = temperatura media logaritmica allo scambiatore (nel caso di produzione di calore: cogenerazione);  $\dot{m}$  = portata in massa;  $Ex_{rsu}$  = exergia del rifiuto in ingresso; Ep= energia prodotta; Ef= energia ausiliaria dei combustibili utilizzati; Ei= energia introdotta diversa; Ew= energia da rifiuti.]

Il primo parametro termodinamico – **rendimento di primo principio** - ci dice quanta energia meccanica estraiamo dalla massa di rifiuti bruciati, senza distinzione tra il valore termodinamico del calore e dell'energia meccanica. Il secondo parametro – **rendimento di secondo principio** - ci dice quanto il ciclo si allontana da quello ideale di Carnot. Si rapporta il primo rendimento a quello della macchina ideale col rendimento massimo idealmente realizzabile. Il terzo parametro – **rendimento exergetico** - ci fornisce una indicazione di quantità e di qualità, tenendo conto del differente valore termodinamico del calore a bassa ed alta temperatura, e del lavoro meccanico. Solo il rendimento exergetico tiene conto di tutti gli aspetti energetici e indirettamente delle ricadute ambientali di un processo termodinamico.

Esso pesa il valore dell'energia tenendo conto della diversa sua disponibilità, quindi attribuendo un elevato peso (1) all'energia meccanica e un peso inferiore al calore, in base alla sua energia disponibile per produrre lavoro in una macchina termica.

A differenza dei primi tre il quarto parametro – *R1 formula* -non è termodinamico: è un confronto del rendimento di un inceneritore con un indice di conversione medio delle tecnologie di produzione energetica esistenti in Europa. Esso deve essere per gli impianti nuovi superiore al 65% per qualificare l'inceneritore come impianto di recupero. Questo parametro a differenza degli altri può essere superiore a 1, significando che l'inceneritore in questione supera la media di rendimento di conversione presa come riferimento.

Il parametro è incrementato con un coefficiente fisso a denominatore, che dovrebbe tener conto secondo gli estensori della formula di alcune dissipazioni di energia tipiche dell'incenerimento. E' già stato fatto notare da vari autori che la formula presente numerosi limiti<sup>1</sup>, e tra l'altro contiene lo stesso parametro Ef a numeratore e denominatore.

Per completezza occorre segnalare che un altro parametro di efficienza andrebbe utilizzato, che chiameremo "rendimento LCA". In sostanza si dovrebbe analizzare quanta energia sia ricavabile con riferimento non tanto a quella contenuta nel rifiuto, ma a quella complessivamente richiesta dal ciclo di vita delle merci che residuano nel rifiuto finale. Il vantaggio presunto dell'incenerimento con recupero di nergia deriva dall'attribuire un elevato valore di sostituzione di combustibili fossili, senza tener conto dell'energia "grigia" contenuta nei beni che sono bruciati, al punto di renderlo confrontabile con le politiche di riciclo. Abbiamo già avuto modo di segnalare che di questo approccio ben pochi hanno denunciato l'assenza di fundamenta scientifiche ed ambientali.

Abbiamo analizzato i dati di un inceneritore esistente di media taglia, per determinare i parametri sopra richiamati. Il confine di studio comprende l'impianto con gli ausiliari, e si è scelto di non inserirvi una sezione di trattamento scorie, ipotizzando che tale fase sia affidata a terzi.

Il ciclo termico produce vapore a 40 bar e 400 °C mediante forno e surriscaldatore a più banchi, a partire da acqua di alimento a 140°C. La portata di vapore è di 48 t/h.

<b>BILANCIO ENERGETICO</b>		
Portata massica	173000	t/a
PCI medio	3100	kcal/kg
<b>INPUT</b>		
		MWh/a
Combustibili ausiliari		3.534,90
Autoconsumi EE ciclo termico		7.033,00
Perdite interne EE		812,00
Da rete EE nazionale		14.683,00
Energia da rifiuti		623.746,69
<b>TOTALE</b>		<b>649.809,59</b>
<b>OUTPUT</b>		
EE prodotta LORDA		137.424,00
ET prodotta lorda		0

Di seguito i risultati sulla base delle specifiche dell'impianto, senza cogenerazione:

<i>rendimenti per inceneritore solo produzione di energia elettrica</i>			
rendimento di 1° principio	Rendimento di 2° principio	Rendimento exergetico	R1 formula (Dir. UE 98-2008)
21,1%	54,7%	21,1%	54%

<sup>1</sup> Rappresenta pertanto un indice della resa energetica rispetto alla resa media degli impianti di generazione energetica in Europa. La formula (definita "R1 formula") dispone infine di un discutibile coefficiente amplificativo a denominatore, e complessivamente in meno di due anni dal suo varo è stata soggetta a numerose critiche dal mondo tecnologico e scientifico .

Emerge che non essendovi produzione di calore, ma unicamente di energia elettrica, il rendimento exergetico equivale a quello di primo principio. Il quarto parametro è più che doppio, ma abbiamo premesso che non ha alcun valore termodinamico. Circa 1/5 dell'energia dei rifiuti può essere convertita utilmente in un inceneritore di media taglia. Negli impianti più grandi si riesce a raggiungere il 25% netto.

2. L'INCENERIMENTO IN COGENERAZIONE NON CAMBIA I TERMINI DELLA QUESTIONE

Nel caso si disponesse l'impianto per la cogenerazione, con una previsione di produzione di energia termica aggiuntiva (calore utile) pari a quella elettrica, si ottengono i seguenti valori:

<i>rendimenti per inceneritore in assetto cogenerativo</i>			
rendimento di 1° principio	Rendimento di 2° principio	Rendimento exergetico	R1 formula (Dir. UE 98-2008)
40,3%	54,7	22,3%	77%

Si osserva l'incremento di rendimento di primo principio, che essendo valutato sulla produzione media annua e tenendo conto delle dispersioni in ambiente del calore in eccesso ai condensatori, non supera il 50% dell'energia contenuta nei rifiuti.

Il rendimento exergetico sale leggermente, attribuendo al calore prodotto seppure numericamente pari all'energia elettrica, un valore in termini di disponibilità molto inferiore ( il valore energetico ambientale di questa energia in più recuperata è ininfluente nel bilancio complessivo termodinamico) al lavoro meccanico elettrico.

*In sostanza il rendimento exergetico ci dice che dal punto di vista delle ricadute ambientali la cogenerazione non aggiunge benefici. Nella formula R1 invece sale il valore significativamente. Basta una cogenerazione minima per superare i limiti europei sulla R1.*

La prima considerazione che ne deriva è che solo con cogenerazione gli inceneritori possono diventare "impianti di recupero". Dei 279 impianti (che hanno fornito tutti i dati) censiti in Europa dallo studio già citato, l'efficienza R1 media è pari al 66%. Il rendimento exergetico varia dal 15% (Italia) al 28% (Danimarca).

Si comprende quindi subito come il parametro della "R1 formula" sia stato vincolato ad un valore già oggi raggiunto dalla maggior parte degli impianti operanti, soprattutto nel Nord Europa, al fine di riqualificarli "ope legis" come impianti di recupero e non più di smaltimento.

La differenza di rendimento exergetico tra impianti CHP ( cogenerativi) e di sola generazione elettrica è pari a 1,5 punti percentuali.

***Pertanto, in merito alla cogenerazione da incenerimento di rifiuti, è necessario sfatare un mito: l'effettivo beneficio energetico ed ambientale (quantità di energia prodotta e sua qualità) della cogenerazione può essere valutato mediante l'indicatore "rendimento exergetico", e secondo tale parametro si scopre come la differenza di resa tra un impianto finalizzato a produrre elettricità ed uno in cogenerazione sia assolutamente trascurabile.<sup>2</sup>***

---

2 M.Grosso, A. Motta, L. Rigamonti. DIIAR, Politecnico di Milano "Efficiency of recovery from waste incineration in the light of the new Waste Framework Directive." Waste management, March 2010

Aggiungiamo a queste valutazioni i dati rilevati recentemente dall'impianto di Brescia<sup>3</sup>, citato da molti come esempio di eccellenza. Secondo il bilancio ambientale 2011 redatto dal gestore, e i dati disponibili sul sito di A2A, con una potenza elettrica netta di 70 MW e una termica di 150 MW circa, risulta al confine dell'impianto:



<i>rendimenti per inceneritore in assetto cogenerativo: il caso Brescia</i>			
rendimento di 1° principio	Rendimento di 2° principio	Rendimento exergetico	R1 formula (Dir. UE 98-2008)
60%	42%	38%	105%

Facciamo osservare che il rendimento è calcolato sul confine dell'impianto, mentre si dovrebbe tener conto anche delle dispersioni sulla rete, che ne costituisce parte integrante e che li abbasserebbero sensibilmente. Osserviamo di nuovo le differenze eclatanti tra la formula R1, voluta dall'associazione dei gestori degli inceneritori europei, e il rendimento exergetico: un impianto di spreco energetico, con un rendimento inferiore a quello delle migliori centrali di produzione di energia elettrica.

A spreco si aggiunge spreco, con la rete e le diramazioni negli edifici; nonostante questi risultati scadenti, si aggiudica un rendimento R1 superiore al 100%! ***Ecco dimostrata anche in questo caso l'inconsistenza di una formula voluta dal CEWEP per fare passare quasi tutti gli impianti europei come impianti a recupero, o ancora peggio, obbligarli a diventare cogenerativi facendo concorrenza alle rinnovabili.***

### 3. IL CONTRIBUTO AL BILANCIO ENERGETICO NAZIONALE

La combustione dei rifiuti urbani parte da un combustibile povero, che deve utilizzare una tecnologia ( ciclo termodinamico Rankine) poco spinta per le caratteristiche proprie del combustibile scadente.

Il PCI medio è approssimativamente ¼ fino a 1/3 di quello dei combustibili sostituiti; il rendimento medio elettrico è meno di ½ di quello delle migliori tecnologie di generazione elettrica. Pertanto servono 10 kg di rifiuto urbano per sostituire 1 kg di combustibile fossile.

Secondo i dati resi noti da ENEA<sup>4</sup>, con 50 impianti in Italia si consegue una potenza installata di 587 MW, pari a poco più di una centrale tradizionale di media-grande taglia. Oggi la copertura del fabbisogno elettrico nazionale tramite incenerimento è pari allo 0,8%.

Se a livello nazionale si adottasse la strategia lombarda, che ha determinato in carenza di regolamentazione il superamento della copertura del fabbisogno interno di smaltimento, con 12 impianti operativi, si potrebbe stimare una copertura prossima a 2% dei fabbisogni energetici nazionali. La tesi sostenuta da un recente studio IEFE Università Bocconi, su dati forniti dal Politecnico di Milano, è che ci si dovrebbe porre come obiettivo di inviare a incenerimento almeno il 50% dei rifiuti urbani italiani. L'ente non dimostra in alcuna parte dello studio come si ottenga tale risultato, perché non è possibile farlo.

*I dati statistici confermano che l'incenerimento non può porsi come sistema sostitutivo di alcunché, poiché in una prospettiva finalizzata al rispetto della gerarchia europea dei trattamenti (prevenzione, riduzione, preparazione per il riciclaggio, riciclaggio, recupero, smaltimento), esso può dare un contributo ininfluenza alla sostituzione dei combustibili fossili.*

Se si puntasse – come già sta avvenendo in numerose province -ad ottimizzare il recupero di materia con raccolte differenziate secco umido domiciliari e una tariffa puntuale, si determinerebbe una copertura con l'energia prodotta dagli inceneritori intorno al 1% del fabbisogno nazionale.

<sup>3</sup> ARPA Lombardia, Dipartimento di Brescia. Relazione finale a seguito di verifica ispettiva, 5.11.2012.  
<sup>4</sup> Enea Federambiente. Rapporto sul recupero energetico da rifiuti in Italia. Ed. 2009

In nessuno scenario l'incenerimento può dare un contributo rilevante ai fabbisogni nazionali. Ne è controprova il fatto che un inceneritore da 800.000 t come quello di Brescia, riesca a coprire i fabbisogni termici di meno di metà della popolazione della città (190.000 abitanti).



Ma è sufficiente operare un raffronto su scala individuale, di produttore domestico, per comprendere che quello diffuso anche nella letteratura tecnica sia un mito e non un dato oggettivo: partendo da un dato di produzione teorico di rifiuto urbani indifferenziato in tre scenari di gestione dei rifiuti (virtuoso, intermedio, privo di differenziata), abbiamo ricavato l'energia recuperata in MJ dai rifiuti prodotti da una persona in un anno (medie statistiche da dati di letteratura in contesti di raccolte differenziate spinte e da contesti a cassonetto stradale); abbiamo poi stimato il fabbisogno di energia richiesto per calore ed energia elettrica (valori medi italiani) su base annuale.

PPC RUR kg/ab*a	PCI medio MJ/kg	Energia specifica recuperata MJ/kg	E totale recuperata MJ	Fabbisogno energetico pro capite [MJ/a]	% del fabbisogno individuale coperta con i rifiuti
70	14,5	2,9	203	21960	0,9%
200	13,5	2,7	540	21960	2,5%
300	10	2	600	21960	2,7%

Anche con tale verifica otteniamo un contributo ai fabbisogni medi individuali che potrebbe avvicinarsi al 3% solo nel caso non si attuasse alcuna politica di recupero di materia, in contrasto con la gerarchia europea di recupero.

#### 4. LA SOSTITUZIONE DEI COMBUSTIBILI FOSSILI

Un altro motivo per cui sosteniamo essere un mito la sostituzione dei combustibili fossili sta nel fatto che nelle aree virtuose del paese il rifiuto residuo è composto di una quota di frazione biodegradabile per il 50%, quindi non prevalente, ma con interventi adeguati di prevenzione, tariffazione puntuale essa può scendere a meno del 25% (promozione del compostaggio domestico, tariffa puntuale su RUR e umido, intercettazione dei tessili sanitari a monte con servizi ad hoc o in impianto tramite selezione).

Solo se non si interviene a monte con la ricerca, la sperimentazione, l'adozione di pratiche virtuose si può avere un rifiuto residuo ad alto contenuto biodegradabile<sup>5</sup>. Si tratta delle frazioni: organico, carta, tessili sanitari, che non sono stati differenziati sul posto. ***Solo se non si adempie agli obiettivi prioritari di differenziazione e riciclo si può affermare che il rifiuto residuo sostituisce combustibili fossili.***

Ammesso che queste frazioni possano essere considerate "rinnovabili" (il bacino che le consuma provvede a reimmetterle con la loro coltivazione?), non è corretto sostenere che sostituiscono combustibili fossili, visto che se a monte si attuano pratiche di riduzione e responsabilizzazione tali frazioni si riducono visibilmente, lasciando nel rifiuto residuo quote prevalenti di frazioni ad alta intensità energetica, di origine fossile (gomme, plastica, etc).

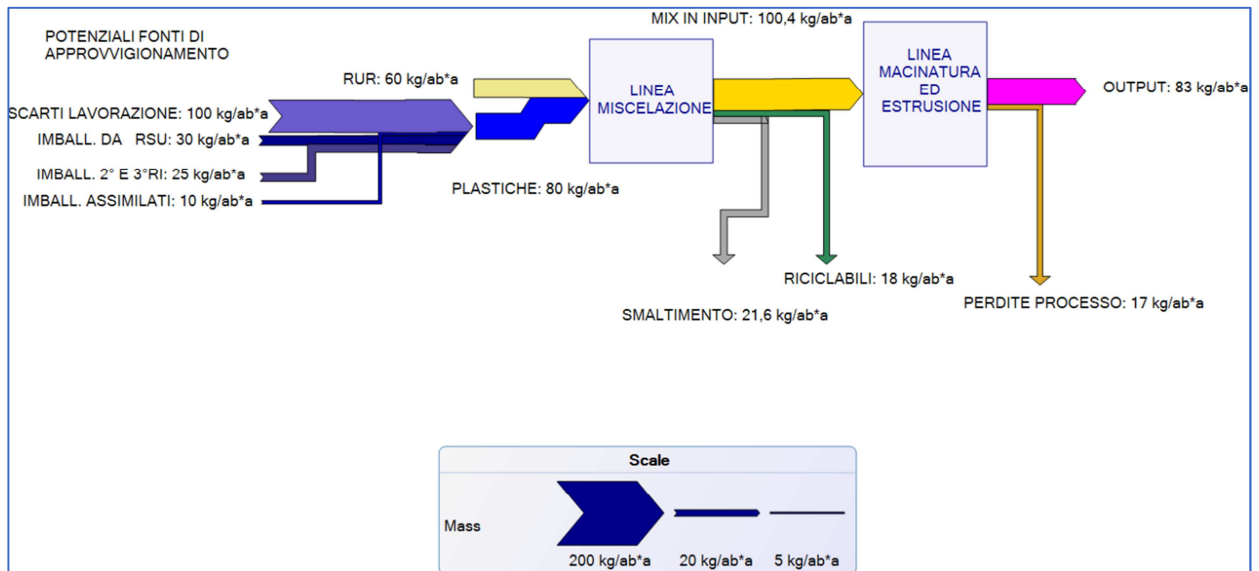
A questo proposito è illuminante l'esperienza condotta in Provincia di Treviso da un'azienda privata, che separando a valle della raccolta secco umido domiciliare le frazioni di disturbo per inviarle a riciclo (organico, cartacei) o a smaltimento (tessili sanitari) riesce a riciclare il 60% circa del rifiuto residuo prodotto da un Comune, soprattutto miscelandolo con frazioni plastiche di scarto da selezione e da raccolta differenziata presso aziende.

---

<sup>5</sup> Se sussiste rifiuto biodegradabile nel residuo significa che non si è lavorato a monte come richiesto dalla gerarchia europea dei rifiuti. Non può essere considerato virtuosismo un tale approccio end of pipe, che ha causato disastri in passato

Di seguito il flow sheet del processo, ipotizzato su una scala regionale. I fabbisogni di scarto plastico da mixare sono consistenti, ma possono essere ridotti se si lavora sui rifiuti prodotti in un'ottica di qualità totale e di priorità di riduzione e prevenzione.

Questa esperienza, citata come scenario spinto di riciclo dallo studio IEFE Bocconi già richiamato, può contribuire in numerose aree del paese a sostituire le combustioni con trattamenti a freddo, senza passare per gli ingombranti MTB che si prestano alla destinazione del rifiuto a qualsiasi trattamento finale (cementificio, inceneritore, discarica, centrale termoelettrica).



Abbiamo la conferma che **la soluzione del problema non è tecnologica**; per giungere ad un rifiuto residuo (RUR) con basso contenuto di frazioni biodegradabili è necessario lavorare bene sul territorio e responsabilizzare i produttori con una tariffa puntuale.

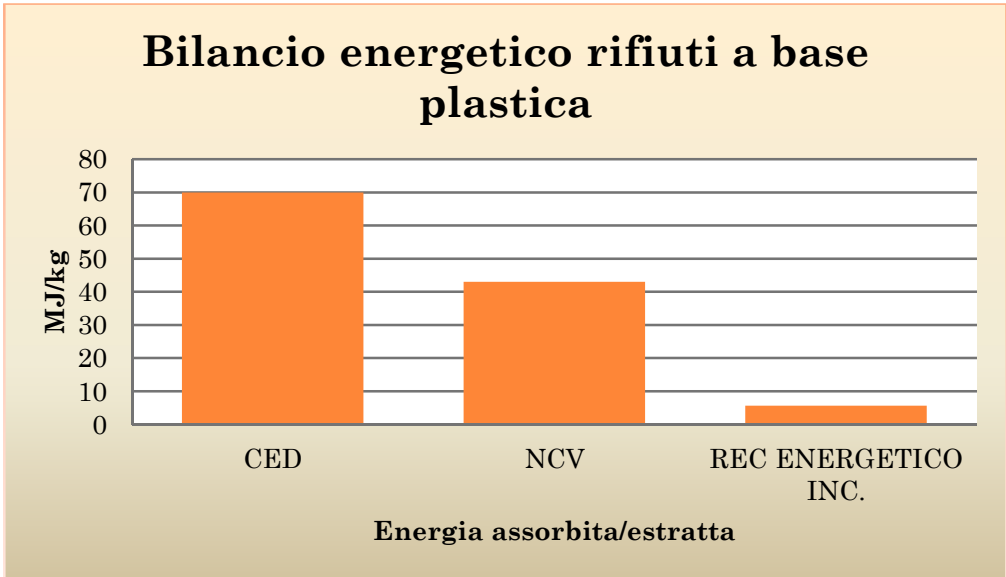
Un esempio illuminante di ciò che deve essere fatto nella direzione di una società della prevenzione e del riciclo. Al termine si può ottenere materia prima seconda collocata su vari mercati nel rispetto delle norme UNI del settore plastica. La stessa azienda ha in corso un progetto per il riciclo totale della frazione "tessili sanitari", che oggi costituisce un problema non indifferente, visto che in molti comuni si tratta di un flusso di 30 kg/ab\*a.

## 5. CONVERSIONE ENERGETICA NELLA PROSPETTIVA DEL CICLO DI VITA DEI PRODOTTI/RIFIUTI

Abbiamo anticipato che si dovrebbe analizzare il confronto tra lo smaltimento in inceneritore e il recupero di materia alla luce del ciclo di vita delle merci e dei rifiuti derivanti.

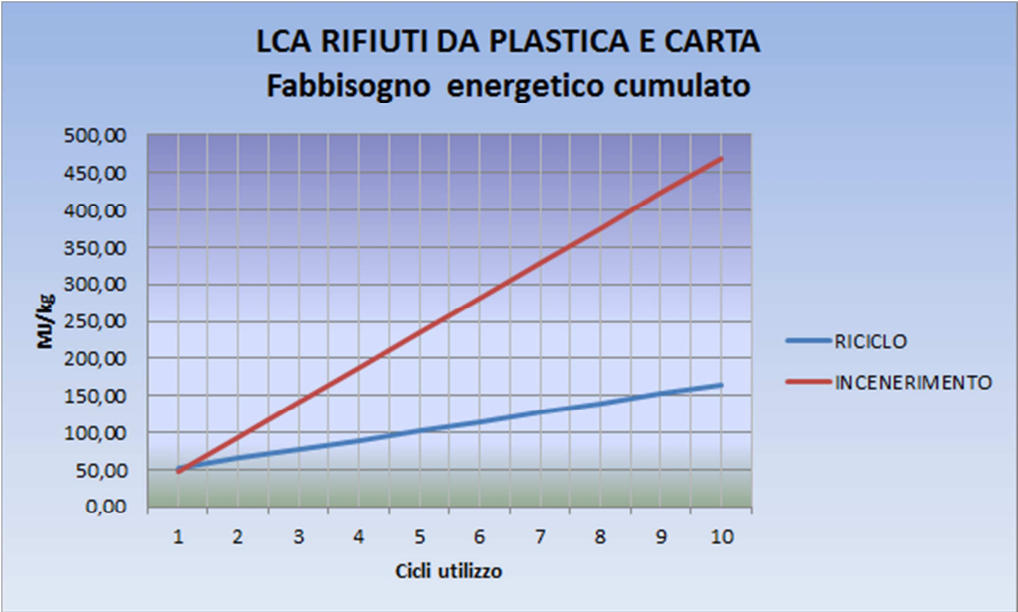
Infatti un bene richiede energia per la estrazione delle materie prime, la loro lavorazione, la realizzazione del prodotto finito. L'energia contenuta nel prodotto è un parametro non corretto dal punto di vista di un bilancio energetico del ciclo di vita. A sostegno di quanto affermiamo in questo paragrafo citiamo i dati di un recente studio.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Fricke, Bahr, Bidlingmaier, Springer. Energy efficiency of substance and energy recovery of selected waste fractions. In Waste Management, 2010



Con valori riportati nell'articolo citato, abbiamo ottenuto il grafico sopra riportato, che permette il raffronto tra energia assorbita per la produzione di un bene in plastica (CED-Cumulated energy demand), il suo potere calorifico (NCV-net calorific value) e l'energia che si può recuperare dalla combustione in un moderno inceneritore.

Il grafico ipotizza il solo recupero elettrico da incenerimento, ma come si vedrà di seguito, anche con funzionamento cogenerativo i risultati non mutano nella sostanza.



La quota estratta corrisponde a 1/5 di quella contenuta nel materiale, ma si dovrà utilizzare nuovamente nei cicli seguenti la quota CED.

Pertanto è necessario stimare in base ad un certo numero di cicli di utilizzo del materiale costituente il bene, la differenza in termini energetici tra riciclaggio e incenerimento con recupero energetico. Come evidenziato nel diagramma, la differenza diventa rilevante già dal primo ciclo di riutilizzo, e si incrementa per i cicli successivi.

Il riciclaggio diventa, se si riesce anche solo a riutilizzare 3-4 volte il materiale, un giacimento energetico e di emissioni evitate, dalla mancata produzione di nuove materie prime scarse.



Simulando la variazione del rendimento di conversione, per tenere conto della possibilità prevista e favorita dalle norme, di cogenerazione di calore ed energia elettrica, si ricava anche nei casi più spinti di recupero energetico tipici del Nord Europa, che l'intersezione tra le due curve si sposta a destra fino a 3 cicli, ossia fino al secondo ciclo di riutilizzo. In sostanza, **il riciclaggio è sempre più conveniente energeticamente**; basta riutilizzare anche in forme e livelli qualitativi differenti il materiale di partenza per almeno 2-3 cicli.



[www.energ-etica.eu](http://www.energ-etica.eu)