

IL CONTRIBUTO DELLA TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI ALLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI GAS CLIMALTERANTI

F.Cotana, F.Asdrubali, L.Frezzini

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Ingegneria, Via G.Duranti 67- Perugia
e-mail: cotana@unipg.it; fasdruba@unipg.it; frezzini.unipg@libero.it

SOMMARIO

Il lavoro si propone di valutare i possibili benefici ambientali derivanti dal ricorso alla termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani, in alternativa alle tradizionali forme di smaltimento rifiuti e di produzione di energia elettrica attualmente in uso in Italia, alla luce degli impegni presi dal nostro Paese e dalla Comunità internazionale con la sottoscrizione del Protocollo di Kyoto. In particolare, sono valutate le emissioni evitate da un maggiore ricorso alla termovalorizzazione dei RSU, a confronto con la produzione termoelettrica tradizionale e con lo smaltimento in discarica (in termini energetici ed ambientali), per diversi scenari di produzione; i confronti sono effettuati per unità di energia elettrica prodotta e per unità di massa di rifiuto smaltita. Sono inoltre stimate, secondo i diversi metodi accreditati, le superfici boschive necessarie per assorbire la CO₂ equivalente relativa alle emissioni evitate grazie al ricorso alla termovalorizzazione.

I RIFIUTI COME RISORSA RINNOVABILE

Le emissioni di CO₂ derivanti dall'utilizzo di combustibili fossili e da altre attività antropiche hanno superato da tempo la capacità dei sistemi naturali di fissare carbonio sotto forma di anidride carbonica, causando un incremento esponenziale del tenore di CO₂ presente in atmosfera (dalle 280 p.p.m dell'inizio epoca industriale a oltre 365 p.p.m registrate nel 1998 [1]).

Durante la **Terza Conferenza delle Parti (Kyoto, 1997)** sono stati definiti a livello internazionale gli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas climalteranti fino al 2010, validi per i paesi industrializzati. L'accordo finale prevede una riduzione totale pari al 5,2%, entro il 2008-2012, rispetto alle emissioni conteggiate nel 1990 per CO₂, N₂O, CH₄; per HFC_s, PFC_s, SF₆ l'anno da prendere a riferimento è invece il 1995. L'accordo prevede inoltre che per l'Europa, nel suo complesso, tale riduzione sia dell' 8%; per l'Italia, gli impegni di riduzione prevedono una percentuale pari al 6,5%.

Il vantaggio di bruciare RSU, in termini di CO₂ immessa in atmosfera, anziché destinarli ad altre forme di smaltimento, risiede nel fatto che essi possiedono una significativa componente di rinnovabilità, derivante soprattutto dalla presenza della frazione organica, ma anche di carta e cartoni, fibre tessili, legno (tab. 1). La CO₂ di origine biogenica, e quindi rinnovabile, non fornisce alcun contributo alle emissioni di gas serra nel corso della combustione dei RSU; ai fini della stima di anidride carbonica emessa, si tiene pertanto conto solo della frazione di carbonio proveniente da fonte fossile.

Tab.1: Composizione merceologica media dei rifiuti solidi urbani e rinnovabilità

COMPONENTE	CONTENUTO (%)	RINNOVABILITA' (%)	FRAZIONE RINNOVABILE (%)
Carta e cartoni	24	100	24
Plastiche e gomme	13	0	0
Organico	31	100	31
Legno	4,6	100	4,6
Tessili	2,4	50	1,2
Vetro e inerti	9	0	0
Metalli	3	0	0
Sottovaglio	13	60	7,8
TOTALE	100	...	68,6

La significativa presenza di una frazione rinnovabile rende la combustione dei rifiuti solidi urbani una forma di smaltimento dei rifiuti stessi con notevoli vantaggi di carattere energetico ed ambientale, come evidenziato dalle valutazioni effettuate nei paragrafi che seguono.

EMISSIONI EVITATE RISPETTO ALLA PRODUZIONE TERMOELETTRICA

La termovalorizzazione di RSU, rispetto alla produzione termoelettrica convenzionale, consente di conseguire risparmi significativi di combustibili fossili e di evitare l'emissione di rilevanti quantità di CO_{2eq}.

Nell'ipotesi di utilizzare RSU in termoutilizzatori con produzione di energia elettrica si può stimare che *1 kg di RSU si traduce mediamente in 0,56 kWh di energia elettrica*.

Si può quindi effettuare un confronto, a parità di energia elettrica prodotta (ipotizzando di ottenere 0,56 kWh_e), tra le emissioni di CO_{2eq} risultanti dalla termovalorizzazione e quelle di una centrale termoelettrica tradizionale, alimentata a mix di combustibili fossili: ai 408 g di CO_{2eq} imputabili alla centrale, si contrappongono i 324 g di CO_{2eq} prodotti dalla termovalorizzazione; pertanto il ricorso a quest'ultima forma di gestione consente di evitare emissioni di gas serra per 84 g di CO_{2eq}, per ogni Kg. di rifiuto urbano.

Un interessante confronto tra le medesime forme di produzione di energia elettrica, risulta essere quello condotto per unità di energia prodotta (tab. 2): i benefici ambientali derivanti dal ricorso alla termovalorizzazione sono quantificabili in 152 g di CO_{2eq} evitata per ogni kWh_e prodotto. Tale valutazione risulta parziale, in quanto non tiene conto delle emissioni di gas serra ulteriormente evitabili senza il ricorso al conferimento a discarica, come evidenziato nel paragrafo successivo.

L'analisi effettuata consente di valutare i consumi di combustibili fossili evitati ed evitabili e i relativi vantaggi ambientali, con riferimento a tre differenti scenari:

SCENARIO 1: esso si riferisce allo stato attuale del panorama energetico nazionale. L'odierna produzione di energia elettrica da RSU si attesta su 0,032 tep/t_{RSU} (la potenza elettrica installata nel parco dei termovalorizzatori italiani ammonta a 256 MW_e); ciò ha consentito, nell'anno 1999, un risparmio in combustibili fossili di 133 ktep. Considerando che a livello nazionale il 78% dell'energia elettrica disponibile [1] deriva da fonte termoelettrica, attualmente l'energia prodotta dai rifiuti solidi urbani si attesta sullo 0,3% di tale produzione. Il ricorso a termovalorizzazione ha consentito un risparmio in termini di CO_{2eq.} immessa in atmosfera (emissioni evitate) pari a 149.000 t di CO_{2eq.}.

SCENARIO 2: ipotizzando di inviare a termovalorizzazione il 50% dei rifiuti prodotti in Italia (14.500.000 t), si potrebbe evitare un consumo di combustibili fossili pari a 1086 ktep e contemporaneamente assolvere ad una produzione elettrica di 456 ktep, coprendo una percentuale del 2,53% riferita alla produzione elettrica annua. In tal caso le emissioni evitate ammonterebbero a 1.240.000 t di CO_{2eq.}.

Tab.2: Emissioni di CO_{2eq.} per unità di energia elettrica prodotta [2]

	Unità di misura	CENTRALE TERMoeLETTRICA ALIMENTATA A MIX DI COMB.FOSSILI*	COMBUSTIONE RSU MODERNO IMPIANTO	
Emissioni CO ₂ fossile	g CO _{2eq.} /kWh _e	700	522	
Emissioni N ₂ O**	g CO _{2eq.} /kWh _e	29	55	
TOTALE EMISSIONI DI CO₂	g CO _{2eq.} /kWh _e	729	577	EMISSIONI EVITATE CON TERMOVAL.RSU - 152

* valore medio, a livello nazionale, riferito al mix di combustibili impiegato per la produzione di energia in centrali termoelettriche di tipo convenzionale

** emissioni di N₂O stimate sulla base di un fattore di emissione pari a 0,1 kg di N₂O/t materiale combusto

Nota: il rendimento di produzione di energia elettrica da RSU (al netto degli autoconsumi) è stato posto pari al 22% (valore medio tipico per impianti di nuova generazione)

SCENARIO 3: si considera di inviare ipoteticamente a termovalorizzazione la quantità di rifiuti destinata, nel 1999, allo smaltimento in discarica (21.204.000 t). La produzione di energia elettrica salirebbe a 678 ktep, a fronte di un consumo evitabile di combustibili fossili di 1615 ktep. L'energia elettrica producibile arriverebbe a rappresentare il 3,7% dell'energia termoelettrica prodotta a livello nazionale. L'effettiva realizzazione delle condizioni di questo scenario porterebbe ad evitare l'immissione di una quantità pari a 1.810.000 t di CO_{2eq.} (tab. 3).

EMISSIONI EVITATE RISPETTO ALLO SMALTIMENTO IN DISCARICA

Risulta a questo punto estremamente importante effettuare un confronto diretto tra smaltimento in discarica e termoutilizzazione dei RSU, valutando le emissioni di CO_{2eq.} per unità di rifiuto smaltito (tab. 4).

Per quanto riguarda lo smaltimento in discarica controllata, ipotizzando un recupero di biogas pari al 50% di quello prodotto, si può stimare una produzione di 346 g di CO_{2eq.} per kg di RSU smaltito in discarica, a fronte di 56 g di CO_{2eq.} evitati tramite lo sfruttamento

del biogas captato per produrre energia elettrica; il bilancio è quindi di 290 g di CO_{2eq.} immessa in atmosfera per ogni kg di RSU smaltito in discarica controllata.

Tab. 3: Riepilogo delle emissioni evitate ed evitabili di CO_{2eq.} nel confronto termovalorizzazione – produzione di energia elettrica da combustibili fossili, per i tre scenari proposti.

	EMISSIONI EVITATE CO_{2eq.}
SCENARIO 1 (SITUAZIONE ATTUALE)	149.000 t
SCENARIO 2	1.240.000 t
SCENARIO 3	1.810.000 t

Ricorrendo alla termovalorizzazione dei RSU per la produzione di energia elettrica in alternativa alla discarica controllata, si possono evitare, da un lato i 290 g di CO_{2eq.}/kg di RSU dovuti alla discarica e, dall'altro, come visto in precedenza, 84 g di CO_{2eq.}/kg di RSU evitati per il mancato ricorso a centrali termoelettriche. La termovalorizzazione consente pertanto, rispetto allo smaltimento in discarica controllata, una riduzione complessiva delle emissioni di gas serra pari a 374 g di CO_{2eq.} per unità di rifiuto smaltito, equivalenti a 667 g di CO_{2eq.} per Kwh_e prodotto.

Si sottolinea inoltre il fatto che le valutazioni relative allo smaltimento in discarica sono sottostimate, considerando che in Italia i livelli di captazione di biogas risultano in genere attestati sul 25%; in tal caso si arriverebbe a stimare un guadagno di emissione nette addirittura superiore ai 500 gCO_{2eq.}/Kg_{RSU}

Tab. 4: Emissioni di CO_{2eq.} per unità di RSU smaltito: confronto tra discarica controllata e termovalorizzazione

	Unità di misura	DISCARICA CONTROLLATA CON CAPTAZIONE DI BIOGAS	COMBUSTIONE RSU MODERNO IMPIANTO	
Produzione biogas	Nm ³ /t RU	92*	---	
Captazione biogas	%	50	---	
Emissioni lorde di CO _{2eq.}	g CO _{2eq.} /kgRSU	346	324	
Emissioni evitate di CO _{2eq.} **	g CO _{2eq.} /kgRSU	56	408 (per mancato ricorso a comb.fossili)	
EMISSIONI DI CO₂ EVITATE CON TERMOVALORIZZAZIONE	g CO _{2eq.} /kgRSU	- 290	- 84	EMISSIONI EVITATE 374

*valutata in base alla metodologia IPCC (captazione biogas pari al 50%)

** dalla sola produzione di energia elettrica per entrambe le tecniche

STIMA DELLA SUPERFICIE BOSCHIVA EQUIVALENTE

Il Protocollo di Kyoto ha individuato nel patrimonio boschivo e forestale del pianeta un effettivo “pozzo di assorbimento” per l’anidride carbonica immessa in atmosfera (*CO₂ sink*).

La stima della quantità di CO₂ assorbita da una foresta o da altre tipologie di vegetazione è molto complessa; sono stati tuttavia elaborati, da parte di studiosi e organizzazioni governative o internazionali [3], numerosi metodi di calcolo.

Tra i più accreditati si possono menzionare:

- **IPCC** (International Panel on Climate Change) *Land use, Land use change and Forestry. A special report of the IPCC, Summary for Policy makers* [4], [5]: per una foresta in clima temperato è stimato un assorbimento massimo pari a 0,5 t/ha*anno di carbonio, corrispondente a 1,8 t/ha*anno di CO₂; **IPCC** (International Panel on Climate Change), *Climate Change 2001* [6]: è stimato che la forestazione di territori equatoriali ad oggi non forestali può portare ad un accumulo complessivo massimo di 215 t/ha di carbonio, ad un rateo massimo di 4,3 t/ha*anno di CO₂;
- **IEA** (International Energy Agency), *Greenhouse Gas Programme* [7]: secondo tale metodo occorrono 40.000 km² di foresta per accumulare, in circa 75 anni, 1.000.000.000 t di carbonio, corrispondenti a 3.600.000.000 t di anidride carbonica. Il rateo di assorbimento medio corrisponde quindi a 12 t/ha*anno;
- **Wackernagel M. et al., 1997** *Ecological Footprint of Nations, The Earth Council* [8]: stima che 1 ha di foresta è in grado di assorbire la CO₂ derivante dalla produzione di 100 GJ di energia derivanti da combustione di combustibili fossili

Al fine di verificare a quale pozzo di assorbimento corrispondano le emissioni evitate grazie ad un maggior ricorso alla termovalorizzazione, ed alla luce dei risultati ottenuti nei paragrafi precedenti, è stata improntata una valutazione comparata tra lo smaltimento in discarica e la termovalorizzazione in termini di anidride carbonica evitabile, consumi evitabili di combustibili fossili e superficie forestale equivalente, secondo i tre differenti scenari già presentati.

Si sono assunti come dati di partenza quelli contenuti nel “Rapporto Rifiuti 2001 ANPA-ONR” ed in particolare [9]:

- RSU tot. prodotti annualmente in Italia:	28.500.000 t (100%)
- RSU tot. inviati ad incenerimento:	2.120.843 t (7,4%)
- RSU tot. termovalorizzati con recupero di energia:	1.743.720 t (6,1%)
- RSU tot. inviati a discarica:	21.204.000 t (74,4%)

I tre metodi di calcolo prescelti (i due IPCC e quello IEA), pur con significative differenze, hanno fornito per i tre scenari risultati senza dubbio degni di rilievo, come riportato di seguito:

SCENARIO 1: nella situazione attuale, le 1.743.720 t di RSU destinate a termovalorizzazione hanno consentito di evitare, rispetto allo smaltimento in discarica, una quantità di CO_{2eq.} pari a 652.151 t e il consumo di 133 ktep di combustibili fossili. A tale quantità corrisponde mediamente una foresta equivalente stimabile in 1516 km², una estensione circa pari a ½ Regione Val d’Aosta.

SCENARIO 2: tale scenario prevede di inviare a termovalorizzazione il 50% dei RSU prodotti in Italia (14.500.000 t). In tal caso i benefici energetici sono pari a 1086 ktep di combustibili fossili risparmiati e quelli ambientali si quantificano in 5.329.500 t di CO_{2eq.} evitata; a tale quantità corrisponde una foresta equivalente media stimabile in 12.394 km², equivalente circa all’estensione di ½ della Regione Piemonte.

SCENARIO 3: lo scenario tiene in considerazione il fatto che il ricorso allo smaltimento in discarica nel nostro Paese rappresenta ancor oggi circa il 75% nel panorama complessivo di gestione dei RSU. Supponendo di inviare a termovalorizzazione la quantità totale di RSU smaltiti in discarica in Italia (21.204.000 t), si otterrebbero i seguenti risultati :

- *Potenziale energia elettrica producibile*: 678 ktep = 7.883 GWh_e (pari al 3,7% della produzione di energia elettrica annua nazionale [10]);
- *Consumi evitabili di combustibili fossili*: 1615 ktep;
- *Emissioni di CO_{2eq.} evitabili*: 7.930.296 t CO_{2eq.}. Tale quantità evidenzia come la termovalorizzazione dei RSU potrebbe contribuire in maniera significativa al raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto (riduzione del 2% rispetto alle emissioni di CO_{2eq.} del 1990);
- *Superficie in foresta media equivalente (CO₂ sink)*: 18.842 Km² (estensione pari a circa l'intera Regione Veneto).

In tab. 5 si riportano per esteso i risultati delle diverse valutazioni di foresta equivalente, le emissioni evitate di CO₂ equivalente ed i consumi di combustibili fossili evitati, per i 3 scenari considerati.

Tab.5: Confronto tra discarica controllata e termovalorizzazione per i 3 scenari proposti:

	EMISSIONI EVITATE CO_{2eq.}	CONSUMI EVITATI COMB.FOSSILI	VALUTAZIONI FORESTA EQUIVALENTE
SCENARIO 1 (SIT.ATTUALE)	652.151 t	133 kTEP	543 Km ² (1/2 Comune di Perugia) *
			1.516 Km ² (1/2 Val d'Aosta) **
			3.623 Km ² (Friuli V.Giulia) ***
SCENARIO 2	5.329.500 t	1086 kTEP	4.441 Km ² (Molise) *
			12.394 Km ² (1/2 Piemonte) **
			29.608 Km ² (2 vv.Calabria) ***
SCENARIO 3	7.930.296 t	1615 kTEP	6.608 Km ² (2 vv. Val d'Aosta)*
			18.842 Km ² (Veneto) **
			44.057 Km ² (2 vv. Toscana) ***

* IPPC Land use, Land use Change and Forestry

** IPCC Climate Change 2001

*** IEA Greenhouse gas Programme

CONCLUSIONI

La sottoscrizione del Protocollo di Kyoto comporterà per i principali Paesi industrializzati l'adozione di impegnative politiche volte alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti. In tale ambito, un significativo apporto potrà essere fornito al nostro Paese da un maggior ricorso alla termovalorizzazione dei RSU, che grazie alle tecnologie più moderne può essere effettuata con elevate efficienze di produzione di energia elettrica e ridotto impatto ambientale.

La memoria presenta alcune valutazioni relative ai benefici ambientali ed energetici derivanti dallo smaltimento dei RSU tramite termovalorizzazione; i confronti sono stati effettuati, per unità di energia elettrica prodotta e di unità di massa di rifiuto smaltito, rispetto alla produzione termoelettrica convenzionale e allo smaltimento in discarica controllata.

I risultati mostrano che la termovalorizzazione dei RSU, in alternativa alla consueta destinazione a discarica degli stessi, potrebbe potenzialmente in Italia:

- contribuire alla produzione di energia elettrica fino ad un massimo del 3,7% dell'attuale produzione termoelettrica nazionale;
- contribuire al raggiungimento degli obiettivi previsti dal Protocollo di Kyoto fino ad una riduzione massima pari al 2% delle emissioni di CO₂ equivalente calcolate in Italia nel 1990;
- equivalere ad un pozzo di assorbimento della CO₂ equivalente con potenzialità paragonabili ad una superficie boschiva di estensione pari all'intera Regione Veneto.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Servizio Sviluppo Sostenibile del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio per avere reso possibile, nell'ambito di una ricerca dal titolo "Sostenibilità ambientale della termovalorizzazione dei RSU", la effettuazione del presente studio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A.Lanza "Il cambiamento climatico", Ed. Il Mulino, 2000
- [2] P.de Stefanis: "Metodologia di stima delle emissioni di gas serra dalla combustione dei rifiuti", Atti del Terzo Convegno ATI sull'utilizzazione termica dei rifiuti, Abano Terme 31 maggio- 1 giugno 2001
- [3] U.S. EPA: "Greenhouse gas emissions from management of selected materials in municipal solid waste", EPA 530-R-98-013, 1998
- [4] IPCC (International Panel on Climate Change) "Land Use, Land Use Change and Forestry. A special report of the IPCC, Summary for Policymakers"
- [5] IPCC, "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", 1996
- [6] IPCC (International Panel on Climate Change) "Climate Change 2001"
- [7] IEA (International Energy Agency) "Greenhouse Gas Programme"
- [8] Wackernagel M. Et al. "Ecological Footprint of Nations, The Earth Council", 1997
- [9] ANPA-ONR: "Rapporto Rifiuti 2001".
- [10] ENEA, "Rapporto Energia e Ambiente 2000".