

è un progetto

labelab

WasteWaterEnergy Engineering

**Fare i conti
con l'ambiente**
Rifiuti acqua energia

**>Rave
nna
21.22.23
maggio 2014**

**7^{EDIZIONE}
maggio
2014**



IL RECUPERO DI ENERGIA

Lidia Lombardi

Università degli Studi Niccolò Cusano - Roma





Sommario

- Gerarchia
- RD e RUI
- Contenuto energetico e potenzialità di recupero
- Recupero energetico
- Alcuni indicatori
- Conclusioni



La gerarchia di azioni nella gestione dei rifiuti

- Prevenzione
- Preparazione per il riutilizzo
- Riciclaggio
- **Recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia**
- Smaltimento.



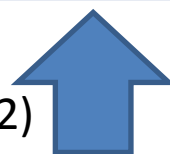
Raccolte Differenziate e Rifiuto Urbano Indifferenziato

Il riutilizzo ed il recupero di materia si attuano attraverso le raccolte differenziate, mentre ciò che non è differenziabile non può trovare altra collocazione che nel sacchetto del Rifiuto Urbano Indifferenziato (RUI) o meglio Rifiuto Urbano Residuale (RUR).

Produzione RU - 2012 [t]	RD - 2012 [t]	RD - 2012 [%]	RUI - 2012 [t]
29.962.096	11.964.821	39,9	17.997.275

$PCI_{RUI_EU} = 10,3 \text{ GJ/t}$ (Reimann, 2012)

$PCI_{RUI_IT} = 12 \text{ GJ/t}$



RD umido
RD vetro
RD metalli

$PCI_{\text{metano}} = 50.000 \text{ kJ/kg}$

$PCI_{\text{gas naturale}} = 45.000 \text{ kJ/kg}$

$PCI_{\text{gasolio}} = 43.000 \text{ kJ/kg}$

$PCI_{\text{carbone}} = 32.000 \text{ kJ/kg}$

$PCI_{\text{buona biomasa}} = 20.000 \text{ kJ/kg}$



Contenuto energetico del Rifiuto Urbano Indifferenziato

RUI – 2012 [t]	PCI _{RUI} [GJ/t]	Contenuto di energia	
		[GJ/a]	[TEP/a]
17.997.275	10,3	185.371.933	4.427.533
10.486.734 (RD 65%)	10,3	108.013.356	2.579.855

Consumo interno lordo energia primaria	176.310.000	TEP/anno
--	-------------	----------

Dati ISTAT, 2012

2,51 % energia primaria consumata in italia
(RD 65% 1,5%)



Potenzialità energetica

Dettaglio energia elettrica

Energia elettrica netta prodotta da impianti RUI (2010) = 3.190.471 MWh

(Rapporto Federambiente-ENEA RAPPORTO SUL RECUPERO ENERGETICO DA RIFIUTI URBANI IN ITALIA - 3a edizione – marzo 2012)

Energia elettrica consumata IT (2010) = 309.929.500 MWh

(<http://www.autorita.energia.it>)

EE da RUI \approx 1% EE IT

Ci sono poi da considerare: altri rifiuti speciali, il biogas e l'energia termica

Il recupero di energia dai rifiuti può assumere ulteriore importanza se inquadrato nell'ambito generale del settore energetico italiano. Questo deve far fronte ad una domanda crescente in un contesto di elevati prezzi dei combustibili fossili e di politiche europee di contenimento dei cambiamenti climatici. Dal punto di vista meramente economico, **i rifiuti rappresentano una risorsa (purtroppo) abbondante che non dipende da forniture estere.**



Potenzialità energetica

dal PAN (Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili dell'Italia – 2010)

“Si segnala altresì il crescente ricorso alla **valorizzazione energetica dei rifiuti per la produzione di elettricità, calore e biogas**, coerentemente con quanto disciplinato dalla direttiva 2009/98/CE. La produzione di elettricità dalla componente biodegradabile dei rifiuti può accedere agli incentivi previsti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Si fa peraltro notare che, come è stato messo in luce dallo studio dell'Osservatorio Nazionale dei Rifiuti “Riduzione dei gas climalteranti: Potenzialità derivante dal settore di trattamento dei rifiuti”, **il recupero di energia da rifiuti contribuisce alla riduzione dei gas climalteranti**, sia in virtù del mancato conferimento in discarica, sia in virtù della sostituzione di una quota di energia altrimenti prodotta con combustibili fossili.”

Ipotizzando di impiegare tutto il residuo della raccolta differenziata in impianti di termovalorizzazione sarebbe possibile generare il **3-4%^{1,2} dell'energia richiesta dalla rete elettrica italiana**, un contributo piccolo ma importante date le caratteristiche del combustibile utilizzato.

¹ assumendo un rendimento elettrico netto 0,2-0,25

² se RD 65%: 1,9-2,4% (rendimento 0,2-0,25)



Recupero energetico - R1



D'altra parte è dall'epoca del Decreto Ronchi (D. Lgs. 22/1997) che nel nostro paese il processo di combustione dei rifiuti urbani non può avvenire in assenza di recupero di energia, ma è solo più recente il recepimento delle indicazioni europee in merito ai livelli minimi di produzione di energia da processi di combustione dei rifiuti (la così detta formula "R1"), affinché tali processi possano essere effettivamente classificati come processi di recupero, nel rispetto normativo (D. Lgs. 205/2010).

$$\text{Efficienza energetica} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \times (E_w + E_f)}$$

> 0,6

> 0,65

dove:

E_p = energia annua prodotta sotto forma di energia termica o elettrica. E' calcolata moltiplicando l'energia sotto forma di elettricità per 2,6 e l'energia termica prodotta per uso commerciale per 1,1 (GJ/anno)

E_f = alimentazione annua di energia nel sistema con combustibili che contribuiscono alla produzione di vapore (GJ/anno)

E_w = energia annua contenuta nei rifiuti trattati calcolata in base al potere calorifico inferiore dei rifiuti (GJ/anno)

E_i = energia annua importata, escluse E_w ed E_f (GJ/anno)

0,97 = fattore corrispondente alle perdite di energia dovute alle ceneri pesanti (scorie) e alle radiazioni.

Recupero energetico in impianti di incenerimento, anno 2011

	n. impianti (*)	totale rifiuti trattati	ReEnergético(*)		kWh/t Eletterico	
			REElettrico (MWhe)	RETermico (MWht)	kg*kWhe	kg*kWht
<i>Impianti SRE</i>	2	40.831	-	-	-	-
<i>Impianti con RET&E</i>	13	2.272.267	1.656.654	2.300.784	0,729	2,532
<i>Impianti con REE [**]</i>	32	3.477.237	2.406.609	-	0,692	-
Totale	47	5.790.335	4.063.263	2.300.784	1,415	0,988

[*] E' stato conteggiato anche l'impianto di Messina che è stato operativo nel solo mese di gennaio

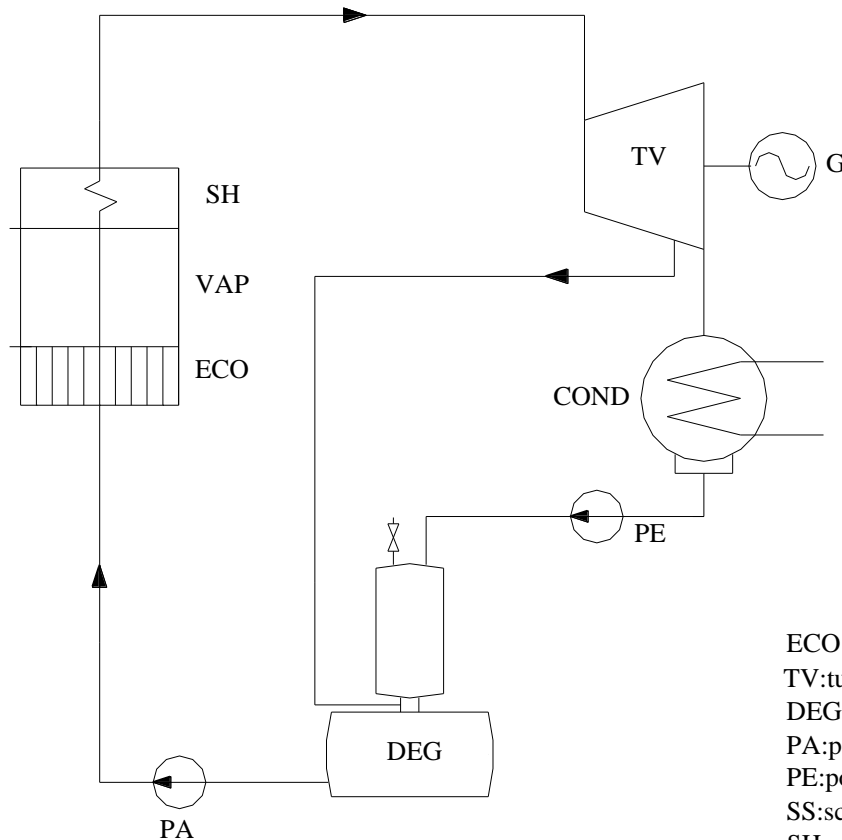
Legenda - SRE=impianti senza recupero energetico; RET&E=impianti con ciclo di cogenerazione; REE=impianti con solo recupero energetico elettrico

Fonte: ISPRA

Recupero energetico



Il processo di **recupero di energia** è basato su di un convenzionale ciclo di Hirn.



ECO: economizzatore
TV:turbina a vapore
DEG:degasatore
PA:pompa di alimentazione
PE:pompa di estrazione
SS:scambiatore a superficie
SH:surriscaldatore
VAP:vaporizzatore
G:generatore
COND:condensatore

Il massimo rendimento elettrico netto riportato in letteratura è pari al **30%** (Murer et al., 2011; Gohlke and Martin, 2007) valori medi 20-22%.

Impianti termoelettrici tradizionali valori medi internazionali (Graus et al., 2007¹):

- 35% carbone (max 42%)
- 45% gas naturale
- 38% gasolio

In EU (Graus and Worrell, 2009):
- carbone da 34% nel 1990 a 38% nel 2005; 40% atteso nel 2015

Graus, W., Voogt, M., Worrell, M., 2007. International comparison of energy efficiency of fossil power generation. *Energ. Policy* 35, 3936–3951.
Graus, W., Worrell, E., 2009. Trend in efficiency and capacity of fossil power generation in the EU. *Energ. Policy*, 37, 2147–2160.

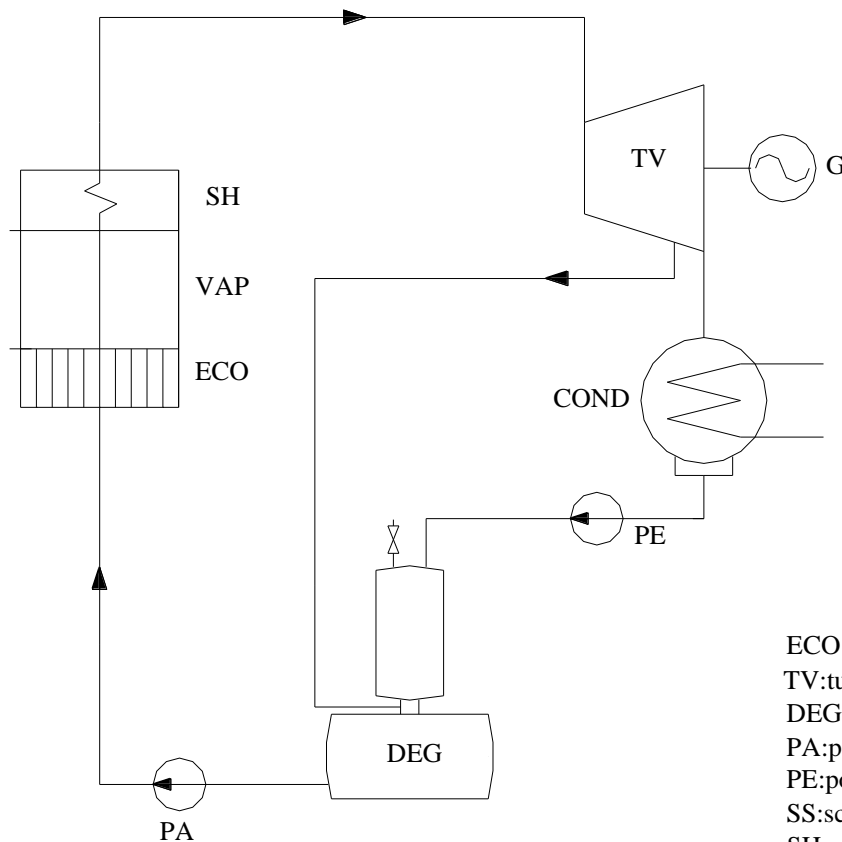


Gohlke, O., Martin, J., 2007. Drivers for innovation in waste-to-energy technology. *Waste Manage. Res.* 25, 214-219.
Murer, M.J., Spliethoff, H., De Waal, C.M.W., Wilpshaar, S., Berkhout, B., Van Berlo, M. A.J., Gohlke, O., Martin, J.J.E., 2011. High efficient waste-to-energy in Amsterdam: getting ready for the next steps. *Waste Manage. Res.* 29, 20-29.

Recupero energetico



Il rendimento contenuto è dovuto ad una combinazione di limitazioni tecniche ed economiche



- i) Piccole dimensioni degli impianti;
- ii) Parametri contenuti del ciclo a vapore (pressione e temperatura del vapore surriscaldato);
- iii) Pressione al condensatore;
- iv) Configurazione del ciclo semplificata rispetto a impianti tradizionali (senza reheating, scarso/assente preriscaldamento);
- v) Perdite al camino (temperatura e portata);
- vi) Elevati autoconsumi.

ECO: economizzatore
TV:turbina a vapore
DEG:degasatore
PA:pompa di alimento
PE:pompa di estrazione
SS:scambiatore a superficie
SH:surriscaldatore
VAP:vaporizzatore
G:generatore
COND:condensatore



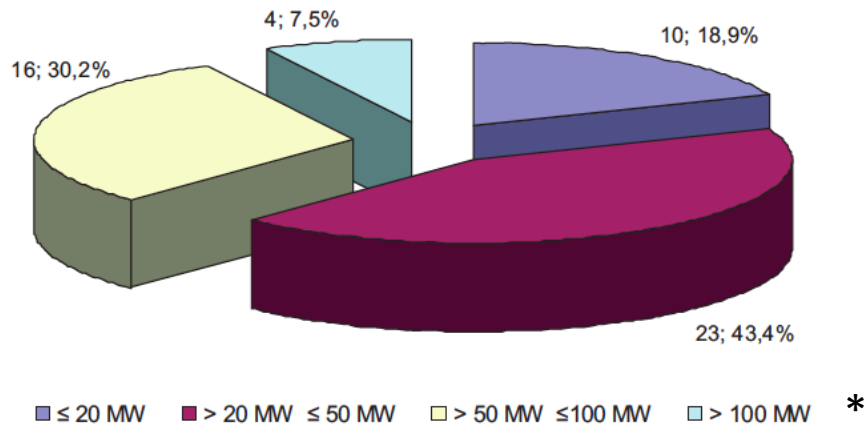
Recupero energetico



Dimensione/taglia

La classificazione del report CEWEP (Reimann, 2012) suddivide gli impianti europei in:

- Piccoli impianti: con capacità < 100.000 t/a (circa 37,5% degli esaminati) ($P < 35$ MW);
- Medi impianti: con capacità compresa fra 100.000-250.000 t/a (circa 39,5%) (35 MW < $P < 88$ MW);
- Grandi impianti: con capacità > di 250.000 t/a (circa 22,9%) ($P > 88$ MW¹).



- 33 impianti su 53: $P < 50$ MW;
- 16 impianti : $50 < P < 100$ MW;
- 4 (Brescia, Milano, Parona (PV), Acerra (NA)) $P > 100$ MW.

- l'efficienza dei dispositivi (turbina, ausiliari, etc.) è inferiore al diminuire della taglia
- I costi specifici dei dispositivi sono maggiori, questo impone di scegliere configurazioni semplificate, che hanno però rendimenti inferiori (questo limita le possibili sofisticazioni tecnologiche)

¹La potenza termica di impianti termoelettrici tradizionali è decisamente superiore : 1000-2000 MW

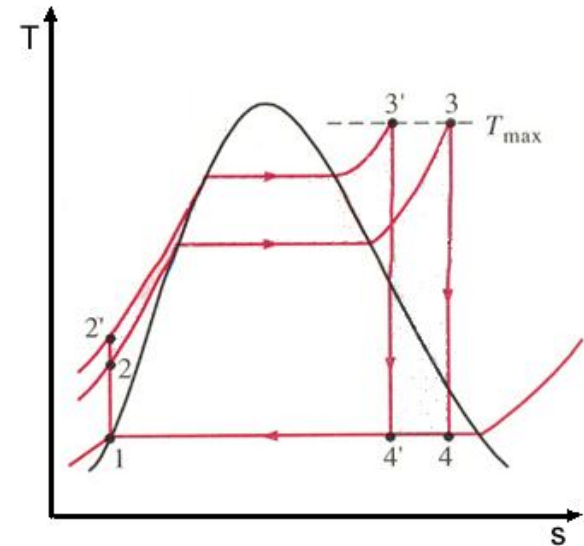
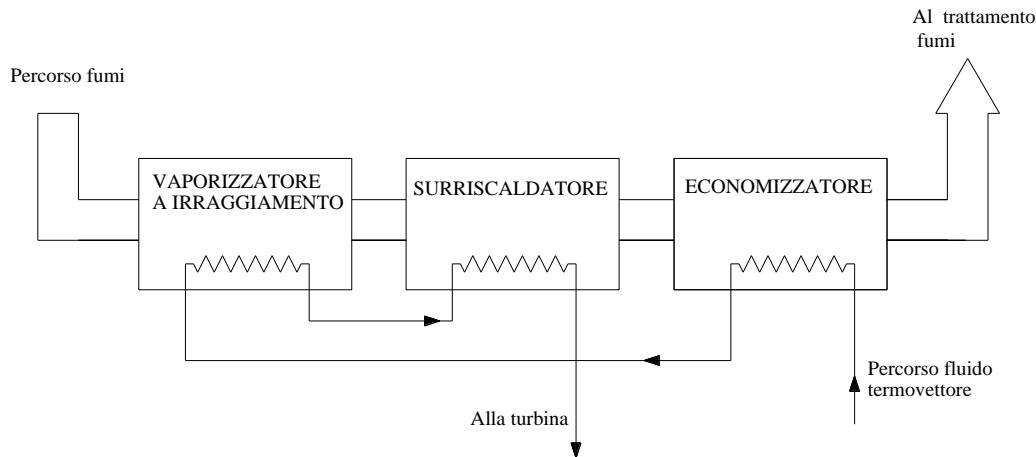
*da ENEA-Federambiente - Rapporto sul recupero energetico da rifiuti urbani in Italia – 3° edizione – marzo 2012



Recupero energetico

Parametri del ciclo a vapore

Il rendimento del ciclo aumenta al crescere della pressione e della temperatura del vapore surriscaldato, che sono però limitate a causa di problemi di corrosione acida dello scambiatore lato fumi. Per questa ragione la temperatura massima di ammissione dei fumi nel surriscaldatore è limitata a 650 °C. Dal lato vapore questo implica una temperatura massima del surriscaldato di circa 400 °C. La pressione del vapore conseguentemente è limitata a circa 40 bar.



Recupero energetico

Prestazioni di alcuni impianti esistenti (solo EE)

Fonte	Forno	Rifiuti	PCI	Taglia	η_{el}		Parametri vapore		Tout	Pcond
					Gross	Net	P	T		
			GJ/t	t/a (*t/h)			bar	°C	°C	bar
Gohlke and Martin, 2007	Griglia	MSW, sewage sludge, biomass		551.728	27	24	61	450	135	
Gohlke and Martin, 2007	Griglia	Biomass, sewage sludge		257.599	28	25	73	480	135	
Murer et al., 2011	Griglia	MSW	10	530.000	34,5	30	130	440 ¹	130-180	0,03
Gohlke, 2009	Griglia	MSW	10	21,6*		20,6	40	380	209	0,15

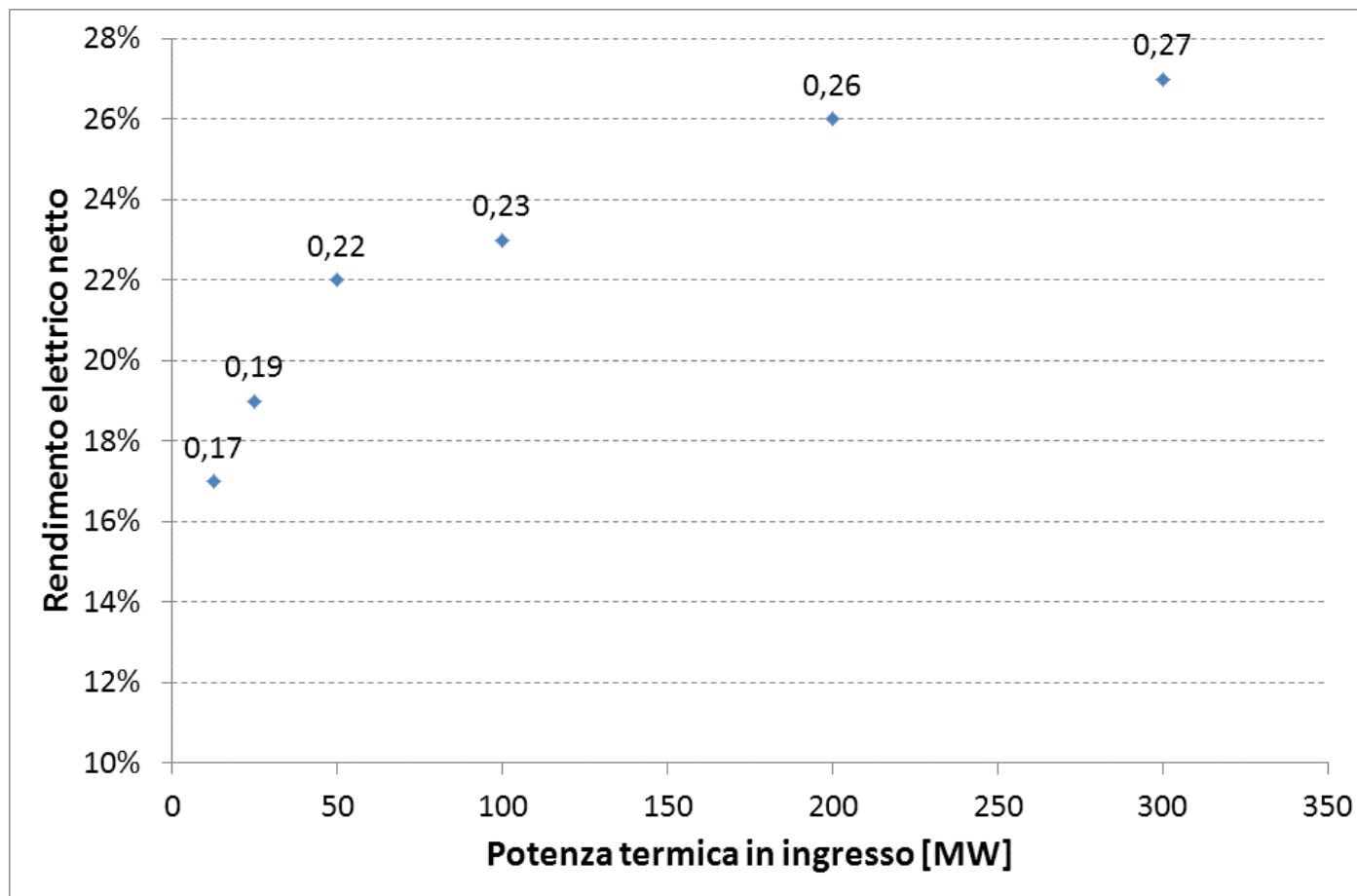
150.000
-170.00
t/a

¹ reheating (14 bar; 320 °C) + condensatore ad acqua

Gohlke, O., Martin, J., 2007. Drivers for innovation in waste-to-energy technology. Waste Manage. Res. 25, 214-219.
Murer, M.J., Spliethoff, H., De Waal, C.M.W., Wilpshaar, S., Berkhout, B., Van Berlo, M. A.J., Gohlke, O., Martin, J.J.E., 2011. High efficient waste-to-energy in Amsterdam: getting ready for the next steps. Waste Manage. Res. 29, 20-29.
Gohlke, O., 2009. Efficiency of energy recovery from municipal solid waste and the resultant effect on the greenhouse gas balance. Waste Manage. Res. 27, 894-906.



Recupero energetico – Rendimento elettrico netto vs. taglia



Pt [MW]	12,5	25	50	100	200	300
P [bar]	30	35	40	45	65	70
T [°C]	350	380	400	420	440	450



Recupero energetico – R1 in EU

CEWEP, 2007-2010 (Reimann, 2012).

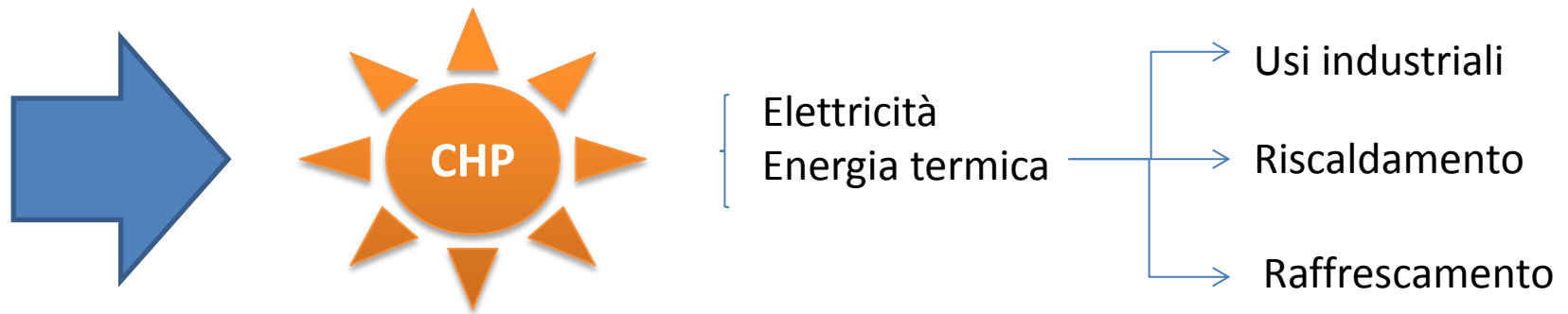
314 impianti Europei in 17 paesi (15 EU + Svizzera e Norvegia), che trattano 59,4 milioni di t (circa l'85,5% del totale del rifiuto urbano incenerito in EU)

Dei 314 impianti:

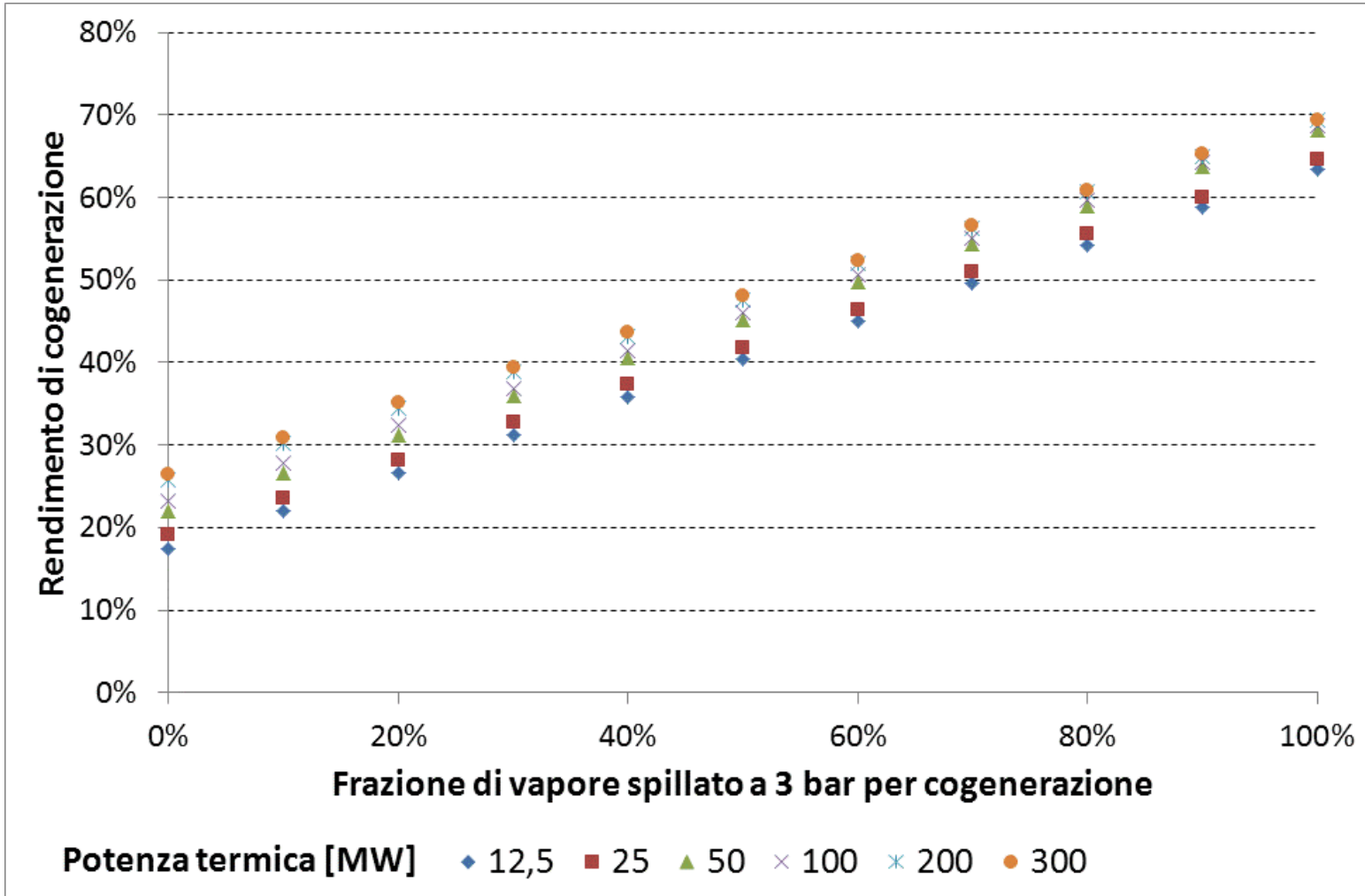
- **83 solo EE → solo il 37,3% degli impianti che producono sono EE hanno $R1 \geq 0,60$.**
- 47 solo ET
- 184 CHP

In generale $R1 < 0,60$ per piccoli impianti (< 100.000 t/a), di solito localizzati nell'Europa sud-occidentale, e che producono solo EE.

I valori più alti di $R1$ sono raggiunti da grandi impianti (>250.000 t/a), localizzati in Nord Europa con CHP.

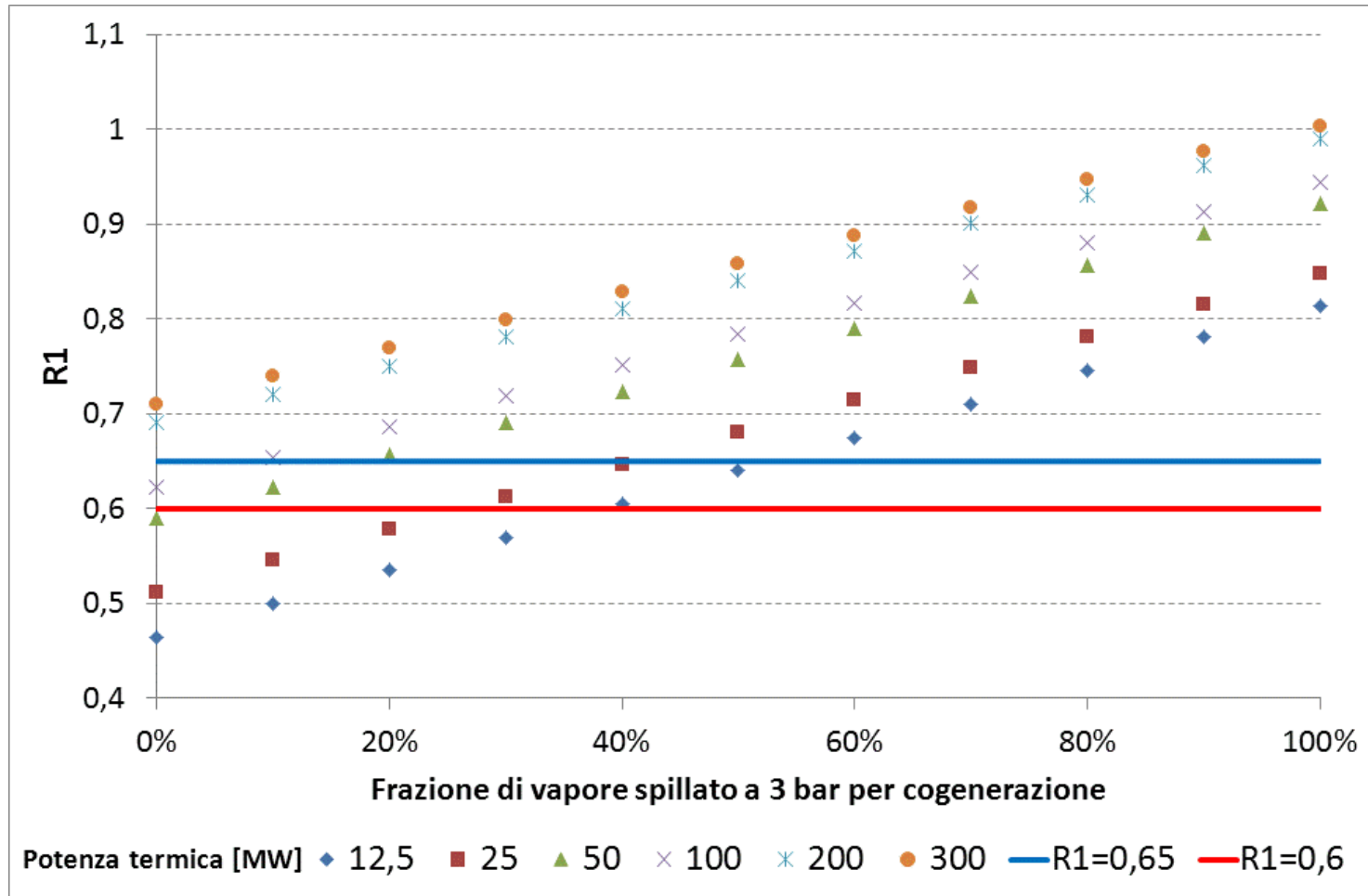


Recupero energetico – Rendimento in cogenerazione vs. % spillamento vapore



Fare i conti con l'ambiente
 Rifiuti acqua energia
 Rave nna
 21 22 23 maggio 2014
 7^{EDIZIONE} maggio 2014
 labelab
 un progetto
 nna
 21 22 23 maggio 2014
 7^{EDIZIONE} maggio 2014

Recupero energetico – R1 vs. % spillamento vapore



Conclusioni

- La combustione con recupero di energia è un trattamento necessario e l'unico per il residuo della RD
- La produzione di sola energia elettrica è sufficiente solo per grandi impianti (Pt>200 MW)
- Per medi e piccoli impianti è necessario cogenerare (caldo/freddo!)
- Non è solo una questione di classificazione dell'impianto (R1), ma un elemento con forte valenza ambientale (carbon neutral e carbon sink)

