



Centro studi MatER
Materia & Energia da Rifiuti

**Autorizzazione impianti di recupero
energetico da rifiuti**
-
**confronto tra
portata rifiuti e carico termico**

Proff. S. Consonni, M. Giugliano
Ingg. G. Bortoluzzi, M.G. Botti, G. Lombardelli

Piacenza
Dicembre 2022

INDICE

PREMESSA	3
Centro Studi MatER	4
1. INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
1.1 Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii.....	5
1.2 Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133	6
1.3 Sentenze Tribunali Amministrativi Regionali (TAR)	6
1.3.1 <i>TAR Toscana, sez. II - Sentenza 29 giugno 2015, n. 954.....</i>	<i>6</i>
1.3.2 <i>TAR Molise, sez. I - Sentenza 25 maggio 2017, n. 202.....</i>	<i>6</i>
1.3.3 <i>TAR Basilicata, Potenza, sez. I - Ordinanza n. 149/2015</i>	<i>7</i>
2. PANORAMICA DELLE AUTORIZZAZIONI IN VIGORE	8
3. CARICO TERMICO	11
4. PRESTAZIONI AMBIENTALI	12
4.1 Concentrazione di inquinanti al camino (C_i).....	12
4.2 Quantità di fumi scaricata dal camino (V_f).....	13
4.2.1 <i>Legame tra portata fumi ed energia del rifiuto</i>	<i>16</i>
4.2.2 <i>Saturazione del carico termico</i>	<i>18</i>
4.3 Rappresentazione schematica	18
5. CONCLUSIONI	20
APPENDICE A.....	22
BIBLIOGRAFIA.....	25

PREMESSA

Le modifiche legislative introdotte dall'articolo 35, comma 3, della Legge n.164/2014 (c.d. Decreto Sblocca Italia) prevedono che *“Tutti gli impianti di recupero energetico da rifiuti sia esistenti sia da realizzare sono autorizzati a saturazione del carico termico, come previsto dall’art. 237-sexies del D.lgs. 152/2006, qualora sia stata valutata positivamente la compatibilità ambientale dell’impianto in tale assetto operativo, incluso il rispetto delle disposizioni sullo stato della qualità dell’aria di cui al D.lgs. 155/2010. Entro novanta giorni del presente decreto, le autorità competenti provvedono ad adeguare le autorizzazioni integrate ambientali degli impianti esistenti, qualora la valutazione di impatto ambientale sia stata autorizzata a saturazione del carico termico, tenendo in considerazione lo stato della qualità dell’aria come previsto dal D.lgs. 155/2010”.*

Secondo quanto indicato dalla norma, la saturazione del carico termico è il limite a cui fare riferimento per valutare le prestazioni ambientali dell’impianto. Tale saturazione del carico termico può essere raggiunta dal trattamento di diversi quantitativi di rifiuti in relazione al loro contenuto energetico, misurato mediante il Potere Calorifico Inferiore (PCI).

Autorizzare gli impianti per un valore fisso di carico termico, anziché per un valore fisso di quantità di rifiuto trattabile annualmente, garantisce la persistenza della compatibilità ambientale dell’impianto stesso ai limiti imposti dalla normativa di settore.

La presente relazione intende chiarire il legame tra le prestazioni ambientali degli impianti di recupero energetico da rifiuti, misurate mediante i flussi in massa di inquinanti scaricati in atmosfera, il carico termico di progetto e il quantitativo di rifiuto trattato.

Centro Studi MatER

LEAP (Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza) è una società consortile a responsabilità limitata, costituita nel 2005 su iniziativa del polo di Piacenza del Politecnico di Milano e partecipata da Università, Enti Pubblici e soggetti privati, con l'obiettivo di perseguire ricerca e trasferimento tecnologico in campo energetico e ambientale, favorendo il collegamento tra il mondo accademico e il sistema economico e produttivo. Tra i settori di attività LEAP occupa una posizione predominante quello della gestione e del recupero di materia ed energia da rifiuti, nell'ambito del quale LEAP ospita il centro studi MatER (Materia ed Energia da Rifiuti).

MatER, costituito nel 2011 con il patrocinio di Utilitalia ed il sostegno delle maggiori multiutility italiane del settore, e diretto dai proff. Consonni e Giugliano del Politecnico di Milano, sviluppa studi, ricerche e iniziative per analizzare e rappresentare scientificamente i molteplici temi attinenti ai processi e alle tecnologie di gestione dei rifiuti, svolgendo una pluralità di attività di supporto scientifico sia per istituzioni pubbliche sia per operatori del settore.

Alla stesura del presente rapporto hanno contribuito i proff. Lucia Rigamonti e Mario Grosso del Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale del Politecnico di Milano e il prof. Federico Viganò del Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano.

1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

L'autorizzazione degli impianti di recupero energetico da rifiuti a saturazione del carico termico in luogo della portata di rifiuti è stata introdotta tramite l'articolo 35 del Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133 “Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive”.

Nel presente capitolo sono riportati i principali riferimenti normativi di interesse per il tema trattato.

1.1 Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii.

Il Testo Unico Ambientale, al Capo IV “Autorizzazioni e Iscrizioni”, tratta il tema dell'Autorizzazione Unica per gli impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti.

Nello specifico, l'articolo 208, al comma 11, prevede che l'Autorizzazione Unica per gli impianti di recupero rifiuti contenga almeno i seguenti elementi:

- a) i tipi e i quantitativi di rifiuti da recuperare
- b) i tipi e i quantitativi massimi di rifiuti

Il Decreto Legislativo 4 marzo 2014, n. 46 “Attuazione della direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento)” ha modificato il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 introducendo il Titolo III bis “Incenerimento e coincenerimento di rifiuti”.

In particolare, l'articolo 237-ter, al comma 1, lettere h) ed l) inserisce le definizioni di capacità nominale e carico termico nominale di un impianto di incenerimento, ovvero:

- capacità nominale: somma delle capacità di incenerimento dei forni che costituiscono un impianto di incenerimento o coincenerimento dei rifiuti, quali dichiarate dal costruttore e confermate dal gestore, espressa in quantità di rifiuti che può essere incenerita in un'ora, rapportata al potere calorifico dichiarato dei rifiuti;
- carico termico nominale: somma delle capacità di incenerimento dei forni che costituiscono l'impianto, quali dichiarate dal costruttore e confermate dal gestore, espressa come prodotto tra la quantità oraria di rifiuti inceneriti ed il potere calorifico dichiarato dei rifiuti.

L'articolo 237-sexies, invece, al comma 1, prevede che l'autorizzazione alla realizzazione ed esercizio degli impianti di incenerimento e coincenerimento deve in ogni caso indicare esplicitamente:

- a) un elenco di tutti i tipi di rifiuti che possono essere trattati nell'impianto, nonché l'informazione sulla quantità di ciascun tipo di rifiuti autorizzati;
- b) la capacità nominale e il carico termico nominale autorizzato dell'impianto.

1.2 Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133

Il Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133 “Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive”, il cosiddetto decreto “Sblocca Italia”, convertito con modificazioni dalla Legge 11 novembre 2014, n. 164, riprende quanto introdotto dall'articolo 237-sexies Decreto Legislativo 4 marzo 2014, n. 46, introducendo alcune significative estensioni.

L'articolo 35, comma 3 prevede infatti che “tutti gli impianti di recupero energetico da rifiuti sia esistenti sia da realizzare sono autorizzati a saturazione del carico termico, come previsto dall'articolo 237-sexies del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, qualora sia stata valutata positivamente la compatibilità ambientale dell'impianto in tale assetto operativo, incluso il rispetto delle disposizioni sullo stato della qualità dell'aria di cui al decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155. Entro novanta giorni dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto, le autorità competenti provvedono ad adeguare le autorizzazioni integrate ambientali degli impianti esistenti, qualora la valutazione di impatto ambientale sia stata autorizzata a saturazione del carico termico, tenendo in considerazione lo stato della qualità dell'aria come previsto dal citato decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155.”

1.3 Sentenze Tribunali Amministrativi Regionali (TAR)

A seguito dell'emanazione del decreto Sblocca Italia sono seguite una serie di sentenze da parte di alcuni Tribunali Amministrativi Regionali, con interpretazioni decisamente opposte delle prescrizioni previste dall'articolo 35.

1.3.1 TAR Toscana, sez. II - Sentenza 29 giugno 2015, n. 954

La sentenza specifica che “l'articolo 35 prescrive che le autorizzazioni consentano agli impianti (sia esistenti che da realizzare) di operare “a saturazione del carico termico” si tratta di una scelta precisa del legislatore in favore di una modalità operativa da ritenersi ottimale. Se un dato impianto, a conclusione del prescritto iter procedimentale, è stato autorizzato all'esercizio in relazione a un determinato carico termico, tale autorizzazione consente di per sé l'operatività dell'impianto a saturazione del carico in questione; e se quest'ultimo dato è l'unico limite richiamato dalla norma, si deve intendere che esso può essere raggiunto indipendentemente dalla variabile costituita dalla tipologia dei rifiuti trattati giornalmente e dunque dalla quantità de-li stessi”.

1.3.2 TAR Molise, sez. I - Sentenza 25 maggio 2017, n. 202

La sentenza specifica che “l'autorizzazione deve in ogni caso indicare esplicitamente la capacità nominale e il carico termico nominale autorizzato dell'impianto, tuttavia il carico termico nominale non è tutto ciò che può essere bruciato in un impianto ma è il quantitativo massimo che l'impianto è autorizzato a incenerire. Pertanto, per saturazione del carico

termico deve intendersi il raggiungimento del limite massimo autorizzato. Nulla vieta che tale limite sia indicato in tonnellate/anno”.

1.3.3 TAR Basilicata, Potenza, sez. I - Ordinanza n. 149/2015

La sentenza prescrive che per definire la legittimità degli interventi di modifica dell'autorizzazione non si può prescindere dall'“acquisizione di analitica relazione sulla questione, segnatamente in ordine alla sussistenza dei presupposti per l'applicazione, nella fattispecie, delle disposizioni di cui all'art. 35, n. 3, della legge 11 novembre 2014, n. 164, avuto riguardo:

- all'intervenuta valutazione, in sede di rilascio della VIA di cui al richiamato D.M. n. 1790/1993, della compatibilità ambientale dell'impianto di cui è questione “a saturazione del carico termico, come previsto dall'art. 237-sexies del d.lgs. n. 152/2006;
- alla possibilità di ritenere sostanzialmente rispettate, sempre in relazione alle risultanze della cennata VIA, le disposizioni sullo stato della qualità dell'aria di cui al d.lgs. n. 155/2010”.

2. PANORAMICA DELLE AUTORIZZAZIONI IN VIGORE

Nel presente capitolo sono riportate le tipologie di autorizzazioni (portata rifiuti o carico termico) presenti nelle Autorizzazioni Integrate Ambientali degli impianti di recupero energetico in Italia, allo scopo di fornire un quadro sull'attuale situazione dei principali impianti di recupero energetico oggi operanti in Italia.

I dati riportati in Tabella 2.1 sono relativi agli impianti italiani che trattano rifiuto urbano tal quale o derivanti da trattamento di urbani, per i quali è stato possibile reperire informazioni esaustive (AIA in vigore).

Tabella 2.1 Panoramica della tipologia di autorizzazione degli impianti di recupero energetico da rifiuti in Italia (fonte AIA impianti).

Località Impianto	Società	Parametro autorizzato	Altre limitazioni
PIEMONTE			
Torino	Iren	Carico termico	-
LOMBARDIA			
Bergamo	A2A	Portata rifiuti	-
Brescia	A2A	Carico termico	-
Busto Arsizio (VA)	ACCAM	Carico termico	Rifiuti ospedalieri: max 20% in peso dei rifiuti totali
Como	ACSM-AGAM	Carico termico	-
Corteolona	A2A	Carico termico + Portata rifiuti	-
Cremona	A2A/LGH	Carico termico	-
Dalmine (BG)	REA Dalmine	Carico termico	-
Desio (MB)	BEA	Carico termico	rifiuti pericolosi 20 t/g
Milano Silla 2	A2A	Carico termico	-
Parona (PV)	A2A/LGH	Carico termico + Portata rifiuti	-
Trezzo D'Adda (MI)	Prima S.r.l.	Carico termico	-
Valmadrera (LC)	Silea	Carico termico	Pericolosi 9.000 ton/anno Fanghi 15%
TRENTINO ALTO ADIGE			
Bolzano	Eco center	Carico termico + Portata rifiuti	-
VENETO			
Padova	HERAmbiente	Carico termico	-
Schio (VI)	Alto Vicentino Ambiente	Carico termico	-

Località Impianto	Società	Parametro autorizzato	Altre limitazioni
FRIULI VENEZIA GIULIA			
Trieste	HERAmbiente	Carico termico + Portata rifiuti	-
EMILIA-ROMAGNA			
Coriano (RN)	HERAmbiente	Carico termico + Portata rifiuti	rifiuti sanitari 1.000 ton/anno
Ferrara	HERAmbiente	Portata rifiuti	extraregionali fino a 142.000 ton/anno
Forlì	HERAmbiente	Portata rifiuti	
Granarolo dell'Emilia (BO)	HERAmbiente	Carico termico	rifiuti sanitari 3.500 t/anno
Modena	HERAmbiente	Carico termico	
Parma	Iren	Carico termico	fanghi 50.000 t/anno, rifiuti sanitari 3.500 t/anno
Piacenza	Iren	Carico termico + Portata rifiuti + ore/anno	-
TOSCANA			
Arezzo	AISA	Portata rifiuti	-
Livorno	AAMPS	Portata rifiuti	-
Montale (PT)	CIS	Carico termico	-
Poggibonsi (SI)	Siena Ambiente	Portata rifiuti	-
LAZIO			
San Vittore del Lazio (FR)	ACEA ambiente	Carico termico	-
MOLISE			
Pozzilli (IS)	HERAmbiente	Carico termico + Portata rifiuti	-
CAMPANIA			
Acerra (NA)	A2A	Carico termico	Rifiuti pericolosi: 7 t/h
BASILICATA			
Melfi (PZ)	Rendina Ambiente	Portata rifiuti	-
PUGLIA			
Manfredonia	ETA	Portata rifiuti	-
Massafra	Marcegaglia	Portata rifiuti	-
CALABRIA			
Gioia Tauro	Ecologia oggi	Portata rifiuti	-
SARDEGNA			
Capoterra (CA)	Tecnocasic SpA	Carico termico	-

Come è possibile notare, per la maggior parte degli impianti per i quali sono disponibili le informazioni di interesse il parametro autorizzato è il carico termico (53% circa del totale), come mostrato in Tabella 2.2 e Figura 2.1.

Solo 9 impianti hanno in autorizzazione l'imposizione relativa alla sola portata rifiuti, mentre 7 impianti prevedono la doppia prescrizione portata rifiuti + carico termico.

Caso particolare è, invece, quello dell'impianto di Piacenza, dove le prescrizioni vigenti impongono, oltre al rispetto del carico termico e della portata annua di rifiuti, anche un limite sulle ore/anno di funzionamento.

Nel caso in cui gli impianti oggi autorizzati tramite vincolo sulla portata rifiuti lavorassero a saturazione del carico termico, si potrebbe stimare, in prima approssimazione, un incremento della capacità di trattamento complessiva di circa 100.000 t/a.

Tabella 2.2: Ripartizione degli impianti di recupero energetico da rifiuti in Italia in base alla tipologia di autorizzazione.

Tipologia autorizzazione	Numero impianti
Carico termico	19
Carico termico + portata rifiuti	7
Carico termico + portata rifiuti + ore/anno	1
Portata rifiuti	9
Totale complessivo	36

Ripartizione tipologia autorizzazione

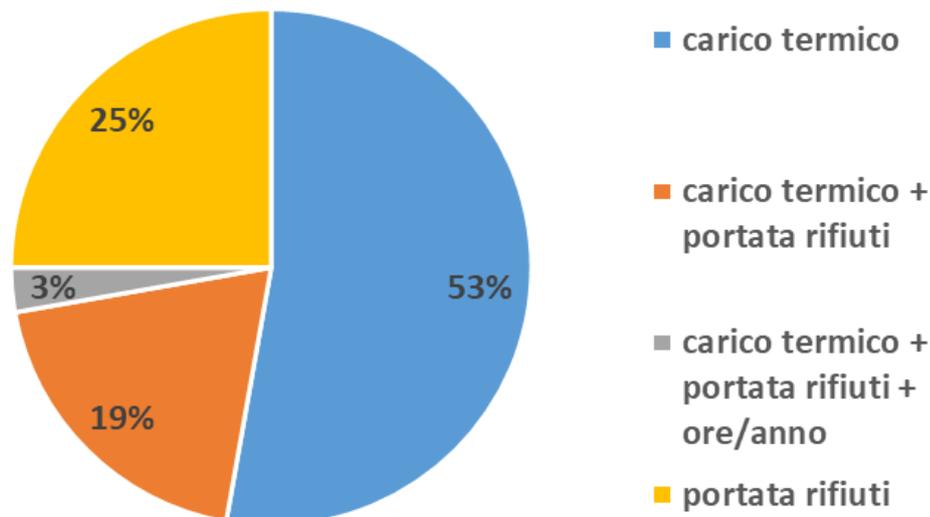


Figura 2.1: Ripartizione della tipologia delle autorizzazioni degli impianti di recupero energetico da rifiuti in Italia

3. CARICO TERMICO

L'input energetico fornito dalla combustione dei rifiuti (E_R) è espresso come prodotto tra la massa di rifiuto termovalorizzato (M_R) e il corrispondente Potere Calorifico Inferiore (PCI_R), secondo la relazione:

$$E_R = M_R \cdot PCI_R$$

Un impianto di termovalorizzazione che produce un quantitativo di vapore prefissato (alle condizioni di saturazione del carico termico), richiede un input energetico apportato dalla combustione dei rifiuti (E_R) approssimativamente costante. Ciò è dovuto al fatto che la produzione di vapore e l'input energetico sono tra loro legati dal rendimento di caldaia, un parametro che varia in un intervallo alquanto ristretto¹.

Pertanto, per esercire l'impianto in condizione di saturazione del carico termico sarà indifferentemente necessario trattare rilevanti quantitativi di rifiuti a basso PCI, oppure più contenuti quantitativi di rifiuti a elevato PCI.

In altre parole, il carico termico può essere raggiunto dal trattamento di diversi quantitativi di rifiuti in relazione al loro contenuto energetico, misurato mediante il Potere Calorifico Inferiore.

Autorizzare gli impianti per un valore fisso di carico termico, anziché per un valore fisso di quantità di rifiuto trattato, garantisce la persistenza della compatibilità ambientale dell'impianto come viene dimostrato nei paragrafi che seguono.

¹ Le caratteristiche del rifiuto possono, infatti, influire marginalmente sul rendimento di caldaia (per es. variando il quantitativo di fumi prodotto e, quindi, le corrispondenti perdite al camino). Con la variabilità del rendimento di caldaia si introduce una leggera deviazione dalla linearità del legame tra produzione di vapore ed energia rilasciata durante la combustione (o, su base istantanea, portata di vapore prodotta e potenza di combustione).

4. PRESTAZIONI AMBIENTALI

I principali impatti ambientali provocati dall'attività di termovalorizzazione rifiuti riguardano il comparto aria e sono prevalentemente determinati dalle emissioni dirette in atmosfera del processo di combustione (Turconi et al., 2011): valutazioni LCA condotte su diversi impianti di termovalorizzazione di rifiuti urbani mostrano che le emissioni dirette rappresentano almeno l'80% di tutte le emissioni introdotte nell'ambiente sull'intero ciclo di vita dell'impianto.

Le emissioni di inquinanti dal camino degli impianti di termovalorizzazione dipendono dai due fattori:

- concentrazione di inquinanti al camino;
- quantità di fumi scaricata dal camino.

Questi due fattori concorrono alla definizione delle prestazioni ambientali, poiché determinano le emissioni di inquinanti in termini di flussi di massa (grammi di inquinanti per ora o g_i/h): il quantitativo emesso di ogni inquinante (M_i) può essere espresso come il prodotto della quantità di fumi scaricata (V_f), in termini di flusso volumico (Nm^3/h), e della concentrazione dell'inquinante (C_i) in tale flusso (g_i/Nm^3), ovvero:

$$M_i = V_f \cdot C_i$$

Nei paragrafi che seguono verrà dimostrato che le prestazioni ambientali (quantitativi emessi di ogni inquinante M_i) risultano dipendenti dal carico termico e non dal quantitativo di rifiuto trattato, poiché la concentrazione degli inquinanti al camino (C_i) rimane pressoché costante durante l'operatività dell'impianto e il volume dei fumi (V_f) dipende dall'energia introdotta con i rifiuti in ingresso e non dalla loro quantità.

4.1 Concentrazione di inquinanti al camino (C_i)

I fumi scaricati in atmosfera da un impianto di termovalorizzazione rifiuti costituiscono il più consistente flusso di massa attraverso cui si realizza l'interazione con l'ambiente circostante. Ciò nonostante, a fronte dell'ingente massa movimentata, tale flusso è principalmente composto da specie chimiche che “transitano” soltanto attraverso l'impianto, senza subire alcuna modificazione significativa.

Infatti la maggior parte dei fumi scaricati in atmosfera è costituita da azoto prelevato dall'ambiente con l'aria di combustione, insieme all'eccesso d'ossigeno (anch'esso prelevato dall'ambiente) utilizzato per garantire il buon esito del processo. Così come sono prelevate dall'ambiente, queste due sostanze vi ritornano inalterate, insieme ad altre specie minori (i.e. le altre componenti dell'aria: argon, etc.).

Sono poi presenti tra i fumi i prodotti gassosi della completa combustione dei rifiuti, rappresentati da CO_2 e vapore acqueo. La prima risulta, per la parte ascrivibile alla quota biogenica del rifiuto trattato, neutrale sul bilancio del carbonio in atmosfera, mentre la parte

rimanente, ascrivibile alla quota fossile dei rifiuti, esercita esclusivamente un effetto climalterante². Il vapore acqueo si inserisce nel ciclo naturale dell'acqua.

Tutti gli altri impatti, diversi da quello climalterante, sono provocati dalle specie minori presenti nei fumi scaricati in atmosfera (HCl, NO_x, SO_x...). L'entità di questo flusso minore e i conseguenti impatti ambientali sono determinati dalle prestazioni del sistema di depurazione fumi adottato dal singolo impianto³. Le prestazioni dei moderni sistemi di depurazione fumi sono quantificate dalle concentrazioni dei vari inquinanti mediamente garantite nei fumi depurati che, entro i limiti di progetto dei vari processi, risultano sostanzialmente indipendenti dal carico di inquinanti da abbattere.

Alla luce dei principi del processo di trattamento rifiuti realizzato nei moderni inceneritori, si ritiene che le concentrazioni (C_i) dei diversi inquinanti nei fumi scaricati dal camino dell'impianto siano costanti e al di sotto delle concentrazioni limite imposte dalla Legge (nonché dall'AIA). Tale assunzione è giustificata dal fatto che tali concentrazioni rappresentano le prestazioni conseguite dai sistemi di trattamento fumi quando correttamente operati entro il campo di funzionamento per cui sono stati progettati.

Pertanto, la variazione delle emissioni di inquinanti in atmosfera da parte dell'impianto dipenderà unicamente dalle corrispondenti variazioni della quantità di fumi scaricata dal camino.

4.2 Quantità di fumi scaricata dal camino (V_f)

Per i limiti applicati sulla concentrazione di inquinanti al camino di impianti di termovalorizzazione viene comunemente adottato come riferimento la normalizzazione all'11% di O₂ dei fumi secchi. Pertanto, il termine relativo alla quantità di fumi scaricati (V_f) è da intendersi riferito ai fumi secchi (anidri) e normalizzati all'11% di O₂ con applicazione della specifica formula (Punto B dell'Allegato 1 al Titolo III-bis alla Parte Quarta del D.lgs. 152/2006). Questa portata verrà di seguito denominata Fumi Secchi Normalizzati (FSN) o semplicemente Fumi.

La quantità di fumi scaricata dal camino dell'impianto è primariamente determinata dalla produzione di fumi nel processo di combustione del rifiuto. Quando la combustione di un materiale è effettuata nel modo corretto (combustione completa del materiale di partenza), la forma iniziale con la quale si presentano i vari elementi chimici (ossia la formulazione molecolare) è pressoché ininfluente sull'esito finale del processo. Ciò significa che i flussi materiali e di energia con i quali il processo interagisce con l'ambiente esterno sono determinati unicamente dalla composizione elementare⁴ del materiale di partenza.

² L'effetto climalterante o effetto serra è a volte inteso come fenomeno d'inquinamento a scala globale, nonostante non sia solitamente classificato come inquinamento nel senso stretto del termine.

³ I fumi prodotti dalla combustione dei rifiuti, prima di essere scaricati in atmosfera, sono sottoposti ad una serie di processi di depurazione che attraverso opportuni apparati (che possono prevedere l'uso di reagenti) abbattano la quasi totalità delle specie chimiche pericolose contenute nei fumi stessi.

⁴ Per composizione elementare si intende il contenuto dei vari atomi (C, H, O ...) che compongono la materia, indipendentemente dal modo con cui sono legati tra loro.

In Tabella 4.1 è mostrato come per ogni materiale contenuto nel rifiuto (es. legno, plastica, vetro) è possibile ricavarne la composizione elementare.

Tabella 4.1: Caratteristiche delle varie frazioni merceologiche (adattato e integrato da Consonni et al, 2011).

	Composizione in massa % su base tal quale									PCI MJ/kg
	C	Cl	H	O	N	S	Ceneri	Umidità	Tot	
Carta e cellulosici	30,97	0,11	4,65	34,07	0,37	0,03	7,80	22,00	100,00	10,84
Legno	38,61	0,00	4,68	33,31	0,16	0,08	1,17	22,00	100,00	13,94
Plastica	60,75	1,96	8,72	8,09	0,72	0,17	5,59	14,00	100,00	25,92
Vetro e inerti	1,33	0,40	0,53	1,19	0,00	0,00	95,05	1,50	100,00	-0,04
Metalli no Al	1,33	0,27	0,53	1,33	0,00	0,00	95,05	1,50	100,00	-0,04
Al	1,33	0,27	0,53	1,33	0,00	0,00	95,05	1,50	100,00	-0,04
Organico	13,87	0,26	2,37	12,52	0,85	0,06	11,07	59,00	100,00	4,46
Verde	12,38	0,00	1,50	10,68	0,05	0,03	0,38	75,00	100,00	2,82
Sottovaglio	18,17	0,31	1,24	11,16	0,06	0,06	31,00	38,00	100,00	3,62
Tessili	37,39	0,10	5,17	30,23	2,70	0,18	4,24	20,00	100,00	11,57
Fanghi secchi	27,80	1,54	5,00	15,10	5,00	1,56	44,00	0,00	100,00	12,49

Per esemplificare il concetto che il quantitativo di fumi prodotti è determinato unicamente dalla composizione elementare del materiale di partenza, si pensi alla combustione della carta e alla combustione del polietilene (PE), processi schematicamente rappresentati in Figura 4.1.

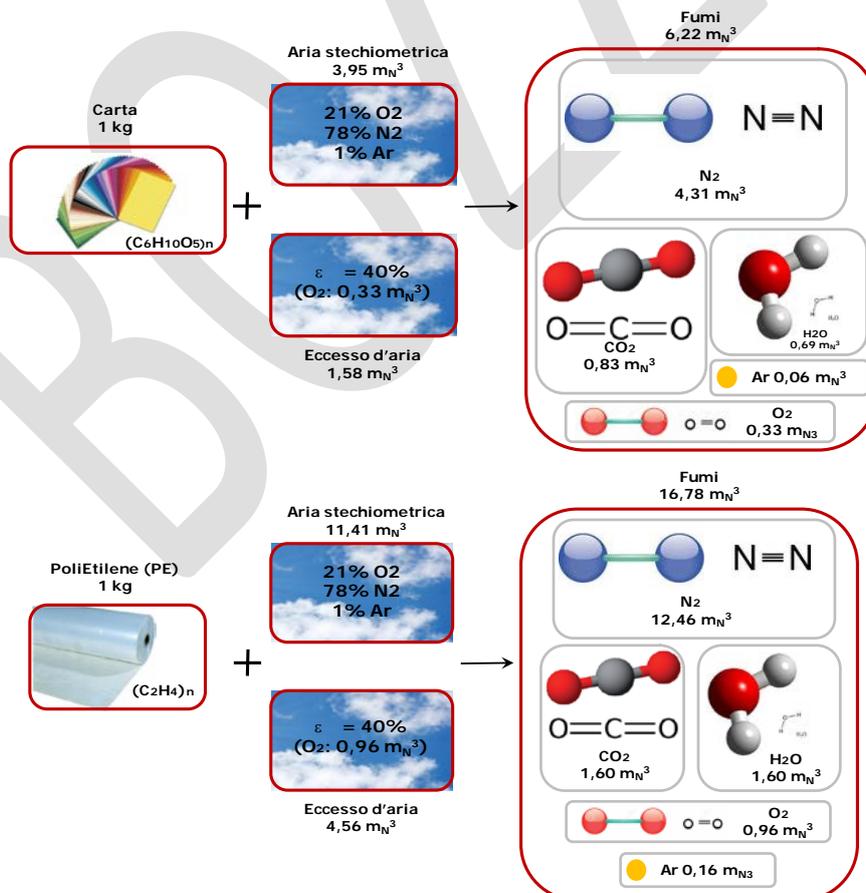


Figura 4.1: Rappresentazione schematica della combustione della carta e della combustione del polietilene.

La combustione completa di tali materiali in aria originerà prodotti gassosi composti innanzitutto dalla componente inerte dell'aria utilizzata (prevalentemente azoto, vapore acqueo e argon), dai prodotti della combustione completa propriamente detti (CO_2 e vapore acqueo), nonché dall'ossigeno in eccesso richiesto per garantire la combustione completa. Per la stessa massa bruciata (carta o polietilene), utilizzando il medesimo eccesso d'aria (in termini percentuali) si consumano quantità d'aria differenti, producendo di conseguenza quantità di fumi differenti.

Realizzando opportune miscele di diversi materiali ma tali da avere composizioni elementari analoghe, si ottengono analoghe produzioni di fumi per unità di massa di miscela bruciata, come rappresentato in Figura 4.2.

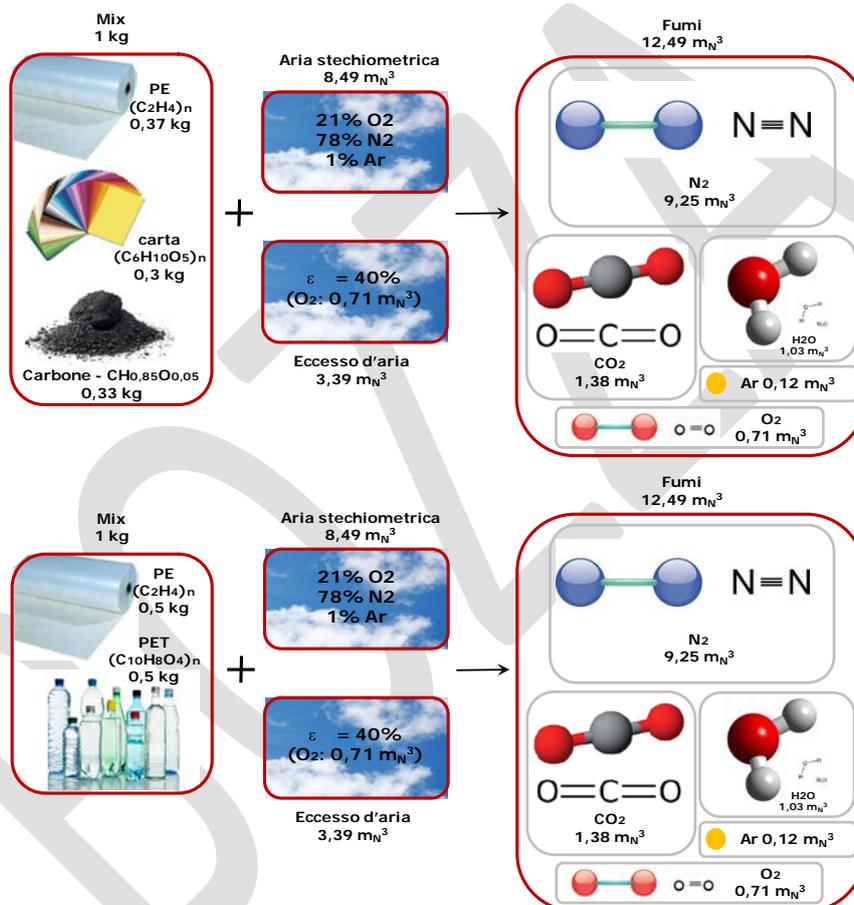


Figura 4.2: Rappresentazione schematica della combustione di due miscele di materiali caratterizzate dalla medesima composizione elementare.

La combustione delle due miscele di materiali con le medesime composizioni elementari e con lo stesso eccesso d'aria producono i medesimi prodotti di combustione (sia per natura che per quantità), consumando il medesimo quantitativo di aria comburente.

Di conseguenza, nei processi di combustione correttamente gestiti, quantità e composizione dei prodotti non dipendono dalla natura o dalla massa della sostanza originaria ma dalla composizione elementare del rifiuto e dall'eccesso d'aria impiegato.

La natura della sostanza originaria influenza, invece, il contenuto di energia per unità di massa⁵. Ciononostante, il rapporto tra la produzione di fumi anidri normalizzati (che dipende dalla composizione elementare del materiale combustibile) e il contenuto energetico del materiale combustibile (che dipende anche dalla natura dello stesso) rimane all'incirca sempre costante, con valori dell'ordine di $0,5 \text{ Nm}^3/\text{MJ}_{\text{PCI}}$ come verrà dimostrato nel paragrafo seguente.

4.2.1 Legame tra portata fumi ed energia del rifiuto

Tutti i tipi di rifiuti possono essere caratterizzati mediante un modello a 3 componenti, ovvero (Figura 4.3):

- **Ceneri:** è la quota comprendente quelle specie che non partecipano significativamente, dal punto di vista chimico, al processo di combustione, tipicamente composta da specie inorganiche come metalli, sali, ossidi. Comportandosi da inerte, durante la combustione non apporta né sottrae alcun contributo energetico ($\text{PCI} = 0$).
- **Umidità:** è la quota composta da acqua poco o per nulla legata alla matrice del rifiuto. Dal punto di vista energetico si comporta come acqua liquida che, durante la combustione, evapora assorbendo il corrispondente calore latente d'evaporazione ($\text{PCI} < 0$).
- **Sostanza reagente:** è la quota comprendente le specie ossidabili, che durante la combustione partecipano chimicamente al processo producendo i fumi. Il contenuto energetico di questa frazione è positivo ($\text{PCI} > 0$) e dipende dalla corrispondente composizione elementare, così come la produzione di fumi, la relativa composizione e il consumo di comburente.



Figura 4.3: Passaggio concettuale dalla caratterizzazione merceologica del rifiuto alla caratterizzazione per finalità energetiche (o caratterizzazione "combustiva").

Considerando il modello di caratterizzazione del rifiuto a 3 componenti, le specie ossidabili che partecipano al processo di combustione producendo i fumi sono contenute nella quota di rifiuto rappresentata dalla sostanza reagente (SR), avente quindi un contenuto energetico

⁵ Ad esempio non basta sapere quanti atomi di H e O sono presenti ma anche quanti sono legati nella molecola di H_2O , in quanto il contenuto di umidità influenza il PCI.

positivo ($PCI_{SR} > 0$). Su base statistica, tale contenuto energetico dipende dalla corrispondente composizione elementare⁶ e, come visto in precedenza, sulla base di tale composizione elementare è possibile ricavare la produzione di fumi secchi: di conseguenza è possibile ricavare la relazione tra l'energia del rifiuto e la produzione specifica di fumi derivanti dalla combustione del rifiuto stesso (entrambi legati alla composizione elementare).

Tale relazione, circa costante, è pari a:

$$\frac{Fumi_{SR}}{Energia_{SR}} = \frac{Nm_{FSN,R}^3}{MJ_{SR}} \cong costante = 0,53 \frac{Nm^3}{MJ_{PCI}}$$

Nello specifico, i cosiddetti FSN (Fumi Secchi Normalizzati) prodotti dalla combustione del rifiuto dipendono dalla sola composizione elementare della sostanza reagente, mentre sono indipendenti dal quantitativo di vapore acqueo prodotto per evaporazione dell'umidità contenuta nel rifiuto e dall'eccesso d'aria comburente (essendo normalizzati).

Pertanto, i FSN prodotti dalla combustione del rifiuto o della sostanza reagente in essi contenuta sono corrispondenti, ovvero:

$$Nm_{FSN,SR}^3 = Nm_{FSN,R}^3$$

In prima approssimazione, dunque, la quantità di fumi prodotta dalla combustione del rifiuto dipende dall'energia che questo apporta al processo di combustione: in pratica, però, questa stretta proporzionalità riguarda solo la sostanza reagente.

Infatti, la quota di umidità presente nel rifiuto non contribuisce alla produzione di fumi secchi ma influisce sul contenuto energetico, rendendo il legame tra fumi ed energia meno rigido. Come dimostrato in termini analitici in Appendice A, il rapporto tra il quantitativo di fumi prodotti e il PCI del rifiuto dipende solo da due variabili: il PCI della sostanza reagente e il contenuto di umidità nel rifiuto. Poiché entrambe queste grandezze variano in intervalli limitati, il conseguente rapporto tra produzione di fumi e contenuto energetico del rifiuto, seppur non costante, varia in un intervallo ristretto, ovvero:

$$\frac{Fumi}{Energia_R} = \frac{Nm_{FSN,R}^3}{MJ_R} \cong 0,514 - 0,577 \frac{Nm^3}{MJ_{PCI}}$$

In conclusione, si può affermare che la quantità di fumi prodotta dalla combustione del rifiuto dipende significativamente solo dall'apporto d'energia dato dalla combustione del rifiuto. Altre caratteristiche del rifiuto, come la sua umidità e il PCI della SR contenuta, hanno un'influenza marginale, che allentano solo leggermente il legame esistente tra energia apportata e produzione di fumi.

⁶ La norma tecnica FDBR-Guideline RL 7 esplicita la relazione tra la composizione elementare della sostanza reagente e il corrispondente contenuto energetico (PCI_{SR}).

4.2.2 Saturazione del carico termico

Come già spiegato nel capitolo 3 e nel paragrafo precedente, a carico termico fissato, la produzione di fumi è pressoché costante anche al variare delle caratteristiche e, conseguentemente della quantità di rifiuto trattato come è stato dimostrato nel precedente paragrafo. Pertanto in condizioni di saturazione del carico termico (costanza di E_R), il volume di fumi scaricato dal camino è pressoché costante, sia che tale condizione sia conseguita bruciando molti rifiuti a basso PCI, sia bruciando pochi rifiuti a elevato PCI. Conseguentemente, con portata fumi (V_f) e concentrazioni di inquinanti (C_i) pressoché costanti, la prestazione ambientale dell'impianto, data dai flussi di inquinanti scaricati dal camino (M_i), non varia mantenendo la condizione di saturazione del carico termico.

4.3 Rappresentazione schematica

In Figura 4.4 e Figura 4.5 sono riportati i passaggi logici della trattazione mostrata nel presente capitolo, per sottolineare la dipendenza delle prestazioni ambientali dal carico termico e non dalla sua quantità alimentata di rifiuto.

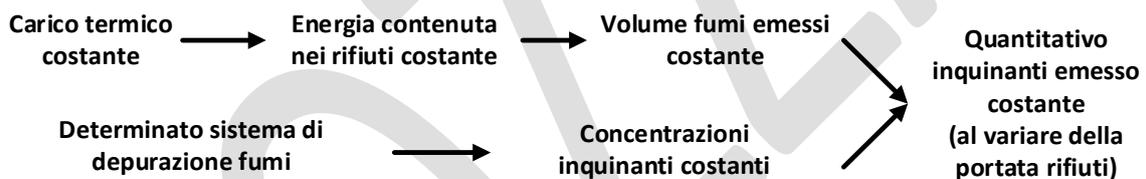


Figura 4.4: Rappresentazione schematica della trattazione proposta nei paragrafi 4.1 e 4.2 - carico termico costante

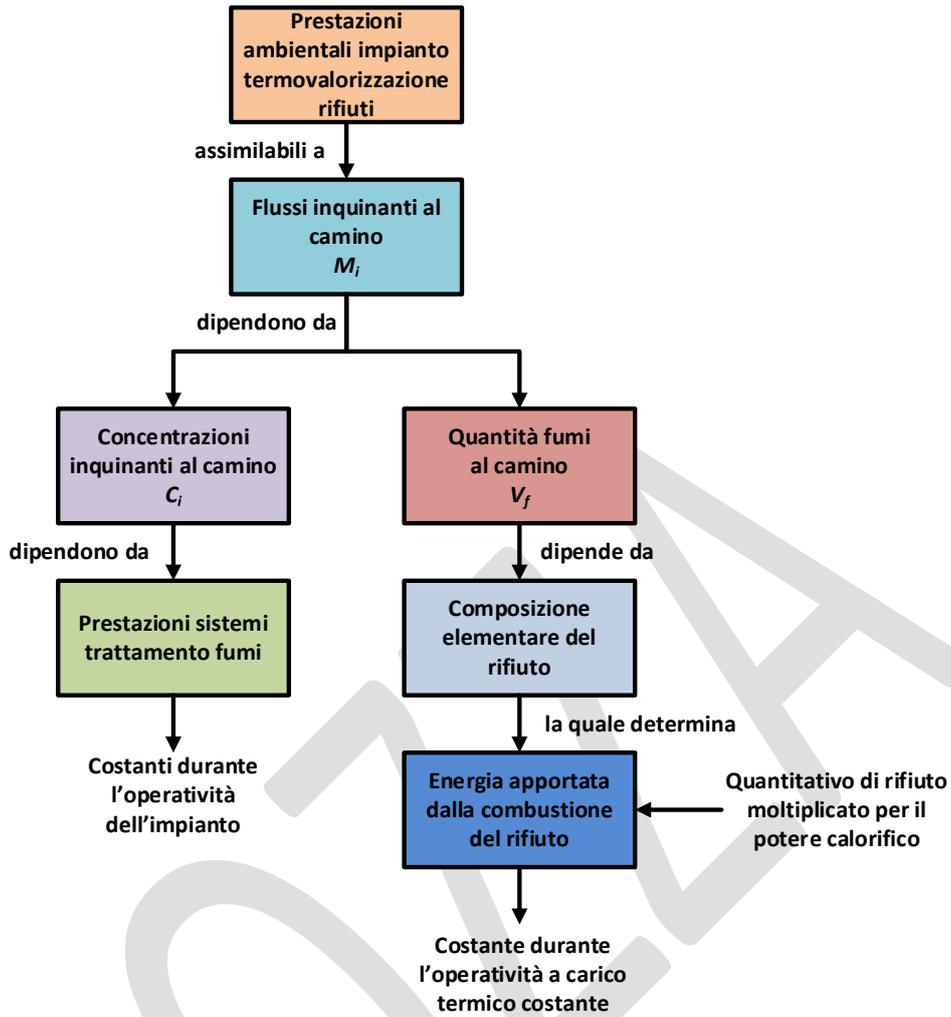


Figura 4.5: Rappresentazione schematica della trattazione proposta nei paragrafi 4.1 e 4.2 - prestazioni ambientali

5. CONCLUSIONI

L'analisi svolta in questo rapporto porta alle seguenti conclusioni:

- a) Il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 prevede che l'Autorizzazione Unica per gli impianti di recupero rifiuti contenga almeno i tipi e i quantitativi di rifiuti da recuperare oppure i tipi e i quantitativi massimi di rifiuti.
- b) Il Decreto Legislativo 4 marzo 2014, n. 46, invece, stabilisce che l'autorizzazione alla realizzazione ed esercizio degli impianti di incenerimento e co-incenerimento deve in ogni caso indicare esplicitamente un elenco di tutti i tipi di rifiuti che possono essere trattati nell'impianto, nonché l'informazione sulla quantità di ciascun tipo di rifiuti autorizzati, nonché la capacità nominale e il carico termico nominale autorizzato dell'impianto.
- c) L'articolo 35, comma 3 del Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133 introduce la prescrizione secondo cui tutti gli impianti di recupero energetico da rifiuti sia esistenti sia da realizzare sono autorizzati a saturazione del carico termico, qualora sia stata valutata positivamente la compatibilità ambientale dell'impianto in tale assetto operativo.
- d) Da un'analisi delle AIA in vigore degli impianti di recupero energetico italiani risulta che nella maggioranza di essi (53% circa) l'unico parametro vincolante presente in autorizzazione è il carico termico, mentre 9 impianti su 36 hanno una prescrizione relativa alla sola portata di rifiuti. Nel caso in cui gli impianti oggi con vincolo sulla portata rifiuti lavorassero a saturazione del carico termico, si potrebbe stimare, in prima approssimazione, un incremento della capacità di trattamento complessiva di circa 100.000 t/a.
- e) I principali impatti ambientali di un impianto di recupero di energia da rifiuti sono determinati dalle emissioni dirette di inquinanti dal camino, che dipendono dalla concentrazione di inquinanti e dalla quantità di fumi scaricata.
- f) Le concentrazioni di inquinanti nei fumi emessi da un moderno termovalorizzatore sono pressoché costanti e risentono in misura marginale delle caratteristiche e della quantità dei rifiuti combustibili, poiché al variare della quantità di inquinanti presenti nei fumi “grezzi”, il sistema di trattamento fumi “reagisce” in modo da mantenere le concentrazioni di inquinanti entro i limiti emissivi autorizzati.
- g) In condizioni di combustione completa del rifiuto (ossidazione totale del materiale sottoposto a trattamento termico), in prima approssimazione la quantità di fumi emessi non dipende né dal quantitativo di rifiuti combustibili né dalla loro natura (contenuto di carta, plastica, frazione organica, etc.) ma solamente dalla quantità di energia contenuta nei rifiuti stessi.
- h) Nel funzionamento a carico termico costante, cioè con energia contenuta nel rifiuto costante, il volume di fumi emesso rimane approssimativamente costante al variare delle caratteristiche e della quantità di rifiuti alimentati e, stante che anche le

concentrazioni degli inquinanti restano approssimativamente costanti, il quantitativo di inquinanti emesso è sempre lo stesso a prescindere dalla portata di rifiuti combustibili.

In definitiva, **il parametro che determina i flussi emissivi di un impianto di recupero energetico da rifiuti** (cioè i grammi/ora di ciascun inquinante) **non è la portata di rifiuti** (cioè le tonnellate/ora alimentate all'impianto), **bensì il carico termico** (cioè i MegaWatt di PCI).

Nel lungo periodo, ad esempio un intero anno di funzionamento, **il parametro che determina le emissioni (sia in termini di quantità che di tipologia) non sono quindi le tonnellate di rifiuti trattati nel periodo, bensì l'energia contenuta nei rifiuti trattati nel periodo (carico termico costante).**

L'energia contenuta nei rifiuti è una combinazione di quantità di rifiuti e potere calorifico: dal momento che quest'ultimo è estremamente variabile e non controllabile, vincolare il funzionamento dell'impianto ad un valore fissato di portata rifiuti non garantisce il rispetto dei parametri ambientali.

APPENDICE A

Relazione tra composizione merceologica, elementare e PCI del rifiuto

Le caratteristiche del rifiuto, considerato miscela delle varie frazioni merceologiche, sono determinate come medie ponderali delle caratteristiche di tali frazioni merceologiche, utilizzando, quali coefficienti di ponderazione, proprio le frazioni in massa delle varie categorie (x_i) che esprimono la composizione merceologica del rifiuto.

In termini matematici, le caratteristiche del rifiuto - miscela di frazioni merceologiche - sono ottenute mediante il seguente insieme di equazioni:

$$\begin{cases} \%C = \sum_{i=categoria} (\%C_i \cdot x_i) \\ \dots \\ PCI = \sum_{i=categoria} (PCI_i \cdot x_i) \end{cases}$$

Relazione tra contenuto di ceneri, umidità, SR e PCI del rifiuto

Utilizzando il modello di rifiuto basato sulle tre componenti (inerti, umidità, SR), è possibile esprimere il PCI e altre caratteristiche del rifiuto come medie ponderali delle caratteristiche delle varie componenti, dove la consistenza di ognuna delle tre componenti del rifiuto è rappresentata mediante la corrispondente frazione massica x_i . Il PCI del rifiuto è quindi definito dalla seguente equazione:

$$PCI = (x_{SR} \cdot PCI_{SR} + x_{Um} \cdot PCI_{Um} + x_{Cen} \cdot PCI_{Cen})$$

Inoltre, le ceneri costituiscono per definizione la quota di rifiuto comprendente quelle specie inerti nel processo di combustione e sono caratterizzate da un PCI_{Cen} pari a zero, pertanto l'equazione può essere così semplificata:

$$PCI = (x_{SR} \cdot PCI_{SR} + x_{Um} \cdot PCI_{Um})$$

Complessivamente, il modello di rifiuto proposto è in grado di descrivere compiutamente sia il bilancio di massa, sia il bilancio dell'energia della combustione di un generico rifiuto mediante sole tre variabili: il PCI della sostanza reagente e due frazioni massiche, poiché la terza frazione è ricavata per differenza⁷.

Relazione tra produzione di fumi e PCI del rifiuto

Il PCI del rifiuto dipende dai contenuti di umidità e di sostanza reagente, oltre che dal valore di PCI_{SR} . Come descritto nel Paragrafo 4.2, dal momento che le ceneri, in quanto inerti, non

⁷ Vale, come per tutte le composizioni comprendenti N componenti: $\sum_{i=1}^N x_i = 1 \Rightarrow x_j = 1 - \sum_{i=1, i \neq j}^N x_i$.

apportano né sottraggono alcun contributo energetico alla combustione, il PCI del rifiuto può essere calcolato con la seguente espressione:

$$PCI_R = (x_{SR} \cdot PCI_{SR} + x_{Um} \cdot PCI_{Um})$$

dove x_i è la frazione massica delle due componenti e PCI_i il corrispondente potere calorifico. Tenendo conto della relazione tra le frazioni massiche delle tre componenti (la somma è pari a 1 per definizione di frazione massica), l'espressione del PCI_R può essere rielaborata come segue:

$$PCI_R = ((1 - x_{Um} - x_{Cen}) \cdot PCI_{SR} + x_{Um} \cdot PCI_{Um})$$

Nel processo di combustione del rifiuto, la frazione di umidità contenuta nel rifiuto si comporta come acqua liquida che durante la combustione evapora assorbendo il corrispondente calore latente d'evaporazione. Pertanto il valore di PCI_{Um} è noto ed è pari a -2,442 MJ/kg. Anche per la frazione massica delle ceneri contenute nel rifiuto è possibile assumere un valore fisso, dato che mediamente si riscontra un tenore di ceneri del 25% riferito al rifiuto secco (si vedano, per esempio, le produzioni di residui solidi dagli impianti di termovalorizzazione italiani riportate nel rapporto ISPRA sul recupero di energia da rifiuti - 2018). Su base tal quale, il tenore di ceneri nel rifiuto dipende, quindi, dal tenore d'umidità, secondo l'espressione:

$$x_{Cen} = 0,25 \cdot (1 - x_{Um})$$

Sostituendo il valore noto di PCI_{Um} e la relazione di x_{Cen} , deriva che il PCI del rifiuto è dipendente da sole due variabili, il contenuto di umidità e il PCI della sostanza secca:

$$PCI_R = \left((1 - x_{Um} - (0,25 \cdot (1 - x_{Um}))) \cdot PCI_{SR} - x_{Um} \cdot 2,442 \frac{MJ}{kg} \right)$$

Essendo noto (e riportato in Paragrafo 4.2) lo stretto legame tra i fumi specifici prodotti (FAN) e il PCI della sostanza reagente contenuta nel rifiuto $\left(\frac{Nm_{FAN,R}^3}{MJ_{SR}} = 0,53 \right)$, è possibile valutare il legame tra i fumi specifici prodotti (FAN) e il PCI del rifiuto $\left(\frac{Nm_{FAN,R}^3}{MJ_R} \right)$ attraverso la seguente relazione:

$$\frac{FAN}{PCI_R} = \frac{Nm_{FAN,R}^3}{MJ_R} = \frac{Nm_{FAN,R}^3}{MJ_{SR}} \cdot \frac{MJ_{SR}}{MJ_R} = 0,53 \cdot \frac{MJ_{SR}}{MJ_R}$$

Viste le considerazioni prima riportate circa il PCI del rifiuto, è possibile valutare il rapporto tra l'energia apportata dalla sostanza secca e l'energia contenuta nel rifiuto:

$$\frac{MJ_{SR}}{MJ_R} = \frac{x_{SR} \cdot PCI_{SR}}{1 \cdot PCI_R} = \frac{(1 - x_{Um} - (0,25 \cdot (1 - x_{Um}))) \cdot PCI_{SR}}{\left((1 - x_{Um} - (0,25 \cdot (1 - x_{Um}))) \cdot PCI_{SR} - x_{Um} \cdot 2,442 \frac{MJ}{kg} \right)}$$

Sostituendo questa espressione nella precedente si ottiene:

$$\begin{aligned} \frac{FAN}{PCI_R} &= \frac{Nm_{FAN,R}^3}{MJ_R} = \\ &= 0,53 \cdot \frac{(1 - x_{Um} - (0,25 \cdot (1 - x_{Um}))) \cdot PCI_{SR}}{\left((1 - x_{Um} - (0,25 \cdot (1 - x_{Um}))) \cdot PCI_{SR} - x_{Um} \cdot 2,442 \frac{MJ}{kg} \right)} \end{aligned}$$

Considerando, infine, per i valori di PCI_{SR} e contenuto di umidità nel rifiuto, due intervalli di variabilità ampiamente cautelativi (da letteratura la variabilità risulta in realtà più ridotta) e applicando l'equazione ricavata, si ottiene uno stretto intervallo di variabilità del rapporto analizzato, come riportato nella seguente Tabella A.1.

Tabella A.1: Intervallo di variazione del rapporto tra FAN e PCI del rifiuto in relazione alla variazione del contenuto di umidità nel rifiuto e al PCI della Sostanza Reagente.

Grandezza	MIN	MAX
x_{Um}	0,20	0,45
$PCI_{SR} \left(\frac{MJ}{kg} \right)$	20	30
$\frac{FAN}{PCI_R} \left(\frac{Nm_{FAN,R}^3}{MJ_R} \right)$	0,514	0,577

BIBLIOGRAFIA

Consonni S., Viganò F., “Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potential for energy recovery”, Waste Management 31(2011), 2074- 2084.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale” - GU Serie Generale n.88 del 14-04-2006

Decreto Legislativo 4 marzo 2014, n. 46 “Attuazione della direttiva 2010/75/UE relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell’inquinamento)” - GU n.72 del 27-03-2014

Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133 “Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive” - GU Serie Generale n.212 del 12-09-2014

FDBR-Guideline RL 7 - Acceptance Testing of Waste Incineration Plants with Grate Firing Systems – Edition 03/2013

Legge 11 novembre 2014, n. 164 “Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 11 settembre 2014, n. 133, Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive” - G.U. n. 262 dell'11 novembre 2014

TAR Toscana, sez. II - Sentenza 29 giugno 2015, n. 954

TAR Molise, sez. I - Sentenza 25 maggio 2017, n. 202

TAR Basilicata, Potenza, sez. I - Ordinanza n. 149/2015

Turconi R., Butera S., Boldrin A., Grosso M., Rigamonti L., Astrup T. (2011). “Life cycle assessment of waste incineration in Denmark and Italy using two LCA models”. Waste Management & Research, 29, 78-90.