

**ENEA**

Agenzia nazionale per le  
nuove tecnologie, l'energia e lo  
sviluppo economico sostenibile



## **IL RECUPERO ENERGETICO DEI RESIDUI DA AUTODEMOLIZIONE**

Pasquale De Stefanis, Vito Iaboni, Valerio Valent

**2011**

IL RECUPERO ENERGETICO DEI RESIDUI DA AUTODEMOLIZIONE

*Pasquale De Stefanis, Vito Iaboni, Valerio Valent*

2011 ENEA  
Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

ISBN 978-88-8286-243-5

In copertina, al centro  
*Autodemolizione*, pastello di Antonello Riommi



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

## IL RECUPERO ENERGETICO DEI RESIDUI DA AUTODEMOLIZIONE

PASQUALE DE STEFANIS, VITO IABONI, VALERIO VALENT

Questo rapporto è frutto di una collaborazione fra l'ENEA – Unità Tecnica Tecnologie Ambientali e l'Italferro Srl – Divisione Ecofer ed è stato reso possibile grazie ai contributi di Pasquale De Stefanis (ENEA), Vito Iaboni (ENEA) e Valerio Valent (collaboratore Italferro Srl).

Si ringrazia l'Italferro Srl – Divisione Ecofer, per la disponibilità assicurata in tutte le fasi dello studio.

Si ringraziano, inoltre, quanti (Amministrazioni Locali, Società ed Enti pubblici e privati, Associazioni, proprietari e gestori di impianti ecc.) hanno fornito il loro contributo nella raccolta e nella verifica dei dati.

La stesura è stata curata da Vito Iaboni (ENEA) e Pasquale De Stefanis (ENEA), che ha anche coordinato le attività.

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>7</b>
<b>1. LE ORIGINI DELL'ASR</b> .....	<b>9</b>
1.1 Il mercato dei veicoli in Italia .....	9
1.1.1 La produzione e l'immatricolazione di veicoli .....	9
1.1.2 Il parco di veicoli circolanti .....	10
1.2 La demolizione e il trattamento dei veicoli a fine vita.....	12
1.2.1 La radiazione .....	12
1.2.2 Il sistema di rottamazione .....	12
1.2.3 L'impianto di demolizione .....	14
1.2.4 L'impianto di frantumazione.....	17
1.2.4.1 La prefrantumazione .....	18
1.2.4.2 La frantumazione.....	18
1.3 Le caratteristiche dell'ASR .....	20
<b>2. IL QUADRO DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>23</b>
2.1 La produzione e la gestione dell'ASR a livello europeo.....	23
2.2 La produzione e la gestione dell'ASR a livello nazionale .....	23
2.3 Gli aspetti normativi.....	24
2.3.1 La normativa a livello europeo.....	24
2.3.2 La normativa a livello nazionale .....	25
<b>3. LE TECNOLOGIE PER IL RECUPERO ENERGETICO DELL'ASR</b> .....	<b>27</b>
3.1 L'incenerimento con recupero energetico.....	27
3.2 Il co-incenerimento in impianti industriali.....	28
3.2.1 L'impiego dell'ASR nel settore siderurgico .....	28
3.2.2 L'impiego dell'ASR nella produzione del cemento.....	29
3.3 Le tecnologie alternative di trattamento termico.....	30
<b>4. LO STATO ATTUALE DEL RECUPERO ENERGETICO DELL'ASR</b> .....	<b>31</b>
4.1 L'incenerimento con recupero energetico.....	31
4.2 Il co-incenerimento in impianti industriali.....	33
4.2.1 L'impiego come combustibile alternativo in cementifici .....	33
4.2.2 L'impiego come agente riducente o combustibile alternativo in altoforno .....	34
4.3 Le tecnologie alternative .....	35
4.3.1 La tecnologia Ebara.....	35
4.3.2 La tecnologia Nippon Steel .....	38
4.3.3 La tecnologia JFE .....	40
4.3.4 La tecnologia Hitachi Metals .....	42
4.3.5 La tecnologia Mitsui/Takuma .....	44
4.3.6 L'impianto SVZ .....	46
4.3.7 La tecnologia Citron.....	49

4.4	La situazione nazionale .....	51
4.4.1	Le esperienze a livello industriale .....	51
4.4.2	L'esperienza della MAIND .....	52
4.4.3	Le attività di R&S a cura del CSM .....	54
4.4.4	Le prove sperimentali presso Italferro (Gruppo Fiori).....	57
4.4.5	Le attività di R&S previste.....	60
4.4.5.1	Il progetto Target Fluff.....	60
4.4.5.2	Il progetto NewFluv .....	61
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>63</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>65</b>
	<b>ACRONIMI E SIGLE .....</b>	<b>67</b>
	<b>ALLEGATI.....</b>	<b>69</b>
Allegato A	Le tecnologie di trattamento termico	71
Allegato B	L'impiego di combustibili solidi secondari in impianti industriali	85
Allegato C	La formula di efficienza energetica per gli impianti di incenerimento	93
Allegato D	I risultati delle determinazioni analitiche effettuate nel corso delle prove sperimentali dell'Italferro	95

## INTRODUZIONE

Questo rapporto scaturisce da una collaborazione tra l'ENEA - Unità Tecnica Tecnologie Ambientali e Italferro Srl – Divisione Ecofer finalizzata ad indagare la tematica relativa alla gestione dei residui non metallici, denominati “car fluff” (o ASR)<sup>1</sup>, che rimangono a valle delle operazioni di frantumazione di autoveicoli.

L'ASR è una miscela molto eterogenea costituita da materiali organici (materie plastiche, gomma, gomma-piuma, tessuti, fibre ecc.) e inorganici (per lo più metalli, ma anche vetri, inerti ecc.). Esso può rivestire carattere di pericolosità in conseguenza della possibile presenza di tenori elevati di composti contaminanti, sia di natura organica (idrocarburi, PCB ecc.) che inorganica (metalli) che sono inizialmente presenti come costituenti di componenti e/o fluidi di servizio del veicolo a fine vita (VFV).

Le caratteristiche (composizione, pezzatura, contenuto di inerti, tenore di umidità ecc.) possono essere soggette a variazioni notevoli, in funzione del materiale trattato ma soprattutto delle tecniche adottate nelle fasi di disassemblaggio, bonifica e frantumazione finale.

Ciò nonostante tale tipologia di rifiuto risulta di norma caratterizzato da contenuti energetici piuttosto elevati in termini di potere calorifico inferiore (PCI), che rendono interessante analizzare le possibilità di un suo recupero energetico, sia in impianti dedicati, sia come possibile materiale di partenza per la produzione di combustibili solidi secondari (CSS), da impiegare in impianti industriali, in parziale sostituzione dei combustibili tradizionali.

Le attività svolte sono state orientate proprio ad esaminare lo specifico aspetto del recupero energetico che, al di là del rispetto di limiti normativi posti a livello nazionale (quali quello del divieto di smaltimento in discarica dei rifiuti aventi PCI superiore a 13.000 kJ/kg, non ancora attuato), diventa imprescindibile per il conseguimento degli obiettivi fissati dalla Direttiva 2000/53/CE per il riutilizzo, il riciclo ed il recupero dei VFV, da conseguire entro il 1° gennaio 2015.

La programmazione delle attività ha previsto dapprima l'esecuzione di prove di vagliatura dell'ASR, eseguite dall'Italferro con la supervisione dell'ENEA, per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche necessarie ad individuare sia il potenziale energetico sia il contenuto di inquinanti al fine di verificarne l'applicabilità come combustibile alternativo e rilevarne l'eventuale pericolosità, in conformità della normativa vigente.

Successivamente è stata svolta una specifica indagine finalizzata ad individuare quella che è la situazione attuale del recupero energetico a livello di applicazioni dimostrative/industriali. Ne è emerso che, benché tale pratica sia ancora piuttosto limitata, sono presenti numerose iniziative nonché alcuni specifici casi di studio per i quali questa forma di gestione risulta piuttosto consolidata.

Le informazioni e i dati tecnici raccolti vengono riportati e discussi nel presente rapporto, nella speranza che possano costituire uno strumento che, anche se sicuramente non esaustivo, sia di pronta ed attendibile consultazione, contribuisca ad aumentare la conoscenza sull'argomento e possa fungere da base di partenza per future iniziative di studio e ricerca.

---

<sup>1</sup> Il “car fluff” è infatti anche noto, a livello internazionale, come “Automotive Shredder Residue”, da cui l'acronimo ASR che verrà impiegato da qui in poi.



## 1. LE ORIGINI DELL'ASR

Le modalità di trattamento dei VFV ai fini del riciclo e del recupero e al termine della loro fase di utilizzo differiscono nei vari Paesi. Si stima che dagli impianti di frantumazione, nel mondo, vengono prodotti, ogni anno, circa 15 milioni di tonnellate di ASR.

Il trattamento di fine vita degli autoveicoli è legato a molteplici fattori, che vanno dalla disponibilità di spazi alle tecnologie disponibili, dalla “coscienza ambientale” nei confronti di uno sviluppo sostenibile alla disponibilità dei mezzi fisici ed economici per attuarlo; l'analisi di questi e di numerosi altri parametri e dei loro effetti visibili esula da questo lavoro, e quindi saranno fatti brevi cenni alle esperienze più significative.

A livello nazionale dall'ultimo proprietario il veicolo viene ceduto all'autodemolitore che rimuove selettivamente i componenti ancora funzionanti per i quali esiste un mercato dell'usato. Dopo le fasi di smontaggio, la carcassa del VFV viene inviata all'impianto di frantumazione in cui vengono recuperati altri materiali, per lo più metallici, la cui quantità e qualità dipende dalle caratteristiche del VFV, dalla tecnologia adottata nell'impianto e da fattori puramente economici. I restanti materiali ovvero l'ASR (circa il 25% dei VFV) sono costituiti da rifiuti misti, che vengono di norma smaltiti in discarica.

Le tecnologie disponibili al momento non consentono di raggiungere i livelli di recupero imposti dalla normativa. La natura complessa dell'ASR lo rende un rifiuto difficile da trattare, ma interessante quale fonte di materie prime secondarie di medio-elevato valore; l'adozione di nuove forme di trattamento al fine del recupero di materia e di energia è necessaria per il raggiungimento dei livelli imposti dalla normativa.

### 1.1 Il mercato dei veicoli in Italia

#### 1.1.1 La produzione e l'immatricolazione di veicoli

Il settore automobilistico rappresenta una larga fetta dell'industria manifatturiera; secondo l'Associazione dei Costruttori Europei di Autoveicoli – ACEA [1] sono state prodotte nei 27 Paesi dell'Unione Europea (UE-27) rispettivamente:

- 17.100.000 autovetture (2007)
- 15.950.000 autovetture (2008)
- 13.900.000 autovetture (2009)
- 11.300.000 autovetture (primi 9 mesi 2010).

In Italia, secondo ACEA ed ACI [2], sono state prodotte rispettivamente:

- 910.800 autovetture (2007)
- 659.200 autovetture (2008)
- 661.100 autovetture e altri mezzi per un totale complessivo di circa 1,3 milioni di unità (2009).

Dall'esame dei valori sopra riportati si riscontra una contrazione nella produzione per l'anno 2009, rispettivamente del 18,7% a livello europeo e del 27,4% a livello nazionale rispetto ai livelli del 2007.

Viene riportato in *tabella 1.1* il quadro nazionale, secondo ACI, riguardante la produzione dei veicoli a partire dal 2000 fino al 2009 suddiviso per categorie.

Viene inoltre riportato in *tabella 1.2* il quadro nazionale riguardante l'immatricolazione dei veicoli per gli anni dal 2000 al 2009, dal cui esame si osserva che nel nostro Paese sono stati immatricolati nel 2009, secondo ACI, oltre 2,1 milioni di autovetture ed altri mezzi per un totale complessivo di circa 2,8 milioni di unità.

**Tabella 1.1 – Numero di veicoli prodotti in Italia suddivisi per categoria**

Anno	Ciclomotori	Motocicli	Autovetture	Autobus	Veicoli trasporto merci	Totale
2000	492.161	504.428	1.422.284	3.580	313.179	2.735.632
2001	316.961	308.885	1.271.762	2.212	304.636	2.204.456
2002	320.000	416.500	1.125.769	2.597	298.681	2.163.547
2003	291.000	406.000	1.026.454	2.850	292.005	2.018.309
2004	245.000	440.500	833.578	3.076	305.451	1.827.605
2005	205.500	489.500	725.528	3.459	309.365	1.733.352
2006	174.000	528.500	892.502	2.867	316.225	1.914.094
2007	190.000	502.500	910.860	1.449	372.003	1.976.812
2008	171.000	470.000	659.221	1.344	363.209	1.664.774
2009	110.000	366.000	661.100	1.004	181.135	1.319.239

Fonte: ACI [2]

**Tabella 1.2 – Numero di veicoli immatricolati in Italia suddivisi per categoria**

Anno	Motocicli	Motocarri	Autovetture	Autobus	Autocarri		Motrici	Altro	Totale
					Merci	Speciali			
2000	486.447	5.287	2.361.075	5.023	206.059	27.537	11.353	30.527	3.133.308
2001	429.132	5.248	2.384.695	5.464	211.301	28.232	11.282	32.052	3.107.406
2002	384.844	4.595	2.235.947	5.114	261.416	31.030	10.639	32.954	2.966.539
2003	395.002	4.190	2.296.066	4.285	240.892	32.534	10.588	32.340	3.015.897
2004	465.089	4.163	2.497.862	4.733	243.816	33.869	11.725	26.346	3.287.603
2005	432.939	2.892	2.238.344	5.174	210.836	33.670	12.296	27.316	2.963.467
2006	448.401	2.601	2.353.249	5.184	227.258	32.878	13.142	28.653	3.111.366
2007	434.662	2.445	2.514.905	4.182	231.184	33.976	13.605	31.269	3.266.228
2008	404.454	2.262	2.193.570	4.342	221.904	33.628	13.774	29.925	2.903.859
2009*	407.237	1.902	2.177.601	3.451	171.186	26.334	7.589	19.089	2.814.389

Fonte: ACI [2]

\* Valori aggiornati a maggio 2010

### 1.1.2 Il parco di veicoli circolanti

Nel 2009 circolavano in Italia, secondo ACI, circa 36,3 milioni di autovetture ed altri mezzi per un totale di circa 48 milioni di unità. Viene riportato in *tabella 1.3* il quadro nazionale riguardante i veicoli circolanti a partire dal 2000 fino al 2009.

Viene inoltre riportato, in *tabella 1.4*, il quadro nazionale riguardante la consistenza del parco autovetture circolanti secondo l'età per gli anni 2000, 2005 e 2009.

I dati sulla consistenza del parco autovetture circolanti secondo l'età per l'anno 2009 mostrano un elevato numero di autoveicoli di età superiore ai dieci anni (circa il 62,6% del parco circolante); si può rilevare, inoltre, che nel periodo tra il 2000 e il 2009 il numero delle autovetture circolanti sia aumentato dell'11,6% circa.

**Tabella 1.3 – Numero di veicoli circolanti in Italia suddivisi per categoria**

Anno	Motocicli	Motocarri	Autovetture	Autobus	Autocarri		Motrici	Altro	Totale
					Merci	Speciali			
2000	3.375.782	390.097	32.583.815	87.956	2.971.050	406.523	115.958	812.596	40.743.777
2001	3.732.306	382.149	33.239.029	89.858	3.110.317	431.228	124.149	827.591	41.936.627
2002	4.049.592	375.313	33.706.153	91.716	3.297.260	454.340	132.622	843.330	42.950.326
2003	4.375.947	370.751	34.310.446	92.701	3.450.903	483.027	139.402	855.758	44.078.935
2004	4.574.644	342.739	33.973.147	92.874	3.502.633	512.979	142.413	809.478	43.950.907
2005	4.938.359	344.827	34.667.485	94.437	3.637.740	541.919	148.173	812.161	45.185.101
2006	5.288.818	310.555	35.297.282	96.099	3.763.093	568.654	151.704	852.939	46.329.144
2007	5.590.259	305.590	35.680.097	96.419	3.842.995	594.643	153.912	867.432	47.131.347
2008	5.859.094	300.890	36.105.183	97.597	3.914.998	619.706	157.007	882.463	47.936.938
2009	6.118.098	296.104	36.371.790	98.724	3.944.782	639.428	157.807	408.345	48.035.078

Fonte: ACI [2]

**Tabella 1.4 – Numero di autovetture circolanti in Italia suddivise per l'età**

Età	2000			2005			2009		
	Anni	Benzina	Gasolio	Totale	Benzina	Gasolio	Totale	Benzina	Gasolio
0-1	1.461.835	755.791	2.217.769	941.162	1.353.625	2.294.815	1.265.869	950.977	2.216.894
1-2	1.692.516	725.706	2.418.366	1.281.049	1.413.219	2.384.914	1.086.676	1.131.132	2.217.942
2-3	1.868.119	562.962	2.431.152	1.196.016	1.183.836	2.380.105	1.121.718	1.443.943	2.565.723
3-4	1.987.936	428.965	2.417.049	1.355.538	1.040.363	2.396.144	989.642	1.397.792	2.387.514
4-5	1.424.895	277.457	1.702.407	1.577.890	911.092	2.489.171	936.668	1.329.606	2.266.314
5-6	1.503.633	158.488	1.662.139	1.614.170	835.513	2.449.865	946.961	1.331.746	2.278.974
6-7	1.462.454	128.087	1.590.562	1.614.107	687.197	2.301.435	1.148.529	1.087.963	2.236.704
7-8	1.461.868	116.355	1.578.269	1.754.784	523.973	2.278.819	1.278.286	934.928	2.213.432
8-9	2.044.041	149.078	2.193.354	1.837.102	391.609	2.228.838	1.454.238	793.702	2.248.100
9-10	1.894.351	90.946	1.985.355	1.259.418	245.244	1.504.709	1.456.873	705.066	2.162.095
10-11	1.794.618	104.106	1.898.814	1.177.742	134.942	1.416.006	1.314.152	536.361	1.850.627
11-12	1.595.867	163.386	1.759.370	971.315	103.197	1.280.955	1.352.765	383.271	1.736.067
12-13	1.239.549	201.952	1.441.581	1.082.201	86.509	1.168.737	1.339.197	271.213	1.610.511
13-14	918.486	205.641	1.124.189	1.320.783	102.562	1.423.427	805.824	156.030	961.889
14-15	723.029	166.671	889.762	982.704	56.432	1.039.156	762.203	82.697	844.916
15-16	584.729	144.819	729.596	846.796	61.787	908.612	651.539	60.830	712.382
16-17	467.587	121.978	589.614	696.238	88.541	784.842	562.518	49.353	611.886
17-18	404.325	73.681	478.050	503.631	107.691	611.349	660.895	59.170	720.105
18-19	334.356	69.918	404.326	360.701	107.913	468.628	487.915	39.797	527.730
19-20	309.944	55.020	365.010	272.817	88.056	360.894	429.752	45.357	475.129
Oltre 20	2.601.386	96.502	2.707.081	2.201.216	287.592	2.496.064	2.944.942	574.832	3.526.856
<b>Totale</b>	<b>27.775.524</b>	<b>4.797.509</b>	<b>32.583.815</b>	<b>24.847.380</b>	<b>9.810.893</b>	<b>34.667.485</b>	<b>22.997.162</b>	<b>13.365.766</b>	<b>36.371.790</b>

Fonte: ACI [2]

## 1.2 La demolizione e il trattamento dei veicoli a fine vita

### 1.2.1 La radiazione

In Italia sono state radiate<sup>2</sup> nel 2009, secondo ACI [2], circa 1,9 milioni di autoveicoli ed altri mezzi per un totale complessivo di circa 2,2 milioni di unità, destinate al trattamento per il recupero di materiali potenzialmente riciclabili (metalli, plastiche ecc.). Viene riportato in *tabella 1.5* il quadro nazionale riguardante la situazione dei veicoli radiati a partire dal 2000 fino al 2009.

Tabella 1.5 – Numero di veicoli radiati in Italia per categoria

Anno	Motocicli	Motocarri	Autoveicoli	Autocarri	Motrici	Altro	Totale
2000	82.345	14.521	1.823.466	84.306	2.895	17.465	2.024.998
2001	67.670	14.921	1.784.711	87.091	4.217	18.291	1.976.901
2002	61.372	13.811	1.868.470	98.783	4.276	23.867	2.070.579
2003	59.427	13.882	1.806.322	113.290	5.112	23.331	2.021.364
2004	64.975	13.018	1.774.016	114.575	7.027	22.188	1.995.799
2005	68.482	11.361	1.701.469	112.040	7.877	20.740	1.921.969
2006	81.701	9.606	1.784.147	122.079	10.166	17.822	2.025.521
2007	119.054	9.707	2.193.085	160.709	11.801	16.404	2.510.760
2008	125.217	8.841	1.796.898	152.908	10.863	16.304	2.111.031
2009*	141.652	7.197	1.950.664	143.415	7.353	13.918	2.264.199

Fonte: ACI [2]

\* Valori aggiornati a maggio 2010

### 1.2.2 Il sistema di rottamazione

Nell'autunno 2001, a seguito delle richieste avanzate da alcune imprese del comparto di dar vita a un progetto integrato di recupero per l'individuazione e lo sviluppo di sinergie tra le filiere del riciclo rappresentate da FISE (Federazione Italiana Imprese di Servizi), è nato il Gruppo Autodemolitori che, dopo la creazione di UNIRE, nel 2007 ha costituito ASSODEM (Associazione dei demolitori di autoveicoli). L'associazione è formata da poco meno di un centinaio di aziende che gestiscono centri di raccolta e svolgono attività di demolizione, riciclo e recupero dei VFV.

Il monitoraggio annuale effettuato da ISPRA [1.3] sull'intero ciclo di gestione della rottamazione dei VFV mostra la presenza di un numero elevato di impianti, denominati nel seguito IAD (impianti di autodemolizione).

L'analisi dei dati rileva che, nel 2008, è diminuito il numero degli impianti di rottamazione operativi: si è passati dai 1.421 impianti del 2004 ai 1.313 del 2008. Del totale degli impianti, 620 sono situati al Nord (47,2% del totale), 241 al Centro (18,4%), 452 al Sud (34,4%). In totale, negli impianti censiti, sono state trattate circa 1,06 milioni di tonnellate di VFV, circa 68 mila tonnellate in più rispetto al 2004.

Nella *tabella 1.6* viene indicata la distribuzione, per macroarea geografica, degli impianti con le relative quantità trattate per gli anni dal 2004 al 2008.

<sup>2</sup> La demolizione di un veicolo non può essere effettuata "in proprio", ma è richiesta la consegna del mezzo ad un centro di raccolta autorizzato ovvero che esso venga ceduto a un rivenditore (concessionario, automercato ecc.).

**Tabella 1.6 – Distribuzione degli impianti di rottamazione per macroarea geografica**

Anno	2004		2005		2006		2007		2008	
	N° im-pianti	t								
Nord	676	597.052	712	558.769	667	571.256	665	650.372	620	472.360
Centro	284	234.848	298	228.177	281	252.512	283	269.609	241	204.380
Sud	461	301.903	479	312.649	440	355.328	459	445.573	452	389.220
<b>Italia</b>	<b>1.421</b>	<b>1.133.803</b>	<b>1.489</b>	<b>1.099.595</b>	<b>1.388</b>	<b>1.179.096</b>	<b>1.407</b>	<b>1.365.554</b>	<b>1.313</b>	<b>1.065.960</b>

Elaborazione ENEA su fonte APAT e ISPRA [3]

Per quanto riguarda invece le attività di frantumazione, l'Associazione Industriale Riciclatori Auto (AIRA), nata nel 2001, raggruppa le aziende addette alla frantumazione dei VFV e di altri rottami metallici, denominate nel seguito IFA. L'associazione raggruppa aziende di svariati tipi e dimensioni che vanno dalla grande acciaieria, agli operatori a livello nazionale nel campo della rottamazione, a medie realtà locali. Tali attività operano la riduzione in frammenti delle carcasse in un mulino con recupero dei materiali ferrosi; il rifiuto prodotto, denominato ASR, è costituito dal residuo non metallico (plastiche, imbottiture, gomma, vetro, vernici, materiali isolanti, guarnizioni ecc.) il cui smaltimento rappresenta uno dei maggiori problemi della filiera.

Gli impianti di frantumazione operativi in Italia, nel 2008, sono 36, per la maggior parte localizzati nel Nord del Paese. Nella *tabella 1.7* viene indicata la loro distribuzione, per macroarea geografica e relative quantità trattate.

Il quantitativo dei rottami provenienti dalla messa in sicurezza dei VFV in ingresso a tali impianti ammonta, per l'anno 2008, a circa 900.000 tonnellate di cui circa 653.000 tonnellate di materiali ferrosi recuperati e circa 222.000 tonnellate (circa il 25%) di ASR.

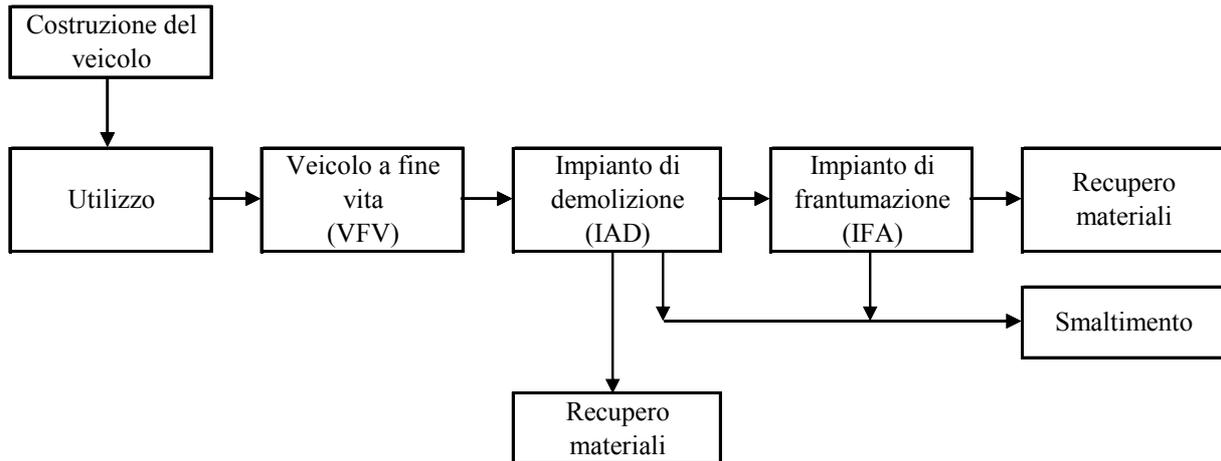
**Tabella 1.7 – Distribuzione degli impianti di frantumazione per macroarea geografica (2008)**

Macroarea geografica	Impianti	Veicoli trattati DLgs 209/2003	Materiale ferroso recuperato	ASR prodotto
	N°	t	t	t
Nord	22	520.243	396.641	123.602
Centro	5	195.404	152.822	42.582
Sud	9	159.447	103.669	55.778
<b>Italia</b>	<b>36</b>	<b>875.094</b>	<b>653.132</b>	<b>221.962</b>

Elaborazione ENEA su fonte ISPRA [3]

Ogni autoveicolo, come ogni altro bene di consumo, viene prodotto, immesso nel mercato ed utilizzato fino al raggiungimento della fine vita e conseguentemente destinato alla rottamazione (*figura 1.1*).

Figura 1.1 – Diagramma del ciclo di vita degli autoveicoli



Elaborazione ENEA

### 1.2.3 L'impianto di demolizione

La prima fase nel ciclo della demolizione di un veicolo che viene dismesso, dopo gli adempimenti amministrativi, è lo stoccaggio nell'impianto di demolizione (IAD).

In passato i VFV venivano stoccati senza alcuna precauzione né alcuna operazione di bonifica preventiva. Infatti tutto ciò che non era riutilizzabile come componente di ricambio, veniva a costituire un rifiuto da smaltire.

Attualmente un IAD, secondo la normativa di settore, deve ottemperare a precise regole per ragioni legate agli impatti sull'ambiente, al risparmio energetico ed alla sicurezza sul lavoro.

Secondo la normativa vigente è previsto che negli IAD siano eseguite le seguenti operazioni:

- smontaggio dei componenti riutilizzabili (da destinare al mercato dell'usato);
- recupero dei materiali riciclabili;
- asportazione dei componenti potenzialmente pericolosi per l'ambiente;
- compattazione della carcassa;
- stoccaggio provvisorio dei rifiuti prodotti.

Il trattamento dei VFV è finalizzato a suddividere i componenti per tipologia e caratteristiche e secondo la destinazione finale. In questa fase vengono smontate dal veicolo le parti di pregio suscettibili di un reimpiego diretto per l'uso originario, classificabili come ricambi usati, e selezionati i materiali da avviare al recupero e/o riciclaggio (plastiche, vetro, pneumatici ecc.). I materiali da avviare al riciclaggio sono prevalentemente identificabili nei rottami metallici, che vengono selezionati secondo un criterio di valorizzazione commerciale.

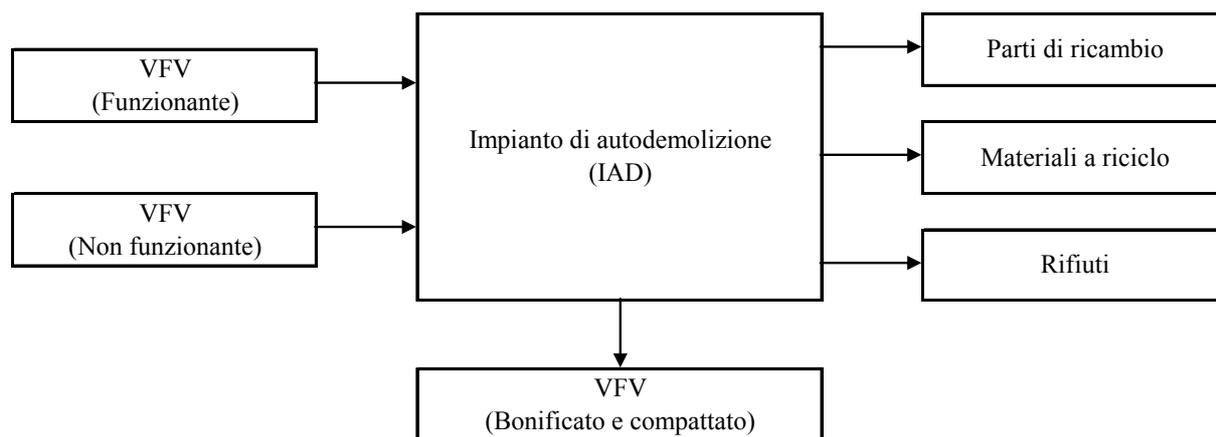
Viene quindi privilegiata la separazione dei cosiddetti "rottami pesanti" che fanno capo ai componenti principali (telaio, organi di trasmissione ed altre parti meccaniche) che hanno un valore economico più elevato rispetto ai "rottami leggeri" a cui appartengono le carcasse ed altri componenti della carrozzeria.

Particolare attenzione viene rivolta alla separazione del blocco motore/cambio in quanto componente costituito anche da metalli non ferrosi e, quindi, di maggior pregio.

Tutti i metalli non ferrosi (alluminio, rame ecc.), presenti singolarmente o misti in alcuni componenti (radiatori, marmitte catalitiche, cerchi in lega, parti elettriche e meccaniche ecc.), sono soggetti a circuiti specifici per il riciclaggio.

I vetri vengono conferiti alle aziende di riciclaggio, senza necessità di separazione tra le varie tipologie (colori diversi e vetri atermici o accoppiati).

**Figura 1.2 – Schema di principio di un impianto di autodemolizione**



Elaborazione ENEA

La normativa interviene anche sullo stoccaggio delle parti recuperate dai VFV ai fini del riutilizzo. Infatti, una loro cattiva gestione e conservazione può renderli inutilizzabili e conseguentemente generare altri rifiuti. Lo schema di principio di uno IAD è riportato in *figura 1.2*.

Un VFV può arrivare allo IAD nelle seguenti due condizioni:

- funzionante;
- non funzionante in quanto ha subito un danno non riparabile (o la cui riparazione risulta meno conveniente della sostituzione).

Dopo l'arrivo deve essere sottoposto alle operazioni di bonifica. I componenti potenzialmente pericolosi per l'ambiente e quelli che possono creare problemi nelle successive operazioni finalizzate al riciclo, vengono rimossi e stoccati in condizioni di sicurezza mentre i rifiuti prodotti vengono inviati a strutture specifiche per il loro smaltimento.

Nella *tabella 1.8* è riportata la composizione merceologica media di un'autovettura.

**Tabella 1.8 – Composizione merceologica media di un'autovettura**

<b>Materiale</b>	<b>%</b>	<b>kg</b>
Acciaio	59,0	620
Zinco, rame, magnesio, piombo	2,0	21
Gomma	5,6	59
Ghisa	6,4	67
Alluminio	8,0	84
Plastica	9,3	98
Adesivi e vernici	3,0	32
Vetro	2,9	30
Tessili	0,9	9
Fluidi	0,9	9
Miscellanea	2,0	21
<b>Totale autovettura</b>	<b>100</b>	<b>1.050</b>

Elaborazione ENEA su fonte APAT [4]

Le operazioni di bonifica prevedono l'aspirazione di sostanze presenti nel veicolo e la rimozione di componenti.

La rimozione dei liquidi riguarda:

- il carburante;
- il liquido refrigerante<sup>3</sup>;
- il liquido lavavetri<sup>4</sup>;
- l'olio lubrificante<sup>5</sup>;
- il fluido del sistema frenante<sup>6</sup>;
- il fluido refrigerante<sup>7</sup>.

Tali sostanze devono essere opportunamente stoccate separatamente in serbatoi dedicati in attesa dell'invio in strutture specializzate al loro smaltimento/riciclaggio.

La rimozione di questi liquidi non è condizione sufficiente per la messa in sicurezza del mezzo in quanto il VFV contiene altri dispositivi ad elevato impatto ambientale.

Le operazioni di bonifica prevedono, infatti, lo smontaggio e la rimozione dei seguenti componenti:

- il motore, cambio, il differenziale, i dispositivi meccanici ecc.;
- il serbatoio del carburante<sup>8</sup> (liquido, GPL, metano);
- l'airbag e il dispositivo che regola il bloccaggio delle cinture di sicurezza<sup>9</sup>;
- gli accumulatori contenenti piombo<sup>10</sup>;
- i condensatori contenenti PCB;
- i filtri (olio<sup>11</sup>, carburante, aria ecc.);
- gli interruttori di accensione;
- i sistemi di antibloccaggio dei freni;
- i fari a vapori di mercurio e altri elementi contenenti mercurio;
- le pastiglie e i ceppi dei freni;
- i cristalli anteriore e posteriore e i fanali<sup>12</sup>;

---

<sup>3</sup> Il liquido refrigerante è costituito da una soluzione di glicole monoetilenico al 35-50%. Il suo utilizzo è dovuto all'alto punto di ebollizione (197,5 °C), al basso punto di congelamento e all'elevata solubilità in acqua. A causa dei suoi effetti tossici la sua rimozione è necessaria indipendentemente dal suo grado di diluizione.

<sup>4</sup> La rimozione del liquido di lavaggio dei vetri viene eseguita per aspirazione direttamente dal serbatoio.

<sup>5</sup> L'olio esausto viene consegnato al Consorzio Obbligatorio degli Oli Usati (COOU), istituito per legge nel 1982 ed operativo dal 1984, che tramite la propria rete svolge la raccolta e il successivo conferimento presso impianti di trattamento e di riciclo.

<sup>6</sup> Il liquido dei freni è costituito da una miscela di poliglicoli, poliglicoleteri ed esteri borici di poliglicoleteri, la sua estrazione avviene mediante la sua aspirazione dal serbatoio e attraverso lo svuotamento del circuito.

<sup>7</sup> Il refrigerante utilizzato per il condizionamento dell'aria (generalmente R12, fluido dannoso per l'ambiente, se rilasciato in atmosfera, o R34A, dannoso per chi lo manipola inopportuno) deve essere rimosso secondo le seguenti modalità:

- mediante dispositivi aspiranti operanti in circuito chiuso in modo da evitare rilasci in atmosfera;
- la rimozione del gruppo di compressione deve avvenire senza alcuna perdita di olio lubrificante;
- la bonifica del gruppo di compressione dall'olio lubrificante deve avvenire in un apposito impianto.

<sup>8</sup> La rimozione del serbatoio e l'eventuale adeguamento volumetrico per il recupero è possibile soltanto dopo la sua messa in sicurezza. Essa consiste nell'eliminazione di ogni residuo infiammabile collegando il serbatoio mediante condotte flessibili ad un bruciatore per la combustione dei residui e successiva bonifica mediante l'immissione di un gas inerte.

<sup>9</sup> Il dispositivo di bloccaggio delle cinture di sicurezza e l'airbag contengono una miscela esplosiva e quindi da trattare e smaltire con opportune cautele.

<sup>10</sup> Gli accumulatori contenenti piombo vengono consegnati al Consorzio Nazionale Batterie Esauste (COBAT), che tramite la propria rete svolge la raccolta e il successivo conferimento presso impianti di trattamento e di riciclo.

<sup>11</sup> I filtri dell'olio, dopo una prima scolatura per gravità, sono aperti e lavati utilizzando un solvente (pentano). Al fine di evitare lo sversamento di olio dal foro di smontaggio del filtro, vengono utilizzati degli appositi tappi.

- i pneumatici<sup>13</sup>;
- i catalizzatori<sup>14</sup>.

Una volta bonificato il VFV e rimosse le parti riutilizzabili, il sistema di compattazione consente di ridurre notevolmente la volumetria.

Tale operazione conferisce al VFV una forma, chiamata “pacco carrozzeria”, che permette di ottimizzarne il trasporto e lo stoccaggio presso l’impianto di frantumazione e proseguire nella filiera del riciclaggio.

In ingresso all’impianto di frantumazione, oltre ai pacchi carrozzeria, nulla vieta la presenza anche di carcasse di elettrodomestici<sup>15</sup> (caldaie, lavatrici, lavastoviglie ecc.) e anche di scatole per impiego alimentare.

Le proprietà merceologiche dei pacchi carrozzeria in ingresso alla frantumazione sono fortemente variabili in funzione dell’età del veicolo, delle convenienze di mercato e della normativa vigente, oltre che delle operazioni di bonifica, recupero e riciclo eseguite prima della compattazione del mezzo.

La rottura di uno o più circuiti di alimentazione dei fluidi in un VFV può causare la fuoriuscita degli stessi e la contaminazione di altre parti, in particolar modo di quelle assorbenti, come la tappezzeria e le imbottiture.

Tali operazioni vengono svolte in un’ottica di mercato e quindi oltre che possibili devono risultare anche economicamente convenienti. La rimozione manuale di un cristallo o dei fanali andati in frantumi o di pneumatici bruciati ed aderiti alla carrozzeria è possibile ma sicuramente non conveniente. Le sostanze che non vengono rimosse dall’autodemolitore possono ritrovarsi nella carcassa e quindi, dopo la frantumazione nelle materie prime, nell’ASR.

#### 1.2.4 L’impianto di frantumazione

L’operazione di frantumazione consiste nella triturazione del pacco carrozzeria in impianti costituiti da un mulino a martelli e altre apparecchiature ausiliarie. Questa operazione consente di selezionare e separare i metalli ferrosi, metalli non ferrosi e scarti non metallici.

Alle aziende aderenti all’AIRA confluisce la quasi totalità del flusso dei VFV con una produzione di circa 653.000 t/a (tonnellate per anno) di rottame ferroso frantumato, che rappresenta un’importante quota del fabbisogno dell’industria siderurgica nazionale.

Il materiale<sup>16</sup> giunge all’impianto di frantumazione di norma trasportato da grossi mezzi di trasporto e, tramite una pesa, viene rilevato il peso in ingresso e in uscita dall’impianto, così

---

<sup>12</sup> I componenti vetrosi e poliaccoppiati, vengono macinati, la frazione ottenuta viene conferita alle piattaforme autorizzate che provvedono ai trattamenti necessari per la produzione di materiale riciclabile da avviare alle vetrerie.

<sup>13</sup> I pneumatici possono essere riutilizzati, riprocessati, riciclati o recuperati. Il riutilizzo tramite ricostruzione viene effettuato solo previa verifica delle sue caratteristiche strutturali; in caso contrario viene avviato a recupero di materia e/o energia, oppure smaltito. Va, tuttavia, rilevato che il DLgs 36/2003 ha posto il divieto di smaltimento in discarica di pneumatici interi fuori uso a partire già dal 16 luglio 2003, mentre per quelli triturati il divieto decorre già a partire dal 16 luglio 2006.

<sup>14</sup> Il catalizzatore della marmitta è costituito da un’anima di materiale ceramico a nido d’ape, sulla superficie di contatto (circa 15.000 m<sup>2</sup>) con i gas di combustione è presente uno strato di metalli preziosi (1 g di rodio, 6 g di platino, 6 g di palladio). Il recupero di quantità così ridotte di metalli preziosi viene giustificato dal loro prezzo di mercato.

<sup>15</sup> Diversamente alcuni tipi di elettrodomestici come i frigoriferi non possono essere accettati in un impianto di frantumazione, per via del gas di refrigerazione in essi contenuto, la cui rimozione e smaltimento viene eseguita presso strutture idonee.

<sup>16</sup> È il caso dei pacchi carrozzeria, come definiti dal codice CER 1601106 “veicoli fuori uso non contenenti liquidi né altre sostanze pericolose”, carcasse o pacchi carrozzerie, se pressati.

da poterne determinare il peso netto; è anche presente all'accettazione un sensore per il rilevamento della radioattività<sup>17</sup>.

Negli impianti di frantumazione, a seguito delle fasi di prefrantumazione e di frantumazione, è possibile separare circa il 75-80% dei materiali metallici e reinserirli nella filiera produttiva; la quota restante è costituita dall'ASR.

In Italia vengono prodotti e smaltiti circa 222.000 t/a di ASR (*tabella 1.7*), quasi tutto smaltito in discarica. L'ASR rientra in generale tra i rifiuti aventi un PCI superiore ai 13.000 kJ/kg e quindi soggetto a restrizioni riguardo lo smaltimento in discarica.

#### 1.2.4.1 La prefrantumazione

I pacchi carrozzeria, una volta scaricati dal mezzo di trasporto, vengono alimentati al sistema di prefrantumazione dell'impianto.

L'operatore tramite un ragno preleva il pacco carrozzeria e durante il sollevamento lo sottopone ad un esame visivo. I VFV non correttamente bonificati possono contenere ancora il serbatoio del carburante, la cui presenza potrebbe provocare delle esplosioni, con relativi danni all'impianto di frantumazione. La difficoltà di stabilire, a valle della compattazione, la corretta esecuzione delle operazioni di bonifica, obbliga gli operatori a mettersi nella condizione peggiore e a considerare il VFV come non correttamente bonificato; si procede pertanto all'operazione di divaricazione del pacco carrozzeria, che viene eseguita sollevandolo e lasciandolo in caduta libera sopra un'incudine posta a terra. Questo tipo di operazione ripetuta più volte, consente non solo di aprire il pacco, ma soprattutto, in presenza di serbatoi non completamente vuoti, provoca la fuoriuscita del combustibile senza arrecare danni a persone o macchinari.

Successivamente il pacco carrozzeria viene alimentato al prefrantumatore dove, venendo a contatto con un cilindro dentato posto in lenta rotazione, è costretto a passare attraverso gli interstizi esistenti tra i denti dell'albero e quelli del pettine. Il premacinatore, a differenza del mulino, non riduce in frammenti il materiale che viene così soltanto sfilacciato dal moto relativo degli ingranaggi. Quando il rottame passa tra il cilindro e il pettine viene generata una pressione sulle superfici, che agisce sul pettine, montato su di un cilindro oleodinamico, facendolo indietreggiare, con conseguente aumento della sezione di passaggio e riduzione della pressione e quindi della potenza richiesta al motore; tale accortezza consente di ridurre i picchi di potenza. Con la fase di prefrantumazione si hanno i seguenti vantaggi:

- ottimizzare i consumi energetici del processo di frantumazione;
- una richiesta di potenza costante ed uniforme durante la frantumazione;
- evitare i picchi di assorbimento di potenza da parte del mulino;
- fornire al mulino un materiale omogeneizzato;
- aumentare sensibilmente la vita utile del mulino;
- ridurre la possibilità di esplosioni all'interno del mulino<sup>18</sup>.

#### 1.2.4.2 La frantumazione

La frantumazione è costituita da una serie di trattamenti, finalizzati all'ottenimento di materie prime secondarie da reinserire nel ciclo produttivo.

---

<sup>17</sup> Il controllo radioattivo risulta comunque possibile ed obbligatorio, in quanto la frantumazione di una vettura contenente materiale radioattivo contaminerebbe l'intera frazione di materiale uscente.

<sup>18</sup> Le bombole del GPL hanno una resistenza meccanica superiore rispetto alla carrozzeria del veicolo nei confronti delle sollecitazioni imposte dal premacinatore; inoltre gli interstizi presenti tra le dentature di pettine e cilindro sono sufficientemente larghi da consentirne il passaggio.

Tali operazioni hanno un peso rilevante sulle caratteristiche sia della frazione riutilizzabile, sia dell'ASR che contiene anche i materiali metallici che il trattamento non è riuscito a separare.

Si deve tener conto, inoltre, dell'effetto che il materiale trattato ha su alcune parti dell'impianto che vengono letteralmente "erose", confluendo anch'esse nel materiale in uscita e nell'ASR; i martelli del mulino di frantumazione e la corazza interna sono infatti componenti soggetti a notevole usura<sup>19</sup>.

La quota percentuale dell'ASR è funzione del materiale in ingresso e delle caratteristiche dell'impianto di frantumazione. Generalmente il 70-80% del materiale in ingresso viene riciclato, mentre il 20-30% è costituito da materiali di scarto, tra cui l'ASR.

L'impianto di frantumazione è costituito in linea di massima dalle apparecchiature di seguito descritte.

#### Mulino a martelli

È un'apparecchiatura impiegata per frantumare pacchi carrozzeria ed altri rottami metallici già pretriturati.

Il materiale alimentato tramite una tramoggia incontra un cilindro dentato che apre il pacco carrozzeria e lo comprime; il cilindro successivo ha il compito di regolare la portata di materiale in ingresso al mulino. Il sistema rotante del mulino (rotore) è costituito da un insieme di dischi paralleli, nei quali esiste, in senso assiale, un'intercapedine all'interno della quale sono montati i martelli in grado di ruotare intorno al proprio asse.

I martelli posti in rapida rotazione escono dalla loro sede per forza centrifuga e colpiscono ripetutamente il pacco carrozzeria, frantumandolo; i frammenti di pezzatura ridotta passano attraverso le griglie presenti sulla corazza, mentre i rottami di dimensioni più elevate, permanendo all'interno della camera, proseguono il processo di frantumazione.

Il materiale frantumato in uscita dal mulino è pertanto di pezzatura inferiore all'apertura delle griglie ed è formato da un insieme di frammenti eterogenei, sia da un punto di vista merceologico, sia per pezzatura.

#### Classificatore ad aria

Il materiale in uscita dal mulino viene inviato, tramite un nastro trasportatore, ad un classificatore ad aria per la separazione della frazione leggera da quella pesante.

Il materiale cade lungo un condotto, mentre una corrente d'aria ascendente lo investe in controcorrente che trascina la frazione leggera fino ad un sistema di filtraggio. La frazione pesante<sup>20</sup> scende lungo il condotto fino ad una tavola vibrante che la distribuisce lungo la sua larghezza e ne uniforma il flusso per farla confluire ad un separatore magnetico per l'intercettazione dei metalli ferrosi.

#### Classificazione manuale

Il materiale ferroso viene sottoposto a una selezione manuale che consente di separare quelle frazioni che l'operazione di frantumazione del mulino non è riuscita a dividere completamente. Il materiale ferroso dopo la classificazione manuale prende il nome di "proler"<sup>21</sup> e viene destinato a recupero come materia prima per gli impianti siderurgici.

---

<sup>19</sup> Si stima un Tempo Medio di Funzionamento (TMF) di circa 2 settimane.

<sup>20</sup> In tale frazione sono presenti grandi quantità di metalli ferrosi e non ferrosi, plastiche, schiume polimeriche vetro, tessuti ecc.

<sup>21</sup> Il proler originato dalle operazioni di frantumazione, al fine del successivo utilizzo come materia prima secondaria per impianti metallurgici, deve rispettare quanto prescritto al punto 3.1.3 dell'allegato 1, sub allegato 1 al DM 5 febbraio 1998 che disciplina il recupero dei rifiuti non pericolosi. In particolare, il recupero di detto rifiuto in impianti metallurgici [R4] è subordinato alla "selezione, al trattamento a secco o a umido per l'eliminazione di materiali e/o di sostanze estranee in conformità alle seguenti caratteristiche":

### Vaglio rotante

Il materiale in uscita dal separatore magnetico, costituito da un insieme di metalli non ferrosi, gomme e plastiche, viene inviato ad una linea di trattamento dedicata costituita da una fase di vagliatura, cui segue un sistema di separazione dei metalli non ferrosi tramite correnti parassite.

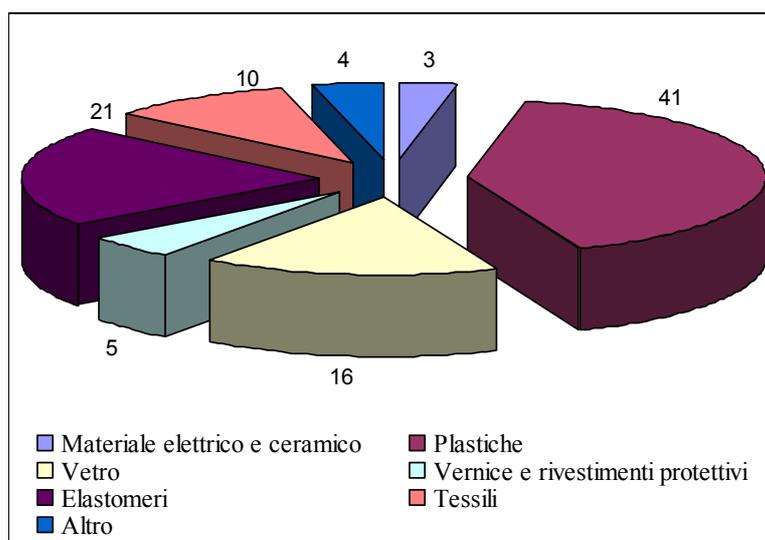
Il vaglio è costituito da un cilindro rotante realizzato in lamiera forata la cui velocità di rotazione e l'inclinazione sono regolabili. Il vaglio può separare più frazioni in funzione delle dimensioni delle aperture presenti nelle varie sezioni che lo costituiscono.

Il vaglio rotante consente di dividere il flusso di materiale in varie correnti in funzione della loro diversa pezzatura; tali correnti verranno trattate da macchine a correnti parassite tarate per le specifiche granulometrie. Tramite tali apparecchiature è possibile ottenere la separazione dei metalli non ferrosi dallo scarto, per lo più costituito da plastiche e gomme.

### 1.3 Le caratteristiche dell'ASR

La composizione merceologica dell'ASR e le caratteristiche chimico-fisiche secondo Nourreddine [5], sono riportate rispettivamente in *figura 1.3* e *tabella 1.9*. A causa della complessità e delle possibili variazioni nella composizione merceologica dell'ASR e del polimero, ottenuto per separazione meccanica, durante alcune prove della durata di 6 mesi eseguite da Argonne [6], le *tabelle 1.10* e *1.11* mostrano delle differenze significative<sup>22</sup>.

Figura 1.3 – Composizione merceologica dell'ASR (%)



Fonte: Nourreddine [5]

- oli e grassi <0,1 % in peso;
- PCB e PCT < 25 ppb;
- inerti, metalli non ferrosi, plastiche, altri materiali indesiderati, max 1% in peso come somma totale;
- solventi organici < 0,1% in peso;
- polveri con granulometria < 10 µ non superiori al 10% in peso delle polveri totali;
- materiale non radioattivo ai sensi del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230.

Non devono essere presenti contenitori chiusi o non sufficientemente aperti, né materiali pericolosi infiammabili e/o esplosivi e/o armi da fuoco intere o in pezzi”.

<sup>22</sup> Per il residuo 1, i dati sono stati rilevati da un campione rappresentativo di una produzione di circa 11.000 tonnellate. Per il residuo 2, i dati sono stati rilevati da un campione rappresentativo di una produzione di circa 34.000 tonnellate.

**Tabella 1.9 – Caratteristiche chimico-fisiche dell’ASR**

Elemento o sostanza	U.M.	Valore	Elemento o sostanza	U.M.	Valore	Elemento o sostanza	U.M.	Valore
Carbonio	%	49,5	Potassio	%	0,7	Ferro	%	25,2
Idrogeno	%	5,3	Cromo	%	0,08	Titanio	%	0,9
Ossigeno	%	6,9	Rame	%	1,2	H <sub>2</sub> O	%	2,2
Azoto	%	4,5	Zinco	%	1,9	Ceneri	%	36,2
Cloro	%	0,5	Nichel	%	0,07	Sostanze volatili	%	54,18
Zolfo	%	0,2	Piombo	%	0,2	PCI	kJ/kg	16.720
Fosforo	%	0,05	Silicio	%	2,1	Densità	kg/m <sup>3</sup>	359

Fonte: Nourredine [5]

**Tabella 1.10 – Composizione merceologica dell’ASR (%)**

Materiale	ASR (Residuo 1)	ASR (Residuo 2)
Fini <6 mm	24	60
Polimero concentrato	36	14
Frazioni leggere di grossa pezzatura (schiume di poliuretano)	5	1
Frazioni pesanti di grossa pezzatura (metalli, inerti)	8	2
Frazioni leggere	6	2
Frazioni ricche di materiali ferrosi	1	1
Frazioni ricche di materiali non ferrosi	4	5
Perdite (umidità, polveri ecc.)	16	15
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Argonne [6]

**Tabella 1.11 – Composizione merceologica del tipo di polimero (%)**

Materiale	Residuo 1	Residuo 2	Materiale	Residuo 1	Residuo 2
<b>Gomme:</b>			<b>Altri Termoplastici:</b>		
Miscela di EPDM, pneumatici ecc.	46,8	27,8	Policarbonato	3,0	2,9
Poliuretano	3,6	2,1	Nylon	2,1	0,8
Poliiolefine			Polivinilcloro	1,9	3,4
Polipropilene	8,8	21,2	Polifenilene ossido (PPO)	0,7	0,4
Polietilene	7,6	8,7	Poliestere	0,5	0,0
<b>Stireni:</b>			Polimetil metacrilate (PMMA)	0,02	0,4
Polistirene	1,6	2,7	Altri polimeri	14,1	6,4
Acrilonitrile butadiene stirene (ABS)	4,5	7,8	<b>Non-polimeri:</b>		
Policarbonato/acrilonitrile butadiene stirene (PC/ABS)	0,7	0,6	Metalli	1,1	5,3
			Altro (Incluso legno)	3,3	7,8

Fonte: Argonne [6]



## 2. IL QUADRO DI RIFERIMENTO

### 2.1 La produzione e la gestione dell'ASR a livello europeo

Nel 2006, erano in circolazione nella UE-15 [7] quasi 200 milioni di autovetture e 30 milioni di veicoli commerciali. Si stima che, ogni anno, il 6,4% delle autovetture, circa 12,8 milioni di automobili venga rottamato. A valle dello smontaggio, del recupero di ricambi e del riciclo dei materiali si ritiene che circa il 20-25% della massa iniziale del VFV sia costituito dall'ASR, circa 1,9-2,3 milioni di tonnellate all'anno, la cui composizione merceologica riflette le caratteristiche delle varie generazioni di veicoli da cui è ottenuto. La discarica è la soluzione di smaltimento dell'ASR più utilizzata a livello europeo.

Il costo medio di smaltimento in Europa, secondo dati della Commissione Europea<sup>23</sup>, si attesterebbe sui 75 €/t, spaziando da un minimo di 30 €/t (Spagna, Europa centro-orientale) a circa 60 €/t (Italia, Francia, Gran Bretagna), fino a circa 100 €/t (Germania, Danimarca, Svezia).

Sia per quanto riguarda la perdita di risorse energetiche associata a questo tipo di smaltimento, sia per la questione degli effetti ambientali, a livello europeo vi sono diverse posizioni sullo smaltimento in discarica dell'ASR, principalmente a causa della sua possibile contaminazione da parte di composti pericolosi.

Attualmente la convenienza economica dei costi di smaltimento favorisce l'esportazione delle carcasse verso Stati membri dove i costi sono minori.

Ad oggi lo smaltimento dell'ASR tramite termovalorizzazione è veramente ridotto: 2% in Francia, 5% in Belgio, 11% in Germania e Portogallo e praticamente assente negli altri Stati membri.

In Germania sono state eseguite prove di incenerimento dell'ASR (10%) con i rifiuti urbani (co-incenerimento); in tale Paese i costi di trattamento sono variabili da 70 a 300 €/t, mediamente 90-100 €/t negli impianti più recenti. La piena attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche dovrà comportare l'invio di maggiori flussi di ASR verso gli impianti di termovalorizzazione.

Infine, è interessante notare come in Austria ad esempio, presso il termovalorizzatore di Vienna, l'incenerimento di rifiuti urbani costi circa 150 €/t. I minori costi in Germania rispetto all'Austria hanno una spiegazione in quanto è possibile stoccare in sicurezza in miniere dismesse di salgemma le ceneri volanti, che necessitano di una particolare attenzione in considerazione dell'elevato contenuto di composti pericolosi e della presenza di metalli (piombo, rame, zinco, cromo, nichel). Le miniere stesse sono inoltre utilizzate per lo stoccaggio dell'ASR; il loro riempimento viene considerato "operazione di recupero" in quanto l'ASR sostituisce materiale litoide altrimenti utilizzato come riempimento ai fini del ripristino ambientale.

### 2.2 La produzione e la gestione dell'ASR a livello nazionale

I quantitativi complessivi di fluff prodotti negli impianti di frantumazione (2008), sono stati pari a circa 222.000 tonnellate. Essendo, come già detto, tale rifiuto composto per lo più da materiale combustibile, esso è caratterizzato da un buon potere calorifico e pertanto, potrebbe essere impiegato come combustibile alternativo in sostituzione dei combustibili tradizionali.

In Italia l'ASR non è generalmente soggetto ad alcun trattamento post-frantumazione per il recupero dei suoi costituenti e il suo destino finale è rappresentato soltanto dalla discarica, nonostante i costi di smaltimento siano in aumento e la normativa ponga vincoli stringenti relativi all'ammissibilità in discarica di tale tipologia di rifiuti.

---

<sup>23</sup> I valori riportati sono reperiti dal sito web della Commissione Europea; tali valori sono tuttavia largamente sottostimati e non trovano riscontro sul mercato. I costi attuali che le imprese italiane devono sostenere per la messa in discarica si attestano in realtà a un livello di 110-150 €/t.

Ciò determina non solo possibili problemi di contaminazione ambientale per l'eventuale presenza di sostanze pericolose<sup>24</sup> nel fluff smaltito in discarica, ma anche una significativa perdita di risorse per il mancato recupero sia di materia che di energia.

## 2.3 Gli aspetti normativi

### 2.3.1 La normativa a livello europeo

I principi cardine di una gestione integrata dei rifiuti sono stati, inoltre, ribaditi dalla Direttiva 2008/98/CE del 19 novembre 2008<sup>25</sup> relativa ai rifiuti, che ha individuato la seguente scala di priorità:

- la riduzione all'origine di quantità e pericolosità dei rifiuti, a partire dalla progettazione di beni e prodotti sulla base dell'analisi del loro ciclo di vita;
- il recupero di materia, attraverso la raccolta differenziata e la selezione meccanica/chimico/fisica delle frazioni raccolte (organico, cellulosa, vetro, polimeri, metalli, inerti da demolizione, oli usati, apparecchiature elettroniche ed elettriche dismesse, autoveicoli a fine vita);
- il recupero di energia, attraverso trattamenti termici preferibilmente in schemi di cogenerazione termica ed elettrica, della frazione residuale dei rifiuti urbani;
- la messa in sicurezza a lungo termine delle frazioni residuanti dalle fasi precedenti e loro smaltimento in discarica controllata.

Per quanto riguarda invece i veicoli fuori uso la Direttiva europea 2000/53/CE del 18 settembre 2000 (Appendice II A)<sup>26</sup> stabilisce:

- il miglioramento della qualità dell'ambiente;
- la garanzia di uniformità delle procedure per il trattamento dei veicoli a fine vita nei singoli Stati europei.

A tale scopo prevede misure di prevenzione per i rifiuti provenienti dagli autoveicoli, per la loro raccolta e per il loro trattamento promuovendone riciclo e riutilizzo e restrizioni sull'uso di sostanze pericolose nei nuovi veicoli; a tale scopo sono riportate nel seguito delle definizioni-chiave tratte dalla Direttiva per una migliore comprensione della stessa (*tabella 2.1*).

I punti salienti della Direttiva possono essere così sintetizzati:

- entro il 1° gennaio del 2006 per tutti i veicoli fuori uso la percentuale in peso di reimpiego e recupero deve essere almeno dell'85%, e quella di reimpiego e riciclaggio almeno dell'80% (art. 7);
- queste percentuali vengono ridotte del 10% per i veicoli prodotti anteriormente al 1° gennaio 1980 (art. 7);
- entro il 1° gennaio 2015 le percentuali in peso di reimpiego e recupero devono raggiungere il 95%, quelle di reimpiego e riciclaggio l'85% (art. 7);
- gli Stati membri adottano i provvedimenti necessari a garantire che la consegna di un veicolo ad un impianto di trattamento avvenga senza che l'ultimo proprietario incorra in spese a causa del valore di mercato nullo o negativo del veicolo (art. 5);
- le spese per il ritiro dei veicoli fuori uso devono essere sostenute interamente o per una parte significativa dai produttori (art. 5);

---

<sup>24</sup> Ai fini dello smaltimento in discarica vengono effettuate specifiche determinazioni analitiche finalizzate alla verifica della pericolosità o meno del rifiuto.

<sup>25</sup> Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee del 22 novembre 2008 n. L. 312/3 - relativa ai rifiuti.

<sup>26</sup> Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee del 21 ottobre 2000 n. L. 269/34 - relativa ai veicoli fuori uso.

- gli Stati membri sono tenuti ad instaurare un sistema di raccolta dei veicoli fuori uso e ideare un certificato di distruzione dell'autoveicolo come condizione di radiazione (art. 5);
- i composti chimici pericolosi come piombo, mercurio, cadmio e cromo esavalente devono essere limitati a titolo preventivo in fase di progettazione e dal 1° luglio 2003 devono essere utilizzati solo nei casi prescritti dall'Allegato II (art. 4);
- gli stabilimenti o le imprese che eseguono le operazioni di trattamento devono soddisfare gli obblighi prescritti dall'Allegato I (art. 6).

Da quanto riportato si evince che l'Unione Europea ha inteso affidare direttamente alle case automobilistiche la gestione e l'onere del riciclaggio. Terminato il ciclo di vita di un'automobile, l'ultimo proprietario può affidarla senza alcuna spesa al produttore affinché sia avviata al riciclaggio.

La soglia del 95% di recupero da raggiungere entro il 2015 richiede la realizzazione di una rete di centri di raccolta e delle facilitazioni nei processi di trattamento dei VFV, ottenuti grazie all'utilizzo di materiali più adatti che escludano la presenza di sostanze pericolose quali cadmio, mercurio, piombo e cromo.

**Tabella 2.1 – Definizioni della Direttiva 2000/53/CE**

Reimpiego	Le operazioni in virtù delle quali i componenti di un veicolo fuori uso sono utilizzati per lo stesso scopo per cui erano stati originariamente concepiti
Riciclaggio	Il ritrattamento in un processo di produzione dei materiali di rifiuto per la loro funzione originaria o per altri fini, escluso il recupero di energia
Recupero di energia	L'utilizzo di rifiuti combustibili quale mezzo per produrre energia mediante incenerimento diretto con o senza altri rifiuti ma con recupero di calore
Recupero	Le operazioni di cui l'allegato II parte B della Direttiva 75/442/CEE (Appendice IIB) (ovvero: recupero o rigenerazione dei solventi, riciclo o recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi, dei metalli e dei composti metallici, di altre sostanze inorganiche, rigenerazione degli acidi e delle basi, recupero dei prodotti che servono a captare gli inquinanti e dei prodotti provenienti dai catalizzatori, rigenerazione o altri impieghi degli oli, utilizzazione principale come combustibile o come fonte di energia, spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura, tra cui il compostaggio)

Elaborazione ENEA

### 2.3.2 La normativa a livello nazionale

Dopo il DPR n. 915 del 10 settembre 1982<sup>27</sup> ed il DLgs del 5 febbraio 1997 n. 22 ("Decreto Ronchi")<sup>28</sup>, è oggi la Parte Quarta del DLgs n. 152 del 3 aprile 2006<sup>29</sup> e successive modifiche e integrazioni che disciplina la gestione dei rifiuti in attuazione alle Direttive comunitarie sottolineando la necessità che si adottino iniziative dirette a favorire la prevenzione, la riduzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti, nonché stabilendo specifici obiettivi di raccolta differenziata.

<sup>27</sup> Gazzetta Ufficiale n. 343 del 15 dicembre 1982 - Attuazione delle Direttive (CEE) n. 75/442 relativa ai rifiuti, n. 76/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotrifenili e n. 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi.

<sup>28</sup> Gazzetta Ufficiale n. 38 del 15 febbraio 1997 - Supplemento Ordinario n. 33 - Attuazione delle Direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio. (c.d. Decreto Ronchi). Testo coordinato (aggiornato, da ultimo, alla legge 15 dicembre 2004, pubblicata su GU n. 302 del 27 dicembre 2004).

<sup>29</sup> Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006 - Norme in materia ambientale.

Inoltre con l'emanazione del DLgs n. 149 del 23 febbraio 2006<sup>30</sup> è stato modificato il DLgs n. 209 del 24 giugno 2003<sup>31</sup> di attuazione della suddetta Direttiva 2000/53/CE in materia di veicoli fuori uso approvate le nuove regole per la gestione, lo smaltimento, il riciclaggio dei veicoli fuori uso.

#### Criteria di ammissibilità in discarica

Il DM 3 agosto 2005<sup>32</sup>, derivazione della decisione 2003/33/CE<sup>33</sup>, stabilisce i criteri di conferimento e i valori limite (tra cui il metodo per il test di cessione) per la gestione dei rifiuti in discarica. L'introduzione di alcuni parametri, con differenti e più restrittive interpretazioni nazionali rispetto a quanto previsto dalla decisione del Consiglio della Comunità Europea, hanno reso fino ad oggi impossibile la sua piena applicazione e determinato il suo differimento temporale fino al 30 giugno 2009; in particolare, il superamento inevitabile di un parametro, il DOC (carbonio organico disciolto), da parte di molti rifiuti (fango degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, sovrullo degli impianti di trattamento meccanico/biologico dei rifiuti urbani, residuo di frantumazione degli autoveicoli) ha rappresentato una delle principali ragioni di tale differimento; sono pertanto rimasti validi i limiti tabellari previsti dal previgente Decreto Interministeriale del 27 luglio 1984<sup>34</sup> che non prendono in considerazione questo parametro (il quale, peraltro, misura esclusivamente il contenuto di carbonio e non valuta la pericolosità o meno del rifiuto stesso).

L'entrata in vigore dei limiti stabiliti dal DM del 3 agosto 2005 ha immediatamente reso impossibile il conferimento in discarica della gran parte dei rifiuti ed il Ministero dell'Ambiente ha emanato un'ulteriore proroga temporale (fino al 31 dicembre 2010) per parametri quali il PCI (di cui si dirà più avanti) al fine di poter consentire lo smaltimento secondo la previgente normativa tecnica (Decreto Interministeriale del 27 luglio 1984).

È da ricordare che il DM 3 agosto 2005 è stato nel frattempo sostituito dal DM 27 settembre 2010 (Gazzetta Ufficiale n. 281 del 1° dicembre 2010 – Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, in sostituzione di quelli contenuti nel Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio 3 agosto 2005).

#### Divieto del conferimento in discarica dei rifiuti con PCI superiore ai 13.000 kJ/kg

L'attuale normativa nazionale prescrive tale limite, vincolo previsto solo in Italia e che non trova riscontro nella normativa comunitaria. Ciò pone in evidenza le difficoltà correlate con la necessità di dotarsi di un sistema di impianti e tecnologie alternative finalizzati alla gestione di tale rifiuto, tenuto conto dell'arco di tempo previsto dalla normativa. A causa dell'insufficiente capacità di trattamento a livello nazionale degli impianti di recupero energetico, infatti, l'applicazione di tale vincolo, introdotto dal 2003 con il DLgs n. 36 del 13 gennaio 2003<sup>35</sup>, è stata attualmente prorogata al 31 dicembre 2011.

---

<sup>30</sup> Gazzetta Ufficiale n. 86 del 12 aprile 2006 - Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 24 giugno 2003, n. 209, recante attuazione della Direttiva 2000/53/CE in materia di veicoli fuori uso.

<sup>31</sup> Gazzetta Ufficiale n. 182 del 7 agosto 2003, Supplemento Ordinario n. 128 - Attuazione della Direttiva 2000/53/CE relativa ai veicoli fuori uso.

<sup>32</sup> Gazzetta Ufficiale n. 201 del 30 agosto 2005 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica.

<sup>33</sup> Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee del 16 gennaio 2003 n. L. 11/27 – Decisione del Consiglio del 19 dicembre 2002 che stabilisce criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti nelle discariche ai sensi dell'articolo 16e dell'allegato II della Direttiva 1999/31/CE.

<sup>34</sup> Gazzetta Ufficiale n. 253 del 13/09/1984, Supplemento Ordinario - Disposizioni per la prima applicazione dell'articolo 4 del D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915, concernente lo smaltimento dei rifiuti.

<sup>35</sup> Gazzetta Ufficiale n. 59 del 12 marzo 2003 - Supplemento Ordinario n. 40 - Attuazione della Direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti.

### 3. LE TECNOLOGIE PER IL RECUPERO ENERGETICO DELL'ASR

#### 3.1 L'incenerimento con recupero energetico

La principale tecnica di trattamento termico finalizzata al recupero energetico dell'ASR potrebbe essere costituita dal suo incenerimento in impianti dedicati, da solo o in combinazione con altri rifiuti.

Ciò in considerazione del fatto che il materiale in questione, essendo principalmente costituito da polimeri plastici, presenta un buon contenuto energetico in termini di PCI.

Per contro, sono presenti delle possibili controindicazioni legate a:

- il contenuto piuttosto elevato di cloro che si riscontra mediamente nell'ASR, superiore a quello solitamente presente nei rifiuti di origine urbana;
- l'eventuale presenza di microinquinanti inorganici (metalli pesanti) e organici (PCB, idrocarburi) che possono conferire al materiale caratteristiche di pericolosità.

Entrambi questi fattori implicano risvolti [6] sia di carattere tecnico che ambientale legati principalmente a:

- possibili fenomeni di corrosione sulle componenti metalliche della sezione di recupero energetico, a causa della presenza di elevate concentrazioni di HCl nei fumi derivanti dal trattamento termico;
- potenziali impatti legati alla formazione di composti organici clorurati, che richiedono la presenza di adeguati sistemi di rimozione/distruzione;
- la necessità di mettere in atto adeguate misure di gestione dei residui solidi del trattamento, nei quali si vanno a concentrare la maggior parte dei metalli inizialmente presenti.

Il trattamento termico dell'ASR potrebbe essere effettuato con tecnologie che applicano tre distinti processi, costituiti rispettivamente da:

- la combustione diretta del materiale, da solo o in combinazione con altri rifiuti, con successivo recupero del calore presente nei fumi per la produzione di energia elettrica e/o termica;
- la *gassificazione*, consistente in una combustione parziale con produzione di un gas derivato ("syngas"), a sua volta impiegabile come combustibile alternativo;
- la *pirolisi*, ottenuta tramite un riscaldamento del materiale da trattare, che porta alla produzione di sottoprodotti solidi, liquidi e gassosi, in gran parte impiegabili come combustibili.

Per una descrizione di questi processi e delle principali tecnologie impiegate si rimanda a quanto riportato nell'Allegato A.

In particolare la combustione diretta, definita in termini tecnici e normativi come "incenerimento", risulta essere allo stato attuale la tecnica più diffusa, essendo applicata ad una vasta gamma di rifiuti, tra i quali spiccano, sotto l'aspetto del recupero energetico, i rifiuti di origine urbana.

Proprio l'incenerimento simultaneo con i rifiuti urbani (RU) è stata sino ad oggi la modalità di recupero energetico che, seppure in forma piuttosto limitata, ha trovato maggiore applicazione a livello europeo, come sarà meglio discusso in seguito.

La sua applicazione è stata sino ad oggi osteggiata e frenata a causa di una serie di motivazioni di carattere tecnico, economico ed ambientale così riassumibili:

- lo smaltimento in discarica dell'ASR rimane sicuramente più conveniente sotto l'aspetto economico;
- l'ASR può presentare caratteristiche molto variabili, in funzione della localizzazione e della tecnologia di trattamento dei pacchi carrozzeria, con contenuti di inerti che può arrivare fino a valori del 50% e tenori di umidità molto variabili;

- preoccupazioni di carattere ambientale legate alla possibile presenza nell'ASR di sostanze clorurate e di varie tipologie di metalli, in concentrazioni rilevanti.

Per quanto riguarda invece la pirolisi e la gassificazione, la loro applicazione risulta più recente e suscettibile di futuri sviluppi alla luce dei potenziali vantaggi che esse possono offrire in termini di minori emissioni e di maggiore inertizzazione dei residui solidi che derivano dal trattamento.

Va subito detto che pressoché tutte le tecnologie alternative che si basano sull'impiego di tali processi prevedono, nel caso specifico del trattamento dell'ASR, una loro combinazione piuttosto articolata, con la presenza di almeno uno stadio di trattamento termico ad elevata temperatura (vedi punto 3.3).

È da rilevare comunque che l'impiego di tecnologie basate su processi di pirolisi e gassificazione richiede in questo caso quasi sempre un pre-trattamento più o meno spinto del materiale da destinare al successivo recupero energetico.

### 3.2 Il co-incenerimento in impianti industriali

Il trattamento dell'ASR in impianti industriali esistenti ai fini del recupero energetico può essere effettuato in quello che la vigente normativa<sup>36</sup> definisce *“impianto di co-incenerimento”*, vale a dire *“qualsiasi impianto, fisso o mobile, la cui funzione principale consiste nella produzione di energia o di materiali e che utilizza rifiuti come combustibile normale o accessorio o in cui i rifiuti sono sottoposti a trattamento termico ai fini dello smaltimento”*.

In senso lato questa definizione include qualsiasi impianto industriale che utilizza rifiuti come combustibile alternativo, tipicamente costituiti da:

- impianti siderurgici;
- cementifici;
- centrali termoelettriche o termiche.

Occorre subito dire che riguardo alla generazione di energia non si è al corrente di applicazioni di ASR come combustibile alternativo allo stato attuale<sup>37</sup>.

Per quanto riguarda invece l'impiego di ASR in impianti produttivi, due sono le possibili alternative:

- l'impiego come agente riducente o come combustibile alternativo, in parziale sostituzione del coke o dei combustibili (carbone, olio combustibile, gas naturale) impiegati negli altoforni;
- l'impiego come combustibile alternativo nella produzione del cemento.

#### 3.2.1 L'impiego dell'ASR nel settore siderurgico

L'impiego di ASR come agente riducente o come combustibile alternativo negli altoforni per la produzione dell'acciaio può essere perseguito a condizione che il materiale venga preventivamente trattato al fine di separare, per quanto possibile, la frazione organica da quella inorganica.

<sup>36</sup> Direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento, il cui recepimento a livello nazionale è stato effettuato dal DLgs 133/2005.

<sup>37</sup> Molto limitata è del resto anche l'esperienza riguardante altre tipologie di rifiuti combustibili meno problematici rispetto all'ASR, quali il Combustibile Derivato da Rifiuti (CDR) o i cosiddetti *“Solid Recovered Fuels”* (SRF), vale a dire i combustibili solidi secondari ottenuti da rifiuti speciali non pericolosi tramite una serie di trattamenti più o meno spinti, per lo più di tipo meccanico.

L'eventuale utilizzo di ASR in questi impianti richiederebbe necessariamente l'adozione di pretrattamenti piuttosto complessi, della cui validità non si ha riscontro in termini di rispetto dei requisiti minimi richiesti dalla normativa per l'impiego come combustibili alternativi (vedi Allegato B).

Tali trattamenti debbono essere finalizzati all'ottenimento delle seguenti caratteristiche:

- ridotto contenuto di umidità del materiale (indicativamente 5-10%), che richiede una fase preliminare di essiccamento;
- pezzatura piuttosto ridotta e sufficientemente omogenea (indicativamente 30-50 mm), ottenibile tramite uno stadio di triturazione;
- ridotto contenuto di inerti (inferiore al 10%), ottenibile tramite opportune operazioni di vagliatura.

L'ottenimento di un materiale ad elevato contenuto organico, con caratteristiche sufficientemente controllate risulta di fondamentale importanza in quanto:

- la presenza di parti di grossa pezzatura o di corpi estranei può causare problemi nell'alimentazione del materiale, con conseguente diminuzione della produttività dell'apparecchiatura;
- contenuti troppo elevati di cloro possono causare indesiderati effetti corrosivi, oltre ad eventuali effetti negativi sulle emissioni;
- la presenza di metalli può causare problemi di erosione e di riduzione della produttività dell'impianto. Contenuti eccessivi di rame e piombo possono dare luogo alla formazione di depositi e, in particolare, il rame può influenzare negativamente la qualità dell'acciaio;
- la necessità di pretrattamenti spinti comporta necessariamente un elevato contenuto di metalli nella frazione residua che può portare alla sua classificazione come rifiuto pericoloso, con conseguente incremento significativo dei costi relativi alla sua gestione.

È da rilevare infine che la fattibilità di tale recupero è anche legata alla disponibilità di quantitativi consistenti e certi di materiali recuperabili nelle vicinanze dell'impianto siderurgico e che la fattibilità economica è molto vincolata dalla tariffa richiesta per il loro smaltimento ("gate fee").

### *3.2.2 L'impiego dell'ASR nella produzione del cemento*

L'impiego dell'ASR come combustibile alternativo in forni per la produzione del cemento a parziale sostituzione dei combustibili fossili presenta potenziali vantaggi e criticità abbastanza simili a quelle riscontrabili per l'industria siderurgica.

Anche in questo caso risulta di fondamentale importanza il controllo del contenuto di metalli (in particolare del rame) che può risultare troppo elevato al fine di garantire la qualità del prodotto finale e quello del cloro, che potrebbe causare formazione di depositi all'interno dell'apparecchiatura con conseguente riduzione della sua capacità produttiva. È anche da tenere sotto controllo il contenuto dei metalli più volatili quali cadmio, tallio e mercurio che potrebbero influenzare negativamente le emissioni dell'impianto.

Un aspetto interessante riguardante questa possibile applicazione è riconducibile al fatto che la presenza di inerti nell'ASR non costituisce a priori un problema in quanto finiscono per costituire parte della formulazione del cemento. Si ottiene quindi un recupero combinato di materia ed energia.

Le limitate esperienze ad oggi condotte hanno quasi sempre previsto l'impiego dell'ASR pretrattato in combinazione con altri rifiuti (plastiche, granulato di pneumatico ecc.) in modo da elevare il PCI del combustibile alternativo e ridurre il tenore delle componenti metalliche presenti.

Nell'industria del cemento possono trovare inoltre impiego flussi di rifiuti che provengono da altri trattamenti termici dell'ASR quali, ad esempio, i residui di pirolisi e le scorie vetrificate derivanti da processi di gassificazione/combustione operanti a temperature elevate.

### 3.3 Le tecnologie alternative di trattamento termico

Oltre all'incenerimento, basato sulla combustione diretta dei rifiuti, possono essere impiegate delle tecnologie che fanno uso dei processi di gassificazione e di pirolisi.

L'applicazione di questi processi al trattamento dei rifiuti è di norma finalizzata a privilegiare il recupero di materia da composti organici sotto forma di un gas di sintesi o "syngas" (nel caso della *gassificazione*) ovvero anche di sottoprodotti liquidi e solidi (nel caso della *pirolisi*). Questi flussi derivati possono trovare impiego come combustibile alternativo per la produzione di energia o come materia prima di recupero per l'industria chimica e petrolchimica (v. Allegato A).

Esiste poi una terza possibilità nella quale il trattamento termico (per lo più di pirolisi) viene impiegato per la rimozione di materiali organici contaminanti depositi e/o mescolati a inerti, in genere costituiti da metalli. In questo caso il recupero di energia può venire a costituire una sorta di "sottoprodotto" del trattamento termico.

Benché l'applicazione dei processi di gassificazione e pirolisi al trattamento dell'ASR sia stata esaminata da tempo a livello sperimentale, non si ha riscontro di esperienze di impianti che adottino singolarmente uno dei due processi, essenzialmente per motivazioni di carattere tecnico-economico [6].

Sono state invece sviluppate tecnologie nelle quali è sempre presente uno stadio primario di trattamento termico in condizioni riducenti (pirolisi e/o gassificazione), cui segue uno stadio di combustione a temperatura elevata<sup>38</sup>.

Si tratta di tecnologie per lo più messe a punto in Giappone, dove è fortemente sentita l'esigenza di minimizzare il ricorso alla discarica, massimizzando il recupero degli inerti derivanti dal trattamento termico.

I potenziali vantaggi che esse potrebbero offrire nel caso specifico del trattamento dell'ASR sono costituiti da:

- l'eventuale fusione "integrata" delle scorie nella stessa apparecchiatura di trattamento termico, le quali tramite successivo brusco raffreddamento possono dare luogo ad un residuo vetrificato di ridotta lisciviabilità, caratterizzato da maggiori possibilità di riutilizzo/recupero;
- un possibile migliore recupero dei metalli (ferrosi e non), a causa della presenza di uno stadio di trattamento termico in condizioni di funzionamento riducenti;
- la possibilità di ottenere dei livelli maggiori di recupero energetico.

A livello internazionale sono state fatte alcune esperienze che riguardano l'applicazione di tali tecnologie al trattamento dell'ASR; alcune di queste verranno discusse in seguito (vedi punto 4.3).

---

<sup>38</sup> Sono presenti anche casi di tecnologie costituite da una combinazione di trattamenti di pirolisi + gassificazione + combustione.

#### 4. LO STATO ATTUALE DEL RECUPERO ENERGETICO DELL'ASR

Attualmente, come discusso in precedenza, la forma principale di gestione dell'ASR è costituita dallo smaltimento in discarica. Tuttavia, seppure in forma limitata, sono presenti alcune esperienze, maturate in realtà estere, di recupero energetico di questa particolare tipologia di rifiuto.

La principale “forza motrice” ai fini della loro applicazione è scaturita da precise scelte politiche che, a fronte del totale divieto dello smaltimento in discarica o di forti restrizioni al suo utilizzo, hanno portato a ricercare soluzioni gestionali alternative.

A riguardo si segnalano due casi emblematici.

Il primo è sicuramente quello della Svizzera, nella quale il divieto di smaltimento dell'ASR in discarica (entrato in vigore il 1° febbraio 1996) ha portato ad esplorare varie soluzioni tecniche, tra le quali quella maggiormente adottata allo stato attuale è il co-incenerimento in impianti di recupero energetico dei rifiuti urbani.

L'altro caso riguarda il Giappone dove, per motivazioni similari, sono state sviluppate alcune tecnologie alternative di trattamento termico, riconducibili all'adozione di processi combinati di pirolisi e/o gassificazione e/o combustione ad alta temperatura.

Di seguito verranno descritte le esperienze più significative a livello di impianto pilota/dimostrativo/industriale che sono state individuate nel corso dell'indagine svolta, cercando di raggrupparle, per quanto possibile, nelle seguenti categorie:

- l'incenerimento con recupero energetico;
- il co-incenerimento in impianti industriali;
- le tecnologie alternative di trattamento termico.

##### 4.1 L'incenerimento con recupero energetico

Il trattamento dell'ASR in impianti dedicati di incenerimento con recupero energetico è una tecnica che, seppure possibile, risulta di applicazione piuttosto problematica, a causa delle motivazioni di carattere tecnico, economico ed ambientale discusse al punto 3.1.

In considerazione dell'enorme variabilità delle caratteristiche (pezzatura, contenuto di inerti, tenore di umidità, PCI ecc.) è molto probabile che l'impiego di impianti “totalmente dedicati” al trattamento dell'ASR richieda dei pretrattamenti piuttosto spinti di omogeneizzazione. Questo è un ulteriore motivo (oltre alle difficoltà tecniche già menzionate) per cui non sono state riscontrate esperienze significative di tale applicazione a livello industriale.

Il trattamento dell'ASR in impianti di incenerimento esistenti in combinazione<sup>39</sup> con altre tipologie di rifiuti è invece una tecnica che, seppure non molto diffusa, può essere considerata come consolidata, economicamente sostenibile e compatibile dal punto di vista ambientale.

In particolare le esperienze sino ad oggi maturate sono per lo più riconducibili al trattamento dell'ASR in impianti di incenerimento dei rifiuti urbani, che costituiscono il settore preponderante del recupero energetico da rifiuti<sup>40</sup>. Allo stato attuale questa tecnica ha trovato diverse applicazioni in Europa, sia a livello sperimentale che industriale.

---

<sup>39</sup> Anche se formalmente non del tutto corretto, verrà usato da qui in poi il termine co-incenerimento che la normativa riserva agli impianti la cui funzione principale è la produzione di energia e non lo smaltimento di rifiuti. In pratica si assume indirettamente che l'impianto effettui un'operazione di tipo R1 (utilizzo principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia) anziché D10 (incenerimento a terra).

<sup>40</sup> Proprio in tema di recupero energetico la Direttiva 2008/98/CE ha introdotto interessanti novità, prescrivendo per la prima volta, tramite la cosiddetta “formula R1” riportata nell'allegato II, dei livelli minimi di efficienza di recupero energetico da conseguire al fine di classificare gli impianti di incenerimento di rifiuti urbani come impianti di recupero o di smaltimento. (v. Allegato C).

**Tabella 4.1 – Gestione dell’ASR in Svizzera tramite co-incenerimento con rifiuti urbani (2008)**

Paese	Impianti	Quantitativi trattati	
	N°	t	%
Svizzera	9	24.989	46,3
Germania <sup>(1)</sup>	4	6.377	11,8
Francia	2	22.627	41,9
<b>Totale</b>	<b>15</b>	<b>53.993</b>	<b>100</b>

Elaborazione ENEA su dati Auto Recycling [8]

- (1) Tra gli impianti della Germania vi è anche l’impianto di Wurzburg che ha trattato nel corso del 2008 1.923 t di ASR proveniente dalla Svizzera

Particolarmente significativa risulta essere a riguardo l’esperienza maturata dalla Svizzera, che ha intrapreso questa strada sin dalla prima metà degli anni ‘90 in vista dell’entrata in vigore del divieto di smaltimento in discarica dell’ASR, avvenuta il 1 febbraio 1996<sup>41</sup>.

Secondo i dati forniti dalla Fondazione “Auto Recycling”<sup>42</sup> [8] [9], in Svizzera nel periodo 1996-2008 sono state inviate complessivamente a trattamento termico ai fini del recupero energetico circa 633.000 t di ASR, per lo più in inceneritori di rifiuti urbani situati sul territorio nazionale o in Paesi limitrofi.

In particolare nel corso del 2008 sono state trattate in questo modo circa 54.000 t di ASR sia a livello nazionale (9 impianti) che tramite l’invio all’estero (Germania, Francia), come riportato in sintesi nella *tabella 4.1*.

Sempre secondo Auto Recycling [8] il costo medio di trattamento, incluso trasporto, è stato in questo periodo pari a circa 305 CHF/t (circa 200 €/t).

Questa esperienza conferma che la Svizzera ha scelto il trattamento termico in inceneritori di rifiuti esistenti come soluzione principale per il recupero dell’ASR, in modo da minimizzare gli investimenti necessari per la realizzazione di nuovi impianti e mantenere la capacità di trattamento per quanto possibile all’interno dei confini nazionali.

La fattibilità di tale soluzione è stata anche supportata da uno studio effettuato dal Paul Scherrer Institute [10] i cui risultati portano a concludere che non insorgono particolari problemi di carattere tecnico qualora il quantitativo di ASR in alimentazione si mantenga a valori inferiori al 5% in peso.

I maggiori inconvenienti che potrebbero derivare dalla combustione simultanea dell’ASR con i rifiuti urbani risiede nell’inevitabile aumento della concentrazione di metalli pesanti nelle scorie solide e di quelli più volatili nei residui dal trattamento dei fumi.

Tali inconvenienti possono essere tecnicamente ovviati tramite:

- la separazione dei metalli ferrosi e non ferrosi (acciaio, alluminio, rame), effettuabile sia a monte che (preferibilmente) a valle sulle scorie che residuano dal trattamento termico;
- la rimozione di zinco, piombo, cadmio dai residui del trattamento dei fumi, ad esempio tramite lavaggio acido.

Un’altra significativa esperienza di co-incenerimento di ASR e rifiuti urbani riguarda l’impianto di Wurzburg (Germania) che adotta da tempo questa pratica a seguito di prove prolungate effettuate [11] negli anni 1993-1996, nel corso dei quali ha trattato mediamente

<sup>41</sup> Divieto in vigore anche in Giappone e di recente (16 luglio 2009) anche in Germania.

<sup>42</sup> La “Auto Recycling” è una fondazione no-profit istituita in Svizzera nel 1992 da parte degli importatori di autoveicoli. Scopo principale della fondazione è quello di promuovere lo smaltimento eco-compatibile degli autoveicoli immatricolati in Svizzera, con particolare riguardo alla gestione dell’ASR.

4.000-9.000 t/a di ASR assieme a circa 110.000-120.000 t/a di rifiuti urbani (circa 4-8% in peso).

Nel corso di tale periodo l'impianto è arrivato a trattare, per brevi periodi, una percentuale fino al 30% in peso di ASR<sup>43</sup>.

Alla luce delle esperienze maturate, sebbene la "risposta" di ciascun impianto al trattamento di ASR sia da considerarsi caso per caso<sup>44</sup>, è opinione ricorrente [10] [12] che gli impianti di incenerimento di rifiuti urbani presenti in Europa siano in grado di trattare senza particolari problemi tecnici un quantitativo di ASR pari a circa il 5% della capacità complessiva di trattamento, arrivando in alcuni casi anche a valori di circa il 10%. Tale capacità di trattamento può fornire un notevole contributo al recupero energetico dell'ASR a livello europeo<sup>45</sup>.

## 4.2 Il co-incenerimento in impianti industriali

### 4.2.1 L'impiego come combustibile alternativo in cementifici

L'impiego di ASR come combustibile alternativo in cementifici, benché possibile dal punto di vista teorico<sup>46</sup> non ha ancora trovato applicazioni significative a livello industriale. Il problema principale da risolvere riguarda la possibile presenza in quantità elevate di composti indesiderati quali il cloro (che può dare luogo a problemi operativi all'interno del forno di cottura) o di composti che possono fornire caratteristiche di pericolosità, sia di natura organica (PCB, idrocarburi) che inorganica (metalli). Alcuni di questi ultimi, come ad esempio il rame, se presenti in quantità rilevanti possono inficiare la qualità del prodotto ottenuto.

In bibliografia [13] sono riportate esperienze di impiego di ASR in cementifici in Belgio ma l'unica esperienza che viene citata riguarda la società CBR del Gruppo Heidelberg Cement, che sarebbe in grado di trattare fino a 30.000 t/a di questo materiale [14]. Poiché la CBR riceve combustibili derivati dalla società controllata Recyfuel, è probabile che si tratti di materiali (plastiche, gomme) che sono derivate da ASR tramite sistemi di pre-trattamento piuttosto spinti.

Un'altra esperienza da citare riguarda la società TXI [15] che sta da tempo testando l'utilizzo di ASR presso il suo impianto di Midlothian (USA). L'ASR impiegato dalla TXI viene prodotto dalla Chaparral Steel, un'acciaieria situata nella stessa località, che effettua operazioni di frantumazione di autoveicoli per il recupero di metalli ferrosi da impiegare nel ciclo produttivo. L'ASR viene sottoposto ad un pre-trattamento messo a punto da entrambe le aziende. Dapprima vengono rimosse le frazioni residue di metalli non ferrosi (nickel, alluminio, rame) mediante un separatore a correnti parassite, a loro volta destinate al recupero; successivamente l'ASR viene inviato ad un apposito mulino che consente di ottenere un materiale rispondente alle specifiche tecniche richieste dal cementificio.

L'ASR in uscita dal trattamento risulta caratterizzato da un PCI paragonabile a quello del carbone, da una pezzatura piuttosto ridotta (5-6 mm) e da un basso contenuto di umidità.

Al di là dei problemi legati al trattamento spinto richiesto, il maggiore ostacolo all'impiego dell'ASR come combustibile alternativo nei cementifici deriva dal fatto che negli USA la normativa "Toxic Substances Control Act" (TSCA) classifica l'ASR come "PCB waste" salvo prova contraria, che non risulta affatto scontata.

<sup>43</sup> L'impianto ha comunque trattato per lunghi periodi quantitativi di ASR compresi fra il 4 e il 10% in peso, senza riscontrate significativi problemi di carattere tecnico o ambientale.

<sup>44</sup> In funzione delle caratteristiche sia dell'impianto (taglia, complessità, vetustà ecc.), sia di quelle del materiale da trattare.

<sup>45</sup> Diversa è la situazione a livello nazionale per la quale, al di là di problemi di natura autorizzativa, la capacità di trattamento degli impianti di incenerimento, in particolare di quelli urbani, è di per sé già carente.

<sup>46</sup> L'ASR dispone di un buon PCI, analogo a quello dei combustibili impiegati nei cementifici, ed inoltre contiene al suo interno degli elementi minerali (silicati, calcio, alluminio, ferro) necessari alla formazione del clinker, che potrebbero comportare significativi risparmi per quanto riguarda l'approvvigionamento delle materie prime.

Questo scoraggia di fatto l'impiego dell'ASR nei cementifici a favore della soluzione più semplicistica ed economica dello smaltimento in discarica.

In sintesi l'utilizzo di ASR in cementifici è possibile in quanto consentirebbe [16] un risparmio di risorse sia sotto forma di energia che di recupero di materia visto che le scorie finiscono nel clinker. Le possibili controindicazioni sono legate, soprattutto in presenza di cloro, alla possibile formazione di depositi, a fenomeni di corrosione e al rischio di emissioni dei metalli volatili quali mercurio, cadmio e tallio.

#### 4.2.2 *L'impiego come agente riducente o combustibile alternativo in altoforno*

I rifiuti che contengono frazioni di materiali plastici possono essere utilizzati come combustibili o come agenti riducenti per altiforni, fattore che farebbe presupporre un possibile impiego dell'ASR in questo settore.

Allo stato attuale non risultano essere in atto esperienze consolidate a livello industriale, ma sono state effettuate varie prove sperimentali a livello di unità pilota.

Per quanto riguarda le esperienze a livello industriale, è da citare quella condotta [17] dalla Voestalpine Stahl nello stabilimento di Linz (Austria) dove vengono impiegate come agente riducente circa 60.000 t/a di rifiuti plastici sotto forma di *pellets* contenenti anche ASR<sup>47</sup>.

Tra le esperienze su scala pilota una delle più significative è quella condotta da Mirabile et Al [18] finalizzata ad esaminare la fattibilità tecnica dell'impiego di ASR in parziale sostituzione del carbone in un altoforno.

Le attività sperimentali sono state articolate in una serie di fasi successive che hanno previsto:

- la caratterizzazione del fluff;
- la realizzazione e l'esercizio di un impianto pilota in grado di simulare la zona di alimentazione del combustibile e dell'aria dell'altoforno ("raceway");
- la messa a punto di un modello di calcolo per la valutazione delle condizioni operative di funzionamento;
- una stima economica dell'investimento per un impianto in scala reale.

I risultati della sperimentazione condotta hanno in sintesi mostrato che:

- l'ASR è un materiale piuttosto disomogeneo che necessita di pretrattamenti di omogeneizzazione delle caratteristiche, della pezzatura e di riduzione dell'umidità, oltre che di un'eventuale rimozione degli inquinanti inorganici (metalli);
- l'ASR è stato alimentato assieme al polverino di carbone, in quantità variabili rispettivamente pari a 0,1%, 1% e al 10%: nell'ultimo caso sono state riscontrate fratture sul mantello del reattore, in conseguenza di fenomeni di erosione da parte degli inerti contenuti nell'ASR;
- non sono stati riscontrati problemi di emissioni di microinquinanti, a causa dell'elevata temperatura operativa (>1.800 °C);
- i risultati dell'analisi economica limitano la convenienza a quantitativi di ASR dell'ordine del 1-3% del combustibile primario.

---

<sup>47</sup> La separazione della frazione plastica dell'ASR richiede dei trattamenti di tipo essenzialmente meccanico piuttosto spinti che prevedono la rimozione dei metalli ferrosi (tramite separatori magnetici), operazioni di vagliatura e successive triturazioni, ecc. fino ad ottenere una frazione ricca in plastica di pezzatura inferiore ai 10 mm.

## 4.3 Le tecnologie alternative

### 4.3.1 La tecnologia Ebara

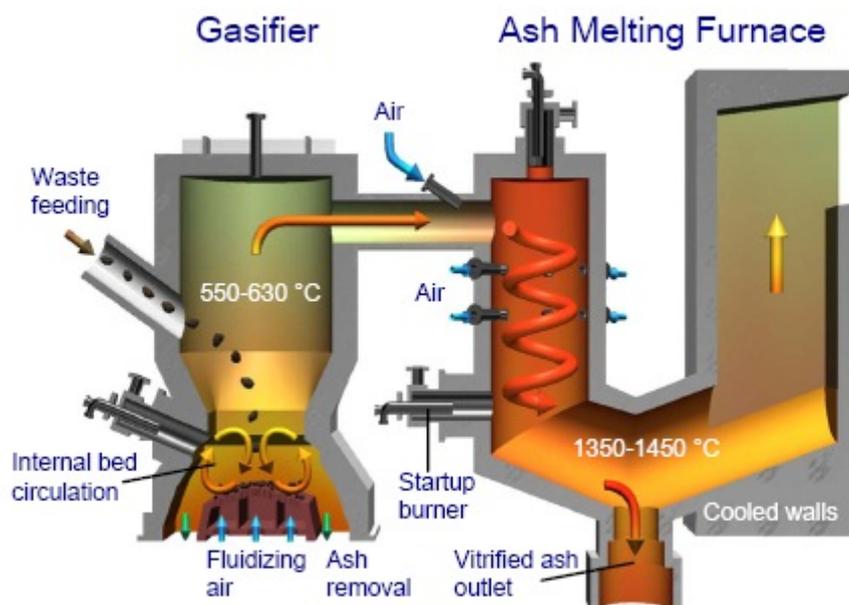
La tecnologia “Twin Rec” è stata sviluppata dalla società giapponese Ebara, che dispone di diversi sistemi di trattamento termico dei rifiuti, quasi tutti basati sul principio del letto fluido. Essa deriva dall'accoppiamento (*figura 4.1*) di due apparecchiature messe a punto sempre dall'Ebara, costituite rispettivamente da:

- un primo stadio di gassificazione in letto fluido che adotta la tecnologia TIFG (Twin-Internally Circulating Fluidized Bed Gasifier), a sua volta derivata dai combustori a letto fluido, sviluppati in precedenza;
- un secondo stadio di combustione ad elevata temperatura che adotta il sistema di tipo ciclonico denominato “Meltox”.

La caratteristica principale di tale tecnologia (*figura 4.2*) consiste nel fatto che la gassificazione viene effettuata a temperature relativamente basse, comprese fra 600 e 800 °C in funzione del materiale da trattare, all'interno di un particolare tipo di apparecchiatura a letto fluido. Tramite un'opportuna calibrazione delle portate d'aria immesse attraverso la griglia di distribuzione è possibile formare due “vortici” (“revolving beds”) all'interno dell'apparecchiatura di gassificazione, da cui deriva il nome della tecnologia.

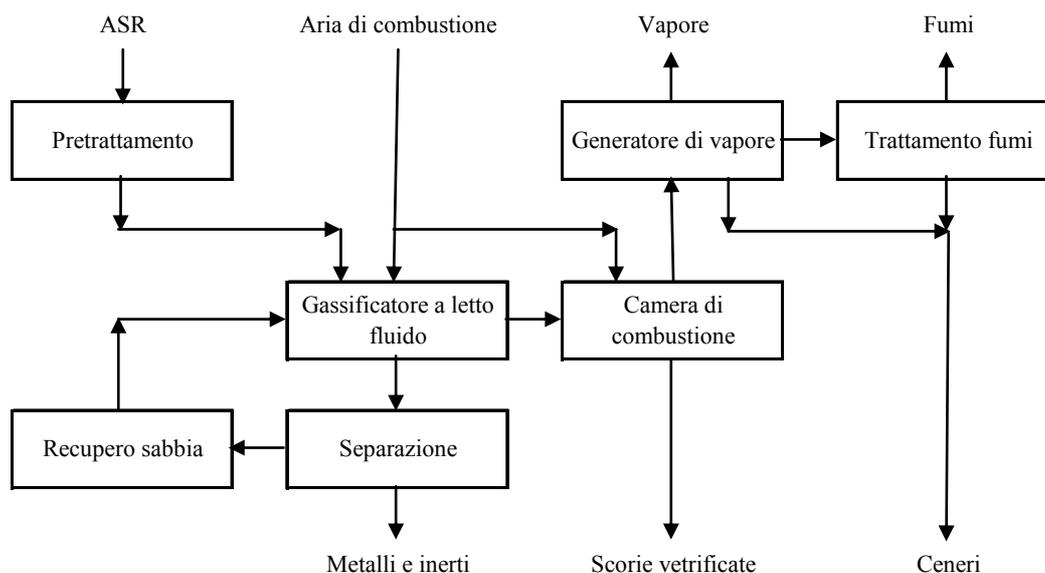
Le scorie e i metalli (ferro, alluminio, rame) vengono scaricati dal fondo, mentre il syngas e le particelle trascinate (“ceneri leggere”) passano nel “Meltox”, apparecchiatura costituita da una camera di combustione verticale di tipo ciclonico dove, tramite l'immissione tangenziale di aria secondaria, vengono combusto ad alta temperatura (1.350-1.450 °C). Tali livelli di temperatura consentono la fusione delle ceneri che vanno a depositarsi sulle pareti e successivamente scaricate allo stato vetroso tramite un brusco raffreddamento in un bagno d'acqua. Queste particolari condizioni operative consentono di limitare gli eccessi d'aria e le portate dei fumi, che vengono successivamente trattati con tecniche di tipo tradizionale, analogamente a quanto avviene negli impianti di incenerimento.

Figura 4.1 - Schema di funzionamento dell'apparecchiatura “TwinRec” dell'Ebara



Fonte: Ebara

**Figura 4.2 – Schema di principio della tecnologia Twin Rec dell'Ebara**



Elaborazione ENEA

L'Ebara ha maturato la sua esperienza sul trattamento dell'ASR sin dalla prima metà degli anni '90, tramite l'esercizio degli impianti pilota di Sodegaura e Fujisawa (entrambi in Giappone) aventi una capacità termica rispettivamente di 1,5 e 4,8 MW.

Successivamente le esperienze più significative di trattamento termico dell'ASR a livello industriale hanno riguardato:

- l'impianto di Aomori (Giappone), con una capacità di trattamento pari a 480 t/g (tonnellate al giorno) ripartita su due 2 linee, ciascuna con un carico termico di 40 MW;
- l'impianto di Kurobe (Giappone), costituito da una linea di trattamento di capacità pari a 63 t/g, corrispondente a un carico termico di 7,4 MW.

Entrambi gli impianti sono entrati in esercizio nel corso dell'anno 2000.

La realizzazione dell'impianto di Aomori è stata cofinanziata dall'Ebara e dalla Seinan, uno dei principali attori presenti sul mercato giapponese nel settore della frantumazione dei VFV. L'impianto è stato dimensionato per trattare circa il 70% di residui di frantumazione vari (tra cui ASR) e fino al 30% di fanghi di depurazione opportunamente disidratati. Nel corso degli anni l'impianto ha testato diverse percentuali di co-incenerimento arrivando a trattare anche il 100% di ASR.

L'altra installazione commerciale che tratta ASR utilizzando la tecnologia TwinRec è l'impianto di Kurobe (Giappone) della Nippon Mining & Metals Co. L'impianto è composto da una sola linea, con capacità di trattamento di 2,6 t/h, di cui circa il 40% è costituito da residui di frantumazione vari tra cui l'ASR.

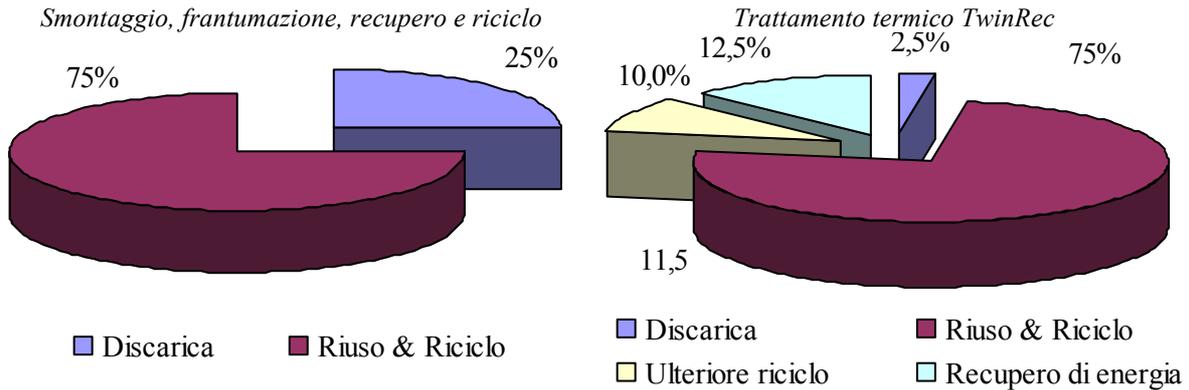
Le principali caratteristiche dei due impianti sono riportate in forma sintetica nella *tabella 4.2*.

**Tabella 4.2 – Caratteristiche degli impianti della Ebara che trattano ASR**

Località	Rifiuti trattati	Anno avvio	Linee	Capacità	Carico termico	Recupero energetico
			N°	t/g	MW	
Aomori (JP)	ASR 70-100%, fanghi 30%-0%	2000	2	480	2 x 40 MW	Produzione en. elettr. P = 17 MW
Kurobe (JP)	ASR 40%, plastiche 15%, altro 45%	2000	1	63	7,4	Produzione calore

Elaborazione ENEA

**Figura 4.3 – Quote di riciclo/riuso/recupero energetico conseguibili con la tecnologia TwinRec**



Elaborazione ENEA su dati fonte [19]

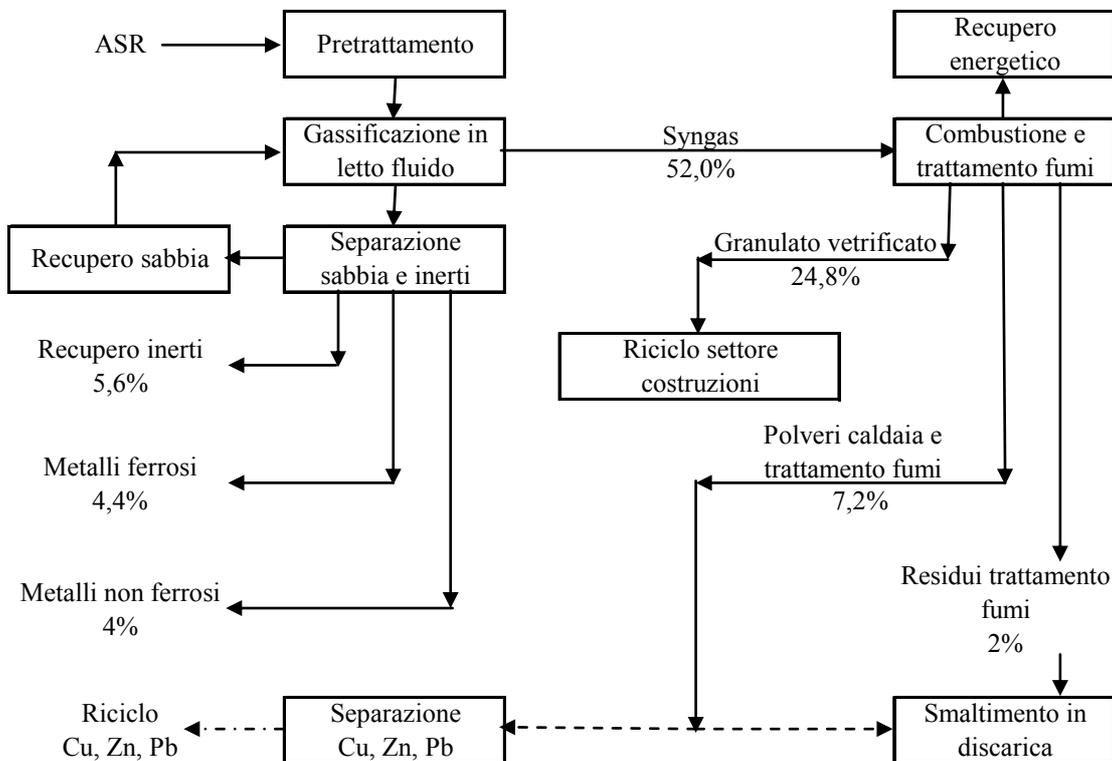
Secondo quanto dichiarato dall'Ebara [19] è possibile in questo modo recuperare circa il 90% dell'ASR proveniente da demolizione auto (pari a circa il 25% del peso totale del VFV) tramite il recupero combinato di energia e materia.

La frazione destinata alla discarica alla fine del trattamento si riduce a circa il 2,5%, contro il 25% riscontrabile in assenza di trattamento termico (figura 4.3).

Nella figura 4.4 viene riportato un bilancio di massa indicativo dei possibili recuperi conseguibili tramite l'applicazione della tecnologia Ebara.

Per quanto riguarda gli aspetti economici, il *gate fee* richiesto è stimabile in 120-200 €/t [20]. Tale valore tiene conto dei costi d'investimento e di esercizio dell'impianto, dello smaltimento dei residui, degli introiti derivanti dalla vendita delle frazioni metalliche recuperate e della cessione dell'energia.

**Figura 4.4 – Bilancio di massa della tecnologia TwinRec**



Elaborazione ENEA

È da rilevare che la possibilità dell'impiego della tecnologia Ebara per il trattamento dell'ASR aveva anche destato l'interesse a livello nazionale del Gruppo Falck che nel corso del 2005 aveva affidato, tramite la Actelios SpA, al consorzio di ricerca LEAP uno specifico studio riguardante la sua fattibilità tecnico-economica ed ambientale [7].

#### 4.3.2 La tecnologia Nippon Steel

La Nippon Steel Corporation è il maggior produttore giapponese di acciaio e tra i primi a livello mondiale. Nel corso degli anni essa ha sviluppato attività nei settori dell'ingegneria, dello sviluppo urbano, della produzione di sostanze chimiche e di nuovi materiali, dell'elettronica, nonché nella gestione dei rifiuti.

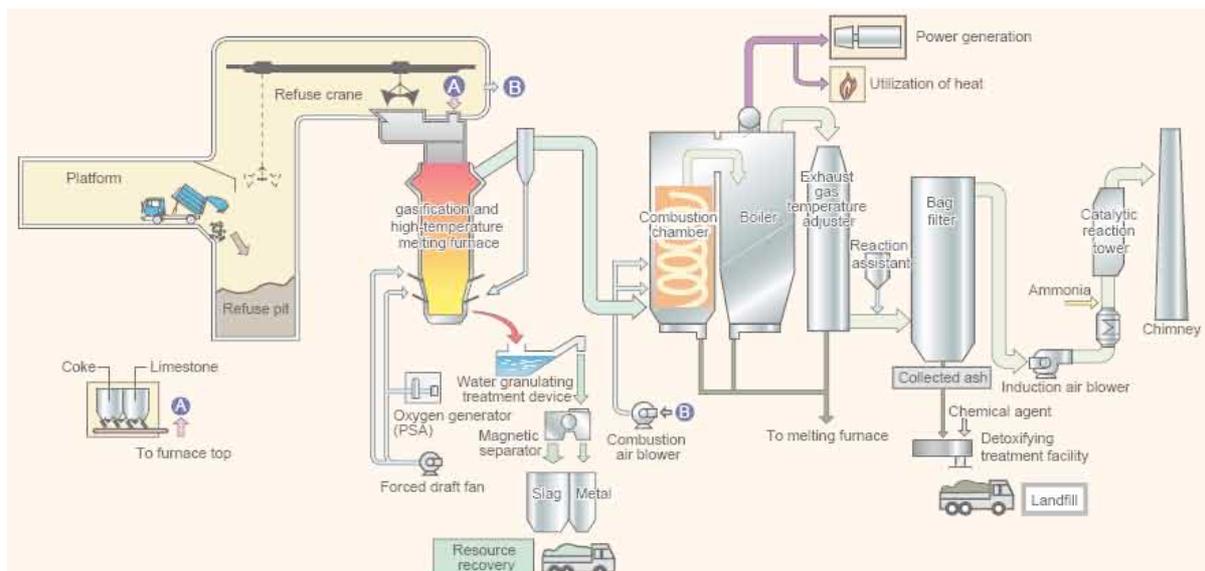
La tecnologia DMS ("Direct Melting System") sviluppata dalla società NSE (Nippon Steel Engineering) deriva da un processo termico da tempo impiegato nell'industria metallurgica, che è stato esteso al trattamento dei rifiuti, anche di origine urbana. Alla base di questo la necessità di trovare una soluzione di lungo termine alla problematica dello smaltimento dei rifiuti, particolarmente sentita in Giappone a causa dell'assai limitata disponibilità di discariche, che consenta al tempo stesso:

- il recupero energetico;
- la produzione di scorie fuse allo stadio granulato, riutilizzabili come materiale da costruzione;
- il recupero di materiali ferrosi da reimpiegare nell'industria metallurgica.

La tecnologia DMS consiste in un trattamento combinato di gassificazione dei rifiuti (pre-trattamento), combustione del syngas prodotto e fusione delle scorie. La gassificazione e la fusione avvengono all'interno della stessa apparecchiatura, costituita da un forno ad asse verticale nel quale i rifiuti sono alimentati dall'alto (previa riduzione della pezzatura) assieme a coke e calcare, in quantità dell'ordine del 4-5% (in funzione delle caratteristiche dei rifiuti).

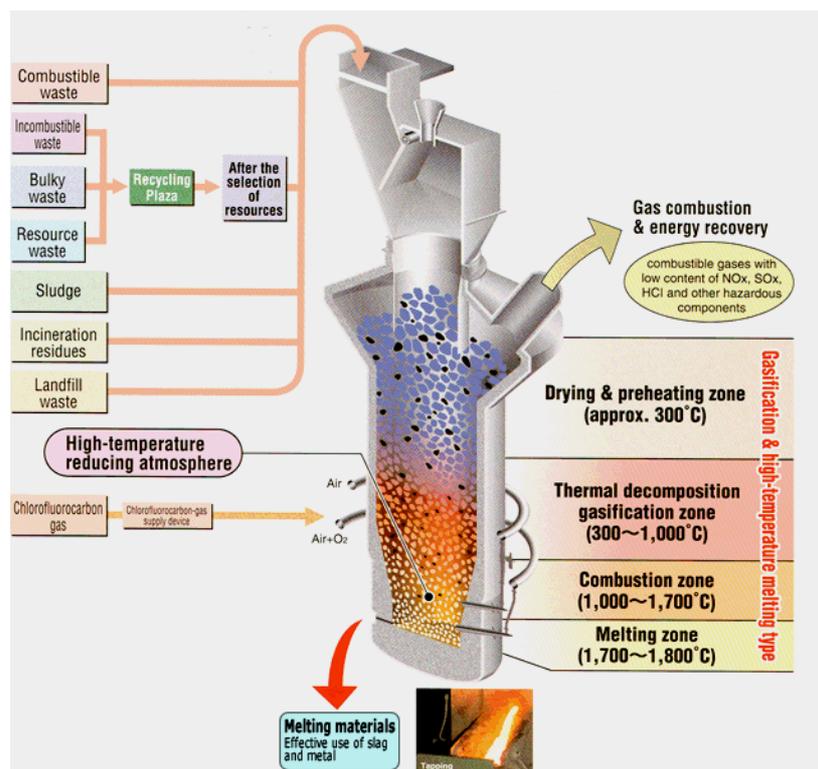
La combustione del syngas prodotto avviene in una caldaia di recupero a valle, cui segue un sistema di trattamento dei fumi del tutto simile a quello di un impianto di incenerimento (figura 4.5).

Figura 4.5 – Schema di principio della tecnologia DMS della Nippon Steel



Fonte: Nippon Steel

Figura 4.6 – Schema di funzionamento dell'apparecchiatura Nippon Steel



Fonte: Nippon Steel

Scendendo dall'alto verso il basso del forno i rifiuti attraversano tre distinte zone (figura 4.6) costituite rispettivamente da:

- essiccamento, in cui viene rimossa l'umidità contenuta, a temperature di 200-300 °C;
- gassificazione, in condizioni sub stechiometriche con formazione di CH<sub>4</sub>, CO, H<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub>, a temperature variabili tra 300 e 1.000 °C;
- combustione del carbonio fisso e fusione delle scorie, ottenute tramite l'iniezione di aria arricchita con ossigeno e temperature dell'ordine di 1.500 °C. Le scorie vengono successivamente scaricate allo stato fuso e granulate tramite brusco raffreddamento.

La tecnologia DMS è una tecnologia industrialmente matura essendo supportata da un buon numero di referenze di impianti operativi. Il primo impianto di capacità pari a 135.000 t/a è stato avviato nel 1980 a Ibaraki (Giappone) ed è tuttora operativo.

A fine 2008 la Nippon Steel vantava referenze per oltre 30<sup>48</sup> impianti costruiti, aventi una capacità complessiva di trattamento su base annuale di 1,9 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, fanghi ed altre tipologie di rifiuti. Inoltre la società ha in previsione di far entrare in funzione altri 5 impianti entro il 2013, per una capacità aggiuntiva di 700.000 t/a.

La tecnologia DMS è una tecnologia consolidata, supportata da numerose referenze, anche se pressoché tutte riferite alla situazione giapponese, per la quale le condizioni di mercato e le caratteristiche dei rifiuti differiscono significativamente rispetto a quelle tipiche del contesto europeo e nazionale.

Sullo stesso principio sono state sviluppate in Giappone delle tecnologie similari. Tale situazione non è assolutamente casuale ma è frutto dell'esigenza, fortemente sentita in tale Paese, di massimizzare il recupero/riciclo dei residui di trattamento, minimizzando così l'uso della discarica.

<sup>48</sup> Di cui uno solo realizzato al di fuori del Giappone nella città di Yangsan (Corea), avviato nel 2008 e avente una capacità di 100 t/g ripartita su due linee di trattamento.

Un motivo di perplessità che potrebbe limitare notevolmente la loro diffusione al di fuori del Giappone risiede nei costi associati alla realizzazione e all'esercizio degli impianti; anche se non noti in dettaglio perché specifici del singolo progetto, sono da ritenersi presumibilmente maggiori di quelli associabili agli impianti tradizionali di recupero energetico.

È da valutare anche l'entità del recupero energetico conseguibile alla luce del fatto che, contrariamente a quanto avviene in Italia, tale aspetto non è particolarmente di interesse in Giappone.

Allo stato attuale la Nippon Steel ha realizzato due impianti che trattano ASR e altre tipologie di rifiuti industriali:

- l'impianto di Kita-Kyushu (Giappone), di proprietà della Kita-Kyushu Energy Co, avviato nel 2005 ed avente una capacità di 320 t/g ripartita su due linee da 160 t/g ciascuna. Il recupero energetico è effettuato con produzione di energia elettrica tramite un ciclo termico convenzionale con turbina a vapore;
- l'impianto di Nagoya (Giappone), sito presso lo stabilimento siderurgico della Nippon Steel Corporation, avviato nel 2006, costituito da una linea da 120 t/g in grado di trattare ASR anche al 100%. Il calore dei fumi viene recuperato con produzioni di vapore per utilizzi interni dell'impianto.

Le principali caratteristiche dei due impianti sono riportate nella *tabella 4.3*.

**Tabella 4.3 – Caratteristiche degli impianti della Nippon Steel che trattano ASR**

Località	Rifiuti trattati	Anno avviamento	Linee		Carico termico MW	Recupero energetico
			Capacità N°	t/g		
Kita-Kyushu (JP)	Rifiuti industriali (incluso ASR)	2005	2	320	n.d.	Produzione en. elettr. P = 14 MW
Nagoya (JP)	ASR	2006	1	120	n.d.	Produzione vapore

Elaborazione ENEA

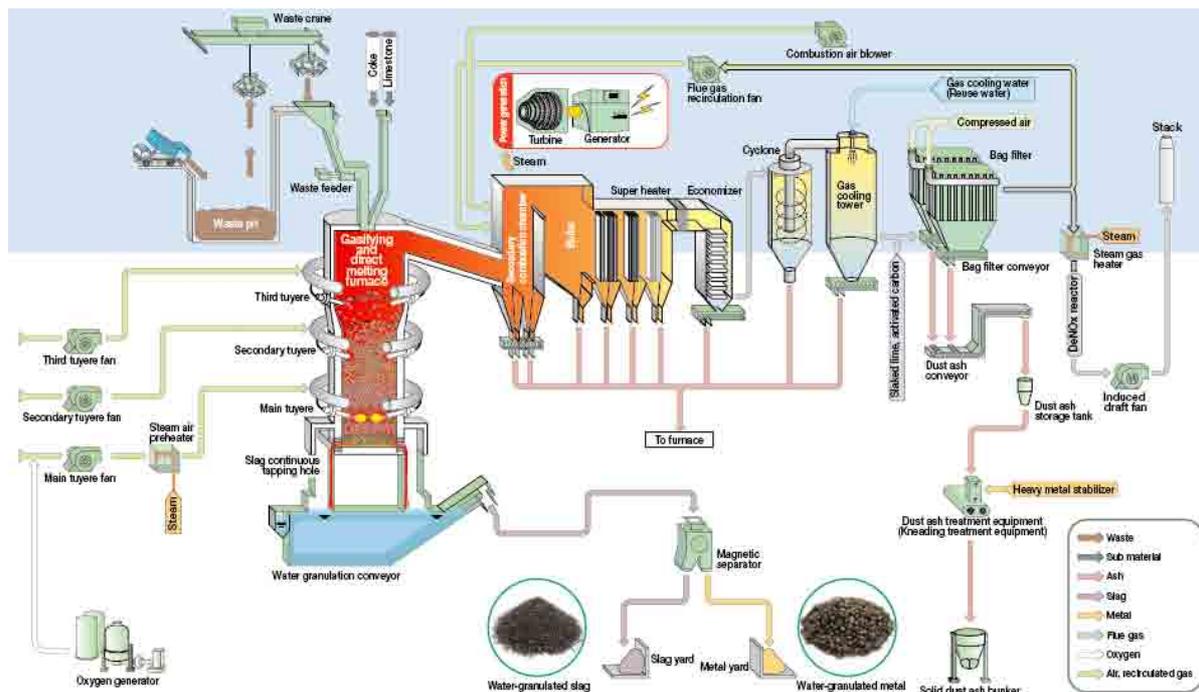
#### 4.3.3 La tecnologia JFE

La tecnologia HTG/DM (“High Temperature Gasifying and Direct Melting”) è stata messa a punto dalla JFE (Japan Fe Engineering), costituita nel 2002 dalla fusione di due aziende operanti nel settore metallurgico: la NKK e la Kawasaki Steel, quest'ultima già licenziataria per il Giappone della tecnologia di gassificazione dei rifiuti sviluppata dalla società svizzera Thermoselect. La JFE ha ereditato i settori delle due aziende costituenti e costituisce attualmente il terzo produttore di acciaio a livello mondiale.

La tecnologia HTG/DM consiste in un trattamento condotto in due stadi di cui il primo realizza la gassificazione dei rifiuti (pre-trattamento) e la fusione delle scorie, mentre nel secondo avviene la combustione del syngas prodotto. Si tratta anche in questo caso di un processo di trattamento termico dei rifiuti derivato dall'industria metallurgica e concettualmente simile a quello proposto dalla NSE.

L'apparecchiatura di gassificazione/fusione è costituita da un forno ad asse verticale nel quale i rifiuti sono alimentati dall'alto (previa riduzione della pezzatura) assieme a coke e calcare, in percentuali che sono funzione delle caratteristiche dei rifiuti (dell'ordine del 4-5% nel caso dei rifiuti urbani).

Figura 4.7 – Schema di principio della tecnologia HTG/DM della JFE



Fonte: JFE

La combustione del syngas prodotto avviene in una caldaia di recupero a valle, cui segue un sistema di trattamento dei fumi del tutto simile a quello caratteristico di un impianto di incenerimento (figura 4.7).

Scendendo dall'alto verso il basso del forno (figura 4.8, nella pagina successiva) i rifiuti attraversano tre distinte zone costituite rispettivamente da:

- il “freeboard” dove ad una temperatura superiore a 850 °C avviene il “reforming” del syngas prodotto nella zona sottostante;
- una zona di essiccamento/pirolisi/gassificazione tramite l'iniezione di aria ad alta velocità;
- una zona di combustione del materiale residuo e del coke tramite aria arricchita in ossigeno (circa il 30%) che consente di raggiungere temperature dell'ordine di 1.500 °C; le scorie vengono scaricate allo stato fuso e granulate tramite brusco raffreddamento.

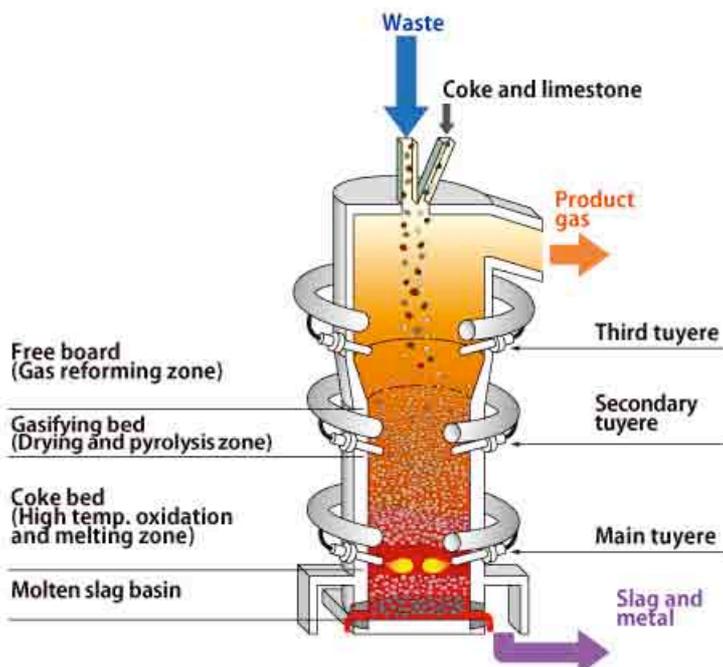
L'aria è introdotta nel forno attraverso un sistema di tre distinti collettori: primario, secondario e terziario, situati a vari livelli di altezza del reattore.

La tecnologia HTG/DM è da considerarsi industrialmente matura essendo supportata da un buon numero di referenze di impianti operativi, anche se in numero inferiore a quello di NSE. Alla fine del 2008 la JFE vantava referenze per 10 impianti costruiti, tutti realizzati in Giappone tra il 2003 ed il 2008, di taglia piuttosto ridotta (20-125 t/g), fatta eccezione per l'impianto di Fukuyama (avviato nel 2004) avente una capacità di 314 t/g di CDR (Combustibile Derivato da Rifiuti).

La tecnologia in questione può accettare in entrata diverse tipologie di rifiuti quali:

- Rifiuto Urbano Residuo;
- CDR;
- fanghi da depurazione acque;
- ASR;
- rifiuti pericolosi, inclusi i sanitari;
- rifiuti derivanti da bonifica di discariche.

Figura 4.8 – Schema di principio della dell'apparecchiatura JFE



Fonte: JFE

La società JFE possiede una notevole esperienza nel settore dei trattamenti termici dei rifiuti e propone anche impianti a griglia, a letto fluido nonché per la fusione delle scorie da incenerimento, oltre ad alcuni impianti di gassificazione costruiti su licenza della Thermoselect. Le sue realizzazioni in questo settore ammontano a circa 80 impianti.

Il principio di funzionamento è molto simile a quello adottato dalla NSE, esaminata in precedenza, e le stesse sono anche le finalità derivanti dal contesto giapponese.

Un motivo di perplessità che potrebbe limitare notevolmente la loro diffusione al di fuori del Giappone risiede nei costi associati alla realizzazione e soprattutto all'esercizio degli impianti; anche se non noti in dettaglio, perché specifici del singolo progetto, sono da ritenersi, anche in questo caso, presumibilmente maggiori di quelli associabili agli impianti tradizionali di recupero energetico.

La JFE ha effettuato alcune esperienze di trattamento termico di ASR in combinazione con altre tipologie di rifiuti. I quantitativi alimentati sono stati però piuttosto contenuti, al massimo dell'ordine del 10% del totale dei rifiuti trattati.

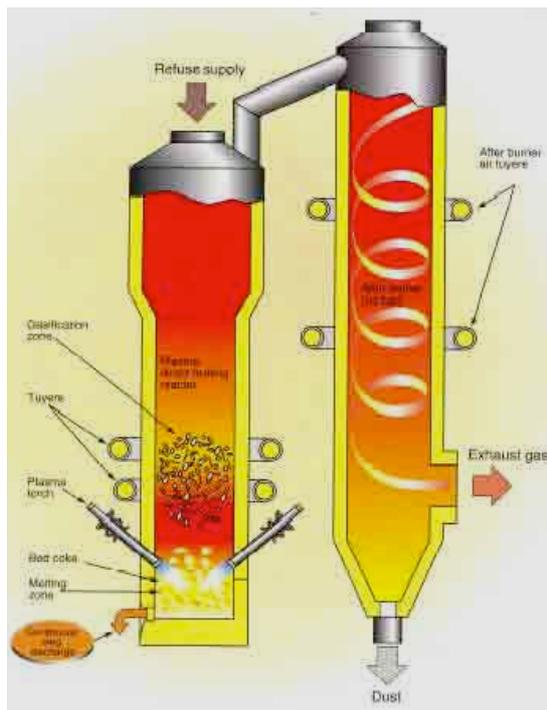
Secondo la loro esperienza il pericolo maggiore è rappresentato dal rischio di "clogging", vale a dire del possibile intasamento del letto di rifiuti all'interno del gassificatore. Mantenendosi a quantitativi di ASR al di sotto del 10% non dovrebbe sussistere nessun inconveniente di carattere tecnico.

#### 4.3.4 La tecnologia Hitachi Metals

La società giapponese Hitachi Metals Environmental Systems ha messo a punto un sistema di trattamento termico di rifiuti basato sulla tecnologia della torcia al plasma. Tale sistema è frutto di una collaborazione con la Westinghouse Plasma Corporation, proprietaria della tecnologia del plasma, attualmente detenuta dalla Alter NRG.

Il sistema utilizza un gassificatore verticale (figura 4.9) con riscaldamento, posto nella parte bassa dell'apparecchiatura, fornito dal plasma assistito con aria per ottenere la completa ossidazione dei composti organici e la contestuale fusione delle scorie, grazie alle elevate temperature operative che vengono raggiunte.

**Figura 4.9 – Schema di funzionamento dell'apparecchiatura Hitachi Metals**



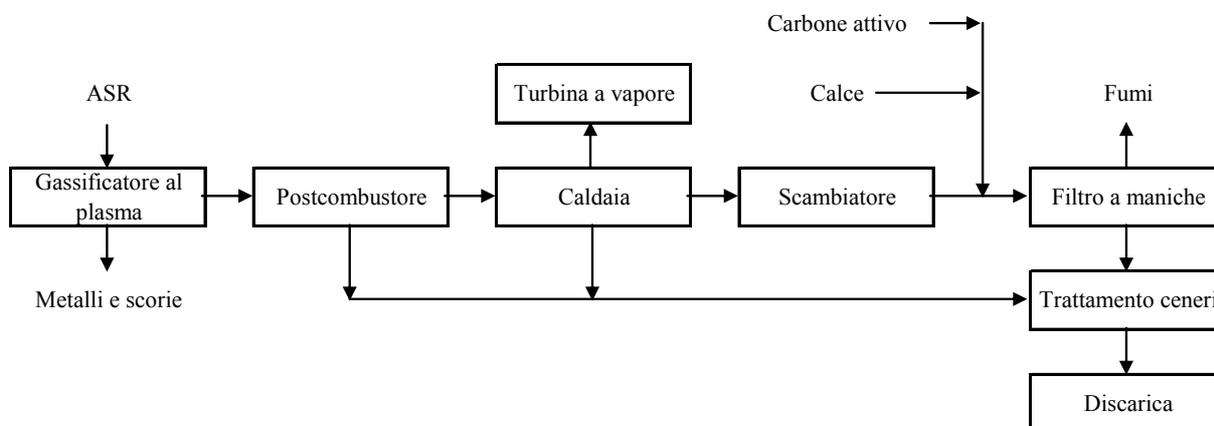
Fonte: Hitachi Metals

Dopo un brusco raffreddamento le scorie vengono separate in metalli ed inerti, che possono essere destinati al re-impiego rispettivamente nell'industria metallurgica e nel settore delle costruzioni.

Il syngas uscente dall'alto dell'apparecchiatura viene combusto direttamente per la produzione di energia termica in una camera di combustione immediatamente a valle del reattore di gassificazione (figura 4.10). Segue successivamente un sistema di trattamento dei fumi del tutto simile a quello tipico di un impianto di incenerimento.

La Hitachi Metals, insieme con la Westinghouse Plasma, ha esercito un impianto pilota a Yoshii (Giappone), della capacità di 1 t/h, per il trattamento di rifiuti urbani. L'impianto avviato nel corso del 1999 è stato dismesso nel 2004.

**Figura 4.10 – Schema di principio della tecnologia Hitachi Metals**



Elaborazione ENEA

Successivamente sulla stessa tecnologia sono stati realizzati due impianti:

- l'impianto di Mihama-Mikata (Giappone), avviato nel 2002, avente una capacità complessiva di circa 24 t/g di rifiuti (19 da rifiuti urbani e 5 da fanghi di depurazione). Il syngas prodotto viene impiegato per la produzione di acqua calda per usi interni e di utenze limitrofe;
- l'impianto di Utashinai (Giappone), avviato nel 2003, avente una capacità complessiva (ripartita su 2 linee) fino a 280 t/g nel caso di trattamento di soli rifiuti urbani. Il syngas prodotto viene impiegato per la produzione di energia elettrica (potenza installata: 7,9 MW) tramite una turbina a vapore, ceduta all'esterno al netto degli autoconsumi.

In particolare l'impianto di Utashinai (Giappone) è dimensionato per il trattamento simultaneo di ASR e rifiuti urbani e risulta in grado di trattare fino a 150 t/g nel caso di impiego di ASR al 100%. Non è chiaro però se tali condizioni di marcia siano state o meno mai realizzate.

#### 4.3.5 La tecnologia Mitsui/Takuma

Nel corso degli anni '90 la Siemens ha sviluppato una tecnologia di trattamento termico di rifiuti di varia natura denominata TWR ("Thermal Waste Recycling") basata su un processo combinato di pirolisi in tamburo rotante cui segue una combustione ad alta temperatura (fino a circa 1.300 °C).

Tra le tipologie di rifiuti che possono essere trattate con questo processo vi sono:

- rifiuti urbani;
- fanghi;
- rifiuti di materie plastiche;
- biomasse residuali di origine vegetale ed animale;
- ASR.

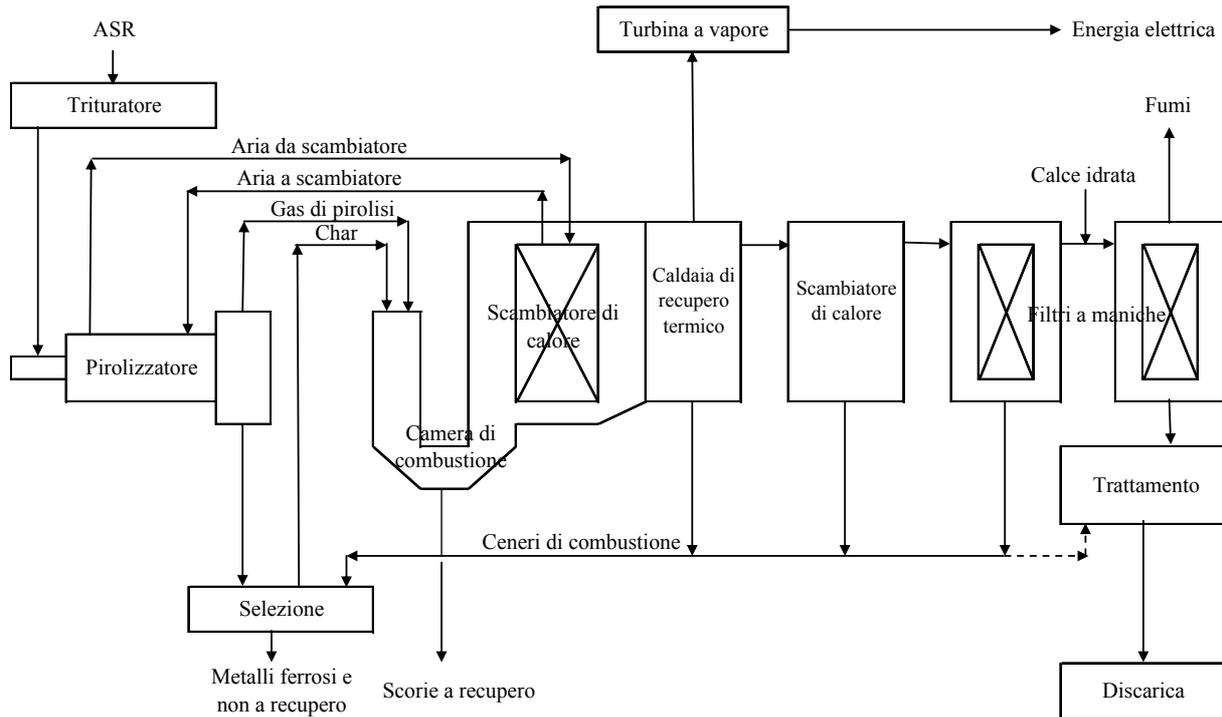
Nel 1997 era stato avviato a Furth (Germania) un impianto da 240 t/g (tonnellate al giorno) ripartite su due linee di trattamento per una capacità complessiva di circa 150.000 t/a. Durante l'esercizio l'impianto ha presentato da subito delle problematiche di tipo tecnico che hanno portato la Siemens ad abbandonare definitivamente questo settore.

La licenza della tecnologia era stata comunque ceduta alle due aziende Mitsui e Takuma, attive sul mercato giapponese, le quali hanno apportato delle modifiche consentendo la realizzazione di alcuni impianti a livello industriale.

In particolare la Mitsui ha sviluppato il cosiddetto "Mitsui R21 process", apportando alcune migliorie alla tecnologia Siemens, che hanno riguardato, tra l'altro, la triturazione dei rifiuti da trattare, e la modifica del meccanismo di tenuta del tamburo di pirolisi.

I rifiuti (*figura 4.11*) vengono alimentati nel tamburo rotante dove avviene la pirolisi, a temperature dell'ordine dei 450 °C, che dà luogo in uscita al gas di pirolisi ("syngas") ed a un residuo solido combustibile ("char") e inerti. Il tempo di residenza all'interno del reattore è pari a circa 1 ora. Se necessario il residuo solido può essere sottoposto a vagliatura per recuperare i metalli; successivamente il char viene avviato assieme al syngas in una camera di combustione che opera in condizioni di temperatura (1.300 °C) tali da consentire la fusione dei composti inorganici che vengono scaricati dal fondo e raffreddati bruscamente in un bagno d'acqua, assumendo una consistenza vetrosa. I fumi in uscita dalla camera di combustione vengono avviati ad un sistema di recupero del calore per la produzione di energia termica e/o elettrica e successivamente trattati in un sistema di tipo convenzionale prima dello scarico in atmosfera. La tecnologia Mitsui vanta alcune referenze con almeno 6 impianti, tutti realizzati in Giappone, aventi capacità di trattamento comprese fra 47.000 e 133.000 t/a.

Figura 4.11 – Schema di principio della tecnologia Mitsui



Elaborazione ENEA

In particolare sull'impianto di Yame Seibu (Giappone), entrato in funzione nel marzo del 2000, sono stati svolti diversi test per lo smaltimento dell'ASR.

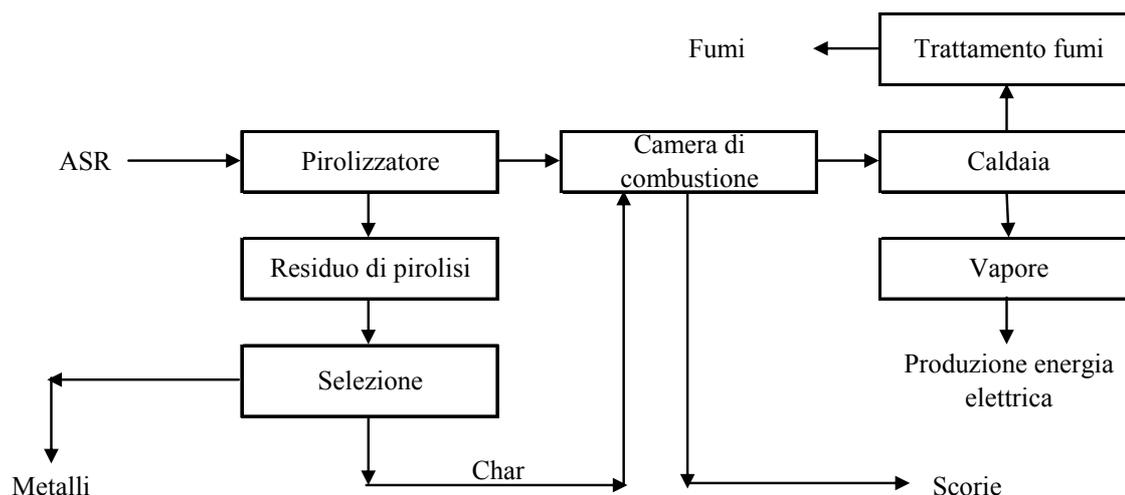
La Takuma impiega una tecnologia simile a quella della Mitsui in alcuni impianti in Giappone, ripresa anch'essa da quella della Siemens. Attualmente la Takuma dispone come referenze di 4 impianti di cui 3 dedicati al trattamento di rifiuti urbani e 1 dedicato al trattamento di ASR. Per quanto riguarda l'aspetto specifico del trattamento dell'ASR, con questa tecnologia è da rilevare che la Siemens aveva esercito un impianto pilota a Wiblingen-Ulm (Germania) a partire dal 1988 avente una capacità di 4,8 t/g di ASR, dismesso in seguito per ragioni economiche.

Oltre alla già citata esperienza della Mitsui con l'impianto di Yame Seibu, va segnalato che la Takuma [21] ha in esercizio dal 1998 l'impianto di Kanemura (Giappone) di proprietà della Kanemura Co. Ltd, avente una capacità di trattamento pari a circa 90 t/g di ASR, di cui si riporta uno schema di principio nella *figura 4.12*.

Nella *figura 4.13* viene riportato un bilancio di massa sintetico del possibile recupero conseguibile sull'impianto di Kanemura (Giappone), elaborato sulla base dell'esperienza maturata. Dall'esame dei dati riportati si può rilevare che dal trattamento di 1 tonnellata di ASR si hanno in uscita:

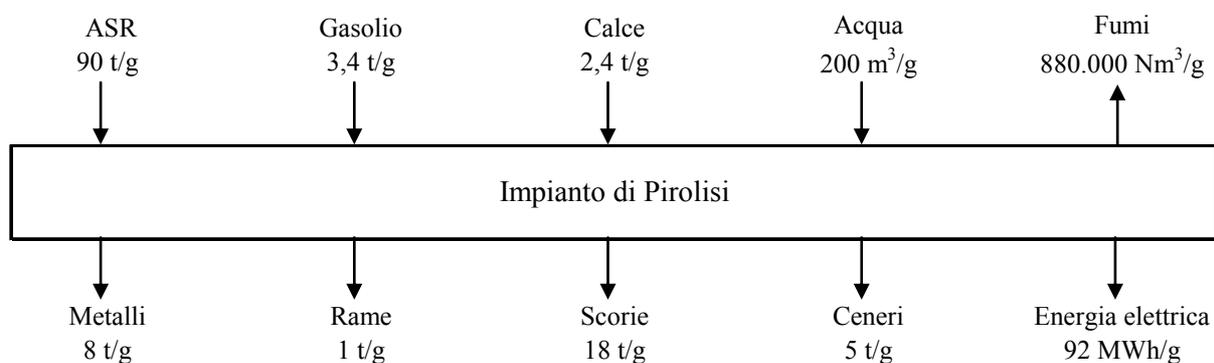
- metalli (10% circa) da destinare a recupero;
- scorie allo stato vetrificato (20%) riutilizzabili come inerti da costruzione;
- circa 1 MWh di energia elettrica prodotta;
- residui dal trattamento dei fumi (5% circa), da smaltire in discarica.

**Figura 4.12 – Schema di principio dell’impianto di Kanemura (Giappone) della Takuma**



Elaborazione ENEA su fonte Takuma [21]

**Figura 4.13 – Bilancio di massa dell’impianto di Kanemura (Giappone) della Takuma**



Elaborazione ENEA su fonte Takuma [21]

#### 4.3.6 L’impianto SVZ

L’impianto di Schwarze Pumpe realizzato in Germania (Sassonia) costituisce uno degli insediamenti industriali di gassificazione da più lungo tempo operativo per quanto riguarda il trattamento di rifiuti.

La sua funzione originaria consisteva nel trattamento del carbone (in particolare lignite) estratto dalle miniere presenti sul territorio stesso, che costituiva allora la principale fonte energetica della ex Germania Orientale per la produzione di gas combustibile ad uso civile.

Nel corso degli anni sono stati realizzati diversi ampliamenti all’interno del polo industriale, arrivando a coprire circa il 75% del consumo complessivo di gas di città tramite la presenza di 24 gassificatori a letto fisso.

Nel 1996 Schwarze Pumpe, ora “Sekundärrohstoff Verwertungszentrum (SVZ) Schwarze Pumpe” (Centro per il re-impiego di materie prime secondarie), è stata acquisita da BWB-Berliner Wasserbetriebe (Berlin Water Authority).

Nel 1997 l’impianto è stato riconvertito al trattamento di rifiuti, impiegando parte dei gassificatori già disponibili.

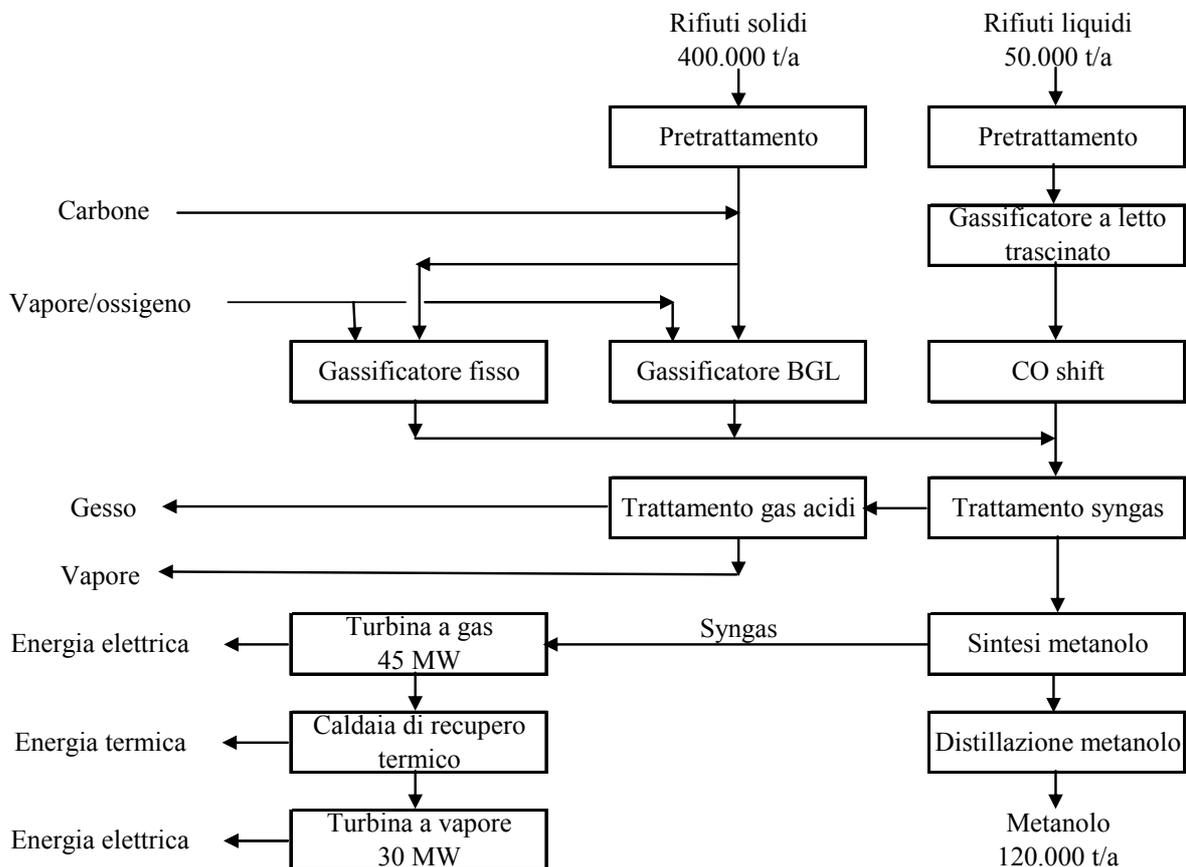
L’impianto SVZ produce gas derivato, a partire da rifiuti solidi o liquidi, da destinare alla sintesi di metanolo ovvero impiegato come combustibile per la produzione di energia elettrica.

Le caratteristiche principali dell'impianto sono:

Avvio dell'impianto a lignite:	1959
Riavvio per il trattamento di rifiuti:	1997
Capacità dell'impianto:	400.000 t/a di rifiuti solidi 50.000 t/a di rifiuti liquidi
Tipologia di rifiuti trattati:	Plastiche miste, ASR, fanghi di depurazione, pneumatici fuori uso, residui legnosi, legno contaminato, biomasse, CDR, oli esausti, vernici, residui di raffinazione, rifiuti urbani, solventi esausti, TAR
Capacità produttiva	120.000 t/a di metanolo 75 MW di potenza elettrica installata

Il diagramma di flusso del ciclo produttivo realizzato nel complesso industriale SVZ è riportato nella *figura 4.14*.

**Figura 4.14 – Schema di principio del complesso industriale di Schwarze Pumpe**



Elaborazione ENEA su fonte SVZ [22]

Attualmente risultano installati 10 gassificatori così ripartiti:

- 7 a letto fisso;
- 1 di tipo BGL-G (British Gas Lurgi slagging bed Gasifier);
- 2 a flusso trascinato.

In considerazione delle tipologie di rifiuti trattati e delle diverse caratteristiche dei gassificatori installati, è previsto all'interno dell'impianto un sistema piuttosto articolato di pre-trattamento dei rifiuti al fine di preparare la "carica" da trattare.

Tali trattamenti, finalizzati ad ottenere un materiale pellettizzato o bricchettato, includono:

- triturazione primaria;
- vagliatura;
- separazione dei materiali ferrosi e non ferrosi;
- granulazione;
- essiccamento;
- compattazione.

Nel periodo 1992-2005 l'impianto SVZ ha trattato circa 1,8 milioni di tonnellate di rifiuti di varia natura, tra i quali anche circa 20.000 tonnellate di ASR [22].

Di particolare interesse sono state le prove di gassificazione condotte [23] per il trattamento di circa 930 t di ASR alimentato, previo pre-trattamento, al gassificatore di tipo BGL-G.

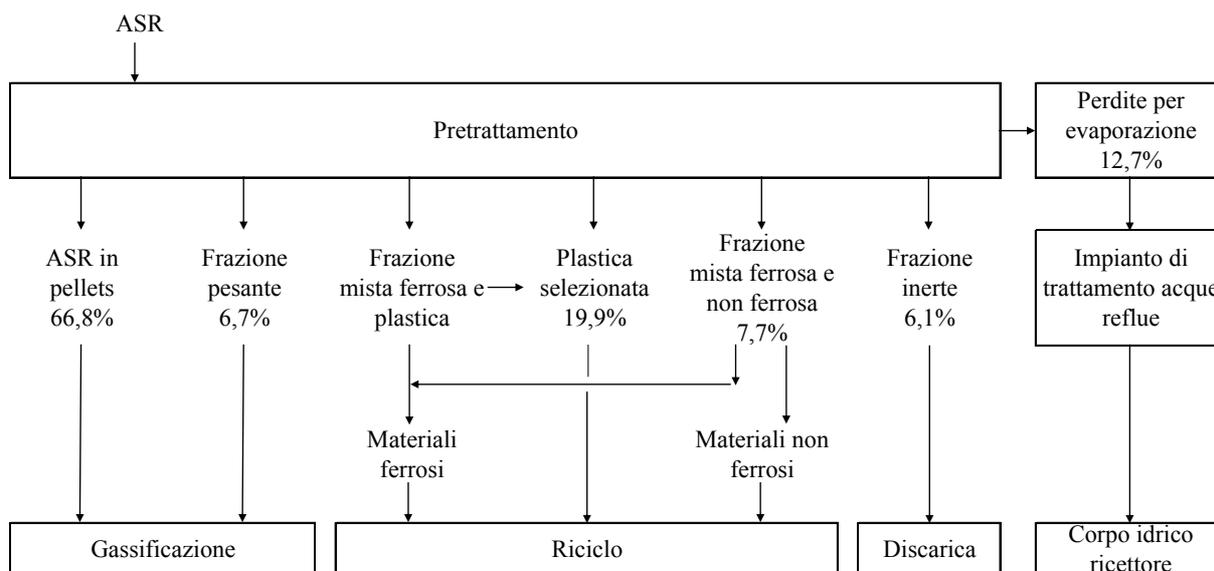
Nel corso di tali prove l'impianto è stato esercito in condizioni di normale funzionamento che hanno previsto, oltre al pre-trattamento, l'alimentazione dell'ASR al gassificatore, nonché la produzione di syngas destinato, previa depurazione, alla sintesi di metanolo ed alla produzione di energia elettrica.

L'ASR pellettizzato è stato alimentato nel corso delle prove assieme ad altri rifiuti fino ad una percentuale massima del 25% in peso, notevolmente superiore a quella di norma impiegata (dell'ordine del 10-15%) in precedenti esperienze che avevano riguardato l'impiego dei gassificatori a letto fisso.

In accordo ai risultati di questa esperienza è stato stimato [23] che l'impianto SVZ sarebbe in grado di trattare fino a circa 150.000 t/a di ASR, che potrebbero salire a circa 200.000 t/a nel caso dell'installazione di un ulteriore gassificatore di tipo BGL-G.

Nella *figura 4.15* viene riportato un bilancio di massa sintetico del possibile recupero conseguibile sull'impianto SVZ, elaborato sulla base dell'esperienza maturata.

**Figura 4.15 – Bilancio di massa del trattamento dell'ASR presso l'impianto SVZ**



Elaborazione ENEA su fonte GHK [20]

Dall'esame dei dati riportati si può rilevare che:

- il 74% circa dell'ASR in ingresso all'impianto viene destinato alla gassificazione per il recupero di materia ed energia;
- l'8% circa dell'ASR è costituito da metalli ferrosi e non ferrosi, destinabili a recupero;
- il 6% circa è costituito da inerti da smaltire in discarica;
- il 12% circa è costituito da perdite per evaporazione, da trattare come acque di scarico.

#### 4.3.7 La tecnologia Citron

La società Citron AG (Centre International de Traitement et de Recyclage des Ordures Nocives) è stata costituita nel 1997 allo scopo di mettere a punto e realizzare un sistema per il recupero ed il riciclo di metalli contenuti in varie tipologie di rifiuti tramite un trattamento di tipo termico.

L'obiettivo principale era inizialmente focalizzato sul trattamento delle batterie.

Tuttavia l'impianto in esercizio dal 1999 a Rogerville nei pressi di Le Havre (Francia) è in grado di trattare un'ampia gamma di rifiuti, anche pericolosi, riconducibili alle seguenti tipologie:

- pile e batterie;
- rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE);
- ASR;
- rifiuti organici;
- rifiuti liquidi;
- fanghi di varia natura;
- catalizzatori esausti;
- terre contaminate;
- residui da trattamento dei fumi.

L'apparecchiatura principale di trattamento è costituita da un forno a suola rotante denominato "Oxyreducer" nel quale viene effettuato il trattamento termico dei rifiuti tramite riscaldamento in ambiente riducente.

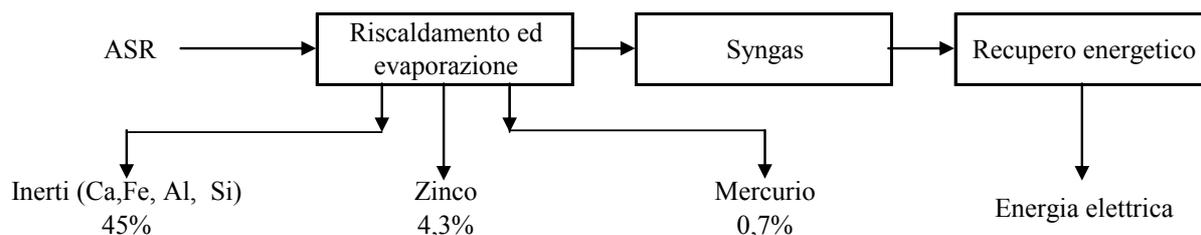
Il ciclo di trattamento prevede:

- il riscaldamento con la conseguente pirolisi dei composti organici;
- la riduzione degli ossidi metallici allo stato metallico;
- la separazione ad alta temperatura dei metalli più volatili (zinco, cadmio, mercurio) dalla frazione più pesante (ferro, rame, manganese);
- la combustione del gas di processo generato;
- il sistema di trattamento dei fumi.

La capacità di trattamento dell'impianto è pari a circa 130.000 t/a, di cui circa 20.000 t/a riservate al trattamento di ASR o flussi simili.

Nella *figura 4.16* si riporta uno schema di principio quantificato relativo al trattamento dell'ASR tramite la tecnologia Citron.

**Figura 4.16 – Schema di principio quantificato del trattamento dell’ASR presso l’impianto Citron**



Elaborazione ENEA su fonte GHK [20]

Si può rilevare che, secondo quanto dichiarato, è possibile recuperare in uscita tre correnti costituite da:

- una corrente ricca in calcio, ferro, alluminio e silicio pari a circa il 45% dei rifiuti in ingresso, impiegabile nell’industria del cemento per la produzione del clinker;
- una corrente ricca in zinco (4,3%);
- mercurio (0,7%).

Sarebbe inoltre possibile recuperare l’energia contenuta nei fumi caldi in uscita; questa soluzione non viene attualmente adottata nell’impianto di Le Havre<sup>49</sup>.

A titolo informativo nella *tabella 4.4* sono riportate delle stime economiche riferite ai costi di trattamento relativi a due ipotetici impianti aventi una capacità rispettivamente pari a 80.000 t/a e 200.000 t/a.

**Tabella 4.4 – Stima dei costi di trattamento della tecnologia Citron**

Voci economiche	Capacità di trattamento			
	80.000 t/a		200.000 t/a	
Costi	€	€/t	€	€/t
Costo d’investimento	58.320.000	729	90.720.000	454
Ammortamento capitale	9.007.200	113	14.126.400	71
Personale	5.443.200	68	7.905.600	40
Costi di produzione (inclusa energia)	3.175.200	40	6.350.400	32
Altro	2.980.800	37	4.924.800	25
<b>Totale costi</b>		<b>258</b>		<b>167</b>
<b>Entrate</b>				
Zinco concentrato	-2.160.000	-27	-5.400.000	-27
Mercurio	-4.000.000	-50	10.000.000	-50
<b>Totale entrate</b>	-6.160.000	<b>-77</b>	15.400.000	<b>-77</b>
<b>Costo di trattamento</b>		<b>181</b>		<b>90</b>
<b>Gate fee</b>		<b>208</b>		<b>103</b>

Elaborazione ENEA su fonte GHK [20]

<sup>49</sup> A rigore la tecnologia Citron non sarebbe una tecnologia di recupero energetico ma piuttosto un trattamento termico finalizzato principalmente al recupero di materia. Il recupero energetico potrebbe essere previsto in futuro recuperando il calore dei gas che si formano dal trattamento.

Come può rilevarsi il probabile *gate fee* risulterebbe essere compreso fra 103 e 208 €/t in funzione della taglia dell'impianto. A tal riguardo è da rilevare che la fondazione "Auto Recycling Suisse" dichiara nel suo "Annual Report 2007" [9] di avere smaltito in tale anno presso l'impianto Citron 16.429 tonnellate di ASR corrispondendo un *gate fee* pari a 373 CHF (circa 247 €/t).

La Citron ha in programma la realizzazione di un secondo impianto in Germania nel quale dovrebbe essere previsto il recupero energetico dagli effluenti gassosi del trattamento.

La capacità di trattamento complessiva di tale impianto dovrebbe essere pari a 500.000 t/a di rifiuti di cui circa 200.000 t/a di SR, comprensive di 120.000 t/a di ASR.

#### 4.4 La situazione nazionale

##### 4.4.1 Le esperienze a livello industriale

In Italia a livello industriale sono da citare solo alcune esperienze che riguardano il trattamento simultaneo, in quantitativi minoritari, dell'ASR con altre tipologie di rifiuti, principalmente in impianti dedicati al recupero energetico da rifiuti urbani e speciali non pericolosi.

A riguardo sicuramente significativa è l'esperienza maturata dalla Società HERA presso gli impianti di recupero energetico di Granarolo (Bologna) e di Ferrara, entrambi autorizzati a trattare il rifiuto speciale non pericoloso identificato con il codice CER 19 10 04 (fluff – frazione leggera e polveri, diversi da quelli di cui alla voce 19 10 03).

In particolare l'impianto di Granarolo, avente una capacità di trattamento pari a circa 600 t/g di rifiuti urbani, è in grado di trattare con una certa continuità quantitativi di ASR compresi fra il 5 e il 10% della carica complessiva, senza riscontrare particolari problemi operativi, né risvolti negativi sulla qualità delle emissioni.

Presso l'impianto di Ferrara, invece, anch'esso autorizzato al trattamento di rifiuti aventi codice CER 19 10 04, sono state condotte nei mesi di gennaio e febbraio del 2008 delle specifiche prove di combustione di ASR finalizzate alla verifica della qualità delle emissioni, con particolare riguardo a quelle relative ai macroinquinanti ed al mercurio.

Durante questo periodo l'impianto è stato alimentato con ASR in quantità variabili tra il 5% e il 10% dei rifiuti complessivamente alimentati.

L'impianto in questione è dotato di un sistema molto avanzato di trattamento dei fumi, costituito da un doppio stadio di abbattimento dei gas acidi, ciascuno dotato di un proprio filtro a maniche, ai quali segue una sezione di riduzione degli ossidi di azoto di tipo catalitico (SCR). Alla luce di ciò non sono state rilevate durante le prove variazioni significative nei livelli delle emissioni in atmosfera, che comunque si sono sempre ampiamente mantenuti al di sotto dei limiti autorizzati.

È inoltre da ricordare che prove sperimentali di combustione di ASR erano state previste anche sull'impianto di recupero energetico da rifiuti urbani di Brescia. All'allora gestore (ASM) era stata fatta richiesta di mettere a disposizione l'impianto da parte dell'APAT e dell'ARPA Lombardia. Tali prove non sono state effettuate a causa della mancata autorizzazione al trattamento del rifiuto avente codice CER 19 10 04 da parte dell'autorità competente.

Per quanto riguarda l'utilizzo dell'ASR come fonte energetica alternativa (co-incenerimento) in impianti industriali, non si è invece avuto riscontro che tale rifiuto e/o frazioni combustibili da esso derivate tramite pretrattamenti più o meno spinti siano attualmente impiegati, in sostituzione di combustibili tradizionali, né presso l'industria siderurgica, né presso i cementifici.

#### 4.4.2 L'esperienza della MAIND

Il Ministero dell'Ambiente e la Maind Srl di Verona hanno sottoscritto il 21 aprile 2006 uno specifico Accordo di programma per promuovere lo sviluppo di tecniche appropriate e di sistemi di controllo per il recupero, il riciclo e la valorizzazione energetica dell'ASR.

L'Accordo impegnava i firmatari a realizzare un sistema integrato di gestione dell'ASR derivante dalla frantumazione dei VFV da destinare, mediante l'applicazione di opportune tecnologie, al possibile riciclo delle componenti plastiche ed al recupero energetico delle restanti frazioni per la produzione di energia elettrica. Tale sistema integrato dovrebbe avere una capacità di trattamento pari a circa 200.000 t/a di rifiuti e sarà composto da due impianti, uno ubicato al Nord e uno al Sud del Paese.

A fronte dell'Accordo di Programma siglato con il Ministero dell'Ambiente sono state eseguite dalla Maind, presso l'impianto di incenerimento con recupero energetico di pneumatici fuori uso della Marangoni<sup>50</sup> di Anagni (Frosinone), delle campagne sperimentali di prova [24] condotte sotto la supervisione dell'ISPRA (già APAT).

In particolare, la sperimentazione ha previsto, in base ad uno specifico protocollo messo a punto dall'ISPRA, in un primo momento l'esecuzione di due distinte prove sperimentali su tre diverse tipologie di rifiuti, caratterizzati da diversi contenuti di ASR (tabella 4.5), eseguite secondo il seguente programma:

- 1<sup>a</sup> prova (dal 16 luglio al 3 agosto 2007): sono state avviate a combustione due tipologie di ASR denominate rispettivamente "fluff 1" (contenente il 70% di ASR) e "fluff 2" (contenente il 30% di ASR);
- 2<sup>a</sup> prova (dal 24 settembre al 28 settembre 2007): è stata avviata a combustione una sola tipologia di rifiuti, denominata fluff 3", costituita al 100% da ASR.

Tabella 4.5 – Caratteristiche dell'ASR trattato (%)

Frazione	Fluff 1	Fluff 2	Fluff 3
	(70% ASR)	(30% ASR)	(100% ASR)
Sottovaglio <10 mm	30,14	64,98	53,45
10 mm < sottovaglio <20 mm	25,89	13,54	16,13
<b>Totale sottovaglio &lt;20 mm</b>	<b>56,03</b>	<b>78,52</b>	<b>69,58</b>

Fonte ISPRA [24]

Dai risultati di tale sperimentazione sono emerse le seguenti criticità:

- la necessità di approfondire gli aspetti inerenti il monitoraggio;
- la necessità di condurre le prove in maniera continuativa.

A fronte di tali criticità è stata eseguita un'ulteriore campagna sperimentale (dal 28 luglio al 6 agosto 2008), alimentando l'impianto con rifiuti composti al 100% da ASR.

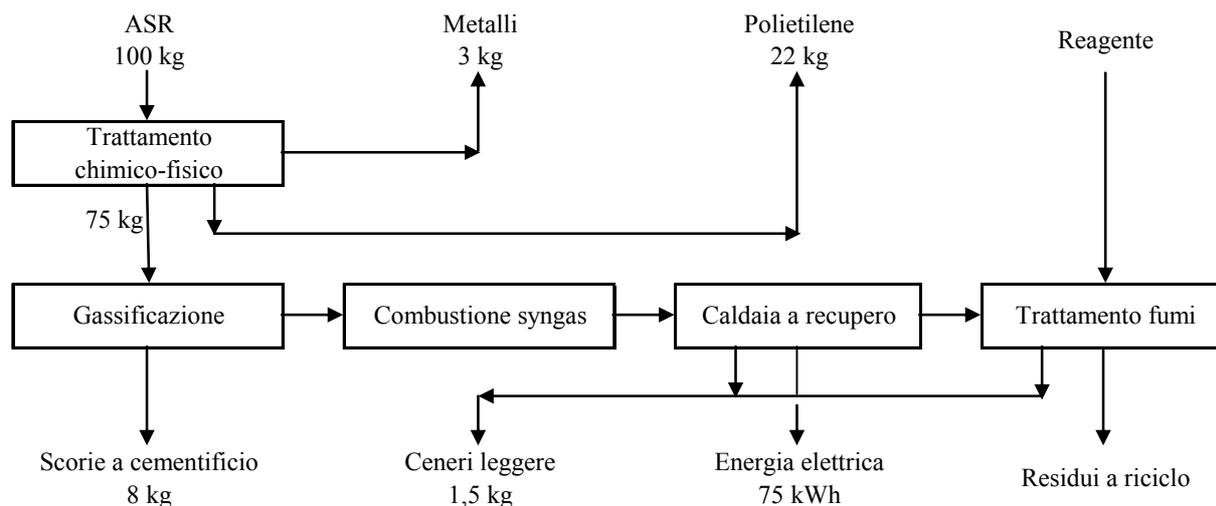
Sulla base dei risultati e delle problematiche evidenziate durante tali prove, la Maind ha provveduto ad effettuare i seguenti adeguamenti impiantistici:

- modifiche alla sezione di caricamento del forno;
- risoluzione dei problemi connessi al deposito di ceneri di combustione sulle apparecchiature.

---

<sup>50</sup> La Marangoni è nata nel 1945 come attività di riparazione di pneumatici a Rovereto (Trento). Oggi l'azienda copre l'intero ciclo di vita del pneumatico: dalla progettazione e produzione di macchinari e di tecnologie per le industrie del settore, allo sviluppo di sistemi avanzati per la ricostruzione di pneumatici, fino alla produzione di pneumatici nuovi.

Figura 4.17 – Schema di principio quantificato dell'impianto Maind



Elaborazione ENEA su fonte Maind [25]

A seguito di tali modifiche, secondo la Maind, l'impianto sarà in grado di trattare circa 50.000 t/a di ASR. La tecnologia proposta è basata sull'utilizzo di un primo stadio di gassificazione a tamburo rotante seguito da un postcombustore.

Lo schema di principio quantificato di *figura 4.17* riporta i possibili recuperi ottenibili con il trattamento proposto dalla Maind nel caso di un ipotetico flusso pari a 100 kg di ASR in ingresso.

Le prove sperimentali hanno fornito indicazioni utili in merito al comportamento ed alle prestazioni dell'impianto in condizioni di marcia continua.

Di seguito vengono riportate alcune considerazioni effettuate sulla base dei risultati di tali prove:

#### Caratterizzazione dell'ASR

- è stata riscontrata la presenza non trascurabile di elementi pericolosi come piombo, cadmio, nichel, cromo e di idrocarburi (C<12 e C>12);
- è da evidenziare una marcata variabilità delle caratteristiche chimico-fisiche dell'ASR nonostante lo stesso provenisse dal medesimo impianto di trattamento;
- i valori dello zinco e del DOC (carbonio organico disciolto), individuati su di un campione di ASR con il test di cessione, sono risultati superiori a quelli consentiti per lo smaltimento in discarica per rifiuti non pericolosi e addirittura, per il solo DOC, per lo smaltimento in discarica per rifiuti pericolosi.

#### Monitoraggio delle emissioni

- i dati di monitoraggio in continuo delle emissioni non hanno evidenziato superamenti dei valori limite previsti dal DLgs 11 maggio 2005 n. 133<sup>51</sup>;
- le concentrazioni di PCDD/PCDF ed IPA nei campioni analizzati, sono rimaste sempre di gran lunga al di sotto dei valori limite fissati dalla normativa di riferimento;
- in merito alle emissioni di metalli, i valori medi ottenuti con un periodo di campionamento di 1 ora, sono rimasti sempre al di sotto dei valori limite individuati dall'Allegato I, Punto 3 al DLgs 11 maggio 2005 n. 133;
- le problematiche di interpretazione dei risultati evidenziate nell'esercizio discontinuo sono state superate nella prova finale, che ha fornito dati più completi ed uniformi;

<sup>51</sup> Gazzetta Ufficiale n. 163 del 15 luglio 2005 - Supplemento Ordinario n. 122 - Attuazione della Direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti.

- per il contenimento delle emissioni di SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> devono essere utilizzate idonee tecniche di abbattimento nonché adeguato dosaggio di agenti neutralizzanti.

#### Residui solidi

- particolarmente elevato appare, nelle diverse tipologie di rifiuti solidi, il contenuto di piombo, rame e zinco. Alti valori di concentrazione si registrano anche per il cromo e il nichel, i quali possono avere proprietà cancerogene sia in forma elementare (nel caso del nichel) che sotto forma di composti (ossidi, solfuri ecc.); facendo riferimento al DM 3 agosto 2005<sup>52</sup>, anche il contenuto di TOC (carbonio organico totale) è risultato superiore, in diversi casi, sia al valore limite del 5% (50 g/kg s.s.) fissato ai fini dello smaltimento in discarica per rifiuti non pericolosi, che a quello del 6% per l'ammissibilità in discarica per rifiuti pericolosi; il contenuto di PCDD/PCDF e PCB si è attestato, invece, al di sotto dei limiti di ammissibilità per lo smaltimento in discariche per rifiuti non pericolosi, fissati, rispettivamente, in 10 mg/kg e 0,002 mg/kg;
- i test di eluizione hanno evidenziato un elevato contenuto di alcuni composti quali, cadmio, piombo e zinco i cui valori risultano superiori rispetto ai limiti fissati dal DM 3 agosto 2005 ai fini dell'ammissibilità in discarica per rifiuti pericolosi; anche i cloruri ed i solfati rappresentano dei parametri critici con concentrazioni superiori ai valori limite fissati per l'ammissibilità in discarica per rifiuti pericolosi;
- in sintesi, i residui solidi si configurano, di norma, come rifiuti pericolosi di non semplice gestione, per i quali è necessario individuare forme aggiuntive di trattamento ai fini del loro smaltimento in discarica.

#### *4.4.3 Le attività di R&S a cura del CSM*

Il Centro Sviluppo Materiali SpA (CSM) è un centro di ricerca applicata e di trasferimento tecnologico nel campo dei materiali metallici e ceramici e delle relative tecnologie di fabbricazione ed utilizzo.

Il CSM è partecipato da numerosi azionisti, tutte imprese, a carattere privato o pubblico/privato, operanti nei seguenti principali settori:

- siderurgia: sviluppi di prodotti, di processi e della impiantistica collegata;
- oil&gas: sviluppo del prodotto, innovazioni nella produzione, nel design, nel miglioramento di componenti e nelle prove in scala industriale;
- aerospaziale e meccanica: sviluppo di nuovi materiali (metallici, compositi ecc.) e/o di loro applicazioni, di rivestimenti superficiali funzionali, modellizzazione e verifica con prove di caratterizzazione in scala di laboratorio e reale per impieghi vari, quali strutture, componenti per motori ecc.;
- ambiente: sviluppo di tecnologie per la termodistruzione o la termovalorizzazione di rifiuti.

In particolare nel settore del trattamento dei rifiuti il CSM ha messo a punto e sta tuttora sviluppando tecnologie finalizzate al recupero di materia ed energia, tra le quali si possono sicuramente citare:

- la torcia al plasma per il trattamento di diverse tipologie di rifiuti, inclusi quelli pericolosi;
- sistemi di gassificazione per la valorizzazione energetica di rifiuti e residui industriali a base organica.

Per quanto riguarda la torcia al plasma il CSM ha sviluppato una tecnologia ad arco trasferito, mettendo a punto un sistema caratterizzato da elevata flessibilità e versatilità di impiego, idoneo al trattamento di diverse tipologie di rifiuti, sia organici che inorganici.

<sup>52</sup> Gazzetta Ufficiale n. 201 del 30 agosto 2005 - Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica.

Tra i rifiuti trattati tramite tale tecnologia si possono citare:

- scorie e ceneri derivanti dall'incenerimento di rifiuti urbani;
- ASR;
- oli contenenti PCB.

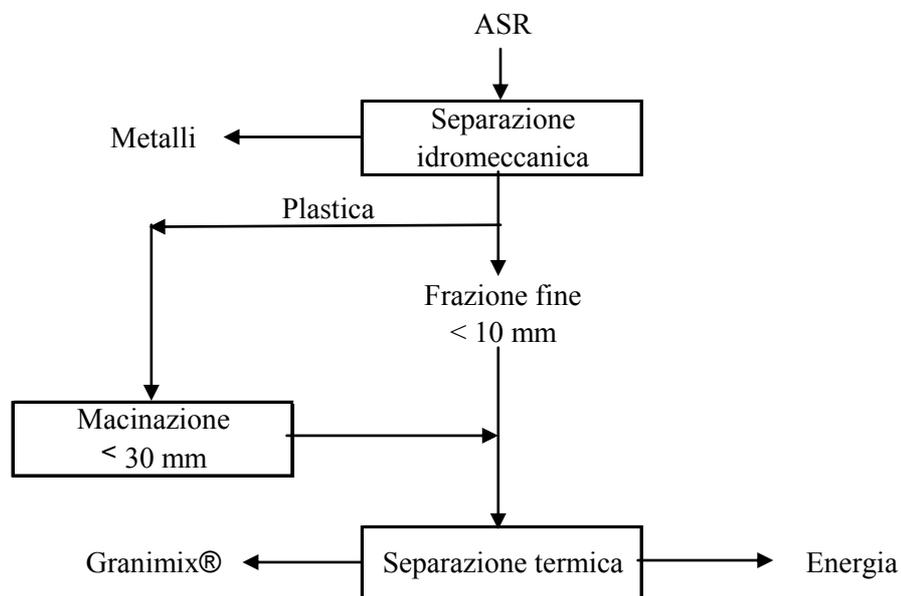
Nel campo specifico del trattamento dell'ASR, il CSM ha da tempo in corso una collaborazione con la società Centro Rottami Srl finalizzata alla messa a punto di una tecnologia per il recupero combinato di materia ed energia.

Il trattamento si basa concettualmente sulla combinazione in serie di due sistemi costituiti da:

- un sistema di pre-trattamento meccanico/idromeccanico dell'ASR messo a punto dalla Centro Rottami Srl;
- un sistema di trattamento termico sviluppato dal CSM per il recupero combinato di materia ed energia.

Lo schema di principio del sistema di trattamento proposto è riportato nella *figura 4.18*.

**Figura 4.18 – Schema di principio del sistema di trattamento CSM / Centro Rottami**



Elaborazione ENEA su fonte CSM [26]

L'ASR in ingresso viene sottoposto ad un primo trattamento di selezione (il cui brevetto è di proprietà di Centro Rottami Srl) al fine di ottenere tre flussi costituiti da:

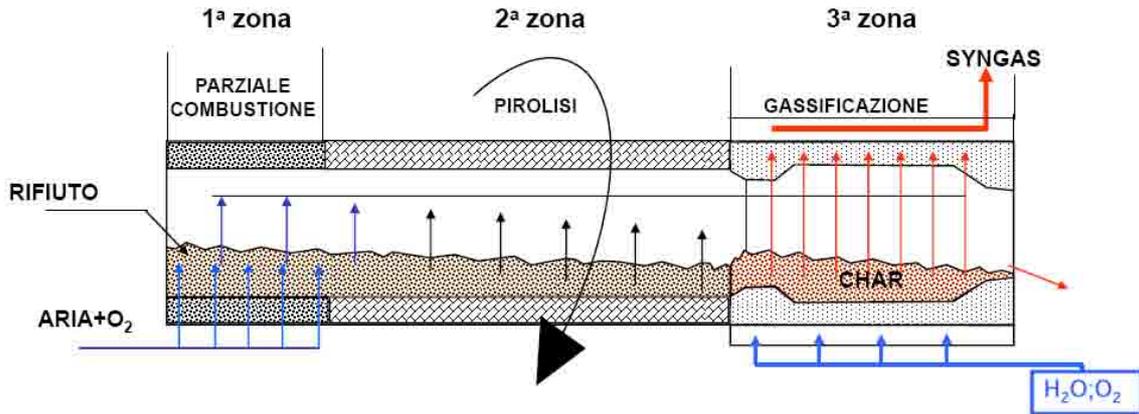
- metalli;
- plastiche;
- frazione fine.

La frazione fine (<10 mm) e le plastiche, previa triturazione fino a una pezzatura inferiore a 30 mm, costituiscono l'alimentazione alla successiva fase di trattamento termico, messo a punto e brevettato dal CSM.

In sintesi il sistema di trattamento termico è costituito dalle seguenti apparecchiature:

- un essiccatore/desorbitore a tamburo rotante, a riscaldamento indiretto, nel quale viene alimentato il materiale da trattare;
- un gassificatore a tamburo rotante, il cui schema di funzionamento è riportato nella *figura 4.19*.

Figura 4.19 – Schema di principio del gassificatore a tamburo rotante del CSM



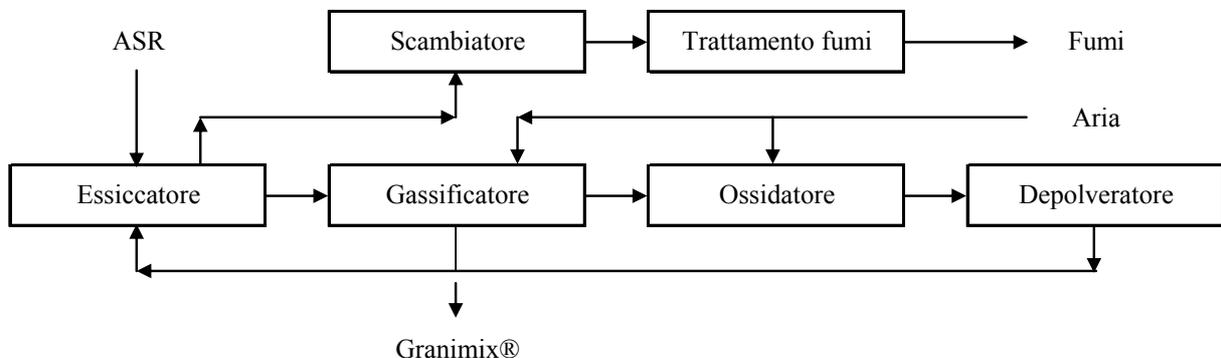
Fonte: CSM [26]

Il rifiuto viene alimentato ad una delle estremità del tamburo, per uscire da quella opposta, mentre l'aria necessaria al processo viene insufflata dal basso. Nella prima zona del tamburo avviene la combustione parziale del rifiuto, nella zona centrale la pirolisi, ed in quella finale la gassificazione.

Il CSM ha sviluppato tale sistema presso i propri laboratori costruendo per ciascuna delle apparecchiature un'unità pilota aventi capacità rispettivamente pari a circa 100 kg/h (essiccatore/desorbitore) e circa 150 kg/h (gassificatore), sulle quali sono state eseguite diverse prove sperimentali.

Lo schema di principio dell'impianto di "separazione termica" messo a punto è riportato nella figura 4.20.

Figura 4.20 – Schema di principio dell'impianto di separazione termica del CSM



Elaborazione ENEA su fonte CSM [26]

I recuperi effettuati sono costituiti da:

- un materiale costituito principalmente da inerti, (oltre a percentuali ridotte di carbonio residuo) denominato "Granimix" che può trovare impiego nella produzione di conglomerati bituminosi in parziale sostituzione di inerti da cava;
- un syngas da destinare alla produzione di energia.

Allo stato attuale il syngas viene direttamente combusto in un ossidatore ed i fumi prodotti, a parte un ridotto flusso destinato alle operazioni di essiccamento, vengono raffreddati in uno scambiatore e trattati in un sistema di depurazione prima dello scarico in atmosfera.

Su questo principio è in fase di avviamento un impianto dimostrativo su scala industriale presso lo stabilimento del Centro Rottami Srl di Cisterna (Latina), avente una capacità pari a 2,5 t/h.

Gli sviluppi futuri prevedono la messa a punto di un sistema di recupero energetico tramite la produzione di energia elettrica in un ciclo convenzionale (qualora venga mantenuta la configurazione attuale che prevede la combustione diretta del syngas) o, in prospettiva l'impiego dello stesso, previa depurazione spinta, in cicli ad elevata efficienza di conversione (motore a combustione interna, turbina a gas).

#### 4.4.4 Le prove sperimentali presso Italferro (Gruppo Fiori)

L'azienda Italferro Srl sta indagando da tempo la possibilità di integrare il riciclo ed il recupero di materia dall'ASR con il recupero energetico, al fine di allinearsi a quanto avviene in alcune realtà estere, nella prospettiva di conseguire gli obiettivi di riciclo e di recupero previsti dalla normativa.

In questo contesto nel mese di settembre 2008 è stata svolta, presso l'impianto produttivo Italferro Srl – Divisione Ecofer in Località Santa Palomba (Roma), una campagna sperimentale di vagliatura dell'ASR derivante dalla frantumazione dei pacchi carrozzeria che viene effettuata presso lo stesso sito<sup>53</sup>.

La campagna in questione, svolta sotto la supervisione dell'ENEA, aveva come obiettivi:

- la verifica dell'efficienza di separazione delle varie componenti merceologiche nelle diverse frazioni separate;
- la caratterizzazione merceologica ed analitica delle diverse frazioni, anche ai fini della classificazione normativa;
- la determinazione di alcuni parametri (PCI, metalli) in grado di fornire indicazioni sulle caratteristiche energetiche e di combustibilità delle diverse frazioni.

A tal fine è stato messo a punto un particolare sistema di vagliatura costituito da tre vagli operanti in serie, al quale veniva alimentato, tramite un sistema a nastro brandeggiante, la frazione leggera dell'ASR proveniente direttamente dal mulino frantumatore.

L'impianto di vagliatura era costituito da tre sezioni vaglianti:

- la prima, in grado di separare la frazione maggiore di 90 mm;
- la seconda, in grado di separare la frazione maggiore di 50 mm;
- la terza, capace di separare la frazione maggiore di 20 mm dal sottovaglio.

In tale modo è stato possibile separare quattro frazioni costituite da:

- frazione superiore a 90 mm (A);
- frazione compresa fra 50 e 90 mm (B);
- frazione compresa fra 20 e 50 mm (C);
- frazione inferiore a 20 mm (D).

È stato inoltre caratterizzato il materiale in ingresso definito come "tal quale" (E).

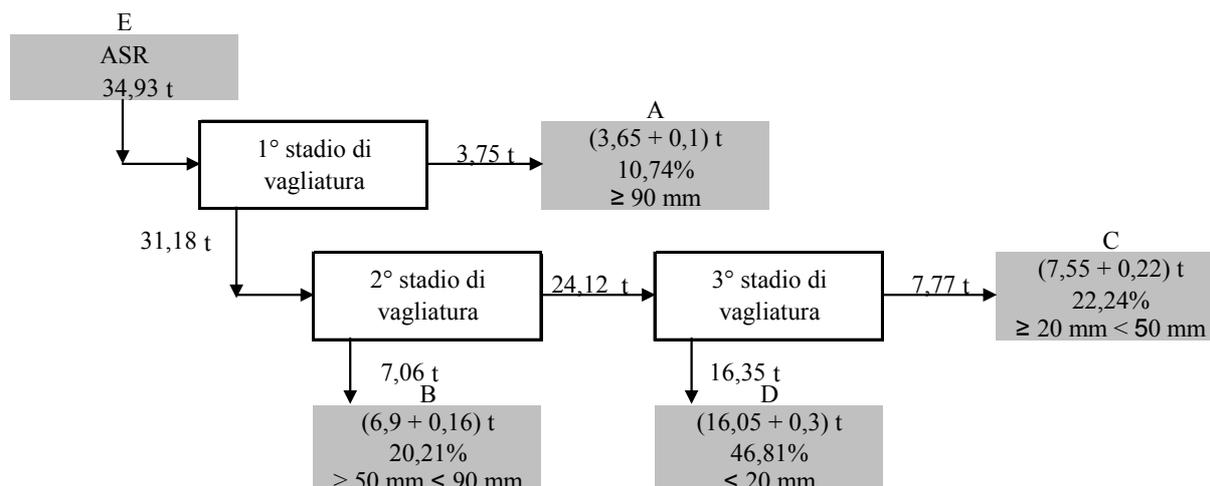
Durante l'esecuzione della prova, della durata di 1 ora, il mulino è stato alimentato esclusivamente con pacchi carrozzeria derivanti da VFV.

Lo schema di funzionamento del sistema di vagliatura è riportato nella *figura 4.21*, mentre nella *figura 4.22* sono riportati i quantitativi e le ripartizioni in peso (t) e percentuali ottenute fra i vari flussi.

---

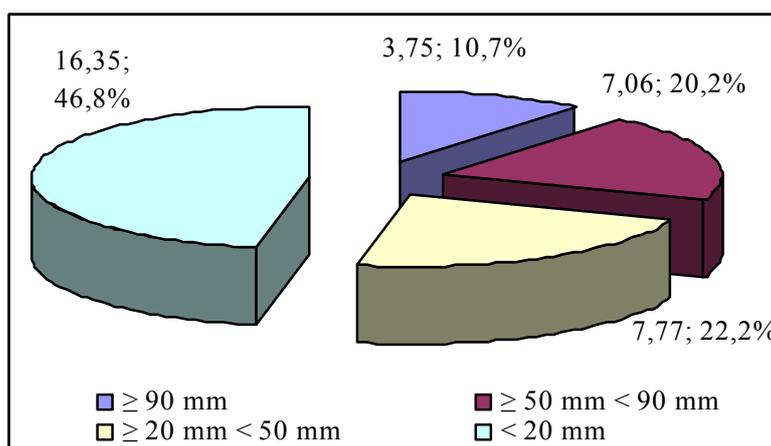
<sup>53</sup> Il gruppo Fiori produce mediamente presso tale impianto circa 5.000 t/mese di ASR, cui vanno aggiunte altre 3.800-4.000 t/mese prodotte nell'impianto di Bologna di proprietà dello stesso Gruppo.

**Figura 4.21 – Schema di principio dell’impianto di vagliatura dell’Italferro**



Elaborazione ENEA

**Figura 4.22 – Ripartizione dell’ASR nelle frazioni ottenute tramite vagliatura (t;%)**



Elaborazione ENEA

Per tutti i cinque flussi presi in esame (le quattro frazioni selezionate più il “tal quale”) sono stati ricavati, tramite operazioni di quartatura, dei campioni rappresentativi, che sono stati adeguatamente confezionati e sigillati per le successive determinazioni di laboratorio.

Su tali campioni sono state eseguite le analisi merceologiche e le determinazioni analitiche i cui risultati sono riportati nell’allegato D.

Qui di seguito si riportano i risultati dell’analisi merceologica (*tabella 4.6*), delle determinazioni relative al PCI (*tabella 4.7*) e dei due parametri “chiave” (piombo, rame), presi in esame (*tabella 4.8*), al fine di ottenere un’indicazione del contenuto di metalli.

**Tabella 4.6 – Risultati dell’analisi merceologica delle prove di vagliatura**

Categoria merceologica	Tal quale %	Frazioni ottenute dalla vagliatura (%)				Valore di controllo %
		≥ 90 mm	≥ 50 mm < 90 mm	≥ 20 mm < 50 mm	< 20 mm	
Gommapiuma	15,9	4,7	5,9	5,3	/	15,9
Gomma	10,8	2,9	3,9	4,0	/	10,8
Plastica	10,4	1,4	3,4	5,6	/	10,4
Metalli	6,5	1,5	2,8	2,2	/	6,5
Legno-carta-inerti	0,9	0,3	0,2	0,4	/	0,9
Sottovaglio <20 mm	34,4	/	3,0	3,8	27,6	34,4
Sottovaglio < 2 mm	21,1	/	1,0	0,9	19,2	21,1
	100	10,7	20,2	22,3	46,8	100

Elaborazione ENEA su dati Italferro

**Tabella 4.7 – PCI delle frazioni ottenute dalle prove di vagliatura**

Frazione	Peso	PCI	Energia
	%	kJ/kg	%
A) ≥ 90 mm	10,7	35.336	17,6
B) ≥ 50 mm < 90 mm	20,2	34.396	32,4
C) ≥ 20 mm < 50 mm	22,3	19.111	19,9
D) < 20 mm	46,8	13.817	30,1
<b>Totale</b>	100		100

Elaborazione ENEA su dati Italferro

**Tabella 4.8 – Contenuto di piombo e rame nelle frazioni ottenute dalle prove di vagliatura**

Frazione	U.M.	Piombo	Rame
A) ≥ 90 mm	mg/kg	500	122
B) ≥ 50 mm < 90 mm	mg/kg	893	709
C) ≥ 20 mm < 50 mm	mg/kg	600	28.370
D) < 20 mm	mg/kg	600	9.118

Elaborazione ENEA su dati Italferro

Dall’esame dei risultati ottenuti emergono le seguenti considerazioni:

- le frazioni separate mantengono singolarmente la caratteristica di rifiuti speciali non pericolosi;
- la frazione ≥ 90 mm e quella compresa tra 50 e 90 mm rappresentano circa il 50% del contributo energetico complessivo in termini di PCI; in esse sono presenti circa il 60% delle componenti gommapiuma - gomma - plastiche che costituiscono il 37,1% della frazione leggera dell’ASR “tal quale”;
- nella frazione compresa tra 20 e 50 mm è presente una percentuale piuttosto elevata di sottovaglio corrispondente a circa il 21% complessivamente, come somma del < 20 mm e del < 2 mm che ci si aspettava di ritrovare nella frazione sottovaglio < 20 mm;
- la concentrazione degli idrocarburi è pressoché costante nelle diverse frazioni, a causa presumibilmente della capacità di imbibizione delle varie componenti;
- i maggiori contenuti di metalli (piombo e in particolar modo il rame), in relazione alle dimensioni, sono stati riscontrati nella frazione di pezzatura compresa tra 20 e 50 mm;

- il contenuto di cloro sul materiale “tal quale” è risultato abbastanza contenuto (0,6% in peso), mentre nelle frazioni selezionate è variabile tra lo 0,4% della frazione < 20 mm e lo 0,8% della frazione di pezzatura compresa tra 20 e 50 mm.

In sintesi le prove condotte permetterebbero di concludere che le frazioni di maggiore interesse ai fini del recupero energetico sono quelle aventi dimensioni superiori a 50 mm nelle quali si concentrano le componenti merceologiche più omogenee (gommapiuma, gomma, plastica) a maggiore potere calorifico e contenuto di metalli non eccessivamente elevato. Esse potrebbero essere prese in considerazione ai fini della produzione di combustibili alternativi, previo trattamento finalizzato principalmente alla riduzione del tenore di metalli e di omogeneizzazione della pezzatura.

È da rilevare infine che anche la frazione sottovaglio inferiore a 20 mm presenta un PCI di 13.817 kJ/kg, che rimane, seppur di poco, superiore al valore limite attualmente in vigore per il divieto di smaltimento in discarica (13.000 kJ/kg).

#### 4.4.5 Le attività di R&S previste

Industria 2015<sup>54</sup> è il disegno di legge sulla nuova politica industriale varato dal governo italiano il 22 settembre 2006<sup>55</sup>, le cui previsioni sono state recepite dalla Legge Finanziaria 2007. Industria 2015 stabilisce le linee strategiche per lo sviluppo e la competitività del sistema produttivo italiano del futuro.

Nell’ambito di Industria 2015, all’interno del progetto di innovazione industriale “Efficienza Energetica”, sono stati ammessi a finanziamento due progetti di ricerca e sviluppo che riguardano specificatamente il recupero energetico dell’ASR. Tali progetti vengono brevemente descritti di seguito.

##### 4.4.5.1 Il progetto Target Fluff

Il progetto Target Fluff è nato nell’ambito della collaborazione in corso tra la filiera industriale italiana del trattamento dei VFV, il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e il Ministero dello Sviluppo Economico che si è concretizzato nel 2008 con la firma dell’Accordo di Programma Quadro sulla Gestione dei VFV<sup>56</sup>.

Esso prevede una sperimentazione per lo sviluppo di soluzioni innovative di separazione per il riciclaggio dei materiali e il recupero energetico dell’ASR.

I soggetti coinvolti in tale progetto sono:

- Centro Ricerche Fiat SCpA (coordinatore);
- Feralpi Siderurgica SpA;
- Centro Recupero e Servizi Srl;
- Centro Rottami Srl.

---

<sup>54</sup> Il nuovo sistema di aiuti alle imprese definito nel DDL Industria 2015 e largamente ripreso nell’ambito della Legge Finanziaria 2007 si caratterizza adeguando l’intera strumentazione di intervento pubblico alle nuove esigenze del sistema produttivo. In particolare ha l’obiettivo di rendere più efficiente ed efficace il sistema della promozione delle attività produttive garantendo, da un lato, una vasta copertura dei benefici degli interventi attraverso un maggiore utilizzo degli incentivi automatici per via fiscale e dall’altra una maggiore selettività delle risorse gestite dal Ministero dello Sviluppo Economico attraverso una più chiara finalizzazione degli interventi verso il raggiungimento di obiettivi strategici di modernizzazione del Paese.

<sup>55</sup> Nella seduta del 22 settembre 2006 il Consiglio dei Ministri ha approvato il disegno di legge (su proposta del Ministro dello sviluppo economico) sul riordino degli incentivi per il rilancio della competitività industriale, attraverso una riclassificazione delle modalità d’intervento nel sistema di incentivazione industriale, che coinvolgerà anche i brevetti e la distribuzione dei fondi.

<sup>56</sup> Ministero dell’Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, Ministero dello Sviluppo economico, Accordo di programma quadro per la gestione dei veicoli fuori uso (8 maggio 2008).

Il progetto Target Fluff ha come obiettivo principale lo sviluppo di un nuovo settore industriale connesso al recupero dei materiali e dell'energia dai rifiuti provenienti dai VFV.

Come noto la filiera industriale dei VFV già da tempo è in grado di riciclare le componenti metalliche e parte degli altri materiali (plastiche, gomme, vetri ecc.), ma al termine dei trattamenti di riciclaggio rimane l'ASR, non utilizzabile come "materia prima secondaria", che attualmente viene conferito in discarica. Per l'ASR le prospettive di una nuova soluzione ambientalmente sostenibile risiedono nello sviluppo dell'applicazione del recupero energetico.

L'iniziativa Target Fluff è volta allo studio e realizzazione di impianti pilota innovativi che grazie a tecnologie basate sui processi di pirolisi e gassificazione siano potenzialmente in grado di conseguire un recupero energetico con alta efficienza e ridotto impatto ambientale, allo scopo di incrementare i livelli complessivi di recupero dell'ASR.

Le attività di ricerca e sviluppo e di sperimentazione delle più avanzate tecnologie di pirolisi e gassificazione del materiale sono già in corso. Successivamente seguirà una fase di valutazione tecnica, economica ed ambientale, superata la quale saranno previste le attività di progettazione, realizzazione ed avviamento degli impianti.

Le campagne sperimentali sugli impianti realizzati nell'ambito del programma dovrebbero consentire di individuare un programma temporale di medio termine per la gestione del passaggio dalla soluzione discarica alla soluzione impianto di recupero energetico dell'ASR.

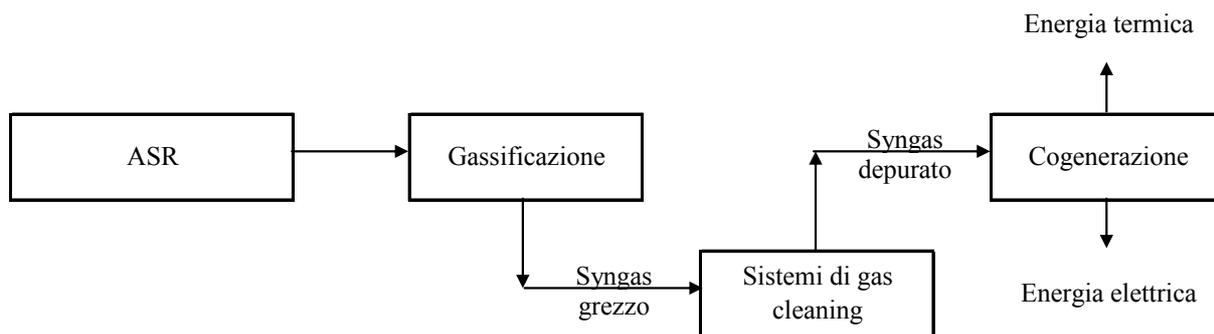
#### 4.4.5.2 Il progetto NewFluv

Il progetto di ricerca NewFluv, si colloca nell'area tecnologica relativa alla produzione di energia da rifiuti speciali, con particolare riferimento allo sviluppo di tecnologie innovative per la valorizzazione e la gassificazione dell'ASR da autoveicoli a fine vita e di SR proveniente dal trattamento dei RAEE.

Tale progetto è focalizzato sul trattamento dell'ASR per lo studio di processi di recupero di materia e di gassificazione dei residui, con successivo utilizzo del syngas per la produzione di energia elettrica.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto pilota (*figura 4.23*) di dimensioni idonee per una prima utilizzazione su scala industriale.

**Figura 4.23 – Schema di principio del trattamento previsto dal progetto NewFluv**



Elaborazione ENEA

Il principale proponente è la società di ingegneria Technip-KTI SpA (che funge da coordinatore), con la quale partecipano aziende operanti nel settore della gestione dei rifiuti e che si integrano nello sviluppo delle attività progettuali di seguito descritte, quali:

- Italferro e Greenfluff (produttori di ASR) per la realizzazione di un sistema di recupero fine di metalli ferrosi (Italferro) e per la decontaminazione spinta dell'ASR (Greenfluff).
- SMC per la realizzazione dell'impianto (interconnesso alla gassificazione) di decontaminazione del residuo di gassificazione mediante torcia al plasma, cleaning del syngas e produzione di energia elettrica attraverso un gruppo elettrogeno.
- D'Appolonia per quanto riguarda gli aspetti relativi al gas cleaning.
- GSA ed Orim per la preparazione delle miscele ("blending") da gassificare.
- Novasystems Roma per il supporto informatico.

Al progetto partecipano inoltre come partner i seguenti organismi di ricerca:

- Centro di ricerca Interuniversitario HTR costituito dall'Università degli Studi "Sapienza" di Roma con le Università dell'Aquila, di Ancona e di Genova, per lo sviluppo di processi di valorizzazione di rifiuti.
- Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, per lo studio e la modellizzazione dei processi di gassificazione.

Il progetto è articolato nelle seguenti fasi:

#### 1. Pre-trattamento del fluff - Valorizzazione e decontaminazione dell'ASR

Al fine di recuperare diverse frazioni omogenee da un materiale altamente eterogeneo come l'ASR, è necessario applicare delle tecniche separative (frantumazione, setacciatura, separazione magnetica ed ottica).

La combinazione di questi trattamenti consente di conseguire le seguenti finalità:

- *Riduzione dimensionale* - Questa prima fase è impiegata nell'ASR in entrata tramite una pre-triturazione/pre-separazione, ottenendo anche una prima separazione dei metalli ferrosi.
- *Separazione della frazione superiore a 20 mm in uscita dal vaglio* - Durante questa fase avviene la separazione delle frazioni superiori ai 20 mm.
- *Separazione della frazione inferiore a 20 mm e della frazione 2-20 mm in uscita dal vaglio* - Durante questa fase avviene la separazione delle frazioni inferiori ai 2-20 mm mediante l'utilizzo di un impianto di flottazione.

#### 2. Trattamento idrometallurgico dell'ASR

Le frazioni plastiche ottenute dal trattamento di flottazione sono contaminate da metalli che ai fini sia del recupero sia della produzione di combustibili, vengono trattate recuperando metalli non ferrosi usando soluzioni acquose ed agenti liscivianti (acidi, basi o liquidi organici).

#### 3. Trattamento di solidi residui ed effluenti

Nella purificazione degli effluenti, le impurità sono rimosse come precipitati solidi che richiedono l'utilizzo di trattamenti specifici di lisciviazione.

#### 4. Gassificazione dell'ASR

La gassificazione mediante l'ossidazione incompleta ad elevata temperatura (800÷1.000 °C) in una apparecchiatura per la produzione di syngas.

#### 5. Gas cleaning

Per rimuovere impurità dal syngas sono stati sviluppati processi relativi ad operazioni di assorbimento e adsorbimento.

#### 6. Utilizzo del syngas da gassificazione dell'ASR in impianti di cogenerazione

Il syngas purificato viene utilizzato in motori a combustione interna accoppiati a degli alternatori, per la produzione di energia elettrica.

#### 7. Potenza termica attraverso i fumi

I fumi emessi dal motore posseggono un elevato contenuto energetico (pari a circa un terzo del contenuto energetico originario del combustibile), che viene recuperato tramite la produzione di energia termica (cogenerazione), prima dello scarico in atmosfera.

## 5. CONCLUSIONI

L'indagine svolta ha confermato che la gestione dell'ASR ai fini del recupero energetico risulta piuttosto difficoltosa, principalmente a causa delle sue caratteristiche chimico-fisiche, oltretutto suscettibili di un'enorme variabilità.

A fronte di un contenuto energetico piuttosto interessante (PCI indicativamente compreso fra 12 e 20 MJ/kg per il rifiuto "tal quale") l'ASR può presentare elevati contenuti di alcuni inquinanti (metalli, idrocarburi, PCB, cloro) che possono conferirgli la natura di rifiuto pericoloso e dare luogo a problematiche di natura tecnica e/o ambientale in sede di trattamento termico finalizzato al suo recupero energetico.

Alcune soluzioni tecniche sono state prese in esame per il recupero dell'ASR in alternativa allo smaltimento in discarica, che rimane la forma di gestione principalmente adottata, praticamente l'unica a livello nazionale, soprattutto per motivi di natura economica.

In particolare per quanto riguarda l'aspetto specifico del recupero energetico sono stati presi in considerazione sia l'incenerimento in impianti dedicati, sia il suo impiego come combustibile alternativo in impianti industriali, in particolare nell'industria siderurgica e in quella della produzione del cemento.

Occorre dire che per quanto riguarda l'impiego come combustibile alternativo le poche esperienze riscontrate a livello industriale riguardano l'utilizzo di frazioni (costituite per lo più da plastiche miste) ottenute a partire dall'ASR tramite sistemi di trattamento piuttosto spinti. Tale alternativa può trovare giustificazione, soprattutto sul piano economico, dalla presenza di specifiche condizioni locali che rendono compatibile il recupero di una frazione combustibile (minoritaria) con lo smaltimento in discarica dei residui del trattamento e/o con il parziale recupero di frazioni inerti per altri scopi.

Attualmente la soluzione tecnica più consolidata, economicamente più accettabile, nonché quella in grado di fornire maggiori garanzie dal punto di vista ambientale è quella costituita dall'incenerimento combinato in percentuali piuttosto ridotte (dell'ordine del 5-10%) dell'ASR con altre tipologie di rifiuti, in particolare con quelli di origine urbana. L'impiego di questa tecnica non comporta sicuramente rischi dal punto di vista delle emissioni in atmosfera, in considerazione dei sofisticati sistemi di trattamento dei fumi che caratterizzano gli impianti di ultima generazione, né particolari problemi di impatto negativo sulla qualità delle scorie, per le quali è ormai pratica diffusa l'applicazione di post-trattamenti che consentono la separazione (ed il successivo recupero) di metalli ferrosi e non ferrosi.

Un certo interesse meritano anche le tecnologie innovative basate sull'impiego combinato di processi di pirolisi e/o gassificazione e/o combustione che consentono, tramite la presenza di uno stadio di trattamento ad alta temperatura, di ottenere delle scorie allo stato fuso che, una volta raffreddate bruscamente, assumono una consistenza vetrosa che conferisce loro una ridotta lisciviabilità, rendendole oggetto, se non di recupero, quantomeno di uno smaltimento in condizioni di sicurezza.

È da rilevare che per tali tecnologie, come pure per quelle tradizionali d'incenerimento, occorrerà in prospettiva tenere conto di quanto riportato nell'Allegato II alla Direttiva 2008/98/CE che per la prima volta ha fissato dei criteri che permettono di classificare gli impianti di incenerimento (per ora solo quelli di rifiuti urbani, ma che potrebbe presumibilmente comprendere anche quelli che trattano rifiuti speciali e pericolosi) come impianti di smaltimento o di recupero in funzione dei livelli di efficienza conseguiti nella produzione di energia (elettrica e/o termica).

In quest'ottica è auspicabile lo sviluppo di tecnologie di trattamento e/o l'applicazione di soluzioni tecniche per la produzione di energia in grado di assicurare elevati livelli di recupero. Solo in questo modo è possibile conseguire il duplice obiettivo consistente nel fatto che l'impianto prescelto sia non solo in grado di svolgere la sua funzione di recupero energetico, ma presenti costi complessivi di gestione inferiori e, di conseguenza, tariffe di conferimento più basse.

In sintesi si può affermare che ai fini dello sviluppo del recupero energetico dell'ASR sarà necessario superare i vincoli di carattere tecnico, ma soprattutto quelli di natura politica. Questi se da un lato devono far fronte all'esigenza di imporre limiti fortemente restrittivi allo smaltimento in discarica, dall'altro devono essere in grado di favorire il graduale sviluppo di forme di gestione alternative, garantendo la continuità operativa ed il necessario sostegno alle imprese, anche alleviando gli iter autorizzativi da pesanti fardelli di carattere burocratico-amministrativo.

In questo modo sarà possibile trovare un nuovo punto di equilibrio per la gestione dell'ASR, che oltre ad essere sempre più compatibile e cautelativo dal punto di vista ambientale, dovrebbe essere caratterizzato da livelli di costo che, seppure superiori, risultino accettabili per gli operatori del settore, garantendone la necessaria continuità aziendale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) sito web <http://www.acea.be>
- [2] Automobile Club Italia (ACI), "*Analisi statistica della Direzione Studi e Ricerche dell'ACI*" sito web <http://www.aci.it/>
- [3] APAT-ONR ed ISPRA, "*Rapporto Rifiuti*", annualità varie
- [4] APAT, "*Linee guida sul trattamento dei veicoli fuori uso. Aspetti tecnologici e gestionali*" ISBN 978-88-448-0338-4
- [5] Nourreddine M., "*Recycling of auto shredder residue*". Elsevier Journal of Hazardous Materials A139 (2007) 481–490 –(April 4, 2006)
- [6] ARGONNE, "*End-of-Life Vehicle Recycling: The State of the Art of Resource Recovery from Shredder Residue*" (September 25, 2006)
- [7] Viganò F., Consonni S., Grosso M., Rigamonti L., "*Material and energy recovery from Automotive Shredded Residues (ASR) via sequential gasification and combustion*" Elsevier Journal waste management (June 3, 2009)
- [8] Fondazione Auto Recycling – Switzerland (a cura di) (2009), "*Annual Report 2008*"
- [9] Fondazione Auto Recycling – Switzerland (a cura di) (2008), "*Annual Report 2007*"
- [10] Paul Scherrer Institut, (2009), "*Treatment of shredder residue with MWIP<sup>plus</sup>*", Management summary
- [11] APME – APC (a cura di) (1998), "*Energy recovery from automotive shredder residue*"
- [12] EUWID GmbH press release, "WTE capacity in Europe sufficient to treat all automotive shredder residue"
- [13] A.A: V.V. (2003), "*Refuse derived fuel, current practice and perspectives*" – Final report for European Commission – Directorate General Environment
- [14] NETBIOCOF Project (2007; "*New and advanced concepts in renewable energy technology Biomass – First state of the art report*"
- [15] US EPA Report (2008), "*Cement Sector: Trends in Beneficial use of Alternative Fuels and Raw Materials*" – Revised draft
- [16] Galvagno S. et Al (2001), "*Pyrolysis process for treatment of automobile shredder residue: preliminary experimental results*" Energy Conversion and Management, 42 (2001) 573-586
- [17] Sigmund H. (2009), "*We're Not finished Yet*", Metals & mining 1/2009 42-43

- [18] Mirabile et Al (2002), *“Thermal valorisation of automobile shredder residue: injection in blast furnace”*, Waste management 22 (2002) 841-851
- [19] Levizzari A. (2001), *“Il fine vita dell’automobile: prospettive tecnologiche e ambientali”* a cura di Area Science Park – Consorzio per l’AREA di ricerca scientifica e tecnologica di Trieste
- [20] GHK (a cura di) (2006), *“A study to examine the benefits of the End of Life Vehicles Directive and the cost and benefits of a revision of the 2015 targets for recycling, re-use and recovery under the ELV Directive”*
- [21] Anonimous (2003), *“Introduction of Takuma Technology for Auto Shredder Residue Treatment”*
- [22] Picard L. (2005) *“ Development status of BGL Gasification”*, International Freiberg Conference on IGCC & Xtl Technologies, Freiberg 16-18, 2005
- [23] SVZ/tecpol/PlasticsEurope (a cura di) (2005), *“Full scale industrial recovery trials of shredder residue in a high temperature slagging-bed gasifier in Germany”*
- [24] Prove di combustione continuativa del fluff di frantumazione proveniente interamente dalla frantumazione di autoveicoli - Relazione finale ISPRA, disponibile sulla pagina web <http://www.maindgroup.com/default.asp?pageID=1>
- [25] Maind sito web <http://www.maindgroup.com/default.asp?pageID=3>
- [26] Salvati F., *“ Tecnologie di separazione per il riciclaggio ed il recupero energetico del fluff”*, Atti del Convegno ATA “Materiali per l’ecosostenibilità ed il riciclo nel settore dei trasporti” Pomigliano d’Arco (NA), 6 novembre 2009

## ACRONIMI E SIGLE

AIA	Autorizzazione Integrata Ambientale
APME	Association of Plastic Manufacturers in Europe, attualmente “Plastics Europe”
ASR	Automotive Shredder Residue sinonimo di “car-fluff”
BAT	Best Available Technique (Migliore Tecnica Disponibile, MTD)
BRef	BAT Reference document (Documento di riferimento sulle BAT o MTD)
CDR	Combustibile Derivato da Rifiuti
CE	Commissione Europea
CER	Elenco Europeo dei Rifiuti
CIP 6	Provvedimento del Comitato Interministeriale Prezzi n. 6 del 29 aprile 1992
CSS	Combustibile Solido Secondario
CTI	Comitato Termotecnico Italiano
CV	Certificati verdi
DM	Decreto ministeriale
DLgs	Decreto legislativo
ELV	End of Life Vehicles (veicoli a fine vita)
GSE	Gestore del Sistema Elettrico
IAD	Impianto di autodemolizione
IFA	Impianto di frantumazione di autoveicoli
IPA	Idrocarburi policiclici aromatici
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control – prevenzione e riduzione integrate dell’inquinamento
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (già APAT)
MUD	Modello unico di dichiarazione
PA	Poliammide
PCDD/DF	Policloro-dibenzo-diossine/dibenzo-furani (“diossine”)
PCB	Policloro-bifenili
PCI	Potere calorifico inferiore
PCS	Potere calorifico superiore
PE	Polietilene
PFU	Pneumatici fuori uso
PP	Polipropilene

PVC	Polivinilcloruro
RAEE	Rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche
RD	Raccolta differenziata
RDF	Refuse derived fuel
RP o RSP	Rifiuti speciali pericolosi
RS	Rifiuti speciali
RU	Rifiuti urbani
SCR	Selective catalytic reduction - riduzione catalitica degli ossidi di azoto
SNCR	Selective non catalytic reduction - riduzione non catalitica degli ossidi di azoto
SRF	Solid Recovered Fuel
VIA	Valutazione di impatto ambientale
VFV	Veicoli a fine vita

## **ALLEGATI**



## ALLEGATO A

### LE TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO TERMICO

#### A1 I processi e le apparecchiature

##### A1.1 La combustione

La scelta della tecnologia di recupero energetico tramite combustione va fatta principalmente in funzione della tipologia del rifiuto da trattare ed in particolare in base al suo contenuto energetico (PCI) ed alle sue caratteristiche chimico-fisiche (densità, pezzatura, contenuto di umidità e di inerti, frazione volatile ecc.).

In tema di combustione di rifiuti le principali tecnologie impiegabili sono:

- i forni a griglia;
- i forni a tamburo rotante;
- i forni a letto fluido.

Esistono inoltre altre tecnologie meno diffuse (forni statici per liquidi e gas, forni a piani multipli, inceneritori a raggi infrarossi ecc.), sviluppate per impieghi specifici e che pertanto rivestono un ruolo marginale ai fini del recupero energetico da rifiuti su scala industriale.

##### *I forni a griglia*

I forni a griglia costituiscono la tecnologia più consolidata e, come tale, di più largo impiego nella combustione di rifiuti, in particolare di quelli urbani, grazie alla flessibilità che ne caratterizza il funzionamento e all'affidabilità derivante dalle numerosissime applicazioni.

La loro caratteristica consiste appunto in una griglia (fissa o mobile) su cui viene formato un letto di rifiuti dello spessore di alcune decine di centimetri. I forni a griglia fissa presentano una potenzialità piuttosto ridotta, mediamente pari a qualche tonnellata/giorno. I forni a griglia mobile, invece, sono composti da una camera, alla cui base si trova una suola di combustione costituita da una griglia, di norma inclinata e formata da una serie di gradini mobili.

Il rifiuto (*figura A1*) vengono immessi mediante una tramoggia nella parte più alta della griglia, dalla quale uno spintore li spinge verso i gradini inferiori. Lungo lo sviluppo longitudinale della griglia i rifiuti subiscono dapprima un processo d'essiccamento che avviene nella zona prossima all'alimentazione: le sostanze volatili che si liberano sono in gran parte costituite dall'umidità evaporata ed il rilascio di calore risulta modesto. Successivamente, sulla parte centrale della griglia il materiale essiccato, tramite fenomeni di gassificazione e combustione della componente organica, viene convertito in una frazione gassosa ed in un residuo solido. L'aria di combustione viene iniettata sia sotto la griglia (aria primaria, grossomodo nella quantità stechiometrica necessaria per la combustione) sia nella parte alta della camera di combustione (aria secondaria, corrispondente in prima approssimazione all'eccesso d'aria necessario per la combustione); quest'ultima viene utilizzata anche per il controllo della temperatura.

Questa apparecchiatura è stata concepita per la combustione di rifiuti urbani (RU) indifferenziati e, pur essendo adattabile alla combustione di frazioni combustibili derivate (frazione secca, CDR), presenta dei limiti a tale impiego, legati principalmente all'innalzamento del potere calorifico e al ridotto contenuto di inerti che rendono problematico il funzionamento della griglia, a meno di non adottare accorgimenti tecnici piuttosto sofisticati.

Il tempo di permanenza del rifiuto sulla griglia deve essere ovviamente tale da garantire il completamento delle diverse fasi del processo di combustione ed è in genere compreso tra 30 e 60 minuti. Le scorie residue del processo vengono scaricate dalla parte finale della griglia con opportuni sistemi in vasche di accumulo a bagno d'acqua, che provvedono anche al loro raffreddamento.

Per garantire maggior flessibilità al processo, in corrispondenza delle inevitabili variazioni qualitative dell'alimentazione, l'avanzamento del rifiuto è anche regolabile in modo indipendente per ogni zona della griglia (tramite il controllo della velocità di movimento degli elementi mobili).

Il parametro di maggior interesse per la valutazione delle prestazioni complessive della griglia è costituito dal carico termico superficiale, che deve essere idoneo ad assicurare un'elevata efficienza di combustione con tempi di residenza ragionevoli. Esso rappresenta, in pratica, la quantità di calore sviluppata dalla combustione dei rifiuti per unità di tempo che l'unità di superficie della griglia è in grado di sopportare: i valori medi di più comune adozione pratica si collocano nell'intervallo 350-1.000 kW/m<sup>2</sup>.

Il completamento dell'ossidazione dei prodotti di pirolisi e gassificazione presenti nella fase gassosa proveniente dal letto di materiale posto sulla griglia avviene nella zona immediatamente superiore alla griglia stessa, che costituisce la camera di postcombustione. Essa deve fornire un buon mescolamento tra i gas provenienti dal letto e l'aria secondaria, assicurando quindi contemporaneamente adeguate condizioni di turbolenza e di disponibilità di ossigeno.

Anche i tempi di residenza dei gas debbono essere idonei: in generale si adottano valori compresi tra 2 e 5 secondi. Il volume totale della camera è in genere tale da assicurare carichi termici volumetrici di combustione compresi, di norma, tra 70 e 300 kW/m<sup>3</sup>.

Per quanto concerne gli sviluppi di tale tecnologia, essi riguardano principalmente le modifiche impiantistiche necessarie per adeguare il funzionamento della griglia e contenere i fenomeni di usura legati a eventuali surriscaldamenti derivanti da combustibili con modesto contenuto di ceneri (inferiore al 15-20%) e con PCI piuttosto elevati (14,5-18 MJ/kg), come nel caso dei CDR.

Le modifiche di più recente introduzione riguardano:

- la diminuzione dell'inclinazione della griglia correlata alla maggiore facilità di combustione dei rifiuti che quindi richiedono una minore movimentazione, sino all'adozione di griglie completamente orizzontali;
- l'adozione di idonee configurazioni della griglia, al fine di limitare il trascinarsi di polveri (minori salti);
- il miglioramento della distribuzione dell'aria primaria immessa sotto la griglia, ai fini sia del conseguimento di condizioni ottimali di combustione, sia della riduzione del trascinarsi di polveri;
- la verifica della lunghezza della griglia, in relazione alla più elevata combustibilità dei rifiuti, onde evitare zone non completamente coperte dal letto di materiale e quindi soggette a maggiore usura;
- l'impiego di griglie raffreddate ad acqua per diminuire l'usura e rendere più agevole l'applicazione con rifiuti ad elevato potere calorifico (12,5-18 MJ/kg);
- la possibilità di scaricare le scorie con estrattori a secco per agevolare la movimentazione e l'eventuale separazione di frazioni recuperabili (metalli ferrosi e non ferrosi, inerti).

Sempre all'aumento del PCI è da ricondursi la necessità di provvedere ad un raffreddamento delle pareti in alcune zone del forno, per evitare le complicazioni gestionali derivanti dalla formazione d'incrostazioni ("slagging") a seguito di fenomeni di fusione dei composti inerti.

Livelli di temperatura dell'ordine degli 850-900 °C sono ritenuti sufficienti in corrispondenza di adeguati tenori di ossigeno (6-7%) e turbolenza, a garantire il completamento pressoché totale dell'ossidazione dei componenti organici nei processi di combustione, minimizzando in tal modo le emissioni di macro e microinquinanti.

Di recente impiego risultano inoltre alcune tecniche finalizzate alla riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto. Le più semplici prevedono una modifica nella ripartizione dell'aria alimentata tramite la riduzione di quella primaria e l'incremento di quella secondaria, in modo da limitare la presenza di ossigeno nelle zone a temperatura più elevata: ciò richiede un accurato controllo del processo, per evitare peggioramenti nell'efficienza complessiva di combustione e aumento delle emissioni di incombusti. Allo stato attuale gli interventi di più larga applicazione per la riduzione degli NO<sub>x</sub> sono basati su processi di riduzione selettiva non catalitica (SNCR) tramite l'iniezione di ammoniaca o urea in camera di combustione, supportata con il ricircolo di una quota parte dei fumi depurati.

### *I forni a tamburo rotante*

I forni a tamburo rotante sono costituiti da una camera cilindrica leggermente inclinata (in genere 1-3%) che ruota lentamente attorno al proprio asse (*figura A2*). Essi trovano impiego principalmente per lo smaltimento di rifiuti di origine industriale (solidi, liquidi, pastosi), anche pericolosi. A fronte di una semplicità costruttiva e di un'elevata flessibilità per quanto riguarda la tipologia e le caratteristiche dell'alimentazione, tale apparecchiatura presenta degli svantaggi legati essenzialmente al ridotto volume della camera di combustione (che deve essere integrata con una apposita camera di post-combustione separata per il completamento della combustione in fase gassosa) e al fatto che la combustione avviene con modalità pressoché adiabatiche per cui, specie in presenza di rifiuti ad alto potere calorifico, il controllo della temperatura può essere realizzato solo aumentando l'eccesso di aria di combustione e, se necessario, iniettando acqua di raffreddamento. Entrambi questi fattori rendono tale apparecchiatura poco adatta a conseguire elevati livelli di recupero energetico dall'incenerimento di rifiuti. Le caratteristiche costruttive inoltre presentano un limite in termini di capacità di trattamento che risulta piuttosto ridotta, ostacolo che può solo in parte essere ovviato ricorrendo all'installazione di più unità in parallelo. Questi fattori danno una chiara spiegazione del perché tale apparecchiatura abbia avuto scarsa diffusione per il trattamento dei RU.

La combustione del letto di rifiuti avviene direttamente a contatto con la parete del forno, nella maggior parte dei casi rivestita di materiale refrattario; l'alimentazione del materiale avviene tramite opportune testate, collocate in corrispondenza di una estremità del forno, mentre lo scarico delle scorie e dei residui avviene all'estremità opposta. I forni a tamburo rotante, in quanto tipici forni a suola, sono caratterizzati da una maggior difficoltà di interazione tra combustibile e comburente rispetto a quella ottenibile con altre tipologie di installazioni (ad es. forni a griglia, nei quali l'aria viene insufflata direttamente attraverso il letto). L'efficienza del contatto può tuttavia essere incrementata mediante l'introduzione di strutture interne al tamburo, quali, ad esempio, palettature che, intensificando la movimentazione del letto di rifiuti, ne migliorano il contatto con il comburente.

I forni a tamburo rotante possono operare tanto con configurazioni in equicorrente che in controcorrente, a seconda che il flusso dei gas e del letto di rifiuti avvenga nella stessa direzione o nella direzione opposta. Nella maggior parte dei casi, ed in particolare nelle applicazioni relative alla termodistruzione di rifiuti, la configurazione adottata è in equicorrente, in quanto costruttivamente più semplice e consente, al tempo stesso, di meglio limitare il trascinarsi di composti volatili, tipico del flusso in controcorrente, e il loro scarico assieme ai fumi caldi.

I principali parametri per il dimensionamento e la valutazione delle prestazioni dei forni a tamburo rotante sono l'intensità volumetrica di combustione ( $\text{kW}/\text{m}^3$ ) e l'intensità di combustione riferita alla sezione del tamburo ( $\text{kW}/\text{m}^2$ ).

Il primo tiene conto del volume globale del tamburo, e quindi anche della sua lunghezza, ed è legato al tempo di permanenza necessario alla conversione del materiale, strettamente correlato alla natura e tipologia dei rifiuti alimentati. Sul tempo di permanenza è possibile peraltro intervenire anche con altri parametri costruttivi, quali il diametro del forno, la sua inclinazione ed il numero di giri del tamburo.

Il secondo parametro, rappresentativo del carico termico per unità di sezione, è collegato alle massime sollecitazioni termiche locali.

Nei forni attualmente in esercizio l'intensità volumetrica di combustione è, di norma, compresa tra 60 e 250  $\text{kW}/\text{m}^3$ , mentre l'intensità per unità di sezione varia nell'intervallo 600-1.200  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

Per quanto riguarda il rapporto lunghezza/diametro, esso è normalmente compreso nell'intervallo 2-5 (in molti casi è dell'ordine di 3-4), mentre la velocità di rotazione varia tra 0,2 e 1-1,2 giri/minuto.

Dal punto di vista operativo le già accennate difficoltà di contatto combustibile/comburente rendono necessaria l'adozione di elevati eccessi d'aria, di norma compresi nell'intervallo 100-150%.

I forni a tamburo rotante possono inoltre operare a livelli di temperatura sia al di sotto del punto di rammollimento delle scorie, sia al di sopra di esso, con modalità dette "a scoria fusa". Fenomeni di deformazione e fusione delle scorie cominciano a verificarsi attorno a temperature dell'ordine di 1.100-1.200 °C; tuttavia, data la variabilità del punto di rammollimento, le condizioni di esercizio nei forni del primo tipo prevedono temperature non superiori ai 900-950 °C, mentre le installazioni a scoria fusa possono raggiungere anche i 1.400-1.600 °C. L'esercizio a scoria solida è più semplice e sollecita meno i refrattari mentre quello a scoria fusa garantisce migliori condizioni di combustione, ma richiede l'applicazione di criteri di progettazione e di gestione molto più accurati.

Figura A1 – Schema di funzionamento del forno a griglia

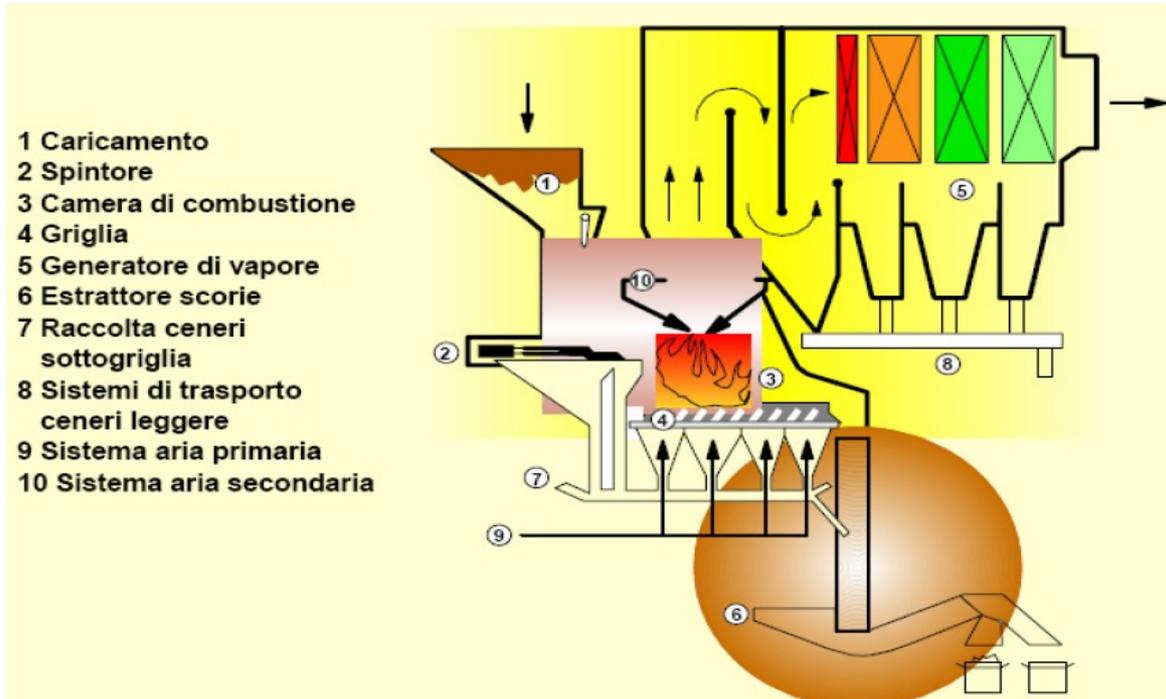
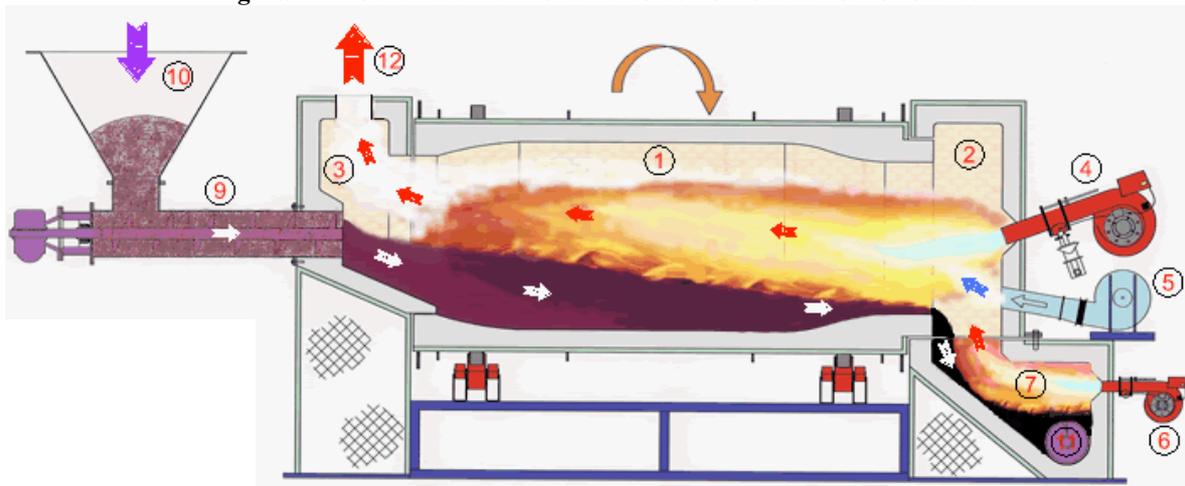


Figura A2 – Schema di funzionamento del forno a tamburo rotante



Legenda:

- |   |                                  |    |                                    |
|---|----------------------------------|----|------------------------------------|
| 1 | Camera di combustione            | 7  | Camera di raccolta scorie          |
| 2 | Sezione di alimentazione calore  | 9  | Coclea di alimentazione rifiuti    |
| 3 | Sezione di alimentazione rifiuti | 10 | Tramoggia di alimentazione rifiuti |
| 4 | Brucciato di avviamento          | 11 | Camera scarico scorie              |
| 5 | Ventilatore aria primaria        | 12 | Fumi a camera di pos-combustione   |
| 6 | Brucciato secondario             |    |                                    |

### *I forni a letto fluido*

Il forno a letto fluido è costituito da una camera di combustione all'interno della quale viene mantenuto un certo quantitativo di materiale inerte (il "letto"), di solito costituito da sabbia, tenuto in sospensione ("fluido") da una corrente ascendente di aria (che funge anche da comburente) immessa attraverso una griglia di distribuzione posta sul fondo. Il movimento del letto di sabbia garantisce un buon contatto comburente-combustibile (rifiuti), oltre a una notevole uniformità di temperatura e di miscelazione, fattori in grado di assicurare una combustione costante e completa.

Questa apparecchiatura, messa a punto inizialmente nell'industria petrolchimica, è stata adattata alla combustione di combustibili piuttosto omogenei e di pezzatura ridotta quali appunto i CDR. Non si presta alla combustione di RU indifferenziati, che debbono come minimo subire un'operazione di triturazione. La sua applicazione si è inoltre affermata in alcune realtà estere per il trattamento di fanghi di depurazione di acque reflue, soprattutto per trattamenti combinati di essiccamento e incenerimento, nei quali il calore recuperato è principalmente destinato alla fase di essiccamento, evitando così l'impiego di combustibili fossili.

In linea generale i forni a letto fluido, sulla base della pressione d'esercizio, si differenziano in letti fluidi a pressione atmosferica e letti in pressione; questi ultimi presentano particolare interesse perché consentono la potenziale integrazione fra la fase di trattamento termico e quella di recupero energetico, tramite il loro inserimento come combustori in cicli a turbina a gas. Tuttavia le attuali problematiche nel trattamento dei gas prodotti prima dell'invio in turbina ne limitano ancora l'applicazione al caso dei rifiuti, per i quali si adottano esclusivamente letti a pressione atmosferica.

Per i letti a pressione atmosferica sono disponibili le due varianti di letto fluido "bollente" (*figura A3*) e di letto fluido "circolante" o "ricircolato" (*figura A4*), in funzione della velocità di efflusso dell'aria che individua due modalità di funzionamento in cui, rispettivamente, il letto rimane in sospensione statica sotto le azioni contrastanti del peso e della spinta ascensionale ovvero viene trascinato con la corrente gassosa e ricircolato sul fondo dopo essere stato separato meccanicamente (tramite, ad esempio, un ciclone) dai fumi di combustione. La distinzione si basa sui valori della velocità superficiale dell'aria (velocità di fluidizzazione), definita come rapporto tra la portata d'aria alimentata (riferita alle condizioni di temperatura e pressione al di sopra del letto) e la sezione del letto stesso, che costituisce il parametro che condiziona significativamente il regime di funzionamento dell'apparecchiatura. Nei letti fluidi bollenti, nei quali l'aria viene insufflata dal basso ed il combustibile iniettato dall'alto o lateralmente, si riscontrano velocità di fluidizzazione fino a circa 3 m/s mentre nei letti circolanti tale parametro raggiunge anche valori di 8-10 m/s (comunque superiori ai 4-5 m/s), determinando un consistente trascinamento del materiale costituente il letto in uscita dalla camera di combustione, sul fondo della quale viene reimpresso dopo la separazione dalla fase gassosa.

A fronte di una configurazione impiantistica più complessa, i letti circolanti presentano turbolenze più elevate, con conseguenti miglioramenti nell'efficienza di combustione e di scambio termico, nonché nella riduzione delle disomogeneità trasversali. Essi garantiscono inoltre un tempo di contatto molto prolungato (grazie al ricircolo) che ne consente il funzionamento con carichi termici specifici più elevati rispetto ai letti bollenti; i costi maggiori rispetto a questi ultimi ne giustificano tuttavia l'adozione solo per potenzialità piuttosto significative.

Le caratteristiche di funzionamento che ne rendono molto interessante il loro impiego nei processi di combustione di rifiuti sono essenzialmente riassumibili in:

- elevata efficienza di combustione determinata sia dal grado di turbolenza che, soprattutto, dai maggiori tempi di residenza;
- basso contenuto di incombusti nelle scorie, dell'ordine anche dello 0,2-0,3% contro valori del 2-3% caratteristici dei forni a griglia;
- unità più compatte rispetto ai forni convenzionali, come conseguenza dei maggiori carichi termici specifici applicabili;
- elasticità di funzionamento, ridotti tempi di avviamento e possibilità di funzionare anche in discontinuo in conseguenza dell'elevata inerzia termica del letto d'inerte;
- ridotto numero di parti meccaniche in movimento, con conseguenti minori fermate di manutenzione per rotture o guasti;
- possibilità di operare con ridotti eccessi d'aria, in quanto la temperatura è controllata anche attraverso lo scambio termico (regime non adiabatico) e il mescolamento è molto intenso. Questo comporta un minore volume globale di fumi, con possibili effetti positivi sui rendimenti di recupero energetico e sulle dimensioni dei sistemi di depurazione dei fumi;
- possibilità di effettuare interventi di abbattimento di gas acidi già in fase di combustione, attraverso l'iniezione nella camera di opportuni reagenti alcalini.

A fronte di tali vantaggi l'applicazione dei letti fluidi alla combustione di rifiuti o di combustibili derivati presenta le seguenti problematiche:

- rischio di defluidizzazione del letto, conseguente a possibili fenomeni di agglomerazione;
- necessità di pretrattamenti più o meno spinti dei rifiuti, finalizzati ad omogeneizzare le caratteristiche dimensionali del materiale alimentato per facilitare la combustione e lo scarico delle ceneri;
- necessità di aumentare i punti di alimentazione del materiale e/o di incrementare la velocità di fluidizzazione a causa di insufficiente mescolamento trasversale;
- difficoltà di alimentazione dei rifiuti leggeri (es.: CDR "fluff") soprattutto in corrispondenza di velocità di fluidizzazione elevate (letti circolanti);
- ridotte esperienze applicative su scala industriale per l'impiego con RU, soprattutto per i letti circolanti da considerarsi ancora in fase di sviluppo tecnologico;
- maggiori carichi di polveri da separare nella sezione di trattamento fumi.

Sulla base di queste considerazioni si può ritenere che i forni a letto fluido presentino, contrariamente a quanto avviene per i forni a griglia, interessanti possibilità di applicazione per combustibili con poteri calorifici elevati e con ridotto tenore di ceneri quali quelli ottenibili da operazioni di selezione e trattamento dei rifiuti urbani ("frazione secca", CDR), oltre che per particolari tipologie di rifiuti speciali.

Figura A3 – Schema di funzionamento del forno a letto fluido bollente

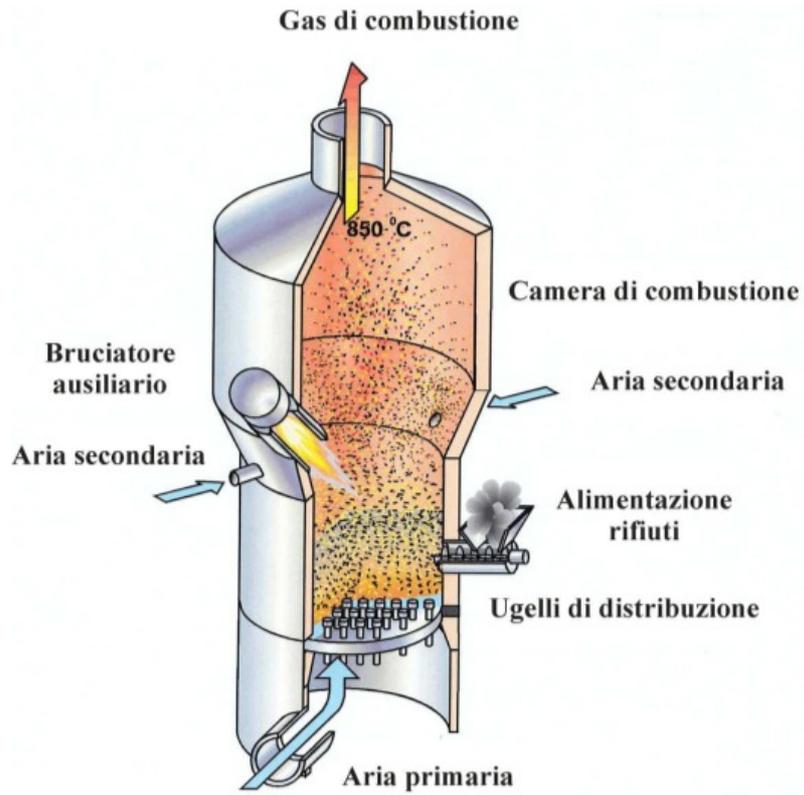
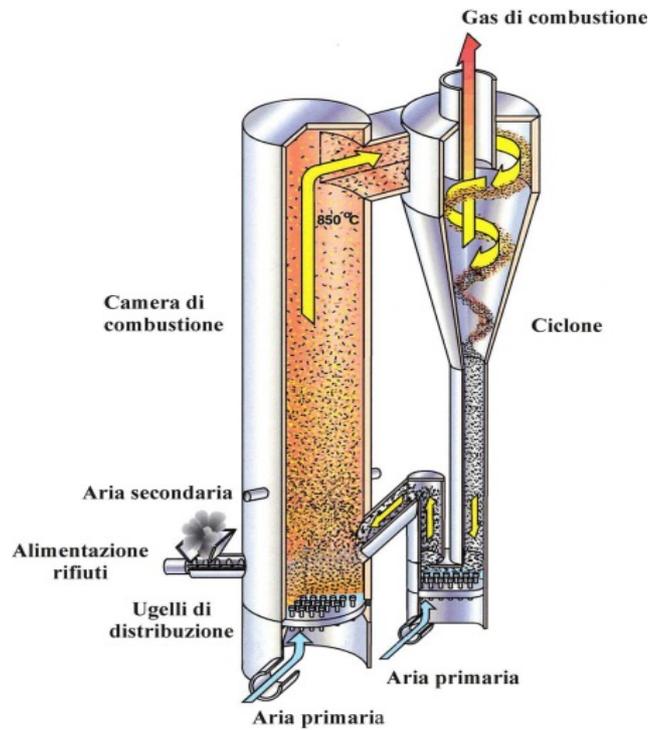


Figura A4 – Schema di funzionamento del forno a letto fluido circolante



### *A.1.2 La post-combustione*

La camera di post-combustione consiste in un volume messo a disposizione dei fumi a valle della camera di combustione primaria, allo scopo di permettere il conseguimento di condizioni controllate idonee al completamento delle reazioni di ossidazione iniziate in precedenza. In quest'ottica la camera di post-combustione risulta essere necessaria solo quando le condizioni operative della camera primaria, soprattutto nel caso di incenerimento di rifiuti solidi, sono tali da lasciare dubbi circa le possibilità del completamento delle reazioni di ossidazione come è, ad esempio, nel caso dei forni a tamburo rotante. L'esigenza della sua presenza è invece meno sentita nelle apparecchiature di recente concezione, dotate di soluzioni progettuali ed operative (volumi disponibili ridondanti, adeguate immissioni dell'aria di combustione ecc.).

Sino all'emanazione del DM 503/97 che ha regolato l'incenerimento di rifiuti urbani e di particolari tipologie di rifiuti speciali fino all'entrata in vigore del DLgs 133/2005, tutti gli impianti di incenerimento dovevano essere dotati di una camera di post-combustione, separata dalla camera primaria e funzionante in condizioni adiabatiche.

Attualmente la camera di post-combustione è stata in pratica sostituita da una zona (in continuità con la camera primaria) di combustione controllata posta a valle della ultima immissione di aria secondaria in cui deve essere mantenuta una temperatura di almeno 850 °C per un tempo superiore a 2 secondi. Nelle configurazioni più recenti è possibile inoltre installare delle superfici di scambio termico per il raffreddamento dei fumi, che permettono di conseguire i seguenti vantaggi:

- una migliore integrazione del sistema forno-caldia e quindi apparecchiature più compatte e funzionali;
- la possibilità di controllo della temperatura dei fumi per mezzo dello scambio termico con conseguente riduzione dei loro volumi e delle dimensioni degli impianti di trattamento posti a valle.

Tuttavia nella zona di post-combustione si tende a non eccedere con lo scambio termico sia limitando le superfici di scambio, sia ricoprendole con materiale refrattario di opportuno spessore. Questo non solo per ragioni connesse con il limite minimo di temperatura che deve essere mantenuto, ma anche per problematiche generali connesse alla stabilità del processo di combustione, specie in presenza di rifiuti aventi ridotto potere calorifico.

### *A.1.3 La pirolisi e la gassificazione*

Le tecnologie di pirolisi e gassificazione contano già da tempo svariate applicazioni in campo industriale, soprattutto nei settori della chimica e della petrolchimica. L'interesse relativamente recente verso un'estensione del loro utilizzo nel settore del trattamento termico dei rifiuti è determinato essenzialmente dalle potenzialità che esse offrono in termini di:

- ampliamento delle possibilità di recupero del contenuto energetico dei rifiuti e incremento nei corrispondenti rendimenti, attualmente piuttosto limitati negli impianti convenzionali di produzione di energia elettrica dotati di cicli a turbina a vapore;
- riduzione delle portate di effluenti gassosi da sottoporre a trattamenti depurativi;
- miglioramento delle caratteristiche di innocuizzazione e maggiori potenzialità di riutilizzo dei residui solidi prodotti dal processo (scorie e ceneri leggere).

Per l'applicazione industriale dei processi di gassificazione e pirolisi dei rifiuti sono state proposte differenti configurazioni impiantistiche, anche molto diversificate fra loro, che possono essere raggruppate secondo i seguenti parametri:

- la tipologia dell'apparecchiatura di conversione;
- le condizioni operative adottate nel ciclo completo di produzione ed utilizzo del gas derivato e di eventuali altri sottoprodotti.

Riguardo alle apparecchiature adottate è possibile, in linea generale, raggrupparle nelle seguenti tipologie, riferibili sia alla gassificazione, sia alla pirolisi:

- reattori a letto fisso;
- reattori a letto fluido;
- reattori a letto mobile;
- reattori di tipo particolare.

Ciascuna tipologia presenta vantaggi e svantaggi e va selezionata in funzione delle caratteristiche del materiale da trattare e di quelle desiderate per il gas derivato. In generale la differenza sostanziale risiede nei tempi di residenza (dell'ordine delle ore nei gassificatori statici, dei minuti in quelli a letto fluido ed anche inferiore in particolari tipologie di apparecchiature) e nella velocità di riscaldamento, variabile da alcuni °C/s (letto fisso) a  $10^2$ - $10^3$  °C/s (letti fluidi ed altre specifiche tipologie di reattori).

Per la gassificazione sono stati sperimentati sistemi con aria o con ossigeno (o anche con aria arricchita di ossigeno), operanti sia a pressione atmosferica, sia in pressione. L'impiego di ossigeno (o di aria arricchita) ha come conseguenza portate inferiori di gas, con migliori poteri calorifici, ma richiede costi aggiuntivi per il suo approvvigionamento e può dare luogo a problematiche di gestione supplementari legate a questioni di sicurezza.

L'utilizzo di sistemi in pressione consentirebbe, in linea di principio, l'alimentazione diretta del gas prodotto in una turbina a gas. Questa soluzione risulta essere particolarmente interessante per la possibilità di ottenere elevati rendimenti di conversione in energia elettrica anche tramite l'eventuale accoppiamento con cicli convenzionali a vapore basati sul recupero del calore dei fumi di scarico della turbina.

Allo stato attuale, tuttavia, le già citate non eccellenti caratteristiche qualitative del gas ottenuto rendono necessari trattamenti preventivi di depurazione che determinano consistenti riduzioni sia di temperatura, sia di pressione, attenuando di molto i vantaggi applicativi di tali soluzioni. A questo riguardo, di sicuro interesse appaiono, in prospettiva, le possibilità legate allo sviluppo di sistemi di depurazione ad alta temperatura e di conversione del TAR tramite trattamenti di cracking termico o catalitico.

#### *A.1.4 Le tecnologie basate su processi combinati*

I trattamenti termici basati su un singolo stadio di gassificazione o pirolisi ben si adattano a rifiuti piuttosto omogenei quali quelli costituiti da scarti agricoli e forestali, che presentano limitate variazioni delle loro caratteristiche chimico-fisiche. In questo caso essi riescono a garantire, oltre alla compatibilità ambientale, anche interessanti risvolti economici in termini di costi di investimento e di esercizio.

Sono state tuttavia sviluppate alcune tecnologie più complesse, che impiegano la combinazione di due o più processi di trattamento termico, in grado di trattare rifiuti (e anche miscele di rifiuti) aventi caratteristiche meno omogenee e variabili nel tempo, quali, ad esempio i RU ed alcune tipologie di rifiuti industriali.

Nella *tabella A1* sono riportate, in forma sintetica, le varie combinazioni di processi attualmente proposte.

La combinazione di diversi processi, oltre che da un'esigenza commerciale di "personalizzare" la propria tecnologia, deriva principalmente dai differenti obiettivi che si vogliono conseguire, in funzione anche della situazione locale nella quale l'impianto sarà installato.

Così, ad esempio, trattamenti che prevedono solo uno stadio secondario di combustione sono finalizzati alla massimizzazione del recupero energetico evitando la necessità di trattare preventivamente il gas prima del suo impiego finale. Processi invece che abbinano la pirolisi e la gassificazione tendono a massimizzare il recupero del gas derivato, che tuttavia necessita di trattamenti di depurazione preventiva prima del suo impiego come combustibile in installazioni di produzione di energia non convenzionali (turbogas, motori alternativi, cicli combinati ad alta efficienza) ovvero come materia prima secondaria per l'industria chimica.

Trattamenti infine che prevedono uno stadio di vetrificazione<sup>1</sup> dei residui solidi mirano ad ottenere un prodotto stabile, creando le condizioni di un suo potenziale riutilizzo, a scapito della quantità netta di energia elettrica e/o termica potenzialmente recuperabile.

**Tabella A1 – Esempi di tecnologie basate su processi combinati**

Pirolisi + gassificazione
Pirolisi + combustione
Gassificazione + combustione
Gassificazione + pirolisi + combustione
Gassificazione + vetrificazione
Pirolisi + vetrificazione
Gassificazione + combustione + vetrificazione

## **A2 Il recupero energetico**

### *A2.1 Il recupero di energia tramite combustione*

Il recupero di energia dall'incenerimento ha iniziato a svilupparsi negli anni '70 quando si è provveduto ad integrare l'apparecchiatura di combustione con trattamenti piuttosto semplificati di depurazione finalizzati dapprima alla riduzione del carico di polveri e, successivamente, anche alla riduzione dei gas acidi presenti nei fumi.

Esso viene effettuato attraverso il recupero del calore che deriva dal raffreddamento dei fumi, necessario per il loro successivo trattamento. Il recupero avviene sotto forma di produzione di energia elettrica e/o termica, ottenuta attraverso l'impiego del vapore generato in un ciclo termico convenzionale. In pratica lo schema impiantistico è del tutto simile a quello tipico delle centrali termoelettriche, anche se le condizioni operative sono assai meno severe a causa della presenza nei fumi di composti corrosivi e di ceneri trascinate che possono dare luogo a fenomeni di corrosione ed erosione, nonché a formazione di depositi ("slagging") sulle pareti di scambio termico.

L'introduzione della camera di post-combustione poi, così come avvenuta in Italia con la Deliberazione 27.7.1984, aveva creato uno schema concettuale abbastanza semplice ma nello stesso tempo piuttosto rigido, non privo di complicazioni operativo-gestionali, sicuramente deleterio dal punto di vista energetico. In pratica l'impianto era costituito da un susseguirsi di sottosistemi, quasi o nulla interfacciati fra di loro, nei quali venivano realizzate le varie fasi del processo di trattamento.

<sup>1</sup> La vetrificazione delle scorie è un processo mirato all'ottenimento di residui solidi allo stato vetroso, in pratica non lisciviabili. Essa non è una caratteristica tipica delle tecnologie innovative di trattamento termico, anche se il conseguimento di elevate temperature (tipico di alcune delle tecnologie messe a punto) ne consente una migliore integrazione all'interno del processo.

Negli impianti di nuova generazione si assiste, invece, ad una forte integrazione delle fasi di combustione/post-combustione/recupero di calore. Il generatore di vapore non è più uno scambiatore di calore posto a valle ma diviene una vera e propria caldaia a combustione (a griglia, a letto fluido) raffreddata dai tubi di generazione, nella quale le suddette fasi ovviamente permangono, ma non più separate fisicamente come in passato. In tal modo è possibile conseguire rendimenti superiori, mantenendo, al tempo stesso, le condizioni operative (temperatura, tempo di permanenza, turbolenza) necessarie per la distruzione dei composti nocivi eventualmente prodotti dalla combustione dei rifiuti<sup>2</sup>.

In pratica il recupero energetico in un moderno impianto di incenerimento di rifiuti conduce, a causa delle esigenze sia di limitare l'impatto sull'ambiente, sia di incrementare i livelli di recupero (per motivazioni non solo economiche, ma anche ambientali), alla realizzazione di impianti piuttosto complessi che, specie nel caso di taglia medio-grande, sono molto simili ad una vera e propria centrale termoelettrica.

### *Il generatore di vapore*

Il generatore di vapore è usualmente del tipo a "piccolo volume d'acqua" ed è normalmente costituito da tre sezioni così suddivise in base al percorso dei fumi:

- tubi vaporizzatori, dove l'acqua di alimento viene trasformata in vapore saturo.
- surriscaldatore, che trasforma il vapore saturo in surriscaldato, con grado di surriscaldamento mediamente compreso tra 100-150 °C.
- economizzatore per il recupero di parte dell'energia termica ancora presente nei fumi per il preriscaldamento dell'acqua di alimento prima dell'immissione nel corpo cilindrico.

I fumi in uscita dalla camera di combustione entrano nel generatore di vapore ad una temperatura massima dell'ordine dei 1.100 °C (valore di temperatura ottimale per evitare fenomeni di corrosione tra gli acidi presenti nei fumi e l'acciaio al carbonio, materiale costituente i tubi vaporizzanti) ed escono ad una temperatura pari a circa 200 °C, onde evitare fenomeni di corrosione sui tubi dell'economizzatore a causa della possibile formazione di condense acide.

Il generatore di vapore è di norma provvisto di sistemi per la pulizia dei tubi vaporizzatori e dei banchi di surriscaldamento, costituiti da soffiatori, di tipo fisso o retrattile, a vapore o di tipo meccanico per la rimozione delle polveri depositate.

La pressione e la temperatura del vapore surriscaldato prodotto sono variabili a seconda delle condizioni di progetto. Valori tipici sono costituiti da pressioni comprese fra 40 e 60 bar con temperature variabili tra 400 e 480 °C.

### *Il ciclo termico del vapore*

Il vapore surriscaldato in uscita dal generatore di vapore viene immesso nella turbina<sup>3</sup> attraverso opportune valvole di intercettazione e regolazione che modulano la portata in funzione del carico del forno. La turbina a vapore, normalmente, può essere del tipo con palettatura ad azione o ad azione-reazione, con condensazione del vapore tramite refrigerante ad aria oppure scambiatore ad acqua, in caso di disponibilità di idonei quantitativi di tale fluido (es.: in prossimità di un corso d'acqua o del mare).

---

<sup>2</sup> Tale concezione è stata recepita dalla normativa italiana in concomitanza con l'emanazione del DM n. 503 del 19 novembre 1997.

<sup>3</sup> La turbina è una macchina che converte in energia meccanica l'energia cinetica di un fluido (liquido o gas) evolvente. Nel caso delle centrali termoelettriche il fluido in questione è il vapore surriscaldato. L'elemento essenziale della turbina è il rotore costituito da una ruota con "palette". L'energia meccanica acquisita dal rotore viene poi trasmessa, tramite un asse, ad un generatore elettrico che prende il nome di alternatore.

Quest'ultima soluzione permette di conseguire maggiori rendimenti poiché, operando a temperature più basse, consente di sfruttare il salto entalpico fino a pressioni dell'ordine di 0,05-0,10 bar, valori non raggiungibili con un condensatore ad aria.

Qualora il recupero energetico non abbia come fine unicamente la produzione di energia elettrica, ma sia prevista una cogenerazione (produzione combinata di energia elettrica e termica) nella zona della palettatura a media pressione della turbina viene realizzato un prelievo ("spillamento") di una parte del vapore da impiegare, ad esempio, in uno scambiatore di calore per la produzione di acqua calda per una rete di teleriscaldamento.

Le perdite della turbina a vapore sono dovute principalmente agli attriti interni causati dal moto del vapore nelle palettature fisse e mobili, alle perdite allo scarico ed alle fughe di vapore che si hanno fra stadio e stadio e verso l'esterno. L'espansione fra la pressione di ingresso turbina e quella di scarico al condensatore avviene pertanto con un aumento di entropia e una diminuzione di salto entalpico utile rispetto al ciclo teorico. Il rendimento interno o termodinamico, dato dal rapporto tra salto entalpico reale e salto entalpico adiabatico, si aggira attorno all'80%.

### *Il generatore di energia elettrica*

L'alternatore accoppiato ad una turbina a vapore è, di norma, del tipo bipolare o quadripolare per cui avrà, in funzione del numero di poli, una velocità di 3.000 o 1.500 g/min. La trasmissione del numero di giri dal rotore della turbina al rotore dell'alternatore è, ove richiesto, realizzata tramite un riduttore di giri (10.000/3.000 o 10.000/1.500).

### *A.2.2 Il recupero di energia tramite gassificazione e pirolisi*

Nella gassificazione e nella maggior parte delle tecnologie basate sulla pirolisi il recupero energetico può essere effettuato tramite la successiva combustione del gas prodotto (che potrebbe avvenire anche in impianti diversi da quello di produzione)<sup>4</sup>, effettuata sia in cicli termici tradizionali, sia in apparecchiature di conversione diretta in energia elettrica, quali turbine o motori endotermici.

L'effettiva possibilità di utilizzo energetico dei gas prodotti da processi di pirolisi o gassificazione è strettamente legata, oltre che al loro contenuto energetico, alla presenza di alcune componenti minori che possono rendere problematico sia il trasporto ad utenze esterne all'impianto, sia l'eventuale impiego. Tra queste, particolare importanza rivestono le particelle solide trascinate, i composti acidi (HCl H<sub>2</sub>S, acidi organici) ed alcalini (NH<sub>3</sub>) ed il TAR, costituito da un complesso di idrocarburi pesanti condensabili. Quest'ultimo, in particolare, può formare depositi viscosi di sostanze oleose e polveri a seguito del raffreddamento del gas già a temperature intorno ai 250-300 °C, con conseguenti problemi di sporco e di intasamento delle superfici e degli organi meccanici.

Il trasporto a distanza del gas o il suo utilizzo in apparati o in cicli di produzione di energia elettrica ad elevato rendimento (motori alternativi, turbine a gas) richiede, quindi, trattamenti di depurazione piuttosto spinti (depolverazione, lavaggi multistadio) che, oltre alle complicazioni di carattere operativo-gestionale, determinano un impoverimento del contenuto energetico del gas, sia in termini di calore sensibile (raffreddamento) che di potere calorifico inferiore (rimozione del TAR).

In generale lo sfruttamento energetico del gas prodotto può essere effettuato secondo due alternative:

---

<sup>4</sup> Le considerazioni di carattere generale valgono anche per altri sottoprodotti (liquidi, solidi) della pirolisi che possono trovare impiego come combustibili.

- la combustione diretta del gas così come prodotto oppure dopo trattamenti non particolarmente spinti, in sistemi convenzionali di combustione (es.: generatore di vapore) posti a valle del gassificatore (conversione di tipo “termico”);
- l’utilizzo del gas di sintesi in installazioni non convenzionali, quali i motori alternativi e le turbine a gas, previa depurazione spinta (gassificazione di tipo “elettrico”).

Nella gassificazione di tipo termico il gas grezzo prodotto viene combusto senza (o dopo piuttosto grossolani) trattamenti depurativi tesi all’eliminazione delle polveri trascinate, del TAR e degli altri inquinanti presenti (HCl, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> ecc.), in modo da generare energia elettrica tramite la produzione di vapore. I fumi esausti debbono, ovviamente, essere trattati a valle della combustione, come avviene in un tradizionale impianto di incenerimento di rifiuti. Questa soluzione non differisce sostanzialmente dalla combustione diretta dei rifiuti. La differenziazione diviene pressoché formale in alcuni casi nei quali non è possibile separare fisicamente la fase di pirolisi/gassificazione da quella di combustione finale del gas derivato, per cui il trattamento viene a configurarsi come un incenerimento in due stadi e come tale, giustamente, sottoposto a tutte le prescrizioni e le normative ad esso applicabili<sup>5</sup>.

Nella gassificazione di tipo “elettrico”, invece, risultano ben distinte le due fasi della “produzione del gas derivato” e del suo “impiego in turbina o motore endotermico” per la produzione di energia elettrica, previo trattamento di depurazione spinta.

È proprio questa soluzione che, allo stato attuale, presenta maggiori potenzialità di sviluppo, poichè, sulla base di quanto già sperimentato con il carbone ed alcune biomasse, la produzione di un combustibile gassoso destinato ad essere impiegato in una turbina consente l’adozione di cicli combinati per la produzione di energia elettrica.

Dal recupero energetico effettuato sui fumi di scarico della turbina è possibile produrre vapore da destinare alla produzione di energia elettrica tramite espansione in una turbina secondaria. Questa soluzione offre la possibilità di incrementare notevolmente il rendimento di conversione in energia elettrica, con potenziali benefici di carattere economico ed ambientale.

---

<sup>5</sup> È ovvio tuttavia che i fornitori di tali tecnologie tendano a commercializzare tali impianti come impianti di gassificazione, nel tentativo di eludere la percezione negativa dell’opinione pubblica nei confronti dell’incenerimento.

## ALLEGATO B

### L'IMPIEGO DI COMBUSTIBILI SOLIDI SECONDARI IN IMPIANTI INDUSTRIALI

#### B.1 Introduzione

L'aumento inarrestabile dei prezzi dei combustibili fossili, associato ad un contesto caratterizzato dalla liberalizzazione del mercato dell'energia e dalla necessità di contenere i costi del loro approvvigionamento, ha portato vari settori industriali (centrali termoelettriche, centrali termiche di teleriscaldamento, cementifici ecc.) a guardare con interesse alla disponibilità di combustibili alternativi a buon mercato, purché rispondenti a specifiche caratteristiche.

Contestualmente viene sempre più emergendo l'esigenza di incrementare l'impiego di fonti rinnovabili di energia sia allo scopo di usufruire degli incentivi economici previsti nel caso di produzione di energia elettrica (i cosiddetti "certificati verdi", CV), sia ai fini di ottemperare ad obiettivi vincolanti di riduzione delle emissioni di gas serra previsti a livello europeo che hanno dato luogo, tra l'altro, al mercato dell'"Emission Trading".

Tutto ciò ha alimentato negli ultimi anni un forte interesse nei confronti dell'impiego di combustibili solidi secondari (CSS)<sup>1</sup>, principalmente, ma non esclusivamente, prodotti a partire da rifiuti urbani (RU) che residuano a valle delle operazioni di raccolta differenziata (RD).

L'origine dei CSS è piuttosto remota ed è riconducibile al tentativo di promuovere l'impiego di un combustibile alternativo, allora denominato RDF (Refuse Derived Fuel) a basso costo, che permettesse di fronteggiare la crisi petrolifera della prima metà degli anni '70. Tale combustibile non fu mai accettato dal mercato, principalmente a causa della mancanza di garanzie qualitative sulle sue caratteristiche che implicava risvolti operativi negativi sul piano operativo, oltre che di carattere energetico ed ambientale.

Contrariamente ad allora tale materiale potrebbe oggi essere impiegato, nel rispetto di alcune precise caratteristiche e prescrizioni riguardanti la sua produzione e utilizzo, come combustibile alternativo in impianti industriali.

La combustione di CSS finalizzata al recupero energetico (sotto forma di energia elettrica e/o termica) può essere effettuata sia in impianti dedicati<sup>2</sup> (cioè costruiti allo scopo), sia in impianti industriali esistenti (che utilizzano combustibili tradizionali), tipicamente costituiti da:

- cementifici;
- centrali termoelettriche;
- impianti per la produzione della calce;
- impianti siderurgici;
- centrali termiche per il teleriscaldamento.

---

<sup>1</sup> Con tale acronimo si intende qui identificare un combustibile alternativo che non coincide necessariamente con il combustibile derivato da rifiuti (CDR) individuato dal DM 5 febbraio 1998, che disciplina le operazioni di recupero di materia ed energia da rifiuti in regime semplificato. Tale acronimo verrà utilizzato con un'accezione più ampia, derivata proprio, come si vedrà in seguito, nell'ambito delle attività di normazione tecnica a livello europeo che individua qualsiasi combustibile non convenzionale derivato da rifiuti non pericolosi di varia origine e provenienza, che risponde a caratteristiche ben definite e costanti ai fini di suo impiego su vasta scala in diversi settori industriali. La definizione di combustibili derivati da rifiuti adottata a livello europeo è quella di "Solid Recovered Fuels" (SRF) di cui l'accezione individuata dall'acronimo CSS costituisce la corrispondente traduzione in italiano.

<sup>2</sup> Dal punto di vista tecnico tali impianti non differiscono sostanzialmente dagli inceneritori di RU, se non per le caratteristiche chimico-fisiche del materiale alimentato, caratterizzato da un minore contenuto d'inquinanti, di frazioni inerti e d'umidità (per effetto dei trattamenti caratteristici del ciclo di produzione dei CSS), che comportano anche un significativo incremento del potere calorifico.

L'impiego di CSS in impianti dedicati non presenta alcun problema di carattere tecnico in quanto le tecnologie disponibili sul mercato, sia di combustione che di depurazione dei fumi, consentono il rispetto dei limiti normativi sempre più restrittivi alle emissioni, che vengono dettati da motivazioni di tutela ambientale.

L'utilizzo di CSS in impianti industriali ("coincenerimento") esistenti risulta essere, allo stato attuale, una tecnica non ancora sufficientemente consolidata e che necessita di ulteriori verifiche sperimentali prima di una sua applicazione su vasta scala.

Infatti, oltre a richiedere una preparazione più spinta del combustibile (soprattutto per quanto riguarda il contenuto di umidità e la pezzatura del materiale), sono ancora tutte da chiarire le problematiche connesse con il maggior contenuto di composti alogenati e di metalli presenti nei CSS rispetto ai combustibili tradizionali, che potrebbero dare luogo, soprattutto negli impianti di produzione di energia, a gravi fenomeni di sporco e corrosione, oltre che compromettere il riutilizzo delle ceneri di combustione.

## B.2 Gli aspetti normativi

A livello normativo l'impiego di rifiuti come combustibili alternativi, sia in impianti dedicati, sia in installazioni industriali esistenti, ricade pienamente nel campo d'applicazione della Direttiva 2000/76/CE sull'incenerimento dei rifiuti.

La Direttiva in questione, recepita a livello nazionale dal DLgs 133/2005, disciplina il trattamento termico di qualsiasi rifiuto<sup>3</sup>, ivi incluso l'impiego di specifiche tipologie (che possono coprire una gamma molto vasta che va dai RU indifferenziati fino a rifiuti di origine commerciale e industriale, aventi caratteristiche ben definite e controllabili) finalizzato alla produzione di energia elettrica e/o termica.

Gli insediamenti che impiegano tali materiali come combustibile alternativo vengono del tutto assimilati ad impianti di incenerimento (se "dedicati") ovvero di "co-incenerimento" se costituiti da installazioni industriali che impiegano "*rifiuti come combustibile normale o accessorio*" o "*in cui i rifiuti sono sottoposti ad un trattamento termico ai fini di smaltimento*" (cementifici, centrali termoelettriche, forni industriali ecc.).

È questa una questione piuttosto controversa, riconducibile alla normativa europea sui rifiuti la quale non aveva mai fornito<sup>4</sup> una definizione pragmatica dei processi di recupero (limitandosi a fornire un mero elenco di operazioni), né tanto meno chiarito se e in quale modo un rifiuto sottoposto a recupero possa essere considerato un prodotto secondario.

Dunque sul fatto che i CSS siano da considerarsi o meno rifiuti ai sensi della vigente legislazione europea il discorso rimane aperto. La Commissione Europea, pur avendo più volte ribadito che la rispondenza di un materiale alle specifiche di una norma tecnica non comporta automaticamente che lo stesso sia un prodotto, ha tuttavia chiarito che di tali norme si terrà conto nel processo decisionale in merito a quando un rifiuto cessa di essere tale e diviene un prodotto, nel caso specifico un combustibile.

---

<sup>3</sup> Sono escluse (art. 2, comma 2, lettera a)) solo alcune particolari tipologie di rifiuti, riconducibili a residui di lavorazione agro-forestali ed industriali costituiti da biomasse, oltre ai rifiuti radioattivi, ai rifiuti di origine animale ed ai rifiuti provenienti da attività estrattive off-shore.

<sup>4</sup> Interessanti novità sono state introdotte dalla Direttiva 2008/98/CE, recepita a livello nazionale dal DLgs 205/2010, che ha stabilito (articolo 6) per la prima volta il principio della cessazione della qualifica di rifiuto ("end of waste") e per quanto riguarda specificatamente il recupero energetico da rifiuti urbani ha introdotto nell'Allegato II una formula per la valutazione dei livelli di efficienza di recupero energetico, ai fini della qualifica dell'attività (recupero o smaltimento) svolta dall'impianto (v. Allegato 3).

A livello nazionale un primo passo verso questa direzione era stato fatto con l'emanazione del DM 5 febbraio 1998, che disciplina la produzione e l'utilizzo di una specifica tipologia di CDR, consentendo di avvalersi delle procedure semplificate previste per l'esercizio di impianti in cui sono effettuate le operazioni di recupero di rifiuti di cui agli artt. 31 e 33 dell'allora vigente DLgs 22/97.

Successivamente con l'emanazione del DLgs 152/2006 era stato stabilito (parte IV<sup>5</sup>, art. 229) che “...è escluso dall'ambito di applicazione della parte quarta del presente decreto il combustibile da rifiuti di qualità elevata (CDR-Q)....” qualora il suo ciclo di produzione avesse risposto a certi requisiti in termini di garanzia di qualità e il suo utilizzo fosse avvenuto in combustione simultanea con combustibili fossili in impianti di produzione di energia elettrica o in cementifici.

Tale posizione è stata però ribaltata all'atto dell'emanazione del DLgs 4/2008 (il cosiddetto “secondo correttivo” al DLgs 152/2006) che allo stesso articolo 229 stabilisce che sia il CDR, sia il CDR-Q “sono classificati come rifiuto speciale”, in linea con la vigente normativa europea. Classificazione, quest'ultima, confermata dal DLgs 205/2010 (“quarto correttivo” al DLgs 152/2006) per il CSS che ha sostituito le precedenti definizioni di CDR e CDR-Q nell'individuazione di combustibili derivati da rifiuti, fatto salvo quanto previsto in tema di cessazione della qualifica di rifiuto (“end of waste”).

### B.3 La normativa tecnica a livello nazionale

A livello nazionale, la normativa tecnica di riferimento è costituita dalle Norme UNI 9903 “Combustibili solidi non minerali ricavati da rifiuti”, pubblicate per la prima volta nel 1992 e revisionate più volte, di cui l'ultima nel corso del 2004<sup>6</sup>.

Tali norme, costituite da un set di 14 standard, regolamentano la classificazione, le principali caratteristiche chimico-fisiche, le prescrizioni, nonché le metodologie di campionamento e analisi per l'impiego ed il trasporto dei combustibili solidi ricavati da rifiuti, indicati convenzionalmente come RDF (Refuse Derived Fuels)<sup>7</sup> destinabili ad usi termici civili ed industriali.

In particolare la norma UNI 9903-1 “Classificazione e caratteristiche” individua, sulla base di alcune caratteristiche chimico-fisiche minimali, con particolare riguardo al contenuto energetico (potere calorifico inferiore, PCI) e di inquinanti, due classi di qualità per gli RDF:

- “RDF di qualità elevata”, prodotto preferibilmente partendo da rifiuti selezionati, ottenuti anche tramite operazioni di raccolta selettiva;
- “RDF di qualità normale”, prodotto partendo da rifiuti indifferenziati.

È da rilevare che in passato con l'emanazione del DM 5 febbraio 1998<sup>8</sup> si erano venute a creare notevoli (ed ingiustificate) discrasie fra la normativa tecnica e quella giuridica, in quanto il DM in questione ha prescritto “motu proprio” delle caratteristiche minimali senza tenere in conto in alcun modo la norma UNI 9903-1.

---

<sup>5</sup> Relativa alle “Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti contaminati”

<sup>6</sup> Tali norme sono state redatte e revisionate nel corso degli anni dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI), ente di normazione tecnica su tematiche energetiche, federato all'UNI.

<sup>7</sup> La scelta di utilizzare un acronimo in lingua inglese deriva dal fatto che le norme tecniche in questione si rifanno principalmente a quelle a suo tempo pubblicate negli Stati Uniti da parte dell'ASTM, nelle quali si dà, tuttavia, un'accezione più ampia al termine RDF, che copre un'ampia gamma di rifiuti, che va dai RU indifferenziati sino ai combustibili gassosi da essi derivati tramite trattamenti termici.

<sup>8</sup> Riguardo all'impiego del CDR come combustibile alternativo (in impianti dedicati e non), il punto 1 del sub-allegato 1 dell'allegato 2 del DM 5 febbraio 1998 fissa requisiti e prescrizioni per le caratteristiche minimali del prodotto, i criteri progettuali ed operativi degli impianti utilizzatori, nonché i limiti alle emissioni in atmosfera degli inquinanti, con alcuni valori persino più restrittivi di quelli all'epoca in vigore per gli impianti di incenerimento di rifiuti.

Per superare queste incongruenze si è ricorsi nel corso del 2004 ad una revisione della Norma UNI 9903-1 che ha portato alla modifica delle specifiche minimali relative alle due tipologie di RDF, allo scopo di:

- uniformare le caratteristiche minimali richieste per l’RDF di qualità normale a quelle previste per il CDR di cui al DM 5 febbraio 1998;
- definire, sulla base dell’evoluzione tecnica e di parametri quali-quantitativi dei rifiuti disponibili, nonché di motivazioni di salvaguardia dell’ambiente e tenuto conto delle richieste degli utilizzatori finali, delle caratteristiche minimali per l’RDF di qualità elevata<sup>9</sup>, che lo rendano idoneo all’impiego, senza modifiche sostanziali delle apparecchiature di combustione disponibili, come combustibile alternativo in impianti industriali esistenti.

Con tale processo di revisione si è pervenuti dunque ad armonizzare la normativa tecnica e la legislazione in tema di classificazione dei CSS, riportando ciascuna al suo ruolo naturale (vedi *tabella B.1*).

**Tabella B.1 – Requisiti richiesti dalla Norma UNI 9903-1 (2004) <sup>(1)</sup>**

Parametro	U.M.	RDF qualità normale	U.M.	RDF qualità elevata
Umidità	% massa t.q.	max. 25	% massa t.q.	max. 18
PCI	MJ/kg t.q.	min. 15	MJ/kg s.s.	min. 20
Ceneri	% massa s.s.	max. 20	% massa s.s.	max. 15
Cloro totale	% massa t.q.	max. 0,9	% massa s.s.	max. 0,7
Zolfo	% massa t.q.	max. 0,6	mg/kg s.s.	max. 0,3
Pb <sup>(2)</sup>	mg/kg s.s.	max. 200	mg/kg s.s.	max. 100
Cr	mg/kg s.s.	max. 100	mg/kg s.s.	max. 70
Cu <sup>(3)</sup>	mg/kg s.s.	max. 300	mg/kg s.s.	max. 50
Mn	mg/kg s.s.	max. 400	mg/kg s.s.	max. 200
Ni	mg/kg s.s.	max. 40	mg/kg s.s.	max. 30
As	mg/kg s.s.	max. 9	mg/kg s.s.	max. 5
Cd + Hg	mg/kg s.s.	max. 7	mg/kg s.s.	--
Cd	mg/kg s.s.	--	mg/kg s.s.	max. 3
Hg	mg/kg s.s.	--	mg/kg s.s.	max. 1

(1) Per parametri quali contenuto di vetro, Fe, F, Al, Sn, Zn, pezzatura e temperatura di rammollimento delle ceneri, ne viene raccomandata solo l’indicazione

(2) Frazione volatile

(3) Composti solubili

#### **B.4 La normativa tecnica a livello europeo**

A livello europeo, contrariamente a quanto avvenuto in passato, è molto sentita l’esigenza di dotare il mercato della produzione dei CSS di un sistema di controllo di qualità in grado di conseguire ed assicurare caratteristiche definite e costanti dei materiali ottenuti, soprattutto al fine di accrescere l’accettabilità da parte degli utilizzatori finali, nonché di facilitare l’iter autorizzativo necessario per il loro impiego.

L’esigenza di garantire dei livelli qualitativi minimali si è fortemente accresciuta negli ultimi tempi, a seguito della maggiore disponibilità quantitativa di frazioni ad elevato potere calorifico, che derivano da RU e da altri rifiuti di diversa natura e provenienza, costituenti la matrice di partenza per la produzione dei CSS.

<sup>9</sup> Tale combustibile è stato poi identificato dalla legislazione come combustibile derivato da rifiuti di qualità (CDR-Q).

In questo contesto, nel corso dell'anno 2000, su proposta del SFS (Ente di Normazione Finlandese) alla Commissione Europea (CE), il CEN<sup>10</sup> (Comitato Europeo di Normazione) ha istituito una Task Force, su base volontaria, con il compito di esaminare il potenziale mercato dei CSS<sup>11</sup>, la possibilità di elaborare degli standard di riferimento a livello europeo, nonché di stabilire, in via preliminare, obiettivi e programma di lavoro.

I risultati dell'indagine effettuata nel corso dei lavori, protrattisi fino alla prima metà del 2002, hanno portato a concludere che esisteva un potenziale mercato per la produzione di CSS, ottenuti a partire da RU, rifiuti commerciali, industriali o altri rifiuti speciali non pericolosi.

Contestualmente sono state rilevate alcune esigenze, quali quelle di disporre di standard di riferimento che armonizzino le diverse metodiche di classificazione ed analisi presenti nei vari Paesi, nonché di rendere disponibile un set più completo di informazioni all'utilizzatore finale del combustibile alternativo.

In sintesi la disponibilità di standard europei sui CSS riveste un ruolo rilevante al fine di:

- favorire i trasporti transfrontalieri di rifiuti destinati al recupero (in accordo con il regolamento europeo 259/93, la lista verde dell'OCSE, nonché l'Appendice B del Trattato di Basilea);
- semplificare l'iter autorizzativo per gli impianti che utilizzano i CSS;
- ridurre i costi operativi connessi con le operazioni di monitoraggio e controllo delle emissioni;
- razionalizzare i criteri di dimensionamento e conseguire riduzioni dei costi della impiantistica necessaria per la combustione dei CSS;
- garantire la qualità del combustibile prodotto all'utilizzatore finale.

La CE ha seguito sin dall'inizio queste iniziative finalizzate alla normazione dei CSS, sottolineando esplicitamente il loro valore politico.

Secondo il punto di vista della CE le norme in questione non sono un mero strumento di settore (aspetto tipico della normativa tecnica), ma devono, più in generale, contribuire al conseguimento di obiettivi di politica ambientale (sia in tema di gestione di rifiuti che di limitazione delle emissioni globali di inquinanti e di gas con effetto serra) ed energetica (soprattutto per quanto attiene l'incremento della quota di utilizzo di fonti rinnovabili).

In pratica, secondo il punto di vista della CE, la disponibilità di una normativa tecnica sui CSS è finalizzata anche a:

- dotare la Direttiva 2000/76/CE di strumenti tecnici applicativi, con particolare riguardo alla necessità di specifiche tecniche commerciali dei CSS destinati al co-incenerimento;
- mettere a punto una metodologia per la determinazione della frazione dei CSS che ricade nel campo di applicazione della Direttiva 2009/28/CE<sup>12</sup>, vale a dire per individuare la cosiddetta "*frazione biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani*";
- fornire alle autorità competenti, comunitarie, nazionali e locali dei riferimenti per la gestione dei processi autorizzativi e per la fissazione dei valori limite alle emissioni.

In questo contesto, su apposito mandato della CE, è stato istituito nel 2002 il Comitato Tecnico CEN TC 343, allo scopo di:

- predisporre, in una prima fase, una serie di specifiche tecniche ("Technical Specifications", TS) riguardanti i CSS;

---

<sup>10</sup> Il CEN è il Comitato di Normazione a livello europeo deputato alla predisposizione di Standard tecnici di riferimento per i vari settori industriali. Di esso fanno parte 30 Paesi, che includono tutti i 27 Stati membri attualmente costituenti l'Unione Europea, oltre all'Islanda, la Norvegia e la Svizzera.

<sup>11</sup> Individuati in sede CEN come "Solid Recovered Fuels" (SRF).

<sup>12</sup> La Direttiva 2009/28/CE ha sostituito in toto la previgente direttiva 2001/77/CE, prevedendone anche l'abrogazione a partire da 01 gennaio 2012.

- convertire successivamente le suddette TS in norme tecniche europee (“European Standards”, EN), a valle di un’adeguata fase di validazione, da svolgersi secondo modalità da concordare con la CE stessa<sup>13</sup>.

Sulla base del mandato ricevuto, il CEN TC 343 si è dato come scopo l’*“elaborazione di norme tecniche, specifiche tecniche, rapporti tecnici sui combustibili derivati da rifiuti non pericolosi, da utilizzarsi per il recupero energetico in impianti di incenerimento e co-incenerimento, fatta eccezione per i combustibili inclusi nello scopo del CEN TC 335 - Biocombustibili solidi”*<sup>14</sup>.

Attualmente sono disponibili tutte le specifiche tecniche (TS) previste, pubblicate a livello nazionale dall’UNI, mentre sono in fase avanzata i lavori di conversione delle TS in standard europei (EN), sulla base dei risultati ottenuti nel corso delle attività di validazione<sup>15</sup>, che dovrebbero portare alla disponibilità degli stessi tra la fine del 2010 e la prima metà del 2011. In futuro il riferimento del mercato, ma anche del legislatore secondo quanto indicato dalla CE, saranno quindi queste norme tecniche europee, tra le quali si citano per la loro rilevanza:

- la norma prCEN/EN 15359 (che sostituirà, una volta approvata, l’attuale UNI CEN/TS 15359-2006) *“Solid Recovered Fuels - Classification and Specification”* che prevede una classificazione del CSS, basata su tre soli parametri, rispettivamente di natura economica (potere calorifico inferiore), tecnica (contenuto di cloro) ed ambientale (contenuto di mercurio);
- la norma prCEN/EN 15440 (che sostituirà, una volta approvata, l’attuale UNI CEN/TS 15440-2007) *“Method for the determination of biomass content”* che individua le metodologie per la determinazione della frazione di biomassa, vale a dire del “grado di rinnovabilità” di un CSS e che risulta di fondamentale importanza per i risvolti connessi con l’applicazione della Direttiva 2009/28/CE.

Nello specifico la norma UNI prCEN/EN 15359 adotta una classificazione molto più blanda rispetto a quella prevista dalla UNI 9903-1, finalizzata principalmente a dare un’indicazione di massima delle caratteristiche qualitative del CSS, rimandando il rispetto di limiti vincolanti alla contrattazione tra produttore e utilizzatore finale.

Per ognuno dei tre parametri vengono previste 5 classi che coprono un ampio campo di variazione delle caratteristiche richieste, come riportato nella *tabella B.2*

Rimane per ora aperta la questione di come gestire la transizione, a livello nazionale, dalla classificazione prevista attualmente dalla norma UNI 9903-1 a quella futura riportata nella CEN/EN 15359 (la cui pubblicazione è prevista per la prima metà del 2011), in considerazione del fatto che quest’ultima supera e annulla qualsiasi norma nazionale che fosse in contrasto con essa. Su questo aspetto è stato istituito presso il CTI un gruppo di lavoro finalizzato alla eventuale revisione della norma UNI 9903-1 per adeguarla al nuovo contesto delineatosi a livello europeo.

<sup>13</sup> È opportuno ricordare che le TS sono inquadrabili come norme sperimentali, la cui adozione non è vincolante per i Paesi aderenti al CEN e la cui pubblicazione non comporta il contestuale superamento di norme nazionali divergenti; diversamente sarà obbligatorio il recepimento delle EN, con la conseguente abrogazione di qualsiasi normativa nazionale in contrasto.

<sup>14</sup> Il CEN TC 335 è un altro comitato tecnico che, attivo sin dal 2000, sempre su mandato della CE, sta svolgendo una attività analoga di normazione per i rifiuti derivanti da biomasse, esplicitamente esclusi dal campo di applicazione della Direttiva 2000/76/CE sull’incenerimento dei rifiuti (art. 2, c. 2, lettera a).

<sup>15</sup> Attività svolte nell’ambito di un progetto europeo denominato “QUOVADIS”, cofinanziato dalla CE.

**Tabella B.2 – Requisiti richiesti dalla norma prCEN/EN 15359 <sup>(1)</sup>**

Parametro	Riferimento statistico	U. M.	Classe				
			1	2	3	4	5
PCI	media	MJ/kg (t.q.)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Cloro	media	% (s.s.)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Mercurio <sup>(2)</sup>	mediana	mg/MJ (t.q.)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	80% percentile	mg/MJ (t.q.)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

(1) la norma è in fase di approvazione finale, come indica il prefisso “pr”, che verrà rimosso una volta ufficialmente pubblicata dal CEN

(2) La classe di appartenenza è determinata dal riferimento statistico che presenta il valore maggiore

Per quanto riguarda la norma prCEN/EN 15440, di carattere più strettamente tecnico, essa individua tre metodiche standard per la determinazione della “*parte biodegradabile*” di rifiuti misti, così come individuata dalla Direttiva 2009/28/CE, basate rispettivamente su:

- un metodo analitico, costituito da una dissoluzione selettiva della “parte biodegradabile” (contenuto di biomassa) del CSS tramite una soluzione di acido solforico ed acqua ossigenata;
- un metodo empirico basato sulla selezione manuale delle frazioni merceologiche costituenti il CSS;
- un metodo analitico di misura diretta del carbonio biogenico, tramite la determinazione dell’isotopo del carbonio <sup>14</sup>C.

Tramite tali metodiche è possibile dunque determinare:

- il contenuto di biomassa espressa in % peso;
- il contenuto di biomassa espresso come % del contenuto totale di carbonio di rifiuti misti, utilizzabile per la valutazione dei risparmi in termini di emissioni di gas serra;
- il contenuto di biomassa come % del contenuto energetico (potere calorifico inferiore) di rifiuti misti, necessario per la quantificazione della percentuale di energia elettrica di natura rinnovabile alla quale applicare le forme di incentivazione previste, quali i CV.

Riguardo a questi due aspetti occorre fare alcune considerazioni in merito.

In linea generale è possibile affermare che non esistono particolari problemi per la determinazione del contenuto di carbonio rinnovabile di un CSS o di un rifiuto misto, al di là di limiti tecnici già evidenziati dalla norma tecnica<sup>16</sup> nel corso del processo di validazione della stessa, propedeutico alla sua conversione in EN.

<sup>16</sup> Senza entrare in dettagli tecnici, basti ricordare che il metodo della dissoluzione chimica (che richiede una riduzione spinta della pezzatura per la sua applicazione) può dare luogo a falsi negativi o falsi positivi, che portano a riconoscere una rinnovabilità ridotta ad alcune frazioni biogeniche (es. lana, viscosa, grassi vegetali ecc.) ovvero un certo grado di rinnovabilità a materiali di origine fossile (es.: poliuretano, nylon, carbone ecc.). Il metodo della selezione manuale è invece influenzato dalla pezzatura del materiale e dalla presenza di materiali misti (es. poliaccoppiati) o contaminanti ovvero con caratteristiche fuorvianti (es.: plastiche biodegradabili).

Proprio per superare queste limitazioni in fase di “upgrading” della TS è stato introdotto nella prCEN/EN 15440 un terzo metodo basato sulla determinazione della frazione (direttamente proporzionale al contenuto di carbonio derivante da biomassa) dell’isotopo <sup>14</sup>C rispetto al contenuto di carbonio totale presente nel CSS, metodo che, sulla base delle esperienze fatte nel corso del processo di validazione, risulta essere di più ampia applicabilità e di maggiore affidabilità. Per contro, esso presenta l’inconveniente di una limitata disponibilità di laboratori qualificati in grado di eseguire tale determinazione.

La situazione appare ben diversa quando si intende invece determinare l'apporto in termini energetici della parte biodegradabile dei rifiuti misti, soprattutto quando tale dato è finalizzato alla quantificazione degli incentivi (CV) previsti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

A livello nazionale su questo tema il GSE ha messo a punto delle *“Linee guida per la valutazione dell'energia elettrica rinnovabile imputabile alla parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani”* (riportate in allegato al DM 21 dicembre 2007 del Ministero dello Sviluppo Economico), che ricalcano nella sostanza le metodologie individuate dalla norma UNI CEN/TS 15440.

A questo riguardo occorre rilevare che tale metodica non risulta tuttavia di agevole applicazione proprio ad uno dei settori più significativi che è quello relativo al recupero energetico da RU<sup>17</sup>, in considerazione della loro natura fortemente eterogenea (elevata umidità, pezzatura grossolana, composizione variabile su base locale e/o stagionale) e del fatto che in uno stesso impianto possono confluire differenti tipologie di rifiuti di natura urbana (RU residuo, frazione secca, CDR) o meno (rifiuti speciali, rifiuti sanitari)<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Non a caso la classificazione dei CSS prevista dal CEN esclude esplicitamente gli “untreated municipal solid waste”, vale a dire i RU residui non trattati, proprio in considerazione del fatto che essi non risultano impiegabili come combustibili alternativi in impianti industriali diversi dagli inceneritori “dedicati”. Questa filosofia ha portato come naturale conseguenza che tutto il set di TS messe a punto (ed anche dei futuri standard EN) è indirizzato alla caratterizzazione di materiali che, pur rimanendo rifiuti, presentato comunque un certo grado di omogeneità e costanza delle loro caratteristiche chimico-fisiche.

Così, ad esempio, l'applicazione della UNI CEN/TS 15440 per la determinazione della quota di energia rinnovabile associabile a RU indifferenziati potrebbe dare luogo a risultati aleatori in considerazione dell'umidità piuttosto elevata (oltretutto ripartita diversamente tra le varie frazioni componenti e variabile su base locale e stagionale). Ricordiamo infatti che le metodiche standard previste dalla UNI CEN/TS 15440 sono tutte riferite alla sostanza secca del rifiuto/combustibile, vale a dire a componenti privi di umidità.

<sup>18</sup> Probabilmente di queste limitazioni ne è consapevole lo stesso GSE che nella parte introduttiva delle linee guida precisa *“Tale metodo sarà sostituito dalle nuove linee guida che il Comitato Termotecnico Italiano sta elaborando e di cui il GSE darà tempestiva notizia mediante pubblicazione sul proprio sito internet”*. Attualmente sono state elaborate da parte del CTI delle linee guida che dovrebbero consentire l'applicazione del metodo anche ai rifiuti di origine urbana (e frazioni derivate), nonché a particolari tipologie di rifiuti speciali. È presumibile che tali Linee Guida affiancheranno le metodiche messe a punto dal GSE, che dovranno comunque essere aggiornate.

## ALLEGATO C

### LA FORMULA DI EFFICIENZA ENERGETICA PER GLI IMPIANTI DI INCENERIMENTO

Nell'Allegato II <sup>1</sup> della Direttiva 2008/98/CE ("direttiva quadro sui rifiuti") è riportata una formula per il calcolo dei livelli di efficienza di recupero del contenuto energetico dei rifiuti qualora essi siano destinati alla produzione di energia elettrica e/o termica.

Tale formula è stata predisposta nel corso dei lavori che hanno portato alla pubblicazione del cosiddetto "Bref sull'incenerimento" (Best available techniques Reference document on waste incineration), documento tecnico di riferimento elaborato a livello europeo per l'individuazione delle migliori tecniche disponibili e previsto nell'ambito della Direttiva 96/61 sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento ("Direttiva IPPC").

La formula è la seguente:

$$E_{\min} = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$$

dove:

$E_{\min}$  = efficienza minima richiesta pari a:

- 0,60 per impianti in esercizio ed autorizzati in accordo alla normativa comunitaria vigente prima del 1 gennaio 2009
- 0,65 per impianti autorizzati dopo il 31 dicembre 2008

$E_p$  (GJ/a) = Energia prodotta sotto forma elettrica e termica su base annuale, da calcolarsi moltiplicando l'energia elettrica prodotta per il fattore 2,6 e l'energia termica per il fattore 1,1

$E_f$  (GJ/a) = Energia in ingresso all'impianto derivante dal consumo di combustibili tradizionali su base annua, destinati alla produzione di vapore

$E_w$  (GJ/a) = Energia contenuta nei rifiuti trattati su base annua, calcolata sulla base del potere calorifico inferiore (PCI)

$E_i$  (GJ/a) = Energia importata nell'impianto su base annua, con esclusione di  $E_w$  e  $E_f$

È inoltre presente un fattore (0,97) che tiene conto delle perdite di energia nel corso del processo di combustione dei rifiuti, connesse principalmente con fenomeni di irraggiamento e al calore sensibile disperso con scorie e ceneri.

Si tratta in pratica di un bilancio dell'energia importata ed esportata dall'impianto su base annua, che tiene ovviamente conto di quelli che sono gli autoconsumi necessari per il funzionamento delle varie sezioni costituenti l'impianto: trattamento termico, produzione di energia, depurazione dei fumi, nonché eventuale trattamento dei residui (scorie, ceneri).

La formula ha validità generale e, in linea di principio, dovrebbe consentire una verifica puntuale dell'efficienza di recupero energetico conseguita da un impianto di incenerimento di RU, in qualsiasi forma esso venga effettuato, vale a dire tramite:

- la produzione di energia elettrica;
- la produzione di energia termica;
- la produzione combinata di energia termica ed elettrica.

---

<sup>1</sup> Trasposto, a livello nazionale, nell'Allegato C al DLgs 152/2006.

Va da sé che la tipologia di recupero effettuato dipende solo in forma indiretta dalle caratteristiche dell'impianto, mentre risulta fortemente influenzata dalle condizioni locali del luogo ove esso verrà ad essere installato.

In particolare essa sarà condizionata dall'esistenza o meno di un mercato per l'energia termica che, contrariamente a quella elettrica (la quale può essere comunque immessa sulla rete di distribuzione nazionale), risulta legato alla presenza in loco di utenze industriali e/o civili, quasi sempre caratterizzate da una forte variabilità della richiesta su base stagionale o addirittura giornaliera.

Essendo di validità generale, la suddetta formula deve essere in grado di tenere conto delle diverse tipologie del mix energetico prodotto (energia elettrica, termica, vapore).

In pratica per un suo utilizzo per operazioni di "benchmarking" occorre prevedere dei "fattori di equivalenza" delle varie forme di energia che sono stati definiti come:

- 1 MWh<sub>energia elettrica</sub> (prodotta) = 2,6 MWh<sub>eq</sub>
- 1 MWh<sub>energia termica/vapore</sub> (ceduto) = 1,1 MWh<sub>eq</sub>
- 1 MWh<sub>energia termica/vapore</sub> (autoconsumato) = 1,0 MWh<sub>eq</sub>

Tali fattori derivano essenzialmente dall'assunzione di valori medi di efficienza, a livello europeo, per la produzione di energia in impianti convenzionali pari al 38% per l'energia elettrica ( $100/38 = 2,63$ ) e del 91% per l'energia termica ( $100/91 = 1,1$ )

La formula assume rilevanza notevole in considerazione del fatto che il rispetto o meno dei valori minimi di efficienza richiesti può far classificare l'esercizio di un impianto di incenerimento rispettivamente come operazione di recupero (R1, "Utilizzazione principale come combustibile o come altro mezzo per produrre energia") ovvero come operazione di smaltimento (D10, "Incenerimento a terra"), con tutte le implicazioni di carattere operativo-gestionale e normativo che tale differente classificazione comporta.

Tra i vari fattori che condizionano fortemente l'entità del valore di  $E_{min}$  si possono citare:

- le caratteristiche dell'impianto (dimensioni e configurazione);
- la localizzazione dell'impianto e le condizioni meteo-climatiche del sito;
- le modalità con le quali viene effettuato il recupero energetico.

In linea generale le misure finalizzate all'incremento dei livelli di recupero debbono prevedere per qualsiasi impianto:

- l'ottimizzazione delle condizioni operative e dei sistemi di monitoraggio e controllo del processo di combustione (con limitati costi di investimento);
- l'incremento della produzione di energia (con costi di investimento medio-alti);
- l'incremento dell'impiego dell'energia termica (con costi di investimento medio-alti);
- il contenimento del fabbisogno energetico dell'impianto (con costi di investimento medio-bassi).

L'applicazione di interventi mirati all'incremento del recupero energetico appare tuttavia meno scontata per gli impianti esistenti, per i quali la fattibilità tecnico-economica va esaminata caso per caso. Va da sé che comunque ogni impianto deve essere posto nelle condizioni atte a massimizzare la produzione di energia, compatibilmente con le sue caratteristiche (configurazione, dimensioni ed "età").

**ALLEGATO D**

**I RISULTATI DELLE DETERMINAZIONI ANALITICHE EFFETTUATE NEL CORSO DELLE PROVE SPERIMENTALI DELL'ITALFERRO**

**RAPPORTO DI PROVA N. 2030/577/08 DEL 08/10/2008**

<p>▪ <b>PRODUTTORE</b>  <i>RAGIONE SOCIALE</i></p> <p><b>STABILIMENTO</b></p> <p>▪ <b>CAMPIONE</b>                  Denominazione : tale e quale                  Pervenuto in lab. 17/09/2008                  Descrizione:</p>	<p>ITALFERRO S.r.l. Div. Ecofer</p> <p>Via Pian Savelli n° 22                  SANTA PALOMBA(RM)</p> <p>Etichettato come: 907.08</p> <p>campioni ottenuti a seguito della campagna di vagliatura di fluff leggero prodotto a seguito di frantumazione di autoveicoli</p>
--	--

**DETERMINAZIONI ANALITICHE SUL CAMPIONE TALE E QUALE**

PARAMETRO	Unità di misura	Valore	METODI ANALITICI UTILIZZATI
Residuo fisso 105°C	%	97.4	Vol. 2 -cap-2 Q.64 CNR fanghi
Residuo fisso 600°C	%	34.4	Vol. 2 -cap-2 Q 64 CNR fanghi
Cadmio	mg/Kg Cd	6	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Rame	mg/Kg Cu	10750	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Cromo VI	mg/Kg Cr	<5	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Piombo	mg/Kg Pb	648	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
PCB	mg/Kg	<5	EPA 3550B 1996 + EPA 8082 A 2000

PARAMETRI	UNITÀ DI MISURA	VALORE RILEVATO	CONCENTRAZIONE PREVISTA PER LA CLASSIFICAZIONE DI CANCEROGENICITÀ	METODO ANALITICO UTILIZZATO	NOTE
OLI MINERALI (sul campione tale e quale)	mg/kg	11150		UNI EN 14039	
Test IP 346 sull'olio minerale	% estratto in DMSO	1.8	>3% p/p	IP 346	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA L
BENZENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	>0.1%	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA J
1,3 BUTADIENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	> 0.1 % p/p	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA K

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori della Depura Chimica e Tecnologia dell'Ambiente s.r.l certificata ISO 9001 BVQI 200929

**RAPPORTO DI PROVA N. 2030/577/08 DEL 08/10/2008**

IDROCARBURI POLICILICI AROMATICI-MARKER CANCEROGENI *			
Dibenzo (ah)antracene	mg/Kg	0.05	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(a)antracene	mg/Kg	0.03	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(def)risene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo (e)acefenantrilene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(e)pirene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(j)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(K)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990

PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	Valore	METODI DI ANALISI DI RIFERIMENTO
Potere calorifico inferiore P.C.I.	KJ/Kg	23564,94	ASTM D 5865-01
Potere calorifico superiore P.C.S.	KJ/Kg	24,316,94	ASTM D 5865-01
Cloro totale	%	0.6	
Zolfo totale	%	0.2	

**CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA**

<b>A- Frazione &gt; 90 mm</b>	10.7 % peso
<b>B-Frazione compresa tra 50 e 90 mm</b>	20.2 % peso
<b>C-Frazione compresa tra 20 e 50 mm</b>	22.3 % peso
<b>D -Frazione &lt; 20mm</b>	46.8 % peso

**CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA**

<b>Gommapiuma</b>	15.9 % peso
<b>Gomma</b>	10.8 % peso
<b>Plastica</b>	10.4 % peso
<b>Metalli</b>	6.5 % peso
<b>Legno,carta ecc.</b>	0.9% peso
<b>Sottovaglio 20 mm</b>	34.4 % peso
<b>Sottovaglio 2 mm</b>	21.1% peso

**RAPPORTO DI PROVA N. 2030/577/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE DI PERICOLO**

SOSTANZE NOCIVE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio	mg/Kg Cd	<b>6</b>	
Rame	mg/Kg Cu	<b>10750</b>	
Olii minerali	mg/Kg	<b>11150</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE NOCIVE</b>	mg/Kg	<b>21906</b>	250000

SOSTANZE TERATOGENE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>648</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TERATOGENE</b>	mg/Kg	<b>648</b>	5000

SOSTANZE TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>648</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>648</b>	30000

SOSTANZE MOLTO TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio e suoi composti	mg/Kg Cd	<b>6</b>	
Cromo VI	mg/Kg Cr	<b>&lt;5</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE MOLTO TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>11</b>	1000

SOSTANZE CANCEROGENE I <sup>^</sup> e II <sup>^</sup> categoria	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Idrocarburi policiclici aromatici	mg/Kg	<b>0.13</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE CANCEROGENE I<sup>^</sup> e II<sup>^</sup></b>	mg/Kg	<b>0.13</b>	1000

Poiché si è rilevata nel campione una concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici in concentrazione inferiore per ogni singolo markers: Dibenzo(ah)antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(def)crisene, Benzo(e)acefenantrilene, Benzo(e)pirene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene alla propria concentrazione limite e con sommatoria < 1mg/kg, il parametro idrocarburi totali non essendo classificabile come cancerogeno in base al parere ISS prot. 36565 del 5/7/2006 è possibile, con riferimento alla Direttiva 91/689/CEE, inserirlo nella classificazione di pericolo come sostanza nociva.

**RAPPORTO DI PROVA N. 2030/577/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE RIFIUTO**

- ⇒ Viste le informazioni disponibili sulla provenienza del rifiuto
- ⇒ Visti i risultati delle analisi effettuate sul campione esaminato (RP n° 2030.577.08)
- ⇒ Fermo restando la rappresentatività dello stesso alla massa del rifiuto e relativamente ai parametri esaminati

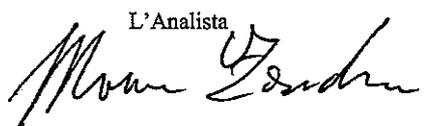
, si certifica che, così come definito dall'art. 184 comma 3 del D.L. 152/06 del 03/04/06, il rifiuto descritto come " *fluff frazione leggera e polveri, diversi da quelli di cui alla voce 19 10 03\**" è da classificarsi, con riferimento alla Decisione Europea 2000/532/CE e s.m.i., come:

**RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO**

Catasto Europeo Rifiuti: 19 10 04

Stato fisico: 2

in quanto, con riferimento alla classificazione delle sostanze pericolose di cui alla direttiva 67/548/CE contiene una o più sostanze classificate pericolose in concentrazioni inferiori a quelle limite riportate nell'articolo 2 della Decisione Europea 2001/118/CE.

L'Analista  


**RAPPORTO DI PROVA N. 2026/573/08 DEL 08/10/2008**

<p>▪ <b>PRODUTTORE</b> <i>RAGIONE SOCIALE</i></p> <p><b>STABILIMENTO</b></p> <p>▪ <b>CAMPIONE</b> Denominazione : A frazione &gt;90 mm Pervenuto in lab. 17/09/2008 Descrizione:</p>	<p>ITALFERRO S.r.l. Div. Ecofer</p> <p>Via Pian Savelli n° 22 SANTA PALOMBA(RM)</p> <p>Etichettato come: 908.08</p> <p>campioni ottenuti a seguito della campagna di vagliatura di fluff leggero prodotto a seguito di frantumazione di autoveicoli</p>
--	---

DETERMINAZIONI ANALITICHE SUL CAMPIONE TALE E QUALE

PARAMETRO	Unità di misura	Valore	METODI ANALITICI UTILIZZATI
Residuo fisso 105°C	%	<b>98.3</b>	Vol. 2 -cap-2 Q.64 CNR fanghi
Residuo fisso 600°C	%	<b>32.4</b>	Vol. 2 -cap-2 Q 64 CNR fanghi
Cadmio	mg/Kg Cd	<b>13</b>	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Rame	mg/Kg Cu	<b>122</b>	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Cromo VI	mg/Kg Cr	<b>&lt;5</b>	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Piombo	mg/Kg Pb	<b>500</b>	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
PCB	mg/Kg	<b>&lt;5</b>	EPA 3550B 1996 + EPA 8082 A 2000

PARAMETRI	UNITÀ DI MISURA	VALORE RILEVATO	CONCENTRAZIONE PREVISTA PER LA CLASSIFICAZIONE DI CANCEROGENICITÀ	METODO ANALITICO UTILIZZATO	NOTE
OLI MINERALI (sul campione tale e quale)	mg/kg	<b>12450</b>		UNI EN 14039	
Test IP 346 sull'olio minerale	% estratto in DMSO	<b>2.2</b>	<b>&gt;3% p/p</b>	<b>IP 346</b>	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA L
BENZENE (sull'olio minerale)	%	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&gt;0.1%</b>	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA J
1,3 BUTADIENE (sull'olio minerale)	%	<b>&lt;0.0001</b>	<b>&gt; 0.1 % p/p</b>	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA K

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori della Depura Chimica e Tecnologia dell'Ambiente s.r.l certificata ISO 9001 BVQI 200929

**RAPPORTO DI PROVA N. 2026/573/08 DEL 08/10/2008**

IDROCARBURI POLICILICI AROMATICI-MARKER CANCEROGENI *			
Dibenzo (ah)antracene	mg/Kg	<b>0.05</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(a)antracene	mg/Kg	<b>0.10</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(def)crisene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo (e)acefenantrilene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(e)pirene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(j)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(K)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990

PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	Valore	METODI DI ANALISI DI RIFERIMENTO
Potere calorifico inferiore P.C.I.	KJ/Kg	35336.33	ASTM D 5865-01
Potere calorifico superiore P.C.S.	KJ/Kg	38463.59	ASTM D 5865-01
Cloro totale	%	0.7	
Zolfo totale	%	0.3	

**CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA**

	Sulla frazione	Sul totale
<b>Gommapiuma</b>	44 % peso	4.7 % peso
<b>Gomma</b>	27 % peso	2.9 % peso
<b>Plastica</b>	13 % peso	1.4 % peso
<b>Metalli</b>	14 % peso	1.5 % peso
<b>Legno, carta ecc.</b>	2 % peso	0.2% peso

**RAPPORTO DI PROVA N. 2026/573/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE DI PERICOLO**

SOSTANZE NOCIVE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio	mg/Kg Cd	<b>13</b>	
Rame	mg/Kg Cu	<b>122</b>	
Olii minerali	mg/Kg	<b>12450</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE NOCIVE</b>	mg/Kg	<b>12585</b>	250000

SOSTANZE TERATOGENE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>500</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TERATOGENE</b>	mg/Kg	<b>500</b>	5000

SOSTANZE TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>500</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>500</b>	30000

SOSTANZE MOLTO TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio e suoi composti	mg/Kg Cd	<b>13</b>	
Cromo VI	mg/Kg Cr	<b>&lt;5</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE MOLTO TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>18</b>	1000

SOSTANZE CANCEROGENE I <sup>A</sup> e II <sup>A</sup> categoria	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Idrocarburi policiclici aromatici	mg/Kg	<b>0.20</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE CANCEROGENE I<sup>A</sup> e II<sup>A</sup></b>	mg/Kg	<b>0.20</b>	1000

Poiché si è rilevata nel campione una concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici in concentrazione inferiore per ogni singolo markers: Dibenzo(ah)antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(def)crisene, Benzo(e)acefenantrilene, Benzo(e)pirene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene alla propria concentrazione limite e con sommatoria < 1mg/kg, il parametro idrocarburi totali non essendo classificabile come cancerogeno in base al parere ISS prot. 36565 del 5/7/2006 è possibile, con riferimento alla Direttiva 91/689/CEE, inserirlo nella classificazione di pericolo come sostanza nociva.

Pg. 3/4

**MOD. 7D. 13 B**

Registro imprese RM-85206 R.E.A.972359 Codice fiscale e partita IVA 06510651000 Cap. Soc. 10000 euro

**RAPPORTO DI PROVA N. 2026/573/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE RIFIUTO**

- ⇒ Viste le informazioni disponibili sulla provenienza del rifiuto
- ⇒ Visti i risultati delle analisi effettuate sul campione esaminato ( RP n° 2026.573.08)
- ⇒ Fermo restando la rappresentatività dello stesso alla massa del rifiuto e relativamente ai parametri esaminati

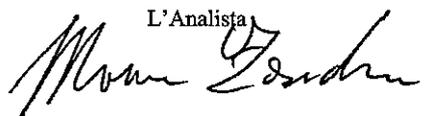
, si certifica che, così come definito dall'art. 184 comma 3 del D.L. 152/06 del 03/04/06, il rifiuto descritto come " *fluff frazione leggera e polveri, diversi da quelli di cui alla voce 19 10 03\**" è da classificarsi, con riferimento alla Decisione Europea 2000/532/CE e s.m.i., come: (\*)

**RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO**

Catasto Europeo Rifiuti: 19 10 04

Stato fisico: 2

in quanto, con riferimento alla classificazione delle sostanze pericolose di cui alla direttiva 67/548/CE contiene una o più sostanze classificate pericolose in concentrazioni inferiori a quelle limite riportate nell'articolo 2 della Decisione Europea 2001/118/CE.

L'Analista  


Pg. 4/4

**RAPPORTO DI PROVA N. 2027/574/08 DEL 08/10/2008**

<p>▪ <b>PRODUTTORE</b> <i>RAGIONE SOCIALE</i></p> <p><b>STABILIMENTO</b></p> <p>▪ <b>CAMPIONE</b> Denominazione : B frazione &lt;90 e &gt;50 mm Pervenuto in lab. 17/09/2008 Descrizione:</p>	<p>ITALFERRO S.r.l. Div. Ecofer</p> <p>Via Pian Savelli n° 22 SANTA PALOMBA(RM)</p> <p>Etichettato come: 909.08</p> <p>campioni ottenuti a seguito della campagna di fluff leggero prodotti a seguito di frantumazione di autoveicoli</p>
---	---

DETERMINAZIONI ANALITICHE SUL CAMPIONE TALE E QUALE

PARAMETRO	Unità di misura	Valore	METODI ANALITICI UTILIZZATI
Residuo fisso 105°C	%	96.3	Vol. 2 -cap-2 Q.64 CNR fanghi
Residuo fisso 600°C	%	35.4	Vol. 2 -cap-2 Q 64 CNR fanghi
Cadmio	mg/Kg Cd	7	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Rame	mg/Kg Cu	709	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Cromo VI	mg/Kg Cr	<5	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Piombo	mg/Kg Pb	893	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
PCB	mg/Kg	<5	EPA 3550B 1996 + EPA 8082 A 2000

PARAMETRI	UNITÀ DI MISURA	VALORE RILEVATO	CONCENTRAZIONE PREVISTA PER LA CLASSIFICAZIONE DI CANCEROGENICITÀ	METODO ANALITICO UTILIZZATO	NOTE
OLI MINERALI (sul campione tale e quale)	mg/kg	10780		UNI EN 14039	
Test IP 346 sull'olio minerale	% estratto in DMSO	1.8	>3% p/p	IP 346	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA L
BENZENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	>0.1%	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA J
1,3 BUTADIENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	> 0.1 % p/p	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA K

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori della Depura Chimica e Tecnologia dell'Ambiente s.r.l. certificata ISO 9001 BVQI 200929

**RAPPORTO DI PROVA N. 2027/574/08 DEL 08/10/2008**

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI-MARKER CANCEROGENI *			
Dibenzo (ah)antracene	mg/Kg	<b>0.07</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(a)antracene	mg/Kg	<b>0.05</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(def)risene	mg/Kg	<b>&lt;0.01</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo (e)acefenantrilene	mg/Kg	<b>&lt;0.01</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(e)pirene	mg/Kg	<b>&lt;0.01</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(j)fluorantene	mg/Kg	<b>&lt;0.01</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(K)fluorantene	mg/Kg	<b>&lt;0.01</b>	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990

PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	Valore	METODI DI ANALISI DI RIFERIMENTO
Potere calorifico inferiore P.C.I.	KJ/Kg	34396,12	ASTM D 5865-01
Potere calorifico superiore P.C.S.	KJ/Kg	37436,07	ASTM D 5865-01
Cloro totale	%	0.8	
Zolfo totale	%	0.3	

**CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA**

	Sulla frazione	Sul totale
<b>Gommapiuma</b>	29 % peso	5.9 % peso
<b>Gomma</b>	19 % peso	3.8 % peso
<b>Plastica</b>	17 % peso	3.4 % peso
<b>Metalli</b>	14 % peso	2.8 % peso
<b>Legno, carta ecc.</b>	1 % peso	0.2% peso
<b>Sottovaglio 20 mm</b>	15 % peso	3.0 % peso
<b>Sottovaglio 2 mm</b>	5 % peso	1.0% peso

**RAPPORTO DI PROVA N. 2027/574/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE DI PERICOLO**

SOSTANZE NOCIVE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio	mg/Kg Cd	7	
Rame	mg/Kg Cu	709	
Olii minerali	mg/Kg	10780	
<b>TOTALE SOSTANZE NOCIVE</b>	mg/Kg	<b>11496</b>	250000

SOSTANZE TERATOGENE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	893	
<b>TOTALE SOSTANZE TERATOGENE</b>	mg/Kg	<b>893</b>	5000

SOSTANZE TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	893	
<b>TOTALE SOSTANZE TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>893</b>	30000

SOSTANZE MOLTO TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio e suoi composti	mg/Kg Cd	7	
Cromo VI	mg/Kg Cr	<5	
<b>TOTALE SOSTANZE MOLTO TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>12</b>	1000

SOSTANZE CANCEROGENE I <sup>^</sup> e II <sup>^</sup> categoria	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Idrocarburi policiclici aromatici	mg/Kg	0.22	
<b>TOTALE SOSTANZE CANCEROGENE I<sup>^</sup> e II<sup>^</sup></b>	mg/Kg	<b>0.22</b>	1000

Poiché si è rilevata nel campione una concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici in concentrazione inferiore per ogni singolo markers: Dibenzo(ah)antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(def)crisene, Benzo(e)acefenantrilene, Benzo(e)pirene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene alla propria concentrazione limite e con sommatoria < 1mg/kg, il parametro idrocarburi totali non essendo classificabile come cancerogeno in base al parere ISS prot. 36565 del 5/7/2006 è possibile, con riferimento alla Direttiva 91/689/CEE, inserirlo nella classificazione di pericolo come sostanza nociva.

**MOD. 7D. 13 B**

Registro imprese RM-85206 R.E.A.972359 Codice fiscale e partita IVA 06510651000 Cap. Soc. 10000 euro

**RAPPORTO DI PROVA N. 2027/574/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE RIFIUTO**

- ⇒ Viste le informazioni disponibili sulla provenienza del rifiuto
- ⇒ Visti i risultati delle analisi effettuate sul campione esaminato ( RP n° 2027.574.08)
- ⇒ Fermo restando la rappresentatività dello stesso alla massa del rifiuto e relativamente ai parametri esaminati

, si certifica che, così come definito dall'art. 184 comma 3 del D.L. 152/06 del 03/04/06, il rifiuto descritto come " *fluff frazione leggera e polveri, diversi da quelli di cui alla voce 19 10 03\**" è da classificarsi, con riferimento alla Decisione Europea 2000/532/CE e s.m.i., come:

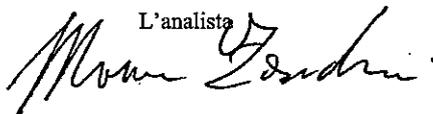
***RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO***

Catasto Europeo Rifiuti: 19 10 04

Stato fisico: 2

in quanto, con riferimento alla classificazione delle sostanze pericolose di cui alla direttiva 67/548/CE contiene una o più sostanze classificate pericolose in concentrazioni inferiori a quelle limite riportate nell'articolo 2 della Decisione Europea 2001/118/CE.

L'analista



**RAPPORTO DI PROVA N. 2028/575/08 DEL 08/10/2008**

<p>▪ <b>PRODUTTORE</b> <i>RAGIONE SOCIALE</i></p> <p><b>STABILIMENTO</b></p> <p>▪ <b>CAMPIONE</b> Denominazione : C frazione &gt;20 e &lt; 50 mm Pervenuto in lab. 17/09/2008 Descrizione:</p>	<p>ITALFERRO S.r.l. Div. Ecofer</p> <p>Via Pian Savelli n° 22 SANTA PALOMBA(RM)</p> <p>Eticettato come: 910.08</p> <p>Campioni ottenuti a seguito della campagna di vagliatura di fluff leggero prodotto a seguito di frantumazione di autoveicoli</p>
--	--

DETERMINAZIONI ANALITICHE SUL CAMPIONE TALE E QUALE

PARAMETRO	Unità di misura	Valore	METODI ANALITICI UTILIZZATI
Residuo fisso 105°C	%	97.4	Vol. 2 -cap-2 Q.64 CNR fanghi
Residuo fisso 600°C	%	38.3	Vol. 2 -cap-2 Q 64 CNR fanghi
Cadmio	mg/Kg Cd	10	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Rame	mg/Kg Cu	28370	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Cromo VI	mg/Kg Cr	<5	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Piombo	mg/Kg Pb	600	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
PCB	mg/Kg	<5	EPA 3550B 1996 + EPA 8082 A 2000

PARAMETRI	UNITÀ DI MISURA	VALORE RILEVATO	CONCENTRAZIONE PREVISTA PER LA CLASSIFICAZIONE DI CANCEROGENICITÀ	METODO ANALITICO UTILIZZATO	NOTE
OLI MINERALI (sul campione tale e quale)	mg/kg	11890		UNI EN 14039	
Test IP 346 sull'olio minerale	% estratto in DMSO	1.9	>3% p/p	IP 346	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA L
BENZENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	>0.1%	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA J
1,3 BUTADIENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	> 0.1 % p/p	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA K

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori della Depura Chimica e Tecnologia dell'Ambiente s.r.l certificata ISO 9001 BVQI 200929

**RAPPORTO DI PROVA N. 2028/575/08 DEL 08/10/2008**

IDROCARBURI POLICILICI AROMATICI-MARKER CANCEROGENI *			
Dibenzo (ah)antracene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(a)antracene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(def)risene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo (e)acefenantrilene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(e)pirene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(j)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(k)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990

PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	Valore	METODI DI ANALISI DI RIFERIMENTO
Potere calorifico inferiore P.C.I.	KJ/Kg	19111,71	ASTM D 5865-01
Potere calorifico superiore P.C.S.	KJ/Kg	19929,95	ASTM D 5865-01
Cloro totale	%	0.6	
Zolfo totale	%	0.2	

**CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA**

	Sulla frazione	Sul totale
<b>Gommapiuma</b>	24 % peso	5.3 % peso
<b>Gomma</b>	18 % peso	4.0 % peso
<b>Plastica</b>	25 % peso	5.6 % peso
<b>Metalli</b>	10 % peso	2.2 % peso
<b>Legno, carta ecc.</b>	2 % peso	0.4% peso
<b>Sottovaglio 20 mm</b>	17 % peso	3.8 % peso
<b>Sottovaglio 2 mm</b>	4 % peso	0.9% peso

**RAPPORTO DI PROVA N. 2028/575/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE DI PERICOLO**

SOSTANZE NOCIVE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio	mg/Kg Cd	<b>10</b>	
Rame	mg/Kg Cu	<b>28370</b>	
Olii minerali	mg/Kg	<b>11890</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE NOCIVE</b>	mg/Kg	<b>40270</b>	250000

SOSTANZE TERATOGENE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>600</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TERATOGENE</b>	mg/Kg	<b>600</b>	5000

SOSTANZE TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>600</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>600</b>	30000

SOSTANZE MOLTO TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio e suoi composti	mg/Kg Cd	<b>10</b>	
Cromo VI	mg/Kg Cr	<b>&lt;5</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE MOLTO TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>15</b>	1000

SOSTANZE CANCEROGENE I <sup>^</sup> e II <sup>^</sup> categoria	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Idrocarburi policiclici aromatici	mg/Kg	<b>0.07</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE CANCEROGENE I<sup>^</sup> e II<sup>^</sup></b>	mg/Kg	<b>0.07</b>	1000

Poiché si è rilevata nel campione una concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici in concentrazione inferiore per ogni singolo markers: Dibenzo(ah)antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(def)crisene, Benzo(e)acefenantrilene, Benzo(e)pirene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene alla propria concentrazione limite e con sommatoria < 1mg/kg, il parametro idrocarburi totali non essendo classificabile come cancerogeno in base al parere ISS prot. 36565 del 5/7/2006 è possibile, con riferimento alla Direttiva 91/689/CEE, inserirlo nella classificazione di pericolo come sostanza nociva.

**RAPPORTO DI PROVA N. 2028/575/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE RIFIUTO**

- ⇒ Viste le informazioni disponibili sulla provenienza del rifiuto
- ⇒ Visti i risultati delle analisi effettuate sul campione esaminato ( RP n° 2028.575.08)
- ⇒ Fermo restando la rappresentatività dello stesso alla massa del rifiuto e relativamente ai parametri esaminati

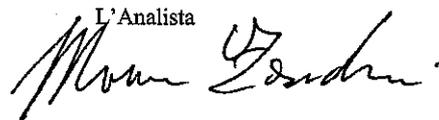
, si certifica che, così come definito dall'art. 184 comma 3 del D.L. 152/06 del 03/04/06, il rifiuto descritto come " *fluff frazione leggera e polveri, diversi da quelli di cui alla voce 19 10 03\**" è da classificarsi , con riferimento alla Decisione Europea 2000/532/CE e s.m.i. , come:

**RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO**

Catasto Europeo Rifiuti: 19 10 04

Stato fisico: 2

in quanto, con riferimento alla classificazione delle sostanze pericolose di cui alla direttiva 67/548/CE contiene una o più sostanze classificate pericolose in concentrazioni inferiori a quelle limite riportate nell'articolo 2 della Decisione Europea 2001/118/CE.

L'Analista  


Pg. 4/4

**RAPPORTO DI PROVA N. 2029/576/08 DEL 08/10/2008**

<p>▪ <b>PRODUTTORE</b> <i>RAGIONE SOCIALE</i></p> <p><b>STABILIMENTO</b></p> <p>▪ <b>CAMPIONE</b> Denominazione : D frazione &lt;20 mm Pervenuto in lab. 17/09/2008 Descrizione:</p>	<p>ITALFERRO S.r.l. Div. Ecofer</p> <p>Via Pian Savelli n° 22 SANTA PALOMBA(RM)</p> <p>Etichettato come: 911.08</p> <p>Campioni ottenuti a seguito della campagna di vagliatura di fluff leggero prodotto a seguito di frantumazione di autoveicoli</p>
--	---

DETERMINAZIONI ANALITICHE SUL CAMPIONE TALE E QUALE

PARAMETRO	Unità di misura	Valore	METODI ANALITICI UTILIZZATI
Residuo fisso 105°C	%	95.3	Vol. 2 -cap-2 Q.64 CNR fanghi
Residuo fisso 600°C	%	37.3	Vol. 2 -cap-2 Q.64 CNR fanghi
Cadmio	mg/Kg Cd	4	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Rame	mg/Kg Cu	9118	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Cromo VI	mg/Kg Cr	<5	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
Piombo	mg/Kg Pb	600	EPA 3050B 1996+EPA 6010 C 2000
PCB	mg/Kg	<5	EPA 3550B 1996 + EPA 8082 A 2000

PARAMETRI	UNITÀ DI MISURA	VALORE RILEVATO	CONCENTRAZIONE PREVISTA PER LA CLASSIFICAZIONE DI CANCEROGENICITÀ	METODO ANALITICO UTILIZZATO	NOTE
OLI MINERALI (sul campione tale e quale)	mg/kg	10670		UNI EN 14039	
Test IP 346 sull'olio minerale	% estratto in DMSO	1.8	>3% p/p	IP 346	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA L
BENZENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	>0.1%	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA J
1,3 BUTADIENE (sull'olio minerale)	%	<0.0001	> 0.1 % p/p	EPA 5021 1996+ EPA 8260 B 1996	Direttiva 2001/59/CE XXIX Adeguamento NOTA K

Le analisi sono state eseguite presso i laboratori della Depura Chimica e Tecnologia dell'Ambiente s.r.l certificata ISO 9001 BVQI 200929

**RAPPORTO DI PROVA N. 2029/576/08 DEL 08/10/2008**

IDROCARBURI POLICILICI AROMATICI-MARKER CANCEROGENI *			
Dibenzo (ah)antracene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(a)antracene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(def)risene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo (e)acefenantrilene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(e)pirene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(j)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990
Benzo(K)fluorantene	mg/Kg	<0.01	EPA3550C 2000+EPA8270D 1990

PARAMETRI	UNITA' DI MISURA	Valore	METODI DI ANALISI DI RIFERIMENTO
Potere calorifico inferiore P.C.I.	KJ/Kg	13816,78	ASTM D 5865-01
Potere calorifico superiore P.C.S.	KJ/Kg	14545,49	ASTM D 5865-01
Cloro totale	%	0.4	
zolfo totale	%	0.1	

**CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA**

	Sulla frazione	Sul totale
<b>Sottovaglio &lt;20 mm e &gt; di 2 mm</b>	59 % peso	27.6 % peso
<b>Sottovaglio 2 mm</b>	41 % peso	19.2 % peso

**RAPPORTO DI PROVA N. 2029/576/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE DI PERICOLO**

SOSTANZE NOCIVE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio	mg/Kg Cd	<b>4</b>	
Rame	mg/Kg Cu	<b>9118</b>	
Olii minerali	mg/Kg	<b>12450</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE NOCIVE</b>	mg/Kg	<b>21572</b>	250000

SOSTANZE TERATOGENE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>600</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TERATOGENE</b>	mg/Kg	<b>600</b>	5000

SOSTANZE TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Piombo e suoi composti	mg/Kg Pb	<b>600</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>600</b>	30000

SOSTANZE MOLTO TOSSICHE	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Cadmio e suoi composti	mg/Kg Cd	<b>4</b>	
Cromo VI	mg/Kg Cr	<b>&lt;5</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE MOLTO TOSSICHE</b>	mg/Kg	<b>9</b>	1000

SOSTANZE CANCEROGENE I <sup>^</sup> e II <sup>^</sup> categoria	Unità di misura	VALORE	Conc. Limite D.E. 2001/118/CEE mg/Kg
Idrocarburi policiclici aromatici	mg/Kg	<b>0.07</b>	
<b>TOTALE SOSTANZE CANCEROGENE I<sup>^</sup> e II<sup>^</sup></b>	mg/Kg	<b>0.07</b>	1000

Poiché si è rilevata nel campione una concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici in concentrazione inferiore per ogni singolo markers: Dibenzo(ah)antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(def)crisene, Benzo(e)acefenantrilene, Benzo(e)pirene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene alla propria concentrazione limite e con sommatoria < 1mg/kg, il parametro idrocarburi totali non essendo classificabile come cancerogeno in base al parere ISS prot. 36565 del 5/7/2006 è possibile, con riferimento alla Direttiva 91/689/CEE, inserirlo nella classificazione di pericolo come sostanza nociva.

**MOD. 7D. 13 B**

**RAPPORTO DI PROVA N. 2029/576/08 DEL 08/10/2008**

**CLASSIFICAZIONE RIFIUTO**

- ⇒ Viste le informazioni disponibili sulla provenienza del rifiuto
- ⇒ Visti i risultati delle analisi effettuate sul campione esaminato ( RP n° 2029.576.08)
- ⇒ Fermo restando la rappresentatività dello stesso alla massa del rifiuto e relativamente ai parametri esaminati

, si certifica che, così come definito dall'art. 184 comma 3 del D.L. 152/06 del 03/04/06, il rifiuto descritto come "*fluff frazione leggera e polveri, diversi da quelli di cui alla voce 19 10 03\**" è da classificarsi, con riferimento alla Decisione Europea 2000/532/CE e s.m.i., come:

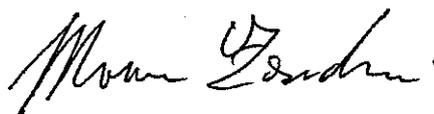
**RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO**

Catasto Europeo Rifiuti: 19 10 04

Stato fisico: 2

in quanto, con riferimento alla classificazione delle sostanze pericolose di cui alla direttiva 67/548/CE contiene una o più sostanze classificate pericolose in concentrazioni inferiori a quelle limite riportate nell'articolo 2 della Decisione Europea 2001/118/CE.

L'Analista



Edito dall'ENEA

Unità Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma

*www.enea.it*

Revisione editoriale del volume e versione digitale: Giuliano Ghisu

Copertina: Cristina Lanari

Stampa: Laboratorio tecnografico – Centro Ricerche ENEA Frascati

Luglio 2011



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Lungotevere Thaon di Revel, 76  
00196 ROMA

[www.enea.it](http://www.enea.it)