

VERIFICA DELLA FATTIBILITA' DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO TERMICO DEI RIFIUTI A TECNOLOGIA INNOVATIVA NELLA PROVINCIA DI TORINO

Torino, 5 febbraio 2010

Autori:

Prof. Ing. Giuseppe Genon, Politecnico di Torino

Ing. Palma Urso, Ing. Vita Tedesco, ATO Rifiuti Torinese

1. OBIETTIVO, METODO E TECNOLOGIE PRESE IN ESAME

- ✍ Obiettivi e metodo dello studio
- ✍ Impianti esistenti: descrizione di alcune tecnologie prese in esame

2. CONCLUSIONI

- ✍ Gli esiti dell'indagine: aspetti energetici, ambientali ed economici
- ✍ Prospettive di sviluppo delle tecnologie innovative

OBIETTIVO, METODO E TECNOLOGIE PRESE IN ESAME

Ing. Vita Tedesco

Ing. Palma Urso

Mozione Consiglio Provinciale di Torino 15 luglio 2008

Verificare fattibilità di impianti basati su tecnologia innovativa, effettuare eventuali significative sperimentazioni e tenere conto delle risultanze della sperimentazione ai fini del dimensionamento dell'impiantistica di valorizzazione energetica dei rifiuti.

**ATO-R novembre 2009, "Verifica della fattibilità di un impianto di trattamento termico dei rifiuti a tecnologia innovativa nella Provincia di Torino"**

Analisi di **aspetti tecnici, economici** ed **ambientali** delle varie proposte impiantistiche a tecnologia innovativa attualmente presenti sul mercato.

Programma Provinciale di Gestione dei Rifiuti 2010

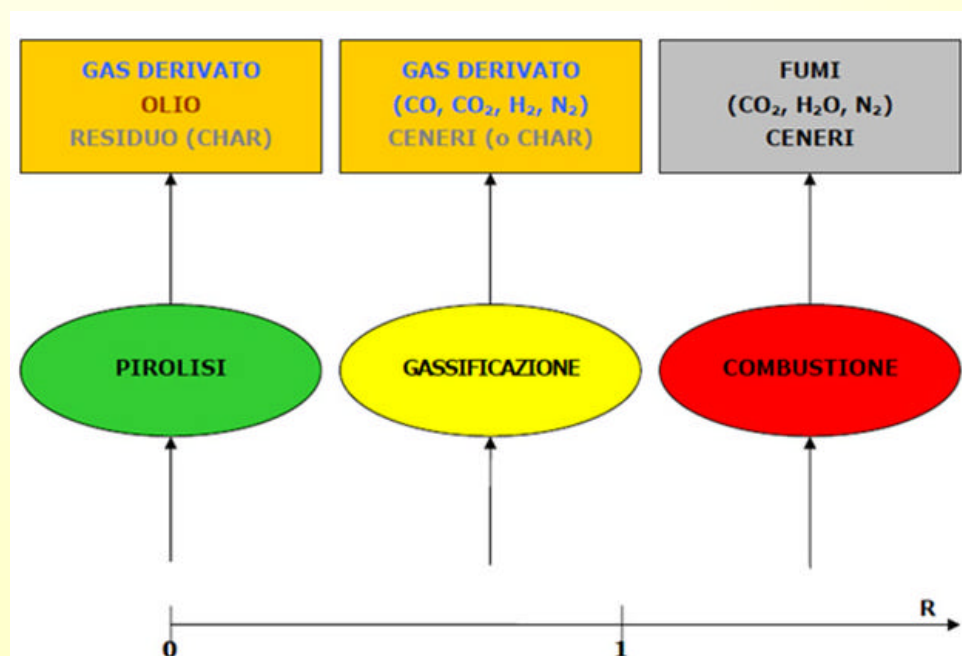
DGP 15 settembre 2009- Indirizzi per la revisione del Programma provinciale di gestione dei rifiuti: tra gli indirizzi si indica la verifica della necessità del secondo impianto di termovalorizzazione e la possibilità di dare corso, per un'eventuale necessità residua, all'utilizzo di nuove tecnologie di smaltimento con recupero energetico.

Gli impianti a **tecnologia innovativa**:

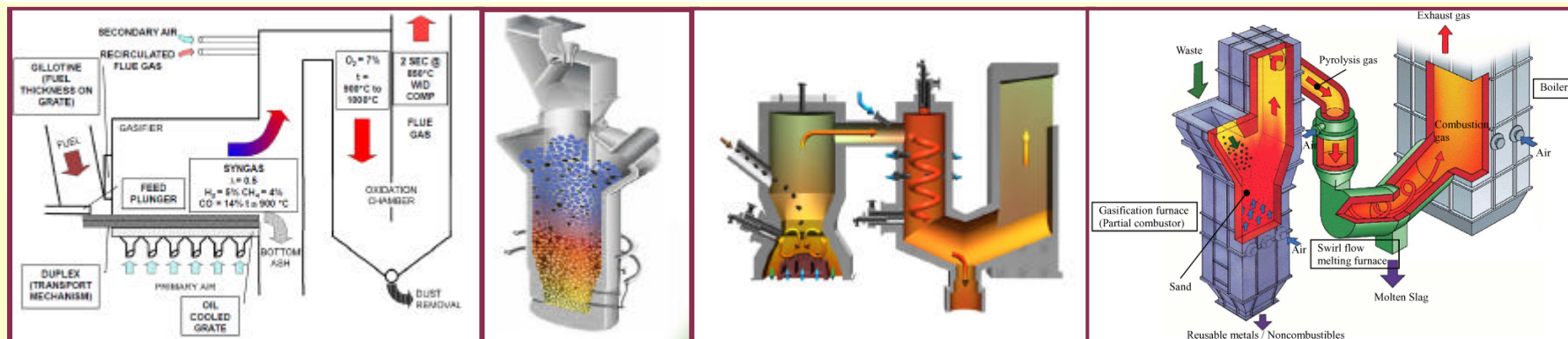
- ✍ PIROLISI
- ✍ GASSIFICAZIONE
- ✍ TORCIA AL PLASMA

➡ **Grado di maturità commerciale**

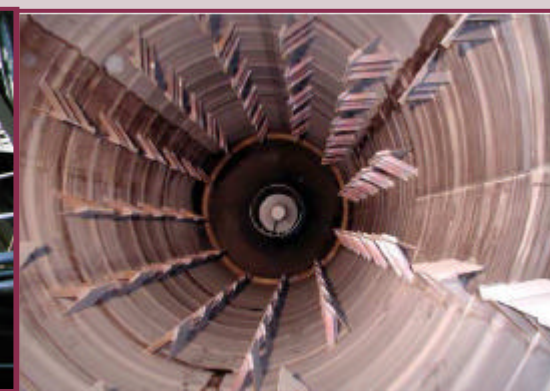
➡ **Prodotti ottenuti e possibilità di recupero energetico**



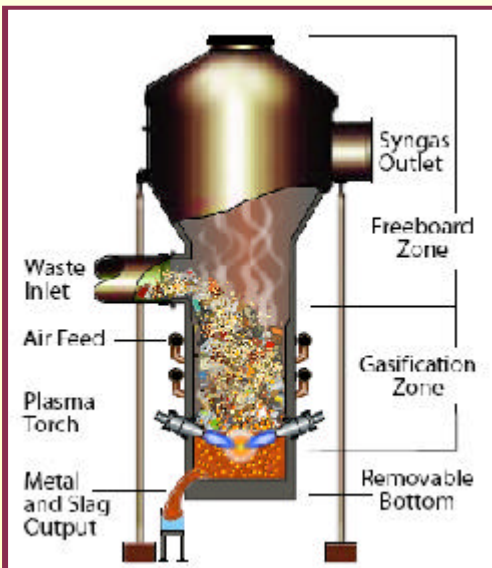
Gas reagente	Aria, ossigeno, vapor d'acqua in quantitativi inferiori allo stechiometrico
Termodinamica del processo	il calore necessario al processo viene fornito, in toto o parzialmente, dalle reazioni di ossidazione parziale che riducono le esigenze di apporti di calore dall'esterno
Temperatura	La temperatura operativa risulta di norma compresa fra 800-1100 C nella gassificazione con aria e tra 1000-1400 C in caso di impiego di ossigeno.
Prodotti di reazione	I prodotti derivati della gassificazione dei rifiuti sono costituiti essenzialmente da: <ul style="list-style-type: none"> • una corrente gassosa (syngas: CO, H₂, CH₄, CO₂, N₂- PCI: 8-20 MJ/Nm³), costituente il prodotto principale, che può contenere frazione condensabili ("TAR") a temperatura ambiente; • un residuo solido
Residui solidi	Scorie vetrificate o, comunque, a basso contenuto di carbonio
Note	Ci sono tre modi principali per condurre un processo di gassificazione: <ul style="list-style-type: none"> • in ossidazione parziale con aria; • in ossidazione parziale con ossigeno; • in gassificazione con vapore.
Tipo di reattore	È possibile raggruppare le apparecchiature impiegate nelle seguenti tipologie: reattori a letto fisso, a letto fluido, a letto mobile, di tipo particolare

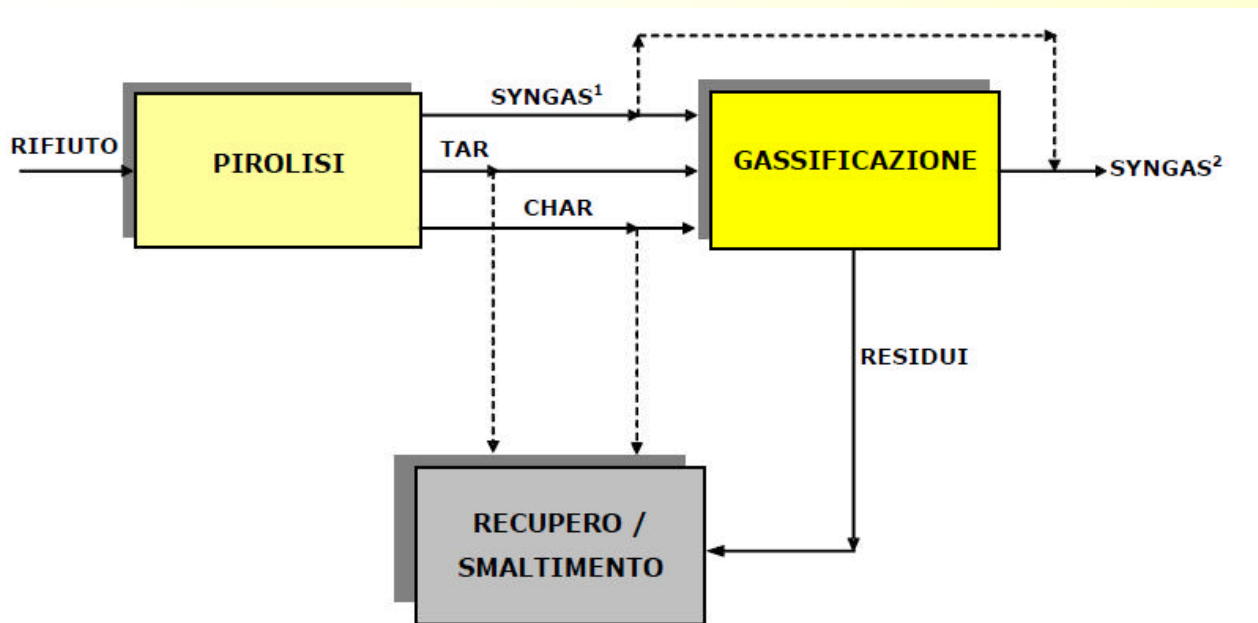


Gas reagente	Assente
Termodinamica del processo	Processo endotermico
Temperatura	tra 400 e 800 C
Prodotti di reazione	Gas di pirolisi (CO,H2, CO2, CH4, altri idrocarburi leggeri- PCI: 8-20 MJ/Nm3, frazione liquida a T ambiente (olio) , residuo solido ancora combustibile (char).
Residui solidi	In genere caratterizzati da un contenuto di carbonio non trascurabile
Note	<p><u>Slow pyrolysis o carbonizzazione:</u> basse velocità di reazione e temperature limitate (300-500 C), in modo da massimizzare la resa in prodotti solidi (char);</p> <p><u>Pirolisi convenzionale:</u> in grado di fornire prodotti gassosi, solidi e liquidi, in quantità variabili in funzione soprattutto della temperatura operativa;</p> <p><u>Pirolisi fast o flash:</u> finalizzata a massimizzare la produzione di composti leggeri (gassosi o liquidi).</p>
Tipo di reattore	In genere tamburo rotante



Gas reagente	Aria
Termodinamica del processo	Il plasma è costituito da gas ionizzato ad altissima temperatura (da 7.000 a 13.000 C) che investendo la massa di rifiuti ne provoca la termodistruzione.
Temperatura	tra i 3.000 ed i 4.000 C
Prodotti di reazione	<ul style="list-style-type: none"> • Gas di sintesi: tutti gli elementi organici contenuti nei RSU si trasformano in gas di sintesi, essenzialmente composti da idrogeno (~53%) e da monossido di carbonio (~33%) • Materiale di tipo lavico: gli elementi inorganici vengono fusi e trasformati in una roccia di tipo vulcanico. Il materiale di sintesi ottenuto è utilizzabile come materiale da costruzione.
Residui solidi	Scorie vetrificate





pirolisi + gassificazione

pirolisi + combustione

gassificazione + combustione

pirolisi + gassificazione+ combustione

gassificazione + vetrificazione

pirolisi + vetrificazione

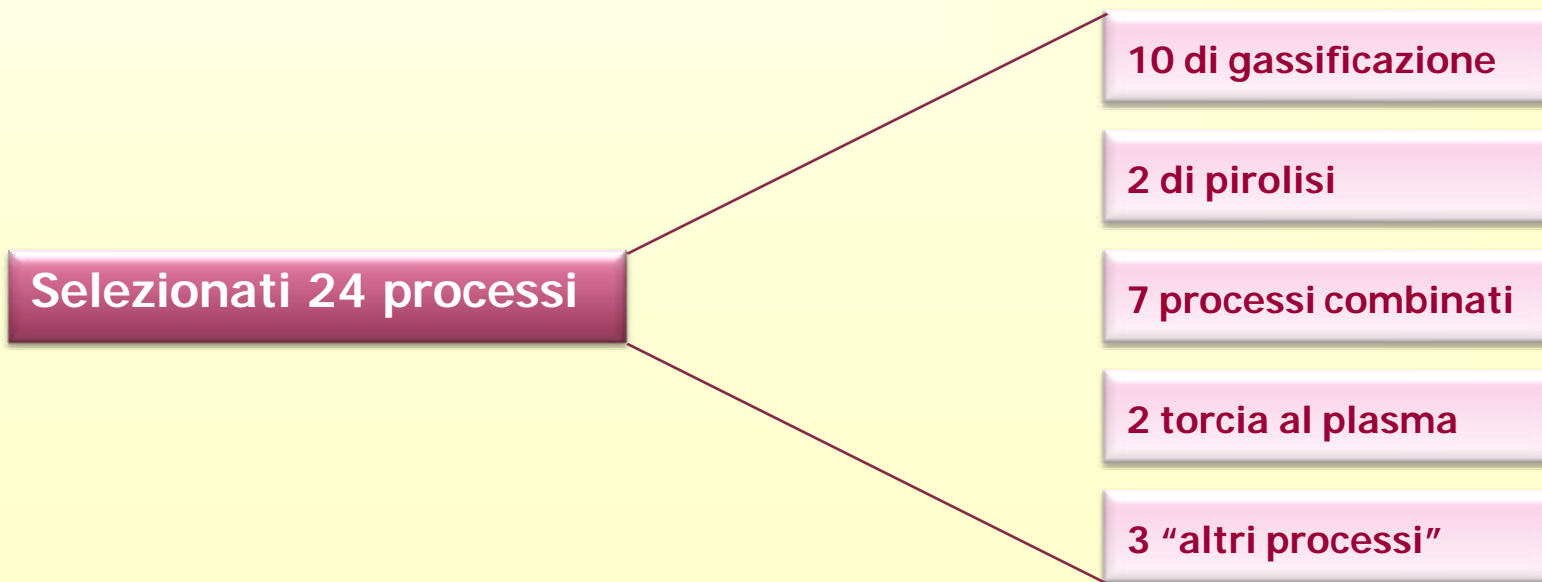
gassificazione + combustione + vetrificazione

📄 **Documentazione inviata da operatori del settore** che hanno risposto al comunicato pubblicato da ATO-R sul proprio sito e su due riviste scientifiche di settore (Rifiuti Solidi, marzo-aprile 2009; Waste Management World, maggio-giugno 2009).

7 aziende

📄 **Ricerca bibliografica** (Report Juniper "Gasification Processes for Generating Syngas" sett. 2008, atti di convegni, riviste specializzate, studi analoghi svolti o commissionati da Enti pubblici, ricerche di enti privati, materiale informativo di aziende, ecc.)

oltre 110 fonti consultate



	Azienda	Processo	Range di potenzialità impianti esistenti [t/anno]	Tipologia rifiuto (1)	Numero di impianti in esercizio	Anno di entrata in esercizio (primo-ultimo)	Giudizio Juniper (2)
1	AlterNRG(Canada), Westinghouse Plasma Corporation, Hitachi Metals (Giappone)	plasma	8.000-90.000	RU, CDR, fluff, PFU	2 in Giappone: in fase di realizzazione un impianto in USA della potenzialità di 1.000 t/giorno	2002-2002	proven
2	Compact Power (UK)	Pirolisi e gassificazione	8.000	ROS	1 in Gran Bretagna per rifiuti ospedalieri; previsto ampliamento per ulteriori 24.000 t/anno di RU	2002	demonstrated
3	Ebara TIFG (Giappone)	Gassificazione	34.000-180.000	RU, RI	8	2002-2007	fully proven
4	Ecologia Informatica T.W.R. (Italia)	Gassificazione		Rifiuti chimici farmaceutici	4		proven
5	Energos (Norvegia)	Gassificazione	10.000-75.000	RU	7	1997-2009	fully proven
6	Enerwaste International Corporation EWOX (USA), Planet Advantage (UK)	Gassificazione	500-40.000	RU	8	2005-2008	proven
7	Entech (Australia), IET Energy (UK)	Gassificazione	5.000-20.000	RU	8	1991-2006	fully proven
8	Hitachi Zosen (Giappone)	Gassificazione	10.000-100.000	RU	8	1998-2004	fully proven
9	Inter Engineering (Germania)	dissoluzione in soluzione salina e gassificazione		Biomassa, scarti legnosi	In fase di realizzazione impianto pilota da 50 t/giorno in Germania		
10	Kawasaki Heavy Industries (Giappone)	Gassificazione		RU	2		proven
11	Kobelco (Giappone)	Gassificazione	20.000-80.000	RU	8	2000-2008	fully proven
12	Lurgi (Germania), Envirotherm (Germania)	Gassificazione	380.000	CDR, RI, legno, carbone	1		fully proven

	Azienda	Processo	Range di potenzialità impianti esistenti [t/anno]	Tipologia rifiuto (1)	Numero di impianti in esercizio	Anno di entrata in esercizio (primo-ultimo)	Giudizio Juniper (2)
13	Mitsui (Giappone), Takuma (Giappone)	Pirolisi e combustione	50.000-103.000	RU, fluff	6	2000-2008	fully proven
14	Nippon Steel (Giappone), Paul Wurth (Italia)	gassificazione	30.000-230.000	RU, RI	2 in esercizio, 3 in fase di realizzazione	1979-2008	fully proven
15	PKA (Germania)	Pirolisi e gassificazione	12.000-27.000	RU, RI	2	1999-2000	proven
16	Plasco Energy (Canada)	Gassificazione +plasma	28.000	RU	1	2007	demonstrated
17	Pyromex (Svizzera)	gassificazione		RU, fanghi	In fase di realizzazione un impianto da 25 t/giorno		demonstrated
18	Startech Environmental (USA)	plasma		RU			demonstrated
19	TechTrade (Germania), Wastegen (UK), Icom (Italia)	pirolisi	40.000-110.000	RU, fanghi	2	1987-2002	proven
20	Tecnogrande SpA (Italia)	Pirolisi e gassificazione		Biomassa, RU			
21	Thermoselect (Svizzera), MIT (USA), JFE (Giappone), 7 Hills (Svizzera)	Pirolisi e gassificazione	30.000- 200.000	RU, RI	7	2002-2006	demonstrated
22	Thide Environnement (Francia)	pirolisi	10.000-70.000	RU, RI	3	2002-2004	proven
23	Tpf Basse Sambre	Pirolisi e gassificazione	12.000	RU/CDR	1	2003	
24	Vuzeta (Italia)	"ristrutturazione molecolare" con l'utilizzo di un catalizzatore		biomassa			

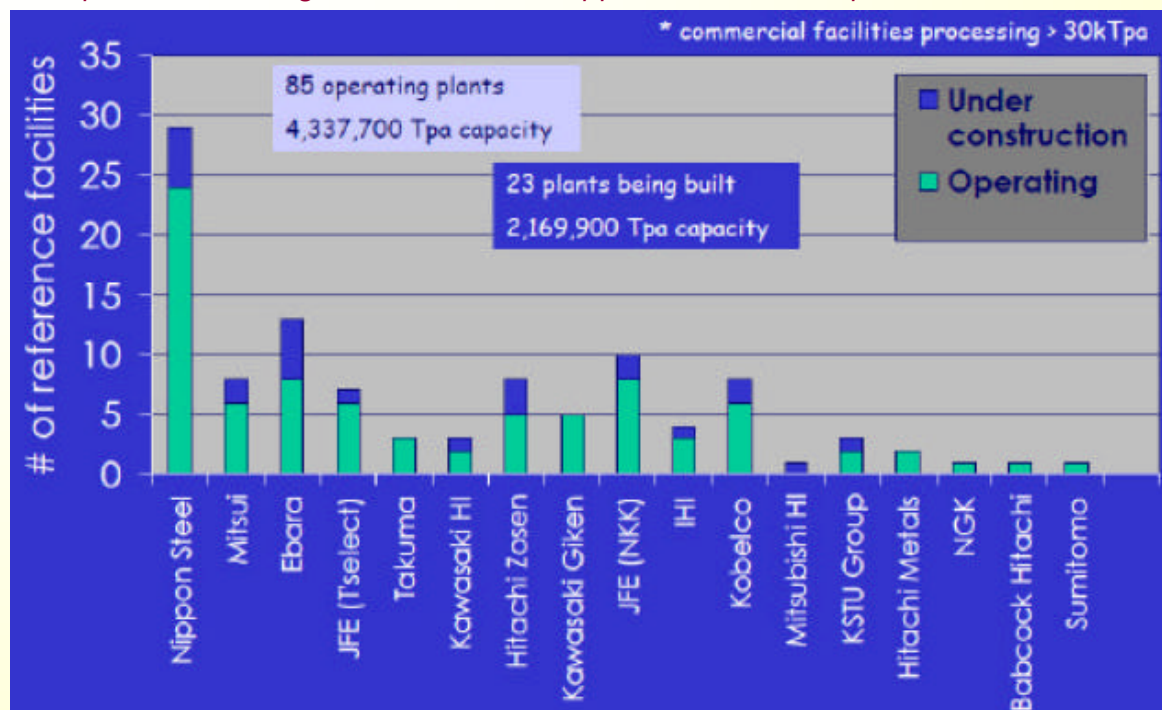
(1) RU= rifiuti urbani; CDR= combustibili da rifiuti; PFU= pneumatici fuori uso; RS= rifiuti speciali; ROS= rifiuti di origine sanitaria; RI= rifiuti industriali; RPM= rifiuti di plastiche miste

(2) Fully proven: tecnologia matura, applicazione commerciale
 Proven: tecnologia provata, anche a scala industriale ma che presenta dei limiti (es. taglia, tipologia di rifiuti in ingresso, etc)
 Demonstrated: tecnologia provata su scala pilota
 Conceptual: tecnologia per cui sono disponibili dati molto limitati
 Not rated: tecnologia per cui non sono disponibili informazioni sufficienti per esprimere un giudizio

Per ciascuno dei processi presi in esame sono state approfondite le seguenti tematiche:

- ✍ **Affidabilità:** valutata sulla base del numero di impianti attualmente operativi su scala commerciale che trattino principalmente rifiuti urbani indifferenziati con una garanzia di esercizio di almeno 300 giorni/anno;
- ✍ **Aspetti ambientali:** emissioni in atmosfera in termini di concentrazione dei contaminanti e volume di fumi rilasciati; quantità e qualità dei residui solidi prodotti;
- ✍ **Recupero energetico:** produzione di energia elettrica e termica, rendimenti energetici;
- ✍ **Aspetti economici:** entità del capitale da investire, costi di gestione, livello orientativo della tariffa di trattamento applicabile.

Impianti a tecnologia innovativa in Giappone, [fonte: Juniper, 2007]



Processo	Proponente
Gassificazione con fornace verticale e vetrificazione delle scorie	Nippon Steel, JFE NKK, Kawasaki HI, Sumitomo
gassificazione con reattore a letto fluido	Ebara, Kobelco Eco Solutions, Hitachi Zosen, Kawasaki HI
Pirolisi con forno rotante	Mitsui, Takuma, Babcock Hitachi, Mitsubishi HI, IHI
pirolisi e gassificazione ad alta temperatura	Thermoselect, JFE
Gassificazione tramite torcia al plasma	Hitachi Metals

Fonte :Juniper, anno 2003

Luogo	Potenzialità (t/anno)	Processo	Data di avviamento	Tecnologia
SVZ, Germania	250.000	Envirotherm BGL	2001	Gassificazione + fusione scorie
Shin Moji, Kitakyushu City, Giappone	220.000	Nippon Steel	2007	Gassificazione + fusione scorie
Ibaraki, Giappone	135.000	Nippon Steel	1980	Gassificazione + fusione scorie
Aomori, Giappone	135.000	Ebara	2001	Gassificazione + combustione + fusione
Kawaguchi, Giappone	125.000	Ebara	2002	Gassificazione + combustione + fusione
Toyohashi, Giappone	108.000	Mitsui	2002	Pirolisi + combustione + fusione
Akita, Giappone	120.000	Nippon Steel	2002	Gassificazione + fusione scorie
Oita, Giappone	115.000	Nippon Steel	2003	Gassificazione + fusione scorie
Chiba, Giappone	100.000	Thermoselect	2002	Gassificazione + fusione
Hamm, Germania	100.000	Techtrade	2002	Pirolisi + combustione

Località	Processo	Inizio attività	Tipologia rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Ranheim, Norvegia	Energos	1997	RSA	10.000
Averoy, Norvegia	Energos	2000	RSU, RSA	34.000
Hurum, Norvegia	Energos	2001	RSU, RSA	36.000
Minden ,Germania	Energos	2001	RSU, CDR	37.000
Forus, Norvegia	Energos	2002	RSU, RSA	38.000
Sarpsborg, Norvegia	Energos	2003	RSU, RSA	75.000
Isola di Wight , UK	Energos	2009	RSU	30.000
Burgau, Germania	TechTrade	1987	RSU,RSA, fanghi	40.000
Hamm, Germania	TechTrade	2002	RSU, fanghi	110.000
Schwarze Pumpe, Germania	Lurgi Envirotherm	2001	CDR, RSA, legno, carbone	250.000
Keflavik, Islanda	PIT Pyroflam	Dicembre 2003	RSU, RSA, rifiuti ospedalieri	12.000

Località	Stato	Sviluppo	Tecnologia	Rifiuti trattati	Potenzialità [t/y]
Villa Santina (UD)	Inattivo	Pilota	Gassificatore statico	CDR, RPM	N.d.
Sedegliano (UD)	In progettazione	Dimostrativo	Pirolisi + gassificazione	RI	25.000
Montebelluna (TV)	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	Fraz. secca, CDR	115.000
Dueville (VI)	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	CDR, RS	92.000
Vicenza	N.d.	Dimostrativo	Gassificatore statico	Carbone, CDR	N.d.
Fornovo S.G (BG)	Operativo	Pilota	Gassificazione	PFU, CDR, RS	0,4 t/h
Cascina (PI)	In costruzione	Commerciale	Gass. a letto fluido	Biomasse	50.000
Terni	Operativo	Commerciale	Pirolisi	Biomassa	28.500
Roma	In fase di avvio	Commerciale	Gassificazione	CDR	190.000
Brindisi	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	RU trattati	125.000
Rossano Calabro (CS)	In costruzione	Commerciale	Gassificazione	Sanse esauste	35.000
Torregrande (OR)	Operativo	Commerciale	Pirolisi	ROS, RS	15.000
Siniscola (NU)	In progettazione	Commerciale	Torcia al plasma	RS/RI	50.000

RU = rifiuti urbani; CDR = combustibili da rifiuti; PFU = pneumatici fuori uso; RS = rifiuti speciali; ROS = rifiuti di origine sanitaria; RI = rifiuti industriali; RPM = rifiuti di plastiche miste; n.d. = non determinato.

ALCUNI IMPIANTI DESCRITTI NELLO STUDIO

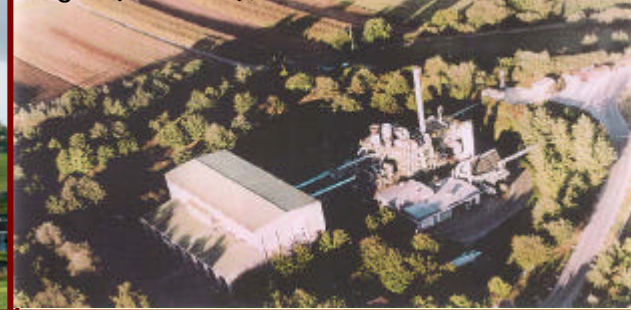
Kita kyushu city (Giappone), Nippon Steel



Forus (Norvegia), Energos



Burgau (Germania), Techtrade



TECNOLOGIA		AZIENDA	IMPIANTI PER RSU IN ESERCIZIO
GASSIFICAZIONE	in fornace verticale ad alta temperatura con vetrificazione delle scorie	NIPPON STEEL	28
	in forno a griglia a 900-1.000 C	ENERGOS	7
	in reattore batch a 300-550 C	ENERWASTE	8
PIROLISI	pirolisi lenta a bassa temperatura in tamburo rotante	TECHTRADE	2
TORCIA AL PLASMA	gassificazione al plasma	ALTER-NRG	2
PROCESSI COMBINATI	Combinazione di pirolisi e gassificazione in tamburo rotante	PIT PYROFLAM	1
	pirolisi e gassificazione ad alta temperatura con vetrificazione delle scorie	THERMOSELECT	7



Husavik (Islanda), Enerwaste

Utashinai (Giappone), Alter-NRG



Keflavik (Islanda), Pit-Pyroflam



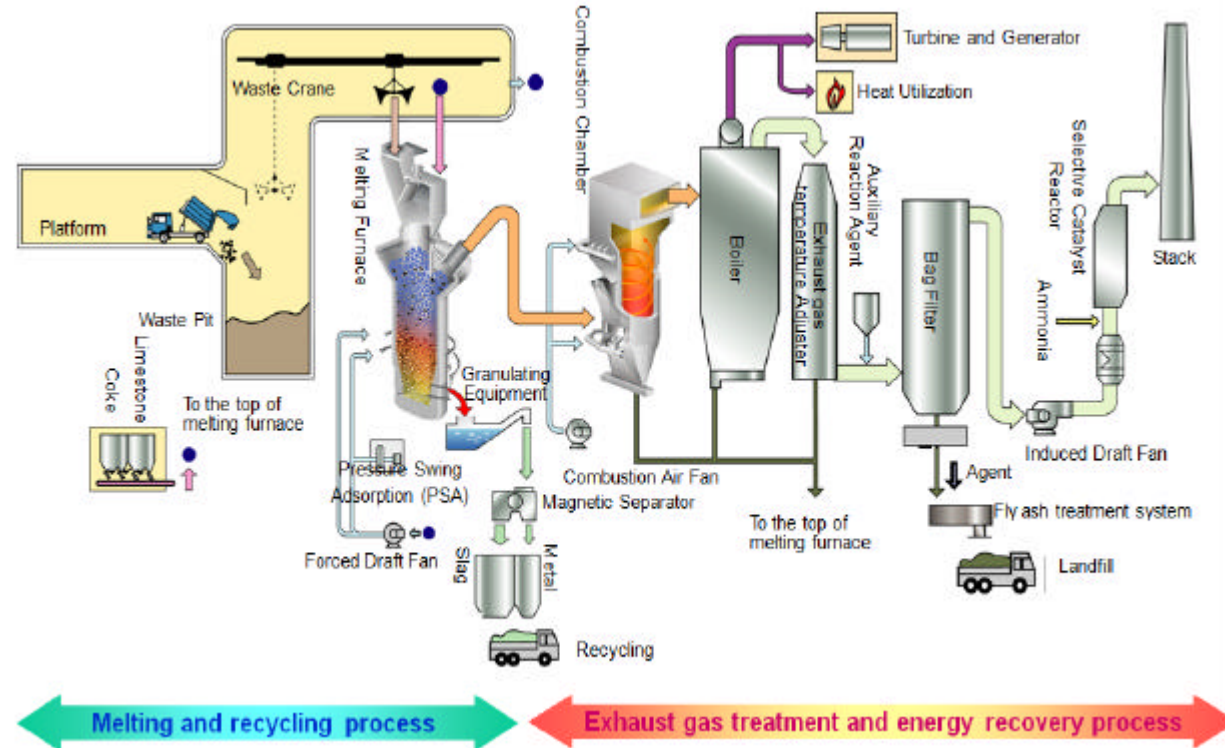
Chiba (Giappone), Thermostelect





- ✂ **28 impianti operativi** (30.000 - 230.000 t/anno) il primo dei quali avviato nel 1979 (27 in Giappone e 1 in Corea)
- ✂ **8 in fase di avvio** (7 in Giappone e 1 in Corea)

tecnologia	DMS, gassificazione con fusione scorie
reattore	forno verticale
pretrattamento	no
agente gassificante	O ₂
altri reagenti	coke (4-5% rifiuto IN); calcare (5% rifiuto IN)
temperatura	400 C – 1.800 C
residuo di fondo	scorie vetrificate, granulari, non lisciviabili; 9-10% rifiuto IN
ceneri volanti	3% rifiuto IN
recupero energetico	energia elettrica mediante ciclo a vapore

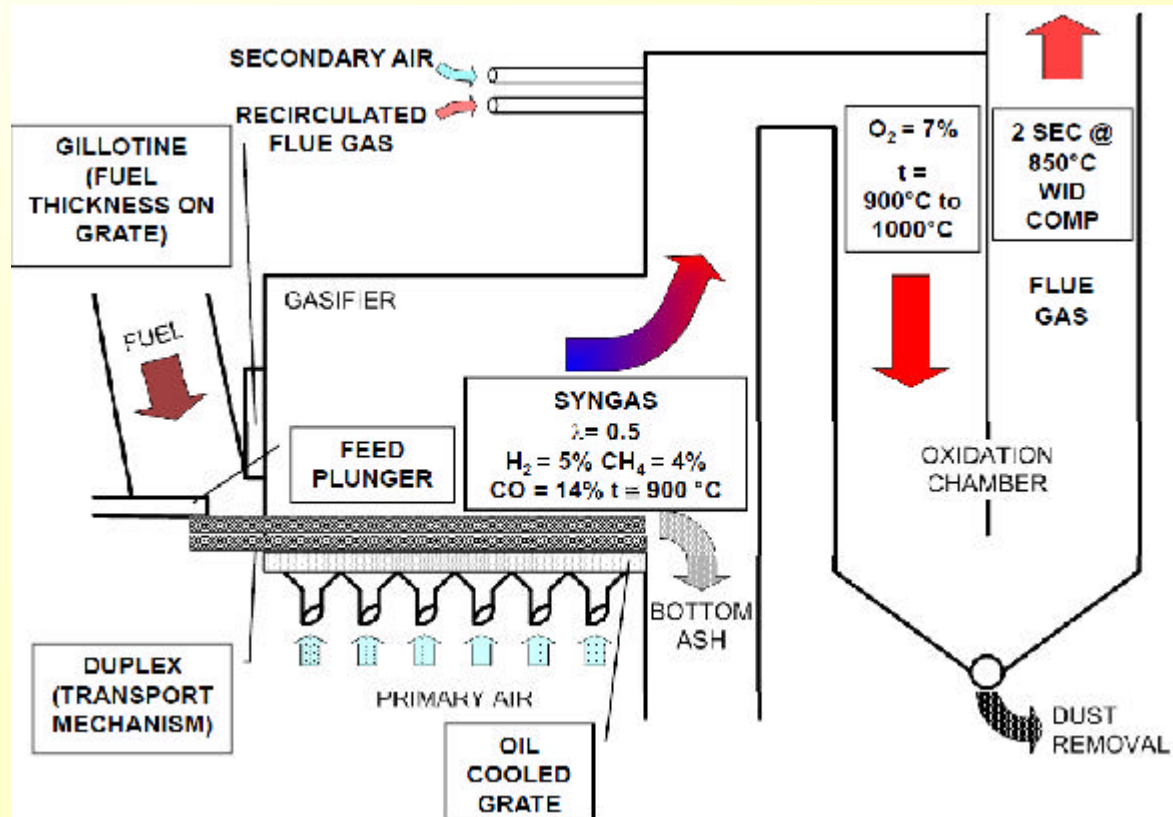




Forus, Norvegia (38.000 t/anno)

Località	Inizio attività	Tipologia rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Ranheim, Norvegia	1997	RSA	10.000
Averoy, Norvegia	2000	RSU, RSA	34.000
Hurum, Norvegia	2001	RSU, RSA	36.000
Minden, Germania	2001	RSU, CDR	37.000
Forus, Norvegia	2002	RSU, RSA	38.000
Sarpsborg, Norvegia	2003	RSU, RSA	75.000
Isola di Wight, UK	2009	RSU	30.000

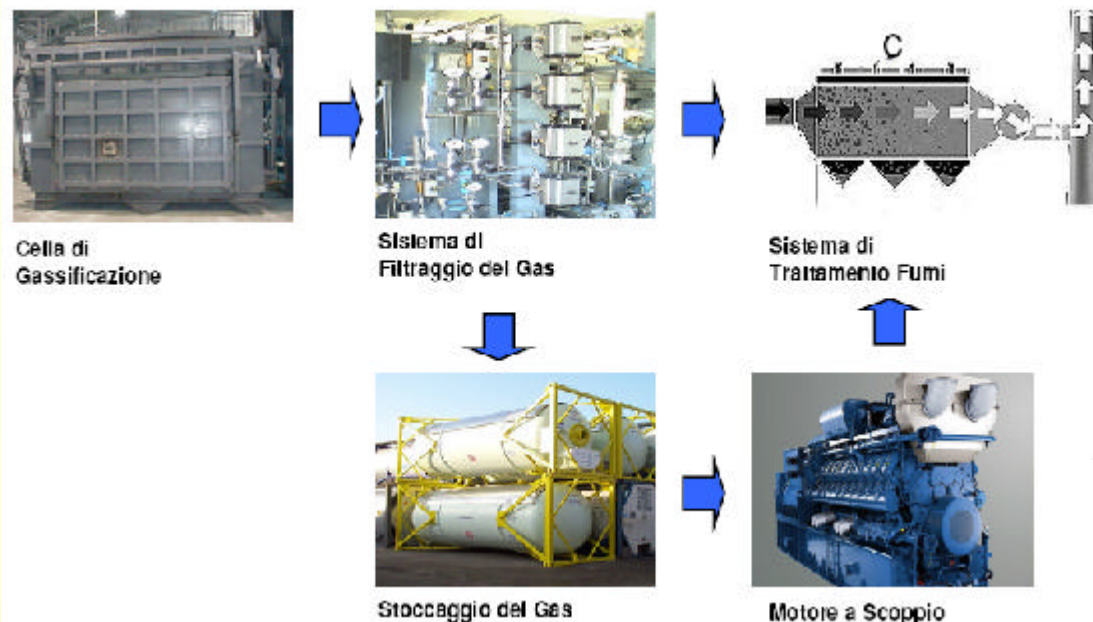
tecnologia	Gassificazione su griglia
reattore	1.gassificatore a griglia 2.camera secondaria per ossidazione syngas
pretrattamento	triturazione
agente gassificante	aria ($\lambda=0,5$)
altri reagenti	-
temperatura	1.gassificatore: circa 900 C; 2.camera di ossidazione: 900 C – 1.000 C
residuo di fondo	bottom ashes (TOC <1%) 7% - 20% rifiuto IN
ceneri volanti	4,3% rifiuto IN
recupero energetico	energia termica





Località	Inizio attività	Tipologia rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Kwajalein Atoll, Marshal Islands	2008	Rifiuti base militare	11.400
Husavik City, Islanda	2006	Rifiuti urbani, industriali, animali, pneumatici	6.600
Artec/Barrick, Alaska	2008	Rifiuti dell'industria estrattiva	390
Grand Cayman Islands, British West Indies	2005-2008	Rifiuti urbani e ospedalieri	19.500
North Slope, Alaska	2007	Rifiuti urbani e industriali	450
City of Egegk, Alaska	2006	Rifiuti urbani	1.060
Turks and Caicos	2008	Rifiuti urbani	1.200
Scotgen	2008	Rifiuti misti	36.000

tecnologia	BOS, dissociazione molecolare
reattore	Cella di dimensioni variabili da 1m ³ ad oltre 90m ³
pretrattamento	-
agente gassificante	aria
altri reagenti	Combustibile ausiliario (metano) per avviare il processo
temperatura	300 C - 550 C
residuo di fondo	10% rifiuto IN
ceneri volanti	n.d.
Recupero energetico	Energia termica

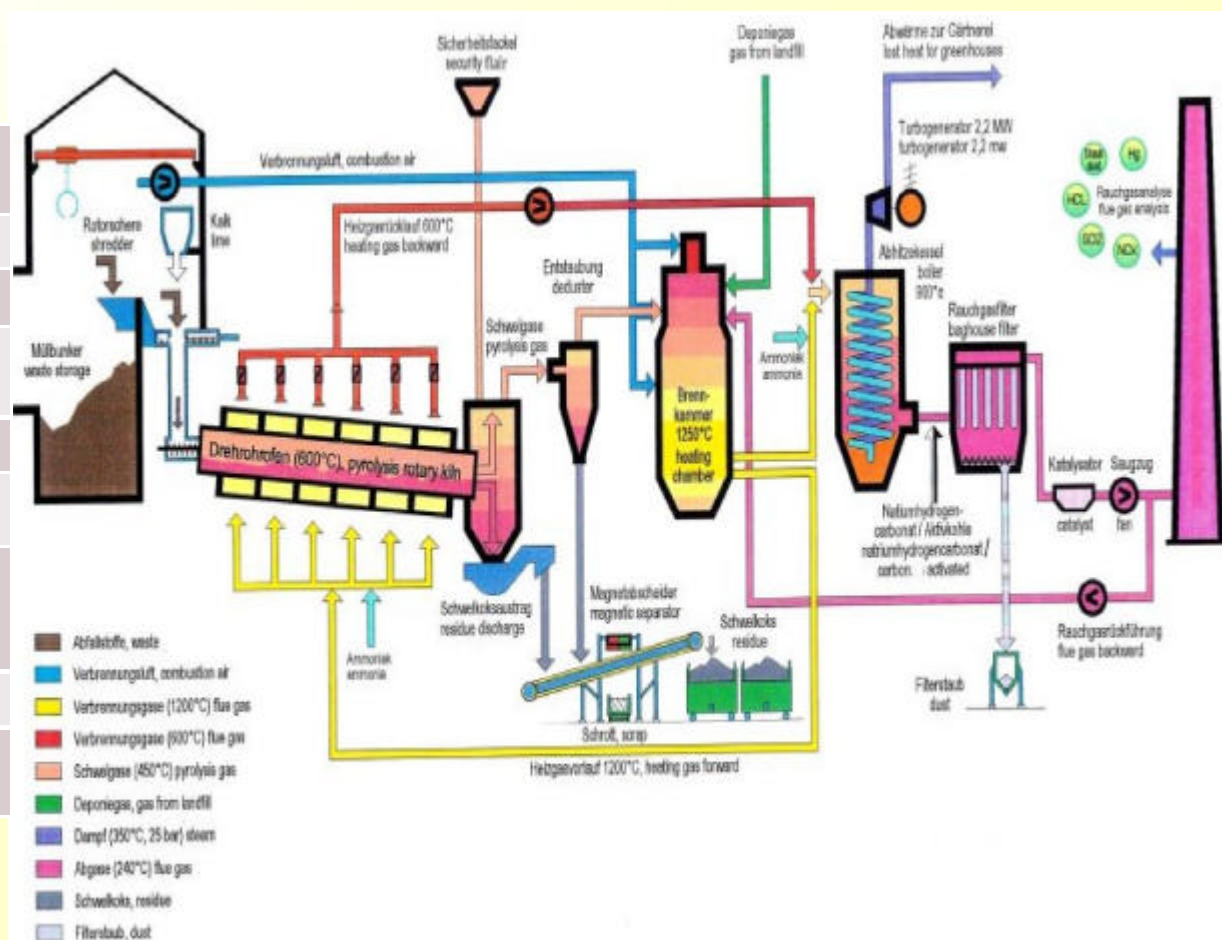


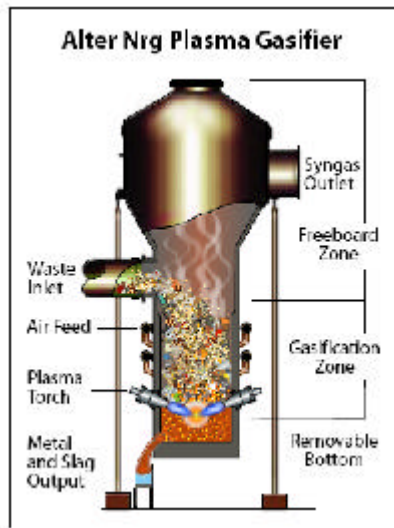
Burgau, Germania (40.000 t/anno)



Località	Inizio attività	Tipologia rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Burgau, Germania	1987	RSU, RSA, fanghi	40.000
Hamm, Germania	2002	RSU, fanghi	110.000
Terni, Italia	2004	Biomasse	28.500

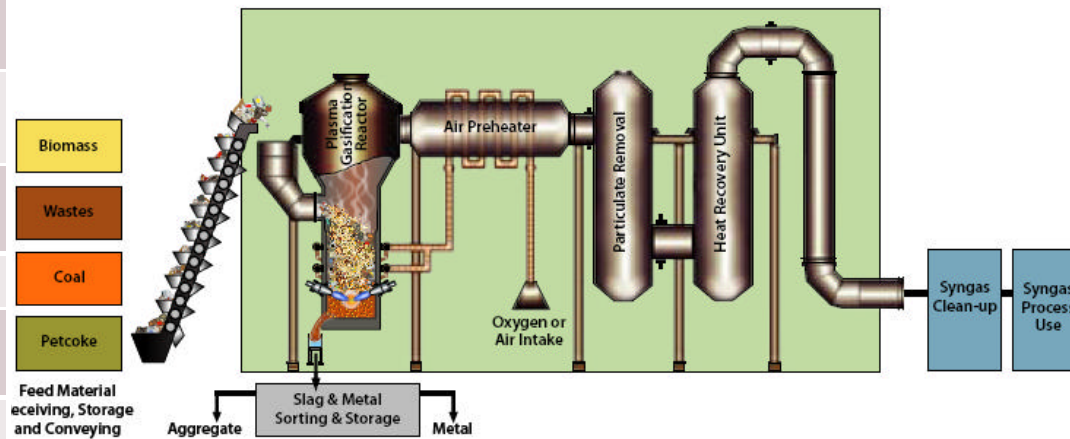
tecnologia	Pirolisi lenta a bassa temperatura
reattore	tamburo rotante
pretrattamento	triturazione
agente gassificante	-
altri reagenti	calce (1,2-1,5% rifiuto IN)
temperatura	500 C - 600 C
residuo di fondo	Pirocoke (TOC=26%; PCI=8,6 Mj/kg) circa 50% rifiuto IN
ceneri volanti	1,6%
recupero energetico	energia elettrica mediante ciclo a vapore





tecnologia	gassificazione mediante torcia al plasma
reattore	fornace verticale da fonderia
pretrattamento	triturazione, separazione magnetica e miscelazione con pneumatici triturati
agente gassificante	ossigeno e vapore ($\lambda=0,4$)
altri reagenti	Coke metallurgico (4% rifiuto IN) roccia calcarea (3% rifiuto IN)
temperatura	1.250 - 2.000 C
residuo di fondo	scorie vetrificate, non lisciviabili; 5-6% rifiuto IN
ceneri volanti	n.d.
recupero energetico	energia elettrica mediante ciclo a vapore

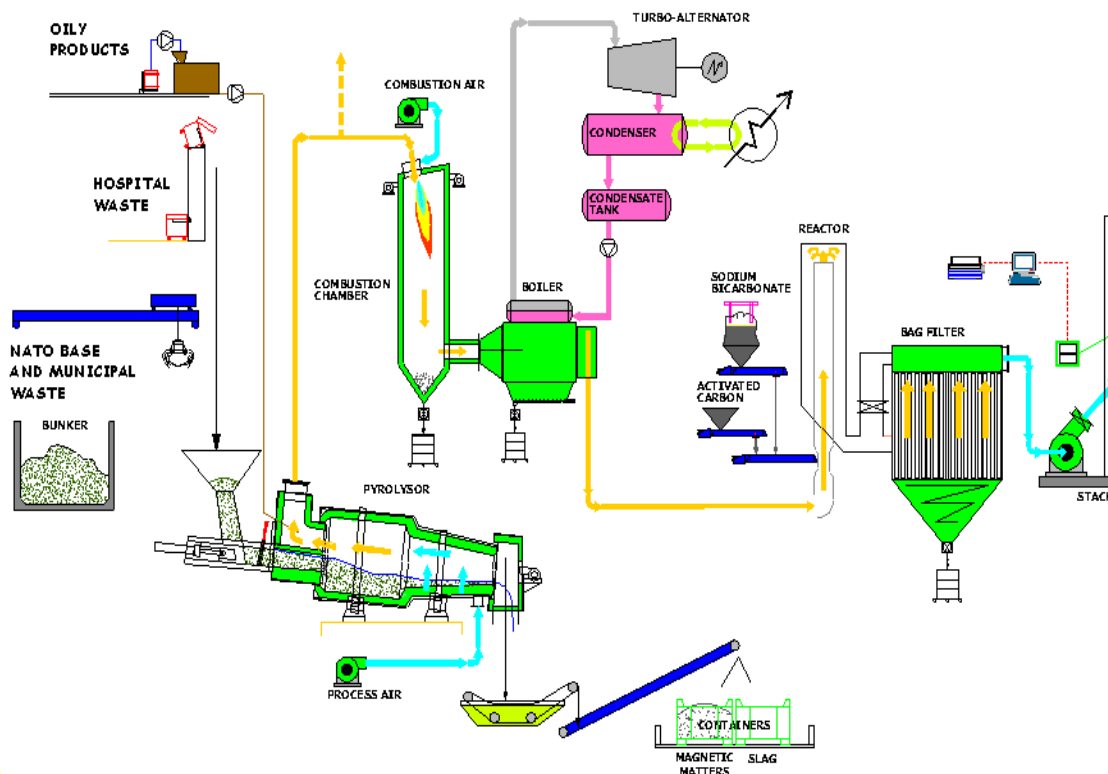
Località	Inizio attività	Tipologia di rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Utashinai, Giappone	2002	RSU, car ilufi	84.000
Mihama-Mikata, Giappone	2002	RSU, fanghi	7.200





Località	Inizio attività	Tipologia rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Kelavik, Islanda	Dicembre 2003	RSU, RSA, rifiuti ospedalieri	12.000

tecnologia	processo combinato di pirolisi e gassificazione
reattore	tamburo rotante con parte cilindrica (pirolisi) e conica (gassificazione)
pretrattamento	triturazione (dimensioni < 500 mm)
agente gassificante	aria in quantità substechiometrica per la gassificazione
altri reagenti	Olio combustibile (2l/t rifiuto IN)
temperatura	1. parte cilindrica: 600-700C 2. parte conica 700-800 C
residuo di fondo	scorie (TOC < 3%) 13% rifiuto IN
ceneri volanti	Max 5,9% rifiuto IN
recupero energetico	energia elettrica mediante ciclo a vapore

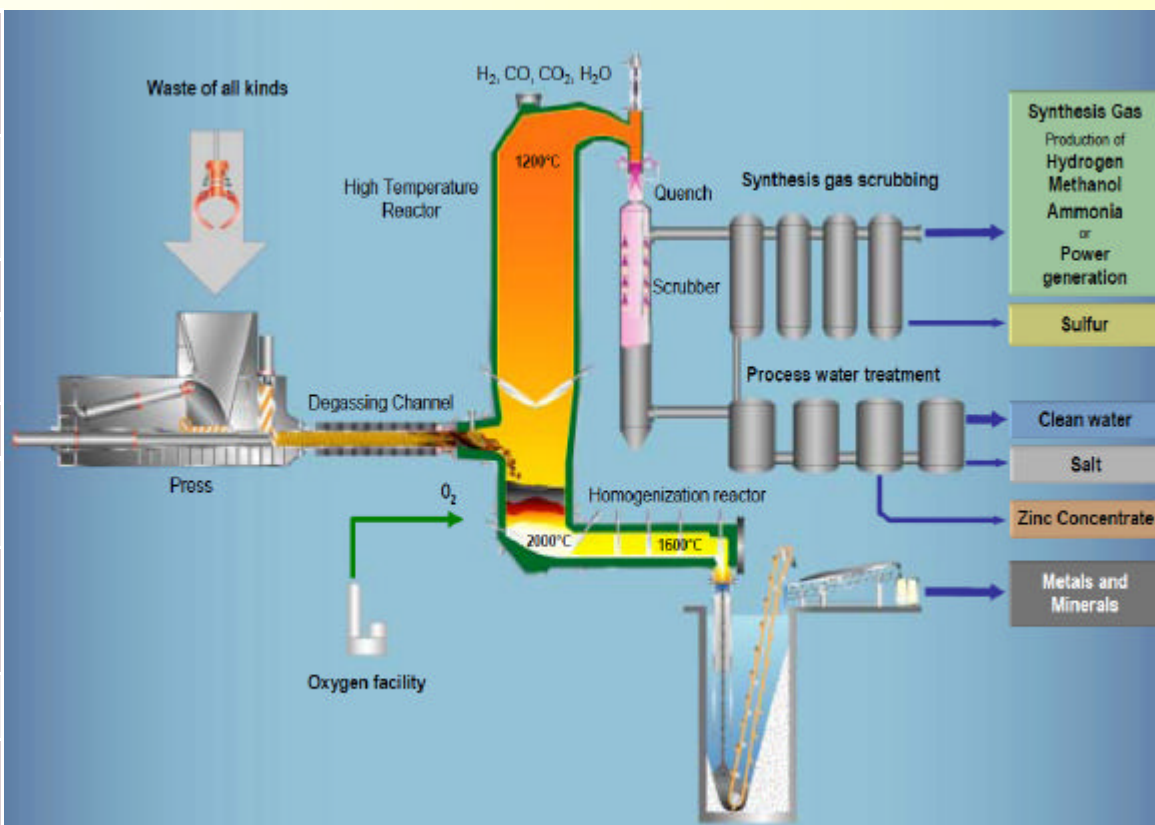


Chiba, Giappone, 100.000 t/anno



Località	Inizio attività	Tipologia rifiuto	Potenzialità [t/anno]
Chiba, Giappone	1999	RSU, RSA	100.000
Mutsu, Giappone	2003	RSU	42.000
Kurashiki, Giappone	2005	RSU, RSA	180.000
Nagasaki, Giappone	2005	RSU	100.000
Yorii, Giappone	2005	RSA	135.000
Tokushima, Giappone	2005	RSU	36.000
Izumi, Giappone	2006	RSA	28.500

tecnologia	pirolisi e gassificazione ad alta temperatura con vetrificazione delle scorie
reattore	canale di degassaggio + reattore verticale ad alta temperatura
pretrattamento	non necessario
agente gassificante	O ₂
altri reagenti	
temperatura	pirolisi: 300 C gassificazione: 1.200-2.000 C
residuo di fondo	scorie vetrificate, granulari, non lisciviabili; 7 - 13% rifiuto IN
ceneri volanti	3,6%
recupero energetico	Depurazione del syngas e utilizzo in motori endotermici



CONCLUSIONI DELLO STUDIO

Prof. Ing. Giuseppe Genon, Politecnico di Torino

I rifiuti subiscono in generale un processo di **triturazione** prima di essere immessi nel reattore di pirolisi/gassificazione; **in alcuni casi non è necessario alcun tipo di trattamento.**

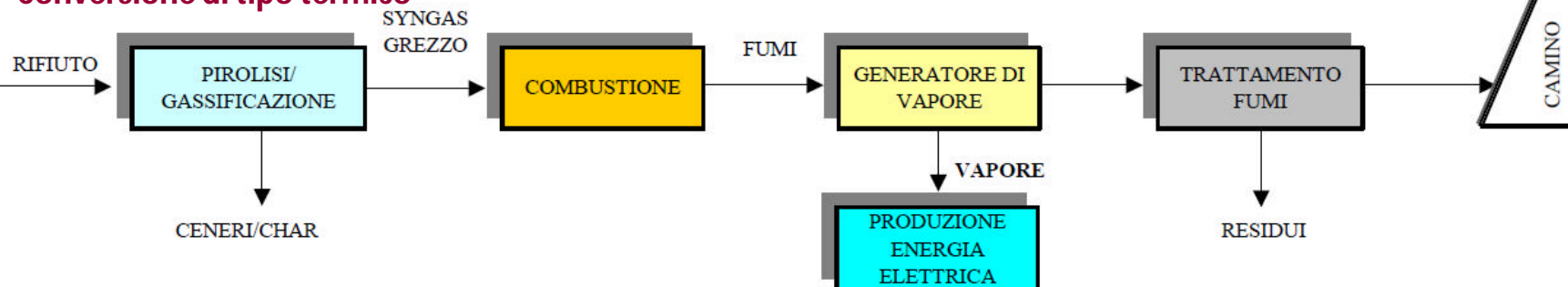
Costruttore		Impianto	Potenzialità [t/anno]	Tipologia rifiuto	PCI [Mj/kg]	Pretrattamento
AlterNRG (Canada)	PL	Utashinai, Giappone	80.000	RU, PFU	13,2 (8,4-20,1)	Triturazione, separazione magnetica + miscelazione con pneumatici tritati
Ebara (Giappone)	G	Kawaguchi, Giappone	153.000	RU	13	Triturazione per ottenere pezzatura di 300 mm
Energos (Norvegia)	G	Forus, Norvegia	30.000	RU, RS	10.8	Triturazione
→ Enerwaste (USA)	G	Husavik, Islanda	16.000	RU, RS e scarti agroindustriali		no
→ Entech (Australia)	G	Genting, Malaysia	22.250	RU		no
Mitsui (Giappone)	P+C	Toyohashi	108.000	RU	9,63	Triturazione
→ Nippon Steel (Giappone)	G	Yongsan, Corea del Sud	66.000	RU, ingombranti, sovralli da riciclaggio	11,7 – 12,6	no
Plasco Energy (Canada)	PL	Ottawa, Canada	28.000	RU e matrici al alto contenuto di carbonio (rapporto 7,5:1)		Triturazione, separazione metalli
TechTrade (Germania)	P	Burgau, Germania	40.000	RU:83% RS:15% Ingombranti: 2%	Minimo: 5 Medio: 8,5 Max: 10	Triturazione fino a 300 mm
→ Thermoselect (Svizzera)	P+G	Chiba, Giappone	105.000	RU, RI		Non necessario pretrattamento del rifiuto, ma quantitativi di vetro superiori al 10% possono causare problemi
Thide Environnement (Francia)	P	Arras, Francia	50.000	RU (80%), RS (16%), fanghi (4%)	7,5-9,4	Triturazione fino a 150-200 mm, separazione metalli, essiccazione
→ Tpf Basse Sambre (Belgio)	P+G	Keflavik, Islanda	12.000	RU (73%) Rifiuti aeroporto (27%)	12,5	Non necessario pretrattamento del rifiuto se dimensioni <500 mm

C = combustione; G = gassificazione; PL = plasma; P = pirolisi.

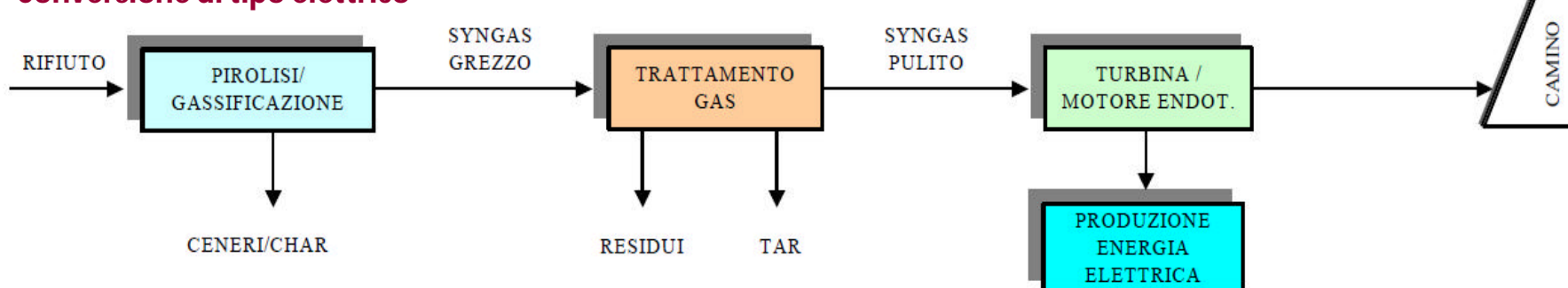
RU = rifiuti urbani; CDR = combustibili da rifiuti; PFU = pneumatici fuori uso; RS = rifiuti speciali; ROS = rifiuti di origine sanitaria; RI = rifiuti industriali; RPM = rifiuti di plastiche miste.

Costruttore		Occupazione superficie [m ²]	N° ore/anno	Combustibile ausiliario	Altri reagenti	Agente gas-sificante	Utilizzo del syngas
AlterNRG (Canada)	PL	~ 10.000 (Utashinai-80.000t/y)	6.480-6.600	Coke metallurgico 40kg/t rifiuto	Calce 30 kg/t rifiuto	Aria/vapore/ossigeno	Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Ebara (Giappone)	G	146.000 per un impianto da 1.080.000 t/anno (New York, [30])	6.750	Gas naturale nella fase di avviamento		ASria	Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Energos (Norvegia)	G	7.000 per un impianto da 30.000 t/anno	7.800- 8.000	Non richiesto	Reagenti depurazione fumi: 9 kg/t	Aria (4,8 t /t rifiuto)	Calore e/o Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Enerwaste (USA)	G	2.500 per potenzialità di 60 t/giorno		Gas naturale			Calore e/o Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Entech (Australia)	G	14.160 per un impianto da 89.100 t/anno (Los Angeles, [27])	8.000				Calore e/o Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Mitsui (Giappone)	P+C	3.800 per un impianto da 100.000 t/anno		Necessario solo per start up e se PCI <6,7 MJ/kg			Calore e/o Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Nippon Steel (Giappone)	G		7.248-7.752	Carbone 40-50 kg/t rifiuto	Per il processo termico: Coke: 40-50 kg/t Calce: 50 kg/t	Ossigeno puro	Calore e/o Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Plasco Energy (Canada)	G+PL	~ 12.000 (Ottawa-28.000 t/anno)				Aria	Produzione di elettricità attraverso motori a combustione interna
TechTrade (Germania)	P	~ 12.000 (Burgau-40.000 t/anno)	7.657	Olio combustibile: 2,9 kg/t rifiuto	Depurazione fumi: Calce: 9,09 kg/t Bic. sodio:11,2 kg/t Carb. attivo:0,3kg/t Carbamina: 5,3 kg/t	Nessuno	Calore e/o Elettricità attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore
Themoslect (Svizzera)	P+G	32.000 per un impianto da 220.000 t/anno [28]	7.650	Gas naturale: 30 kg/t rifiuto	Depurazione syngas: NaOH: 62 kg/t HCl: 17 kg/t	Ossigeno puro: 56 kg/t	Calore e/o Elettricità attraverso motori a combustione interna
Thide Environnement (Francia)	P					Nessuno	Produzione di calore
Tpf Basse Sambre (Belgio)	P+G		8.209 (nel 2008)	Olio combustibile: 21/t	Depurazione fumi: Ammoniaca: 5 kg/t Bic. sodio: 25 kg/t Carb. attivo: 1 kg/t	Aria	Produzione di energia elettrica attraverso combustione del syngas e ciclo a vapore

Conversione di tipo termico



Conversione di tipo elettrico



Modalità di conversione di tipo elettrico

Efficienza lorda

combustione in motori a combustione interna

37-41%

ciclo combinato turbo-gas turbo-vapore (IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle)

40-50%

produzione di idrogeno ed alimentazione di celle a combustibile

60%

L'impiego del syngas in motori a combustione interna, sistemi IGCC e celle a combustibile richiede un grado di pulizia crescente



 complicazione di carattere operativo-gestionale
 impoverimento del contenuto energetico del gas

Sistema	Efficienza netta di generazione elettrica(1)	
	Pirolisi/gassificazione	inceneritore
Caldaia + turbina a vapore	10% – 20%	14% – 27%
Motori a combustione interna	13% – 28%	–
Ciclo combinato turbina a gas (CCGT)	30%	–
Utilizzo del syngas in centrali elettriche esistenti	>27%	–

(1) L'efficienza netta del processo è data dall'efficienza lorda (rapporto tra energia prodotta dal rifiuto come elettricità o calore e il contenuto di energia dello stesso, dipendente dal suo PCI), depurata dell'autoconsumo, che per incenerimento e le tecnologie innovative sono dell'ordine di 12-20% dell'energia totale prodotta.

Costruttore		Impianto/ (rifiuto trattato nell'anno di riferimento)	E. elettrica prodotta [MWh/t]	E. elettrica ceduta [MWh/t]	E. termica prodotta [MWh/t]	E. termica ceduta [MWh/t]	$\eta_{el}^{netto}^{(1)}$ [%]
AlterNRG (Canada)	PL	Utashinai, Giappone	0,934	0,508			18,6%
Ebara (Giappone)	G	Progetto New York [30]	0,547	0,383			13%-15%
Energos (Norvegia)	G	Dati di progetto impianto 30.000 t/anno con PCI = 12 MJ/kg	0,750	0,625			18,5%
Enerwaste (USA)	G	Dati di progetto	0,55				
Entech (Australia)	G	Dati di progetto	0,573				17%
Nippon Steel (Giappone)	G	Shin Moji, Giappone (194.000 t/anno – PCI:11 MJ/kg)	0,784	0,536			15,7%
TechTrade ⁽²⁾ (Germania)	P	Burgau, Germania (26.807 t/anno – PCI: 8,5 MJ/kg)	0,214	0,059		0,056	2,9%
		Ipotesi di progetto: 50.000 t/anno – PCI: 14,6 MJ/kg	Ciclo a vapore: rendimento al lordo dell'autoconsumo=24,6% Ciclo combinato turbogas/turbo vapore (occorre verificare fattibilità con prove sperimentali): rendimento al lordo dell'autoconsumo= 33,6% Motore a combustione interna (occorre verificare fattibilità con prove sperimentali): rendimento al lordo dell'autoconsumo=38,3%				
Thermoselect (Svizzera)	P+G	Valore teorico con rifiuti aventi PCI di 12 MJ/kg	1,03	0,705	1,39		19%
Tpf Basse Sambre ⁽³⁾ (Belgio)	P+G	Keflavik, Islanda (12.000 t/anno – PCI: 12,5 MJ/kg)	0,200	0,140	–	–	4%
		Ipotesi di progetto: 30.000 t/anno – PCI: 12,5 MJ/kg)	0,700	0,620	–	–	18%

⁽¹⁾ Rapporto tra energia elettrica prodotta detratti gli autoconsumi e carico termico del rifiuto in ingresso.

⁽²⁾ Il basso rendimento energetico dell'impianto di Burgau è motivato dal fatto che l'obiettivo primario dell'impianto era quello di garantire lo smaltimento continuo di tutti i rifiuti; per questo si è deciso di realizzare un ciclo termodinamico a resa più bassa (vapore con caratteristiche povere di temperatura e pressione) ancorché più sicuro e affidabile. Per un impianto da 50.000 t/anno con PCI 14,6 MJ/kg la Società stima un rendimento elettrico lordo del 24,6% attraverso un ciclo a vapore.

⁽³⁾ L'impianto di Keflavik era stato progettato per produrre acqua calda e successivamente è stato modificato per consentire la produzione di elettricità; tuttavia il ciclo termico di partenza non è stato adattato a questa nuova esigenza, per cui le sue caratteristiche non consentono di ottenere degli alti rendimenti. Una progettazione ad hoc, per un impianto da 30.000 t/anno con PCI= 12,5 MJ/kg, permetterebbe di produrre 0,7 MWh/t e di esportare 0,62 MWh/t con un autoconsumo di 0,08 MWh/t

Emissioni in atmosfera	Macroinquinanti [mg/Nm ³]	polveri, SO ₂ , NO _X , CO, HCl, HF
	Microinquinanti [µg/Nm ³ o ng/Nm ³]	Cd, Cr, Hg, Pb, Ni, PCDD, PCDF, IPA
Residui solidi	scorie	20-30% in peso del rifiuto in ingresso- smaltite in discariche per rifiuti non pericolosi
	ceneri volanti	1-3% in peso del rifiuto in ingresso- smaltite in discariche per rifiuti pericolosi
	residui trattamento fumi	smaltiti in discarica per rifiuti pericolosi

Costruttore		Portata fumi Nm ³ /t	mg/Nm ³								PCDD/P CDF µg/Nm ³
			polveri	HCl	HF	SO ₂	NO ₂	CO	Hg	Cd +Tl	
AlterNRG (Canada)	PL	1.400-2.400	<3	22-39		<1-2	62-82	<27-29			0,00059- 0,00067
Compact Power	P+G		1,4	0,96	0,12	0,74	21	3,9		0,006	<0,003
Ebara (Giappone)	G	2.952	<1	2		<2,8	29,3		<0,005		0,000051
Energos (Norvegia)	G	7.894 Nm ³ /t per un rifiuto con PCI =10.8MJ/kg	0,24	3,6	0,020	19,8	42 (senza deNOx)	2	0,00327	0,00002	0,001
Enerwaste (USA)	G			0-6,5		16,6-25,4	58,7-199,2 (senza deNOx)	30,9-40,5			
Mitsui/ Takuma (Giappone)	P+C		<1	9		8	150	5	0,01	<0,001	0,016
Nippon Steel (Giappone)	G	5.760 (PCI: 8,4 MJ/kg)	6	3		0,5	16	5,2			0,023
TechTrade (Germania)	P	6.495 (PCI: 8,5 MJ/kg)	0,316-1,8	5,5-6,38		5,42	179,5	5,65	0,0066- 0,0117	0,0006	0,0013
Thermoselect (Svizzera)	P+G		0,2	<5			14				0,0072
Tpf Basse Sambre (Belgio)	P+G	5.600 (PCI:12,5 MJ/kg)	2,8	9,3	0,12	11,1	327 (oggi 200 senza DeNOx)	7,4	0,00013	0,0011	0,06
D.Lgs 133/2005			10	10	1	50	200	50	0,05	0,05	0,1
BAT [5]			1-5	1-8	<1	1-40	40-100	5-30	<0,05	0.005-0.5	0,01-0,1

Valori riferiti a effluente gassoso secco a 0 °C, 1 atm e tenore di ossigeno dell'11%.

gassificazione



Scorie vetrificate o "bottom ashes"

pirolisi



Residuo solido tipo "coke"

Tab. 6.11 – Quantitativi dei residui solidi prodotti da alcune tecnologie considerate nello Studio

Costruttore	Residuo solido di fondo			Produzione ceneri volanti [% sul rifiuto in ingresso]
	Tipologia	Quantitativo [% su rifiuto in ingresso]	TOC %	
AlterNRG(Canada)	PL	Scorie vetrificate	5 – 6%	–
Ebara (Giappone)	G	Scorie vetrificate (riciclabili) + inerti (a discarica)	6,7 (riciclabili) + 6,1 (a discarica)	–
Energos (Norvegia)	G	Scorie	7-20%	1%
Mitsui/ Takuma (Giappone)	P+C	Scorie vetrificate	7	–
Nippon Steel (Giappone)	G	Scorie vetrificate	9-10%	–
Plasco Energy (Canada)	G+PL	Scorie vetrificate	9-15%	–
TechTrade (Germania)	P	Pyrocoke	53%	26%
Thermoselect (Svizzera)	P+G	Scorie vetrificate	7-13%	–
Thide Environnement (Francia)	P	Pyrocoke	24% (dato da progetto)	50%
Tpf Basse Sambre (Belgio)	P+G	Scorie essiccate	13%	<3%

sistemi con **vetrificazione delle scorie**

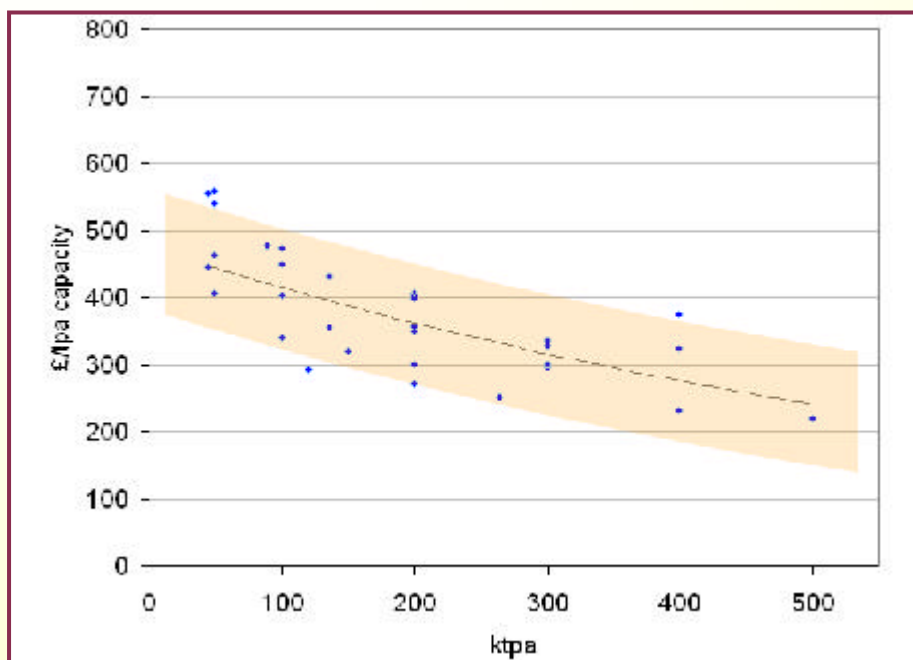


materiale inerte

Tab. 6.13 – Test di lisciviazione delle scorie prodotte da alcune tecnologie considerate nello Studio e confronto con i limiti di accettabilità in discariche per rifiuti inerti

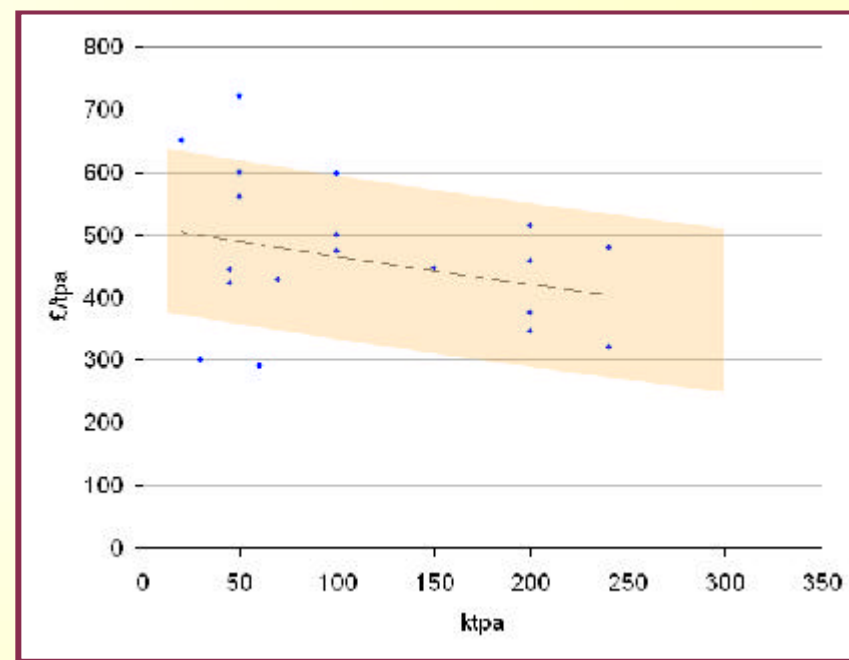
Componente [mg/l] con L/S=10 l/kg (DM 3/8/2005)		AlterNRG (Canada)	Ebara (Giappone)	Nippon Steel (Giappone)	Plasco Energy (Canada)
		Plasma	Gassificazione	Gassificazione	Gassificazione+plasma
As	0.05	0,0023	–	< 0,005	0,05
Cd	0.004	<0,0005	< 0,001	< 0,001	0,01
Cr totale	0.05	0,0289 (Cr6+)	< 0,005	< 0,01	0,08-4,69
Hg	0.001	<0,00001	<0,0005	< 0,0005	0,005
Pb	0.05	0,001	0,013	< 0,005	0,05-0,39
Se	0.01	<0,01		< 0,002	0,05

Costi di investimento di inceneritori convenzionali



Taglia [t/y]	Costo medio di investimento [M€]
100.000 -115.000	40-50
150.000	55-80
170.000-200.000	65-100

Costi di investimento di impianti a tecnologia innovativa

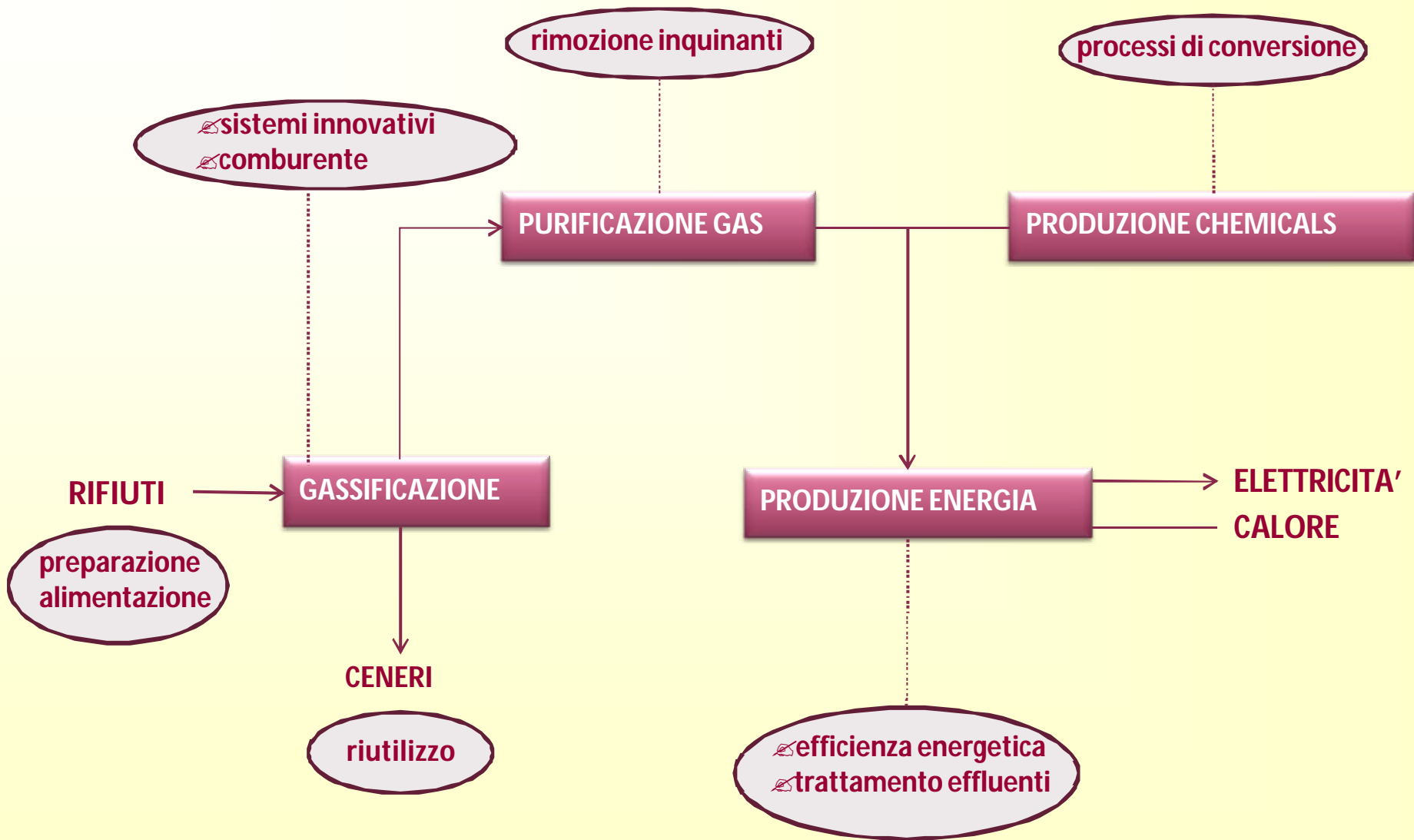


Taglia [t/y]	Costo medio di investimento [M€]
50.000	27-38
100.000-115.000	40-65
150.000	50-95
170.000-200.000	65-110

COSTI DI INVESTIMENTO (INDAGINE ATO-R)

Tecnologia	Impianto	Anno di realizzazione	Potenzialità [t/anno]	Costo investimento [ML €]	Costo investimento [€/t/anno]	Nota
COMPACT POWER	Ipotesi di progetto 2004 [22]		30.000	9,6	320	Il costo di investimento tiene conto di: apparecchiature di processo, opere civili e progettazione.
EBARA gassificazione	Ipotesi di progetto 2005 [35]		4.500	6,8	1.511	Le voci di costo considerate non sono note.
	Ipotesi di progetto 2005 [33]		13.000	11-16	833-1212	Le voci di costo considerate non sono note.
	Ipotesi di progetto 2005 [30]		105.611 1.080.108	70,6 512	668 474	Il costo di investimento tiene conto di: costi di progettazione, apparecchiatura di processo (compreso il pretrattamento), apparecchiature di produzione d'elettricità, sistemi di stoccaggio, sistemi di controllo ambientale, sistemi ausiliari.
ENTECH gassificazione	Ipotesi di progetto 2005 [32]		33.000	13	394	Le voci di costo considerate non sono note.
	Ipotesi di progetto 2004 [22]		45.000	22,1	489	Il costo di investimento tiene conto di: apparecchiature di processo, opere civili e progettazione.
	Ipotesi di progetto 2007 [27]		137.790	38	276	Il costo di investimento tiene conto di: apparecchiature di processo, opere civili e progettazione.
ENERGOS gassificazione [Fonte: Energos]	Averoy (Norvegia)	1998	34.000	19	559	I valori dell'investimento includono solo le principali apparecchiature di processo (sono esclusi sistemi ausiliari, opere civili e viabilità, eventuali connessioni elettriche e tubazioni vapore per fornitura calore di processo, spese generali ed utili, oneri di project financing, ecc.).
	Hurum (Norvegia)	2000	36.000	14	389	
	Minden (Germania)	2001	37.000	18	486	
	Sarpsborg (Norvegia)	2001	75.000	27	360	
	Forus (Norvegia)	2002	38.000	18	474	
	Ipotesi di progetto 2004 [22]		75.000	35	467	Il costo di investimento tiene conto delle principali apparecchiature di processo, costi della turbina, movimento terra, ecc.
ENERWASTE gassificazione	Ipotesi di progetto 2008 [37]		136.757	74	541	Il costo di investimento tiene conto di: apparecchiature di processo, opere civili e progettazione.
NIPPON STEEL [45]	Akita (Giappone)	2002	160.600	118	734	Le voci di costo considerate non sono note.
PIT PYROFLAM pirolisi e gassificazione	Ipotesi di progetto 2009 [Fonte: TPF-Basse Sambre]		30.000	26	867	Il costo esclude le opere civili.
THERMOSELECT pirolisi e gassificazione [27]	Ipotesi di progetto 2007		97.350	51	524	Il costo di investimento tiene conto di: apparecchiature di processo, opere civili e progettazione.
	Ipotesi di progetto 2007		194.700	87	447	
	Ipotesi di progetto 2007		292.050	117	401	
THIDE ENVIRONMENT pirolisi [40]	Progetto Arras-2002		50.000	25	500	Costo complessivo di realizzazione.
WESTINGHOUSE plasma	Utashinai [36]	2002	100.000	45	450	Le voci di costo considerate non sono note.
	St. Lucie County, Florida[36]	Inizio attività previsto per il 2010	900.000	293	325	Le voci di costo considerate non sono note.
	Ipotesi di progetto 2005 [32]		33.000	31	939	Le voci di costo considerate non sono note.

Tecnologia	Impianto	Anno di realizzazione	Potenzialità [t/anno]	Costo operativo [ML€/anno]	Costo operativo [€/t]	Nota
COMPACT POWER	Ipotesi di progetto 2004 [22]		30.000	1,4	46,7	Il costo operativo comprende: personale, smaltimento residui, consumo di materiali, utilities, manutenzione, altri costi generali. EBARA- gassificazione
	Ipotesi di progetto 2005 [35]		4.500			
	Ipotesi di progetto 2005 [33]		13.000			
	Ipotesi di progetto 2005 [30]		105.611	4,1	38,8	I costi operativi comprendono esclusivamente i costi per l'attività ordinaria e la manutenzione (non comprendono i costi di capitale e le entrate).
	Ipotesi di progetto 2005 [30]		1.080.108	21,1	19,5	Sono esclusi i costi di trasporto, smaltimento residui e i costi di trasporto dei prodotti riciclabili.
ENTECH – gassificazione	Ipotesi di progetto 2005 [32]		33.000			Il costo operativo comprende: personale, smaltimento residui, consumo di materiali, utilities, manutenzione
	Ipotesi di progetto 2004 [22]		45.000	2,2	48,9	
	Ipotesi di progetto 2007 [27]		137.790	4,6	33,4	Il costo operativo si riferisce al 1° anno di esercizio e comprende: personale, smaltimento residui, consumo di materiali, utilities, manutenzione, spese varie.
ENERGOS – gassificazione [Fonte: Energos]	Averoy	1998	34.000	3,8	110	I costi operativi si riferiscono solo ai primi anni, soggetti alla supervisione operativa del costruttore, e comprendono: personale, reagenti e utilities, smaltimenti scorie e prodotti della depurazione, manutenzione ordinaria e straordinaria, spese generali ed amministrative.
	Hurum	2000	36.000	3,2	90	
	Minden	2001	37.000	3,6	100	
	Sarpsborg	2001	75.000	6,0	80	
	Forus	2002	38.000	3,5	90	
	Ipotesi di progetto 2004 [22]		75.000	3,1	41,3	Il costo operativo si riferisce al 1° anno di esercizio e non tiene conto dello smaltimento delle scorie.
ENERWASTE – gassificazione	Ipotesi di progetto 2008 [37]		136.757	12,7	92,9	Il costo operativo comprende: ammortamento in 10 anni per le opere elettromeccaniche, personale, consumi di energia e materiali, manutenzioni, trasporto e smaltimento scorie, indennità di disagio ambientale (7,5 €/t), spese generali ed utili gestionali.
NIPPON STEEL – gassificazione	Akita (Giappone)	2002	160.600	8	49,8	i costi operativi comprendono il personale e i materiali in ingresso.
PIT PYROFLAM – pirolisi e gassificazione [Fonte: TPF-Basse Sambre]	Ipotesi di progetto 2009		30.000	1,2	40	Il costo operativo, stimato sulla base dei dati forniti dal costruttore, comprende: personale, smaltimento residui, consumo di materiali, utilities, manutenzione. La stima non tiene conto delle spese generali ed altri costi di gestione (controlli, monitoraggi, analisi ecc.).
THERMOSELECT – pirolisi e gassificazione [27]	Ipotesi di progetto 2007		97.350	7,5	77	Il costo operativo si riferisce al primo anno di esercizio e comprende: personale, smaltimento residui, consumo di materiali, utilities, manutenzione, spese varie.
	Ipotesi di progetto 2007		194.700	11,6	59,6	
	Ipotesi di progetto 2007		292.050	16,8	57,5	



Gassificazione	alternativa tecnologica più completa e competitiva rispetto all'incenerimento
Pirolisi	non costituisce attualmente una completa alternativa all'incenerimento dei rifiuti solidi urbani; il problema principale rimane la notevole produzione di residuo solido ad elevato contenuto di carbonio, che necessita di un ulteriore stadio di trattamento
Torcia al plasma	non risulta al momento sufficientemente sperimentata sui rifiuti urbani; tecnologia industrialmente matura per la termodistruzione di particolari tipologie di rifiuti altamente pericolosi e di rifiuti radioattivi, nonché per la vetrificazione di scorie/ceneri da incenerimento

<p>Affidabilità</p>	<p>Esistono oltre 100 impianti di gassificazione/pirolisi al mondo che ricevono rifiuto urbano indifferenziato; la maggior parte di essi garantisce una continuità di funzionamento superiore a 300 giorni/anno (7.200 ore)</p>
<p>Aspetti ambientali</p>	<p>Emissioni: il quantitativo di fumi da trattare a valle del recupero energetico è confrontabile con quello di un impianto di combustione tradizionale (6.000-7.000 Nm³/t). Gli impianti a tecnologia innovativa presentano un tenore emissivo ben al di sotto dei limiti normativi, ma sostanzialmente in linea con i moderni inceneritori che adottino le migliori tecniche disponibili.</p> <p>Residui solidi:</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ gassificazione: scorie simili, come aspetto e composizione, a quelle di un inceneritore e, nel caso di processi ad alta temperatura, a scorie vetrificate (stabili e sostanzialmente inerti) ☞ Pirolisi: discreti quantitativi di carbone tipo coke (30-40% del rifiuto in ingresso) con un contenuto di carbonio di circa il 30%.
<p>Recupero energetico</p>	<p>Analogo a quello di un inceneritore: i processi di recupero energetico normalmente adottati sono di tipo convenzionale (ciclo a vapore). Lo stato dell'arte della purificazione del gas non consente di conseguire gli standard qualitativi richiesti per l'alimentazione di apparati altamente performanti (turbogas e motori).</p>
<p>Aspetti economici</p>	<p>L'aspetto economico legato alle tecnologie innovative resta un tema da approfondire. Una stima puntuale degli investimenti e dei costi di esercizio si potrà fare solo valutando nel dettaglio tutte le variabili (taglia, localizzazione, tipologia di trattamento, presidi ambientali, tecnologie adottate, recuperi energetici, mercato dell'energia elettrica, condizioni locali).</p>

Le tecnologie di trattamento termico dei rifiuti alternative alla combustione diretta si presentano certamente come promettenti e pertanto meritevoli di applicazione sperimentale su taglie impiantistiche ad oggi più limitate di quelle di un inceneritore ed individuabili in una potenzialità di trattamento annua pari a 30.000 – 60.000 t/a

L'effettivo vantaggio delle tecnologie innovative risiede nella versatilità impiantistica e nella flessibilità della taglia

Lo Studio ATO-R sulle tecnologie di trattamento termico dei rifiuti è stato pubblicato come **Quaderno n. 51 di Ingegneria Ambientale**

Per informazioni:
<http://www.cipaeditore.it>

ISSN 1125-1271

INGEGNERIA AMBIENTALE

INQUINAMENTO E DEPURAZIONE

QUADERNI

VERIFICA DELLA FATTIBILITÀ DI
UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO
TERMICO DEI RIFIUTI A
TECNOLOGIA INNOVATIVA
NELLA PROVINCIA DI TORINO

G. Genon
V. Tedesco
P. Urso