



CONFERENZA DI INFORMAZIONE – LA CHIUSURA DEL CICLO DEI RIFIUTI IN
PROVINCIA DI TRENTO
MARZO 2023

Tecnologie per il trattamento dei Rifiuti Urbani

Luigi Crema
Direttore, Centro per l'Energia Sostenibile
Fondazione Bruno Kessler
crema@fbk.eu

PREMESSA

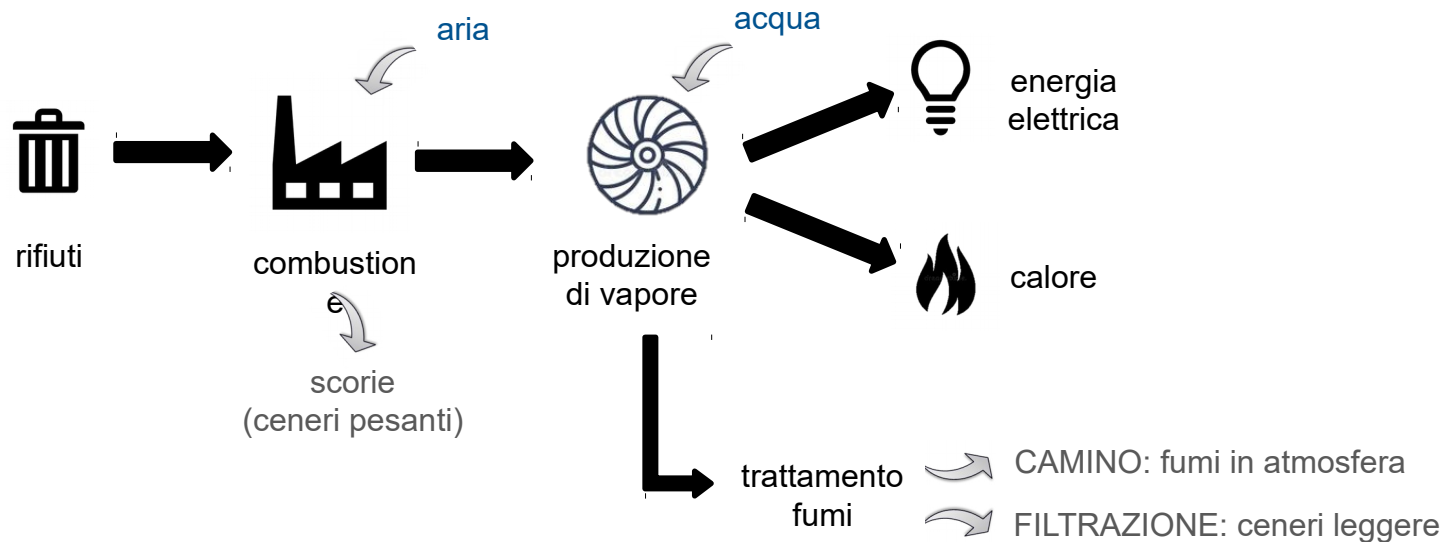
Accordo tra Università degli Studi di Trento (UNITrento), Fondazione Bruno Kessler (FBK) e Provincia Autonoma di Trento (PAT) sottoscritto il 18/10/2021 per la realizzazione di uno «*Studio preliminare dei processi di conversione energetica dei rifiuti indifferenziati*», seguito da accordo tra FBK e PAT per approfondimento tecnico-economico delle tecnologie di conversione.

Obiettivi dello studio

- Inquadramento dell'attuale gestione dei rifiuti urbani nella Provincia di Trento e definizione dei **possibili scenari** per lo smaltimento o il trattamento dei rifiuti indifferenziati.
- Approfondimento sullo **stato dell'arte** dei processi e delle **tecnologie di conversione energetica dei rifiuti urbani indifferenziati**, con focus sui processi di tipo termo-chimico e sugli impianti di piccola scala.
- **Analisi tecnico-economica** di impianti di termovalorizzazione e gassificazione per la **produzione di energia elettrica/termica** e **bio-combustibili** da rifiuti solidi urbani, implementabili nello scenario Trentino.

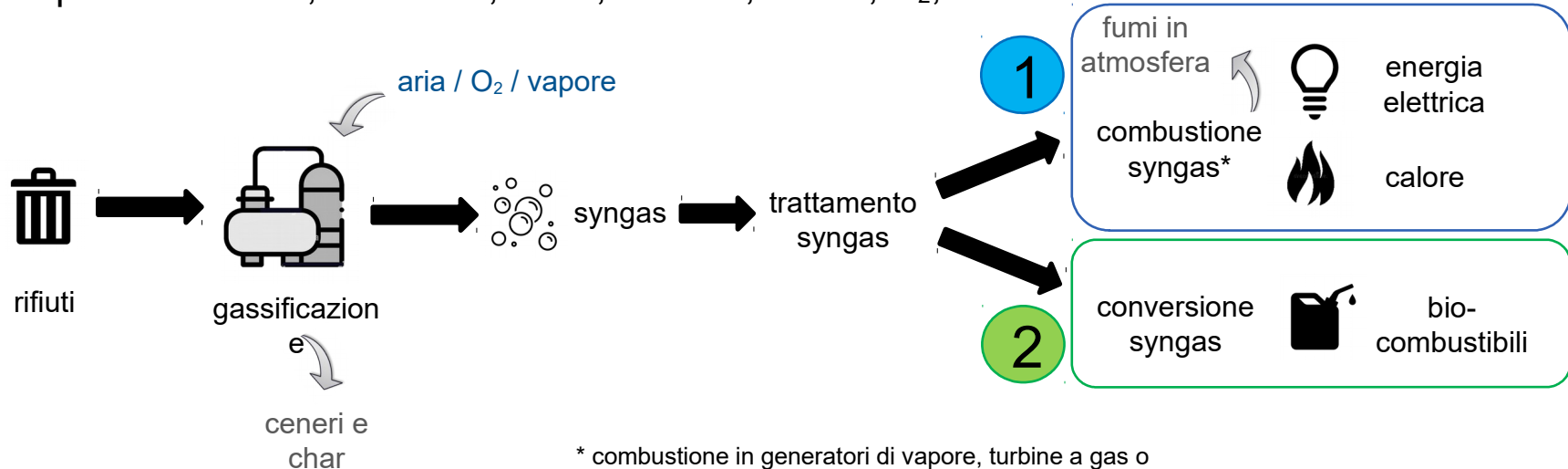
TECNOLOGIE: COMBUSTIONE (o incenerimento)

- **Ossidazione completa** → prodotti principali: calore, CO₂ e acqua
- Produzione di **inquinanti** dovuta a combustione incompleta e disomogenea o alle elevate temperature (diossine e furani, particolato, cloro, zolfo, ossidi di azoto, metalli pesanti)
- Notevole riduzione volume e massa dei rifiuti da smaltire
- Residuo solido: **ceneri** dal trattamento dei refluvi gassosi (1,5 – 6%) e **scorie** dal processo di combustione (frazione non combustibile dei rifiuti, residui metallici e materiale organico incombusto, 15 – 35%)



TECNOLOGIE: GASSIFICAZIONE

- **Ossidazione parziale** → prodotti principali: CO e H₂ (*syngas*)
- Composizione e potere calorifico del *syngas* dipendono da tipologia di reattore, tipologia di rifiuti, condizioni operative (temperatura, pressione, agente ossidante)
- Necessità di trattare il *syngas* per rimuovere particolato, composti acidi ed alcalini, tar
- Possibilità di delocalizzare il processo di combustione
- Possibilità di convertire il *syngas* in **bio-combustibili** strategici tramite processi più o meno complessi: metano, metanolo, DME, etanolo, diesel, H₂, SNG

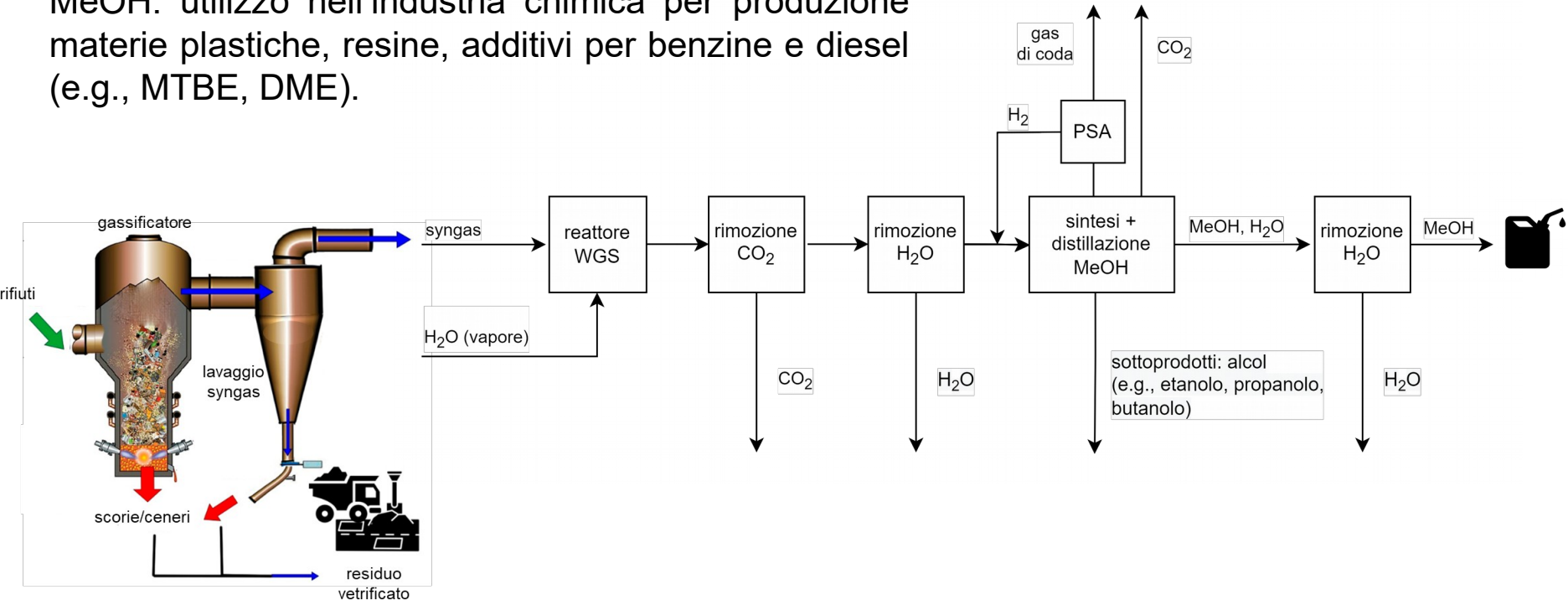


* combustione in generatori di vapore, turbine a gas o motori a combustione interna

WASTE-TO-CHEMICALS: PRODUZIONE METANOLO

1 ton rifiuti → 0,42 – 0,60 ton MeOH

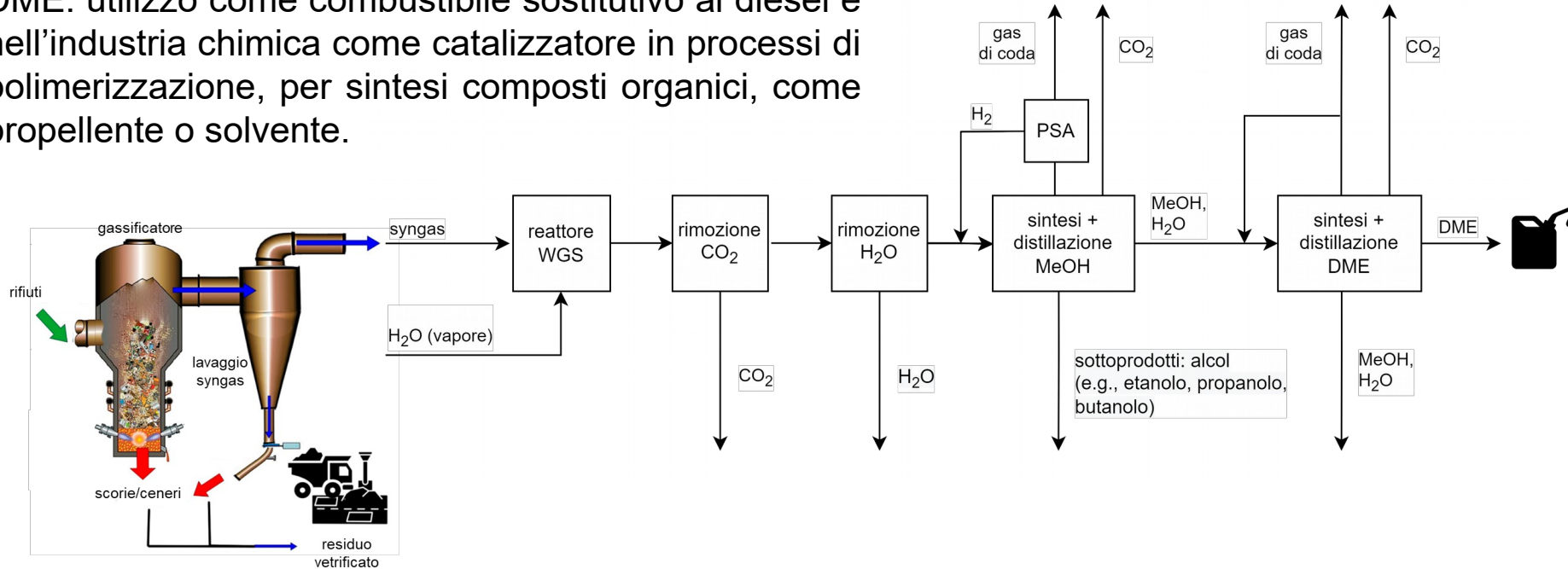
MeOH: utilizzo nell'industria chimica per produzione materie plastiche, resine, additivi per benzine e diesel (e.g., MTBE, DME).



WASTE-TO-CHEMICALS: PRODUZIONE DME

1 ton rifiuti → 0,23 – 0,27 ton DME

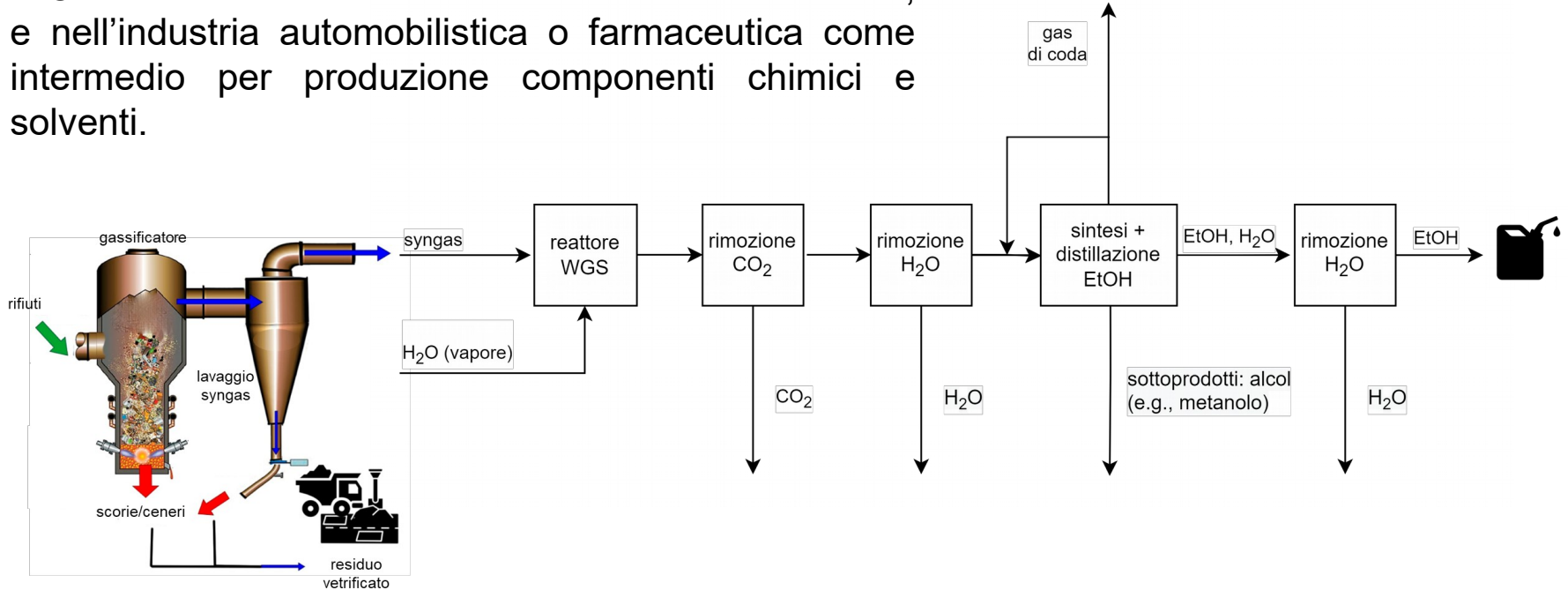
DME: utilizzo come combustibile sostitutivo al diesel e nell'industria chimica come catalizzatore in processi di polimerizzazione, per sintesi composti organici, come propellente o solvente.



WASTE-TO-CHEMICALS: PRODUZIONE ETANOLO

1 ton rifiuti → fino a 0,30 ton EtOH

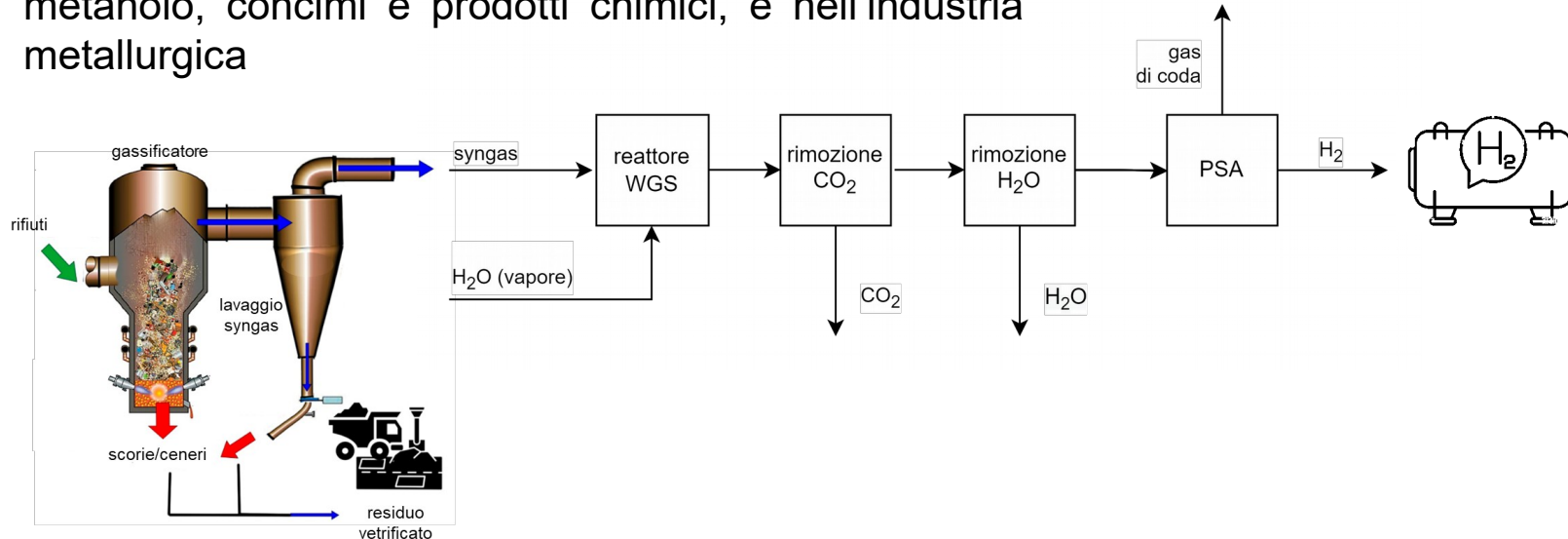
EtOH: utilizzo come combustibile o additivo a benzine, e nell'industria automobilistica o farmaceutica come intermedio per produzione componenti chimici e solventi.



WASTE-TO-H2: PRODUZIONE IDROGENO

1 ton rifiuti → 0,05 – 0,06 ton H₂

H₂: vettore energetico; utilizzo come combustibile, nell'industria chimica per produzione ammoniacale, metanolo, concimi e prodotti chimici, e nell'industria metallurgica



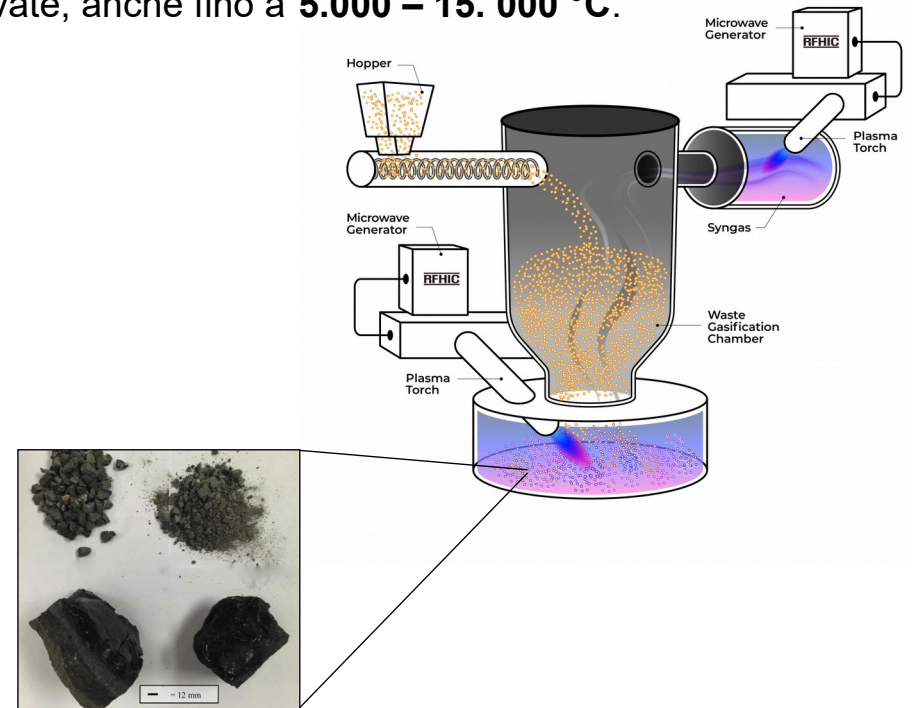
TECNOLOGIE DEL PLASMA

Il plasma è un **gas ionizzato**, costituito da elettroni e ioni, ma con carica globale nulla. Creato dall'interazione fra un gas (e.g., aria, azoto, argon) e un campo elettrico o magnetico, può raggiungere temperature molto elevate, anche fino a **5.000 – 15.000 °C**.

Applicabile a:

- Rifiuti
- Residuo solido nel reattore di gassificazione
- Syngas (post-trattamento)

Trattando i rifiuti direttamente o il residuo solido con plasma, le elevate temperature portano alla formazione di un **granulato vetrificato** inerte (*slag*) utilizzabile come aggregato in edilizia.



COMBUSTIONE VS GASSIFICAZIONE

Output	Energia elettrica e/o termica	Syngas (CO e H ₂)
Processo	Ossidazione completa solido (rifiuti) + gas (aria)	Ossidazione parziale solido (rifiuti) + gas (aria/O ₂ /vapore) ed eventuale combustione in fase gassosa (<i>syngas</i>)
Impianto	Con camino	Eventualmente senza camino
Emissioni	Fumi di combustione (a camino)	<ul style="list-style-type: none">• Reflui gassosi (CO₂, gas di coda) e/o liquidi derivanti da trattamento <i>syngas</i>• Fumi simili a combustione diretta (a camino) solo se il <i>syngas</i> viene bruciato per produzione en. elettrica e termica
Residui	Scorie o ceneri pesanti (15 – 35%) Ceneri leggere (1,5 – 6%) Fanghi trattamento acque reflue (1 – 15 kg/t _{rifiuti})	Char/Ceneri pesanti (fino al 30%) Ceneri leggere (1 – 3%) Fanghi trattamento acque reflue (fino a 40 kg/t _{rifiuti})
Applicazioni	Waste-to-Energy	<ul style="list-style-type: none">• Waste-to-Energy• Waste-to-Chemicals• Waste-to-H₂

COMBUSTIONE VS GASSIFICAZIONE

Altri input	Aria di combustione	Agente gassificante (aria/ossigeno/vapore) Vapore per upgrade <i>syngas</i>
	Energia elettrica	
	Gas naturale o altro combustibile	
	Servizi ausiliari: aria compressa; produzione acqua di processo/demineralizzata	

ANALISI ECONOMICA

IPOTESI

- Taglia impianto 100.000 t_{rifiuti}/anno (potenza: 48 MW, PCI_{rifiuti}: 13 MJ/kg, ore di funzionamento: 7.500 h/anno)
- Rifiuti da trattare: circa 80.000 t_{rifiuti}/anno
- Ciclo vita impianto: 20 anni

Prezzi di vendita

- Energia elettrica: 212 €/MWh (prezzo medio di acquisto sul Mercato del Giorno Prima, ottobre 2022)
- Energia termica: 106 – 134 €/MWh (quota en. termica per fornitura teleriscaldamento A2A S.p.A., ottobre 2022)
- MeOH: 364 €/t (prezzo di mercato)
- DME: 914 €/t (pari al prezzo del gasolio per MWh, 116 €/MWh)
- EtOH: 839 €/t (prezzo di mercato)
- H₂: 3 – 5 €/kg

ANALISI ECONOMICA

	Impianto di termovalorizzazione (combustione)	Impianto di gassificazione			
		Produzione MeOH	Produzione DME	Produzione EtOH	Produzione H ₂
CapEx	≈ 116,4 Mio EUR	130,0 – 145,0 Mio EUR	110,0 – 150,0 Mio EUR	134,5 – 156,0 Mio EUR	80,0 – 100,0 Mio EUR
Costo totale impianto *	≈ 154,8 Mio EUR	172,9 – 192,9 Mio EUR	146,3 – 199,5 Mio EUR	178,9 – 207,5 Mio EUR	106,4 – 133,0 Mio EUR
OpEx (annuali)	4,7 – 10,9 Mio EUR/anno	8,0 – 10,0 Mio EUR/anno	8,0 – 10,0 Mio EUR/anno	8,0 – 10,0 Mio EUR/anno	6 – 8 Mio EUR/anno
Produzione	30.000 MWh _{th} /anno	33.600 – 48.000 t _{MeOH} /anno	18.800 – 21.900 t _{DME} /anno	fino a 23.800 t _{EtOH} /anno	4.200 – 4.500 t _{H2} /anno
	91.506 – 178.662 MWh _{el} /anno				
Corrispettivo fossile	-	<u>Benzina:</u> 15.100 – 21.500 t/anno	<u>Gasolio:</u> 12.400 – 14.400 t/anno	<u>Benzina:</u> 14.500 t/anno	<u>Gas naturale:</u> 15.300.000 – 16.400.000 Nm ³ /anno
Stima ricavi da vendita prodotto finale	21 – 24 Mio EUR/anno	12,2 – 17,5 Mio EUR/anno	17,1 – 20,0 Mio EUR/anno	fino a 20,0 Mio EUR/anno	12,6 – 22,5 Mio EUR/anno

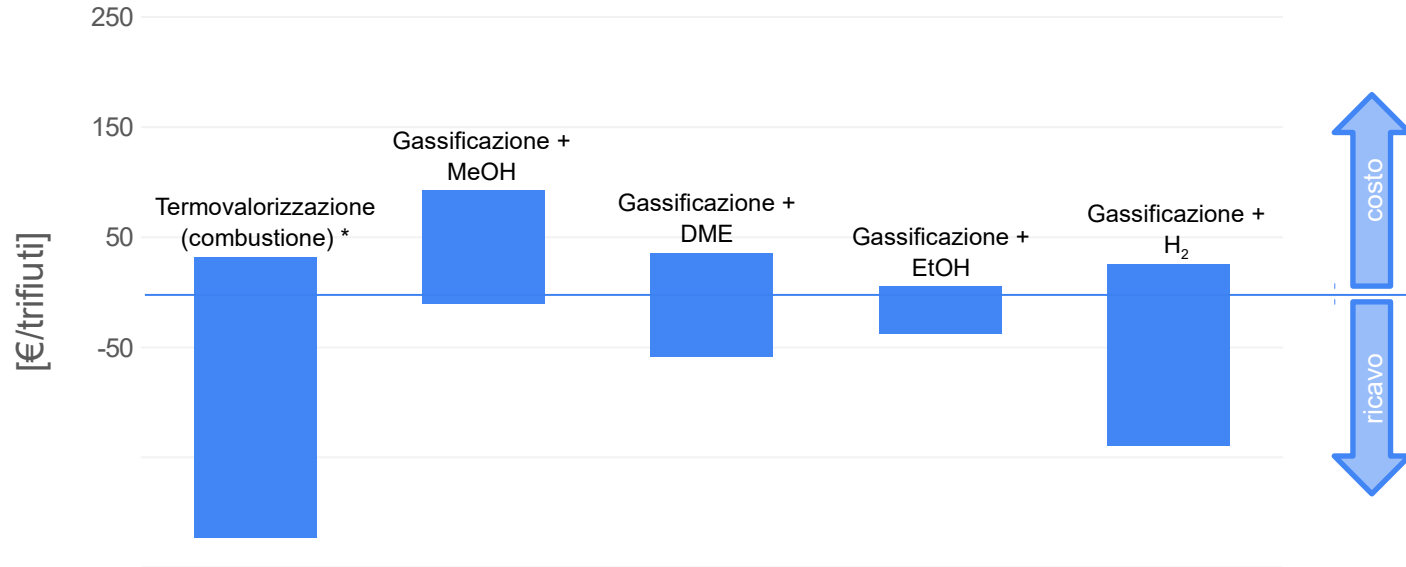
* Costo totale impianto: CapEx, costi di installazione, costi indiretti, contingenze, altri costi non previsti

ANALISI ECONOMICA

	Impianto di termovalorizzazione (combustione)	Impianto di gassificazione			
		Produzione MeOH	Produzione DME	Produzione EtOH	Produzione H ₂
Total Cost of Ownership	12,4 – 18,6 Mio EUR/anno	16,6 – 19,6 Mio EUR/anno	15,3 – 20,0 Mio EUR/anno	16,9 – 20,4 Mio EUR/anno	11,3 – 14,7 Mio EUR/anno
Costo impianto per tonnellata di rifiuti	155 – 233 €/t _{rifiuti}	208 – 246 €/t _{rifiuti}	191 – 250 €/t _{rifiuti}	212 – 255 €/t _{rifiuti}	142 – 183 €/t _{rifiuti}
Costo impianto per tonnellata di rifiuti al netto dei ricavi	[-150] ÷ [-25] €/t _{rifiuti}	[-10] ÷ [+93] €/t _{rifiuti}	[-59] ÷ [+36] €/t _{rifiuti}	[-38] ÷ [+5] €/t _{rifiuti}	[-140] ÷ [+26] €/t _{rifiuti}

ANALISI ECONOMICA

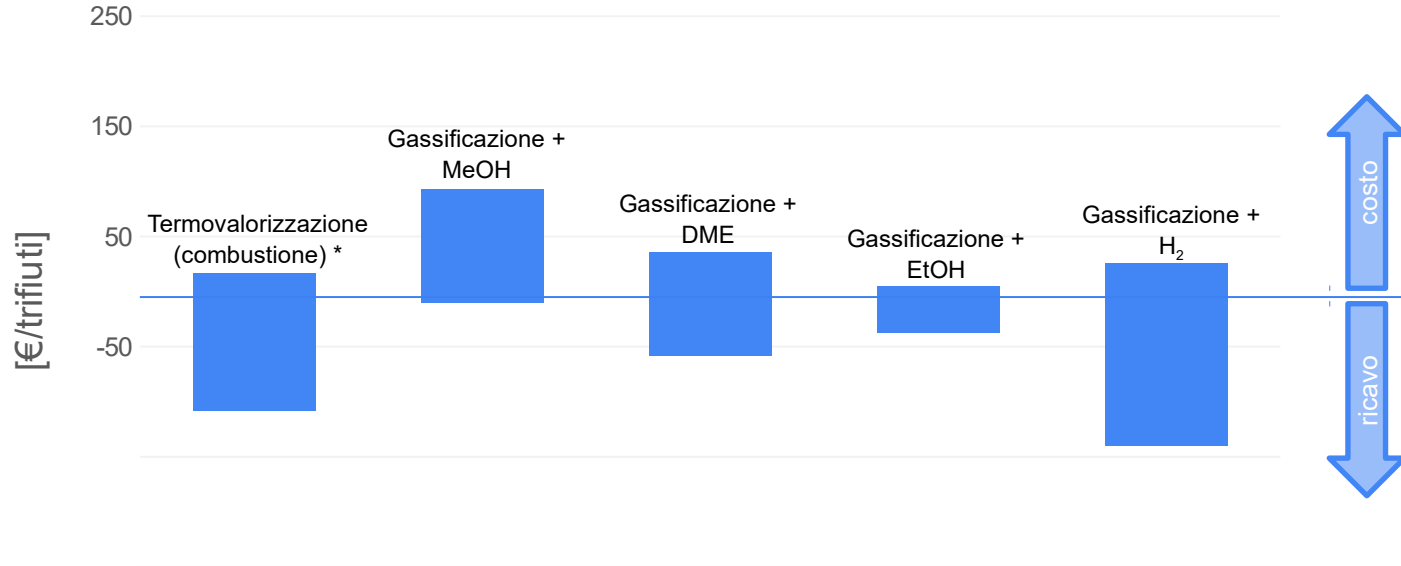
Total Cost of Ownership per tonnellata di rifiuti



* Prezzo di vendita energia elettrica: 212 €/MWh

ANALISI ECONOMICA

Total Cost of Ownership per tonnellata di rifiuti



* Prezzo di vendita energia elettrica: 100 €/MWh

OSSERVAZIONI

- Una accurata valutazione degli scenari che prevedono la realizzazione di un impianto di trattamento e conversione energetica dei rifiuti non può prescindere da un'analisi completa del rifiuto urbano da destinare a trattamento (es. PCI, umidità). Sono inoltre da valutare attentamente sia l'**impatto ambientale** sia i potenziali **benefici sul medio-lungo periodo**.
- Le tecnologie Waste-to-Energy, Waste-to-Chemicals e Waste-to-H2 individuate a livello commerciale per la conversione termo-chimica dei rifiuti tramite gassificazione trattano annualmente fino a **20.000 – 200.000 tonnellate di rifiuti**. Nella maggior parte dei casi si tratta di **impianti modulabili** (possibilità di realizzare più linee parallele da 20.000 t/anno o più).
- Analizzando gli scenari considerati per la Provincia Autonoma di Trento, si può considerare un eventuale impianto locale di conversione energetica dei rifiuti di taglia massima da 48 MW (max. 100.000 t_{rifiuti}/anno), per il trattamento di **80.000 t_{rifiuti}/anno**, sfruttando l'eccesso di potenza installata per interventi di manutenzione e/o per gestire flussi di rifiuti temporanei o non previsti.
- La conversione energetica dei rifiuti per la **produzione di energia elettrica/termica o di bio-combustibili** può risultare molto vantaggiosa anche dal punto di vista economico. È necessaria, tuttavia, una specifica e attenta valutazione economica, che dipende molto dai costi degli input energetici (energia elettrica, gas naturale) e dai prezzi di vendita dei prodotti finali (metanolo, DME, etanolo, idrogeno).