

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale  
«Il Recupero Energetico da Rifiuti  
Urbani»***

Tutor universitario:

Prof. Stoppato Anna

Padova, 13/07/2023

Laureando:

*Botter Detto Martinazzi Mattia*

Waste-to-Energy (WTE) → produzione di energia elettrica e/o calore dalla combustione dei RSU (rifiuti solidi urbani), tramite termovalorizzatori, con ruolo di

- **Fornitura di energia a livello locale**
- **Smaltimento di rifiuti non riciclabili**

I RSU sono molto eterogenei, con **LHV= 8-12 MJ/Kg** → sistemi di depurazione dei fumi e di combustione molto avanzati

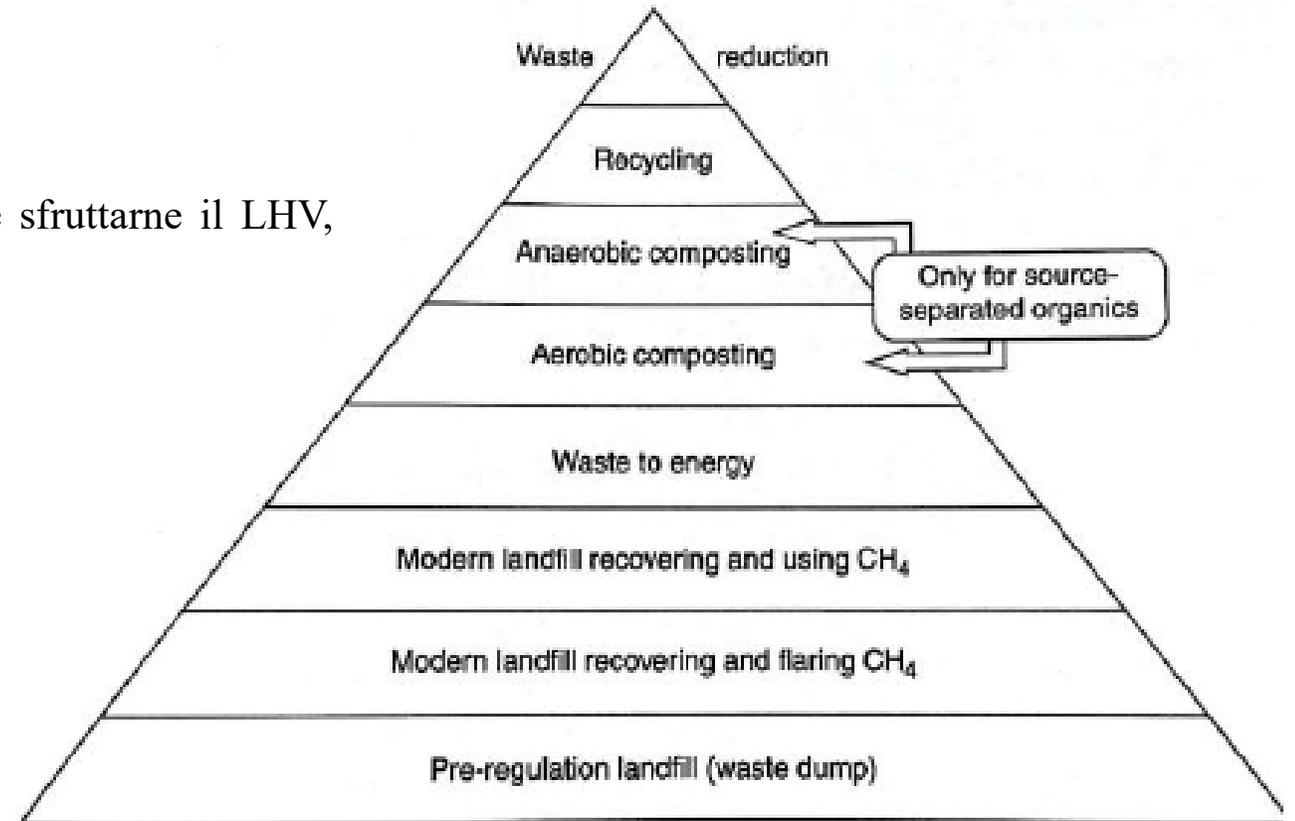


*Energy Ring di Shenzhen (credit: Babcock & Wilcox) e CopenHill (credit: DirectIndustry)*

Trattazione della tecnologia WTE sotto vari aspetti, in un'ottica di ciclo vita:

1. **aspetti generali ed economici e ruolo del WTE**
2. **aspetti impiantistici** (configurazioni della camera di combustione e confronto output di sola energia elettrica o CHP)
3. **l'impatto ambientale del WTE** (controllo ed abbattimento delle specie inquinanti emesse, emissioni di gas serra)

- WTE concentrato in paesi sviluppati → **15 GWe** installati nel mondo
- Alti costi di investimento  $\approx 6000\text{€}/\text{KW}$
- Ruolo gerarchico WTE → minimizzare il volume dei RSU e sfruttarne il LHV, recupero ulteriore di alcuni materiali
- Combustibile:
  - RSU
  - RSU + rifiuti speciali non pericolosi
  - RDF (*Refuse-Derived Fuel*)



Suddivisione impianti:

1. Configurazione **scambio termico acqua-fumi**:
  - Impianti con caldaie refrattarie
  - Impianti con caldaie a tubi vaporizzatori
2. **Combustibile usato e modalità di incenerimento**:
  - Caldaia tradizionale (“Mass Burn”)
  - Caldaia a RDF
  - Caldaia modulare (Mass Burn in miniatura)

La combustione deve rispettare le 3T:

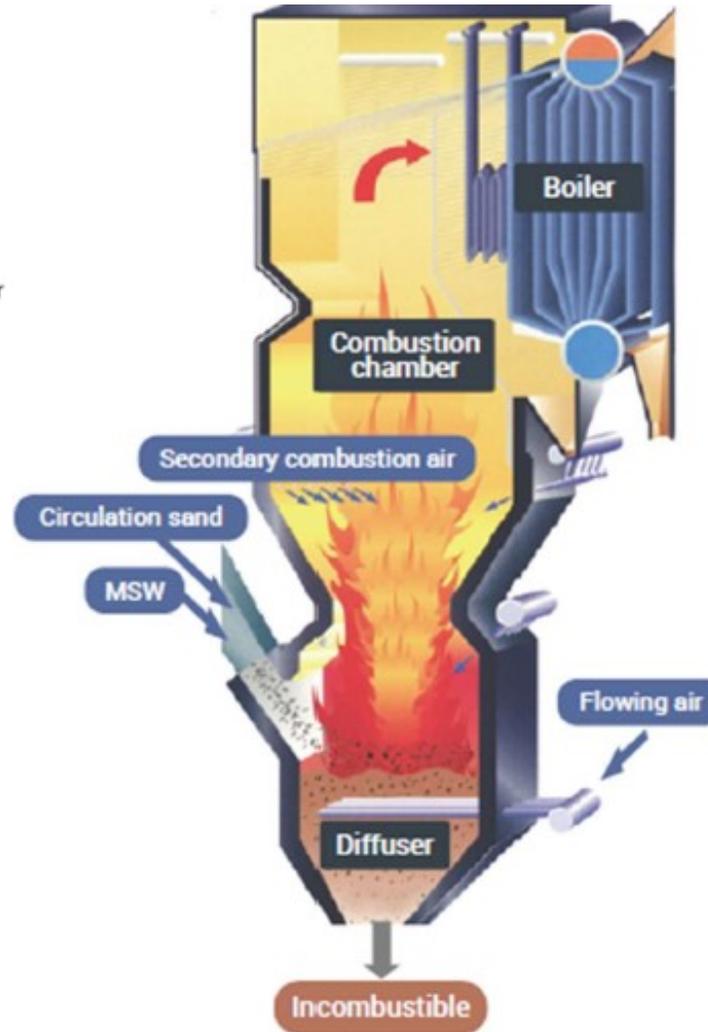
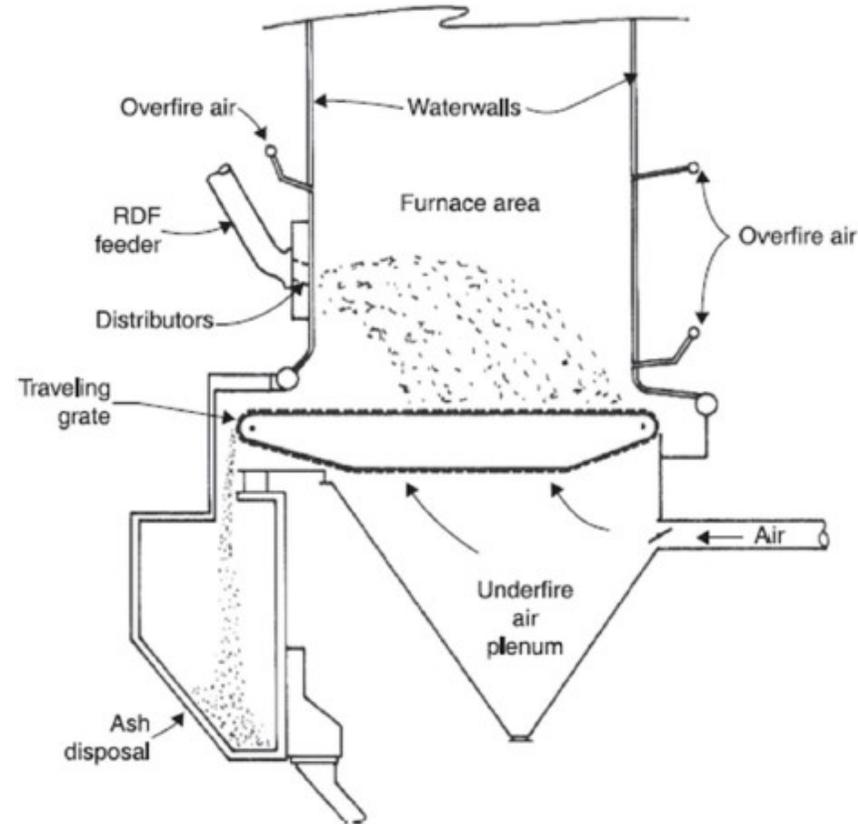
T **Tempo di residenza** (30-60 min per i RSU, 2 secondi per i fumi)

T **Temperatura** di 850-950°C

T **Turbolenza** (organi in movimento o un letto fluido)

- fouling e corrosione da gas acidi → vapore generato a **50-70 bar / 380-450°C**





- ✓ LHV = 12-21 MJ/Kg
  - ✓ Minori eccessi d'aria
  - ✓ Recupero di certi materiali ancora riciclabili
  - ✓ Adatto a gassificazione, pirolisi, co-firing con combustibili fossili o biomasse
- x Dispendio di tanta più energia quanti più sono i pre-trattamenti
  - x Maggiori costi

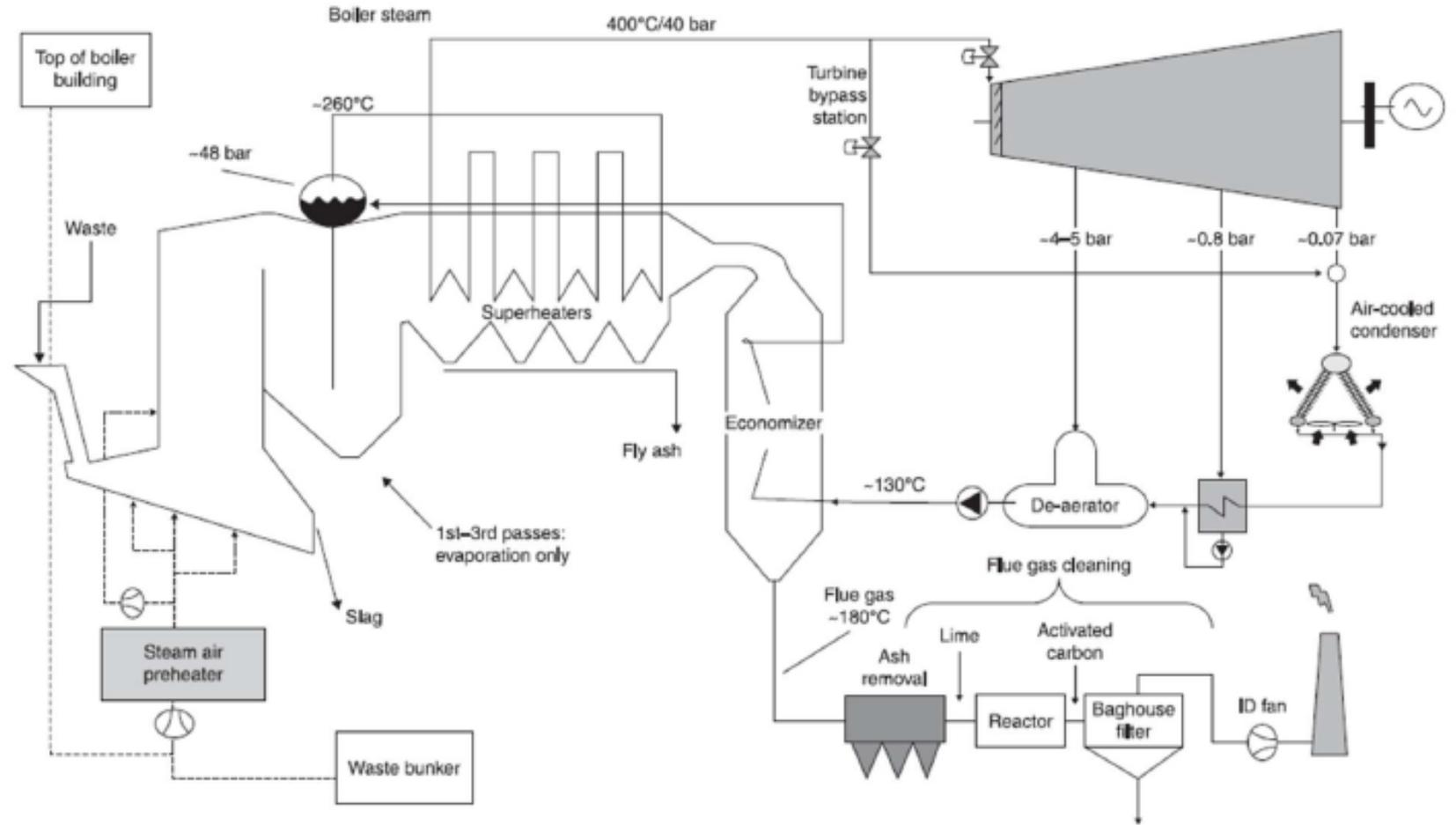
Tecnologia	$\eta$ termico dei generatori di vapore [%]	Eccesso d'aria [%]	Costo dell'investimento iniziale (range indicativo) [M€]
RDF (traveling)	72-75	30-50	maggiore a pari potenza con Mass Burn
Mass Burn	68-75	50-100	60-750
Modulare	55-65	100-150	3,5-30

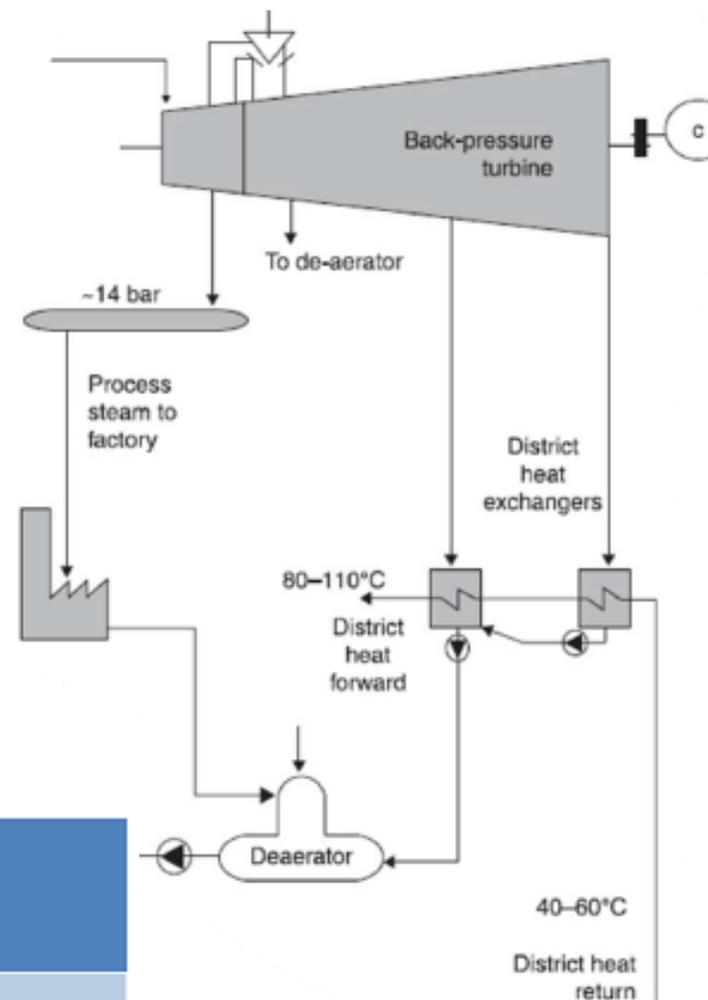
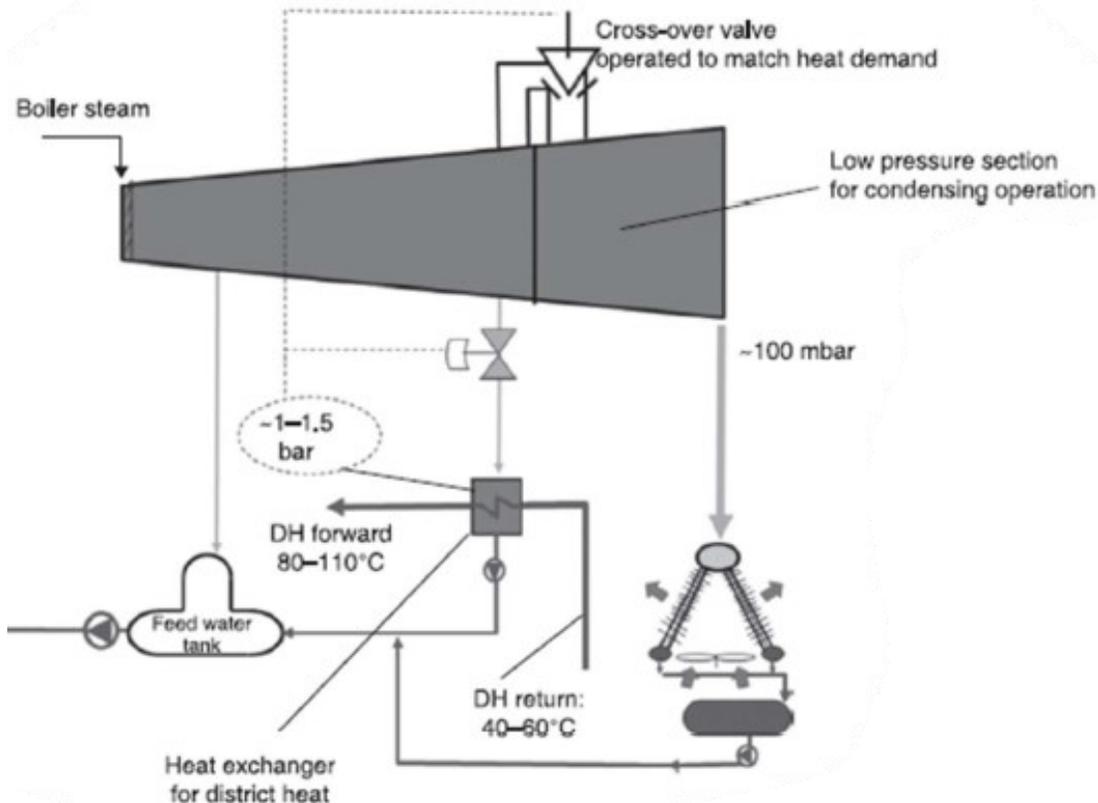
- Sola produzione di energia elettrica (EO) o cogenerativa (CHP)
- CHP → peggioramento produzione elettrica per un impianto a vapore
- Parametri di analisi (rif. Mass Burn)

$$\eta = \frac{P}{Q_1}$$

$$\eta_t = \frac{Q}{Q_1}$$

$$\varepsilon = \frac{P + Q}{Q_1}$$





Soluzioni impiantistiche per 100MWt di potenza	$\eta$ [%]	$\eta_t$ [%]	$\epsilon$ [%]
solo energia elettrica (EO)	20-30	0	20-30
CHP a derivazione e condensazione	20-30 (< EO se è attiva CHP)	50-60	≈ 80
CHP in contropressione	15-20	65-70	≈ 85

Impianti CHP con turbina a vapore a derivazione e condensazione (sinistra) e in contropressione (a destra)

Il sistema di Air Pollution Control (APC) comprende:

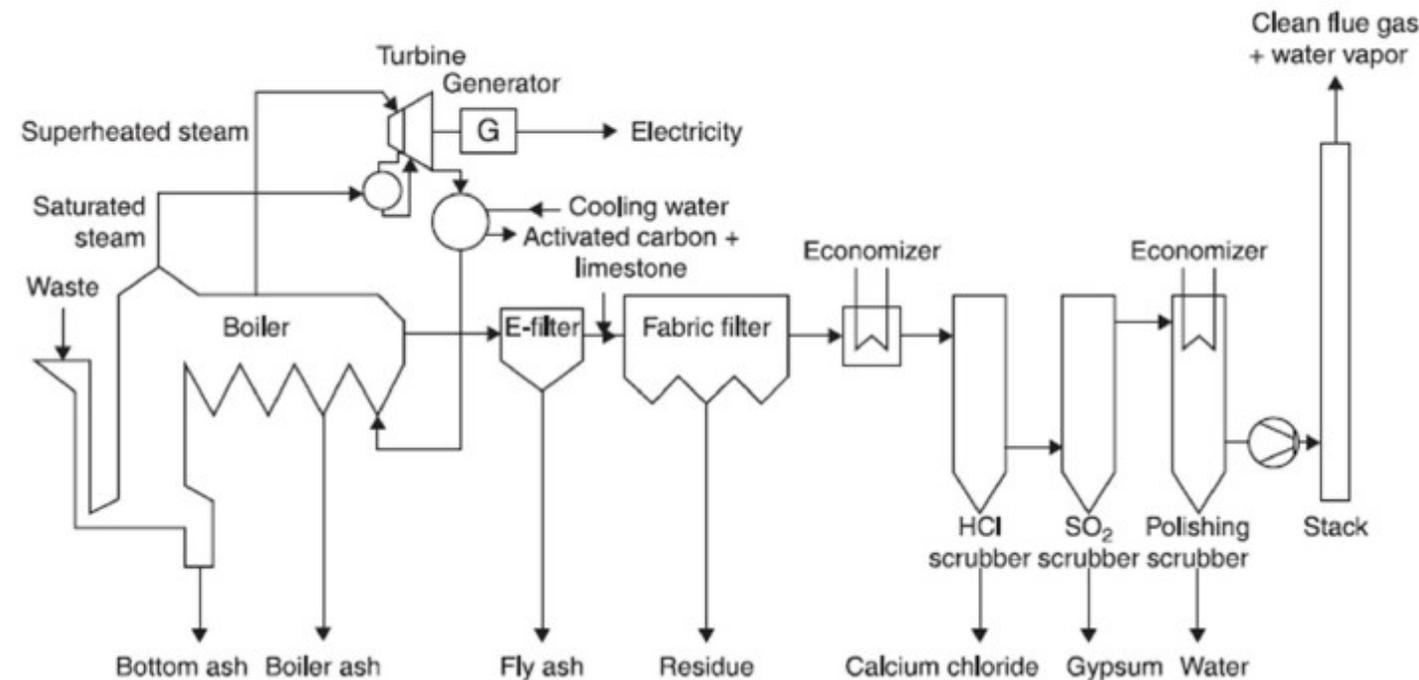
- Abbattimento gas acidi (HF, HCl, SO<sub>x</sub>) → sistemi neutralizzanti a **umido, a semisecco o secco**
- Abbattimento Hg e PCDD/F → iniezione di **carboni attivi** adsorbenti e cattura nei filtri
- Abbattimento PM → **precipitatori elettrostatici e filtri a manica**, o soli **filtri a manica**
- Controllo di PCDD/F, PICs e CO → **3T** e prevenzione *sintesi de novo*
- Controllo NO<sub>x</sub> → riduzione eccesso d'aria e ricircolo fumi in CDC

➤ Abbattimento NO<sub>x</sub>

- SNCR
- SCR

➤ Trattamento effluenti e acque di spegnimento scorie → ricircolo interno, o sottoposti a precipitazione e scaricati

➤ Trattamento PM e fanghi da sistemi a umido → inertizzazione e smaltimento in discarica



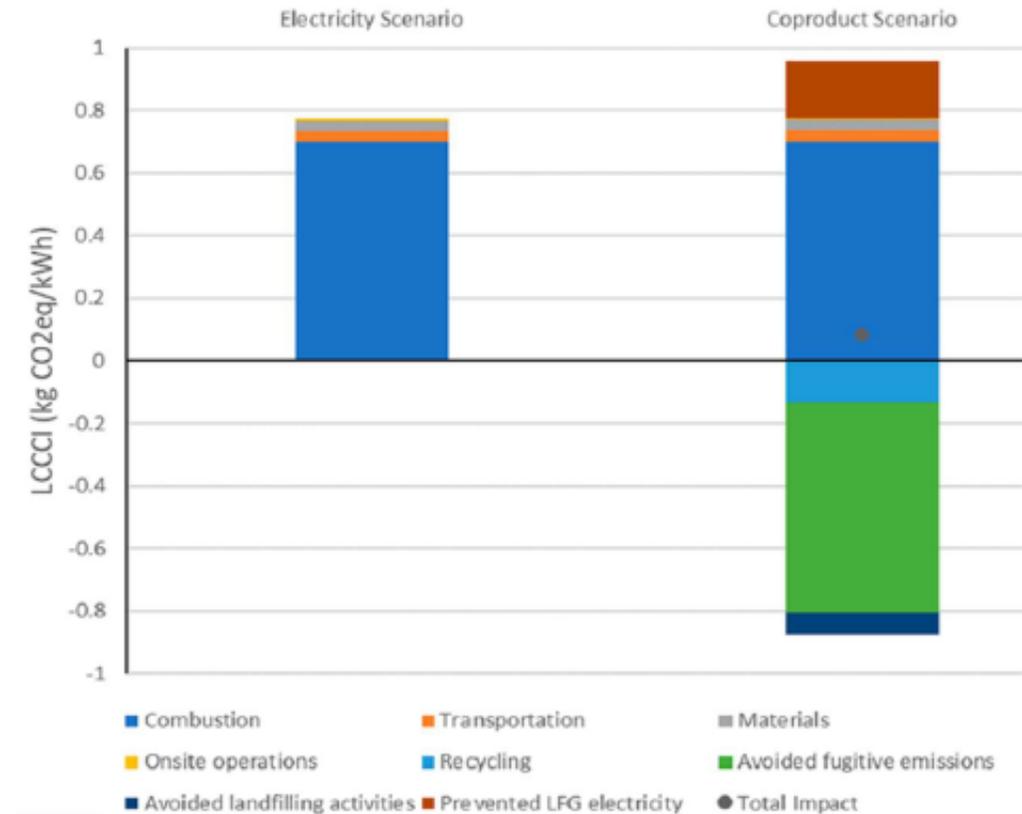
C nei RSU → 60-80% Biogenico + 20-40% Fossile → WTE  
parzialmente rinnovabile → analisi emissioni tramite due studi

## 1. Due scenari WTE:

- *electricity scenario* → **0,664 - 0,951 KgCO<sub>2</sub>eq/KWh**
- *coproduct scenario* → **-0,280 - 0,593 KgCO<sub>2</sub>eq/KWh**

## 2. Confronto WTE e LFGTE (*landfill gas-to-energy*.)

assunto CF=91%	Energia elettrica ricavata dalla combustione per tonnellata di RSU [KWh/ton]	Emissioni climalteranti assolute per unità di energia elettrica prodotta [KgCO <sub>2</sub> eq/KWh]
<b>WTE</b>	470-930	0,4-1,5
<b>LFGTE</b>	41-84	2,3-5,5



Credit: Climate Change Impacts Of Electricity Generated at a Waste-to-energy Facility, Pfadt-Trilling, Volk, Fortier, 2021; Is It Better To Burn Or Bury Waste For Clean Electricity Generation, Kaplan, Decarolis, Thornloe, 2009

## ASPETTI POSITIVI

- ✓ Riduzione **volume** dei RSU del 90%; **scorie riutilizzabili** come inerte e **recupero** materiali
- ✓ Combustibile di **scarto** non riciclabile
- ✓ Riduzione di **inquinamento atmosferico** ed **emissioni di gas serra** rispetto a discariche e fonti di energia fossili
- ✓ Possibilità di incenerire certi **rifiuti speciali non pericolosi**
- ✓ Riduzione di **inquinamento delle acque e del suolo**, e del **suo utilizzo**, rispetto alle discariche

## ASPETTI NEGATIVI

- x **Costi elevati**
- x Possibile **opposizione spesso infondata** da parte della popolazione civile
- x Costante alimento e controllo delle emissioni per il sistema **APC**
- x Generazione di **rifiuti speciali e pericolosi** da trattare