

Seminario tecnico-scientifico TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

7 ottobre 2025 - 14.00-18.00

Sala Convegni – Università degli studi di Roma Tor Vergata
via del Politecnico, 1 - Roma

Raccolta delle presentazioni dei relatori

Il seminario tecnico-scientifico, analizza i diversi tipi di processi che possono essere applicati per recuperare energia e altri prodotti valorizzabili dai rifiuti attraverso processi termici, termochimici o biologici. L'applicabilità dei suddetti processi è discussa sulla base delle caratteristiche dei flussi di rifiuti in alimentazione e dei prodotti desiderati. Sono esaminati diversi schemi di processi di riciclo bio-chimico, inclusa la produzione di bioidrogeno attraverso il trattamento biologico di alcuni flussi di rifiuti organici. Nello specifico, sono presentati e discussi i risultati di alcuni progetti Rome Technopole riguardanti la pirolisi di diverse tipologie di plastiche a base fossile e bio-based e di riciclo bio-chimico di rifiuti. Vengono condivise le esperienze delle aziende che gestiscono impianti dimostrativi o su scala reale.

FOCUS

Caratteristiche dei rifiuti valorizzabili

Francesco Lombardi – Università degli Studi di Roma Tor Vergata – Vice Presidente ATIA ISWA ITALIA

Tecnologie per il trattamento e valorizzazione del residuo solido secco: confronto ambientale ed economico

Luca Andreassi – Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Il riciclo chimico da rifiuti urbani

Federico Viganó – Politecnico di Milano

La filiera di produzione di bioidrogeno

Alessandra Poletti – Università degli Studi di Roma Sapienza

Pianificazione Nazionale nell'ottica delle nuove tecnologie

Elisabetta Perrotta – Assoambiente

PROGETTI NELL'AMBITO DELLA RICERCA DI ROME TECHNOPOLE

Processi integrati di recupero di materiali ed energia da biomassa residuale e da rifiuti organici ed inorganici

Stefano Cordiner – Università degli Studi di Roma Tor Vergata

Thermal and Electrified Pyrolysis for Plastic Waste Valorization: pathways towards Circular Economy and Low-Carbon Fuels

Valentina Segneri – Università degli Studi di Roma Sapienza

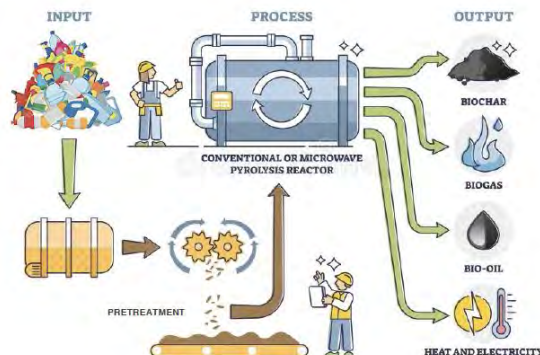
ESPERIENZE APPLICATIVE

A2A SpA – Simone Malvezzi;

HERAMBIENTE SpA – Maurizio Giani;

RESET SpA – Luigi Iannitti

con il patrocinio di



con il patrocinio di

Seminario tecnico-scientifico

TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

7 ottobre 2025 - 14.00-18.00

*Sala Convegni – Università degli studi di Roma Tor Vergata
via del Politecnico, 1 - Roma*

CARATTERISTICHE DEI RIFIUTI VALORIZZABILI

Francesco Lombardi

Professore Ordinario di Ingegneria Sanitaria Ambientale
Docente di Impianti di trattamento dei rifiuti

+39 (06) 72.59.7023

lombardi@ing.uniroma2.it

<https://web.uniroma2.it>



Un **rifiuto**, per legge, è:
*qualsiasi sostanza od oggetto di cui il
detentore si **disfi** o **abbia l'intenzione** o
abbia l'obbligo di disfarsi*



INTRODUZIONE

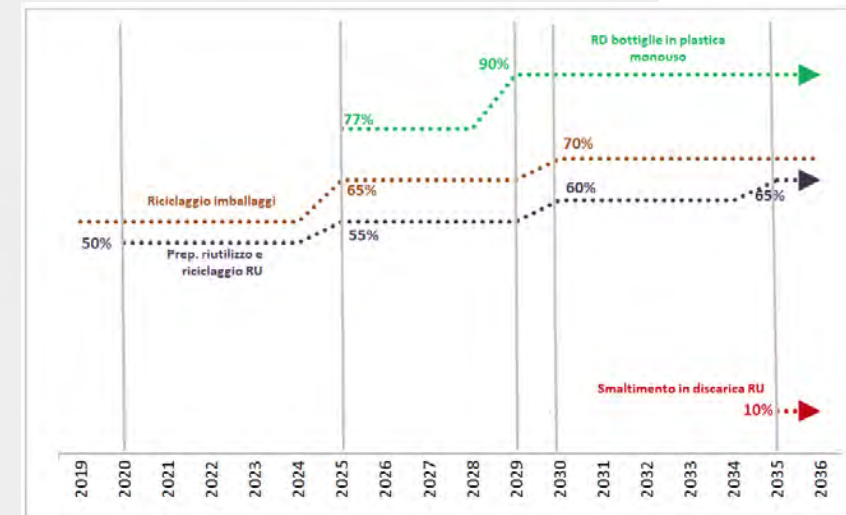
Common EU target for recycling 65%
of municipal waste by 2030



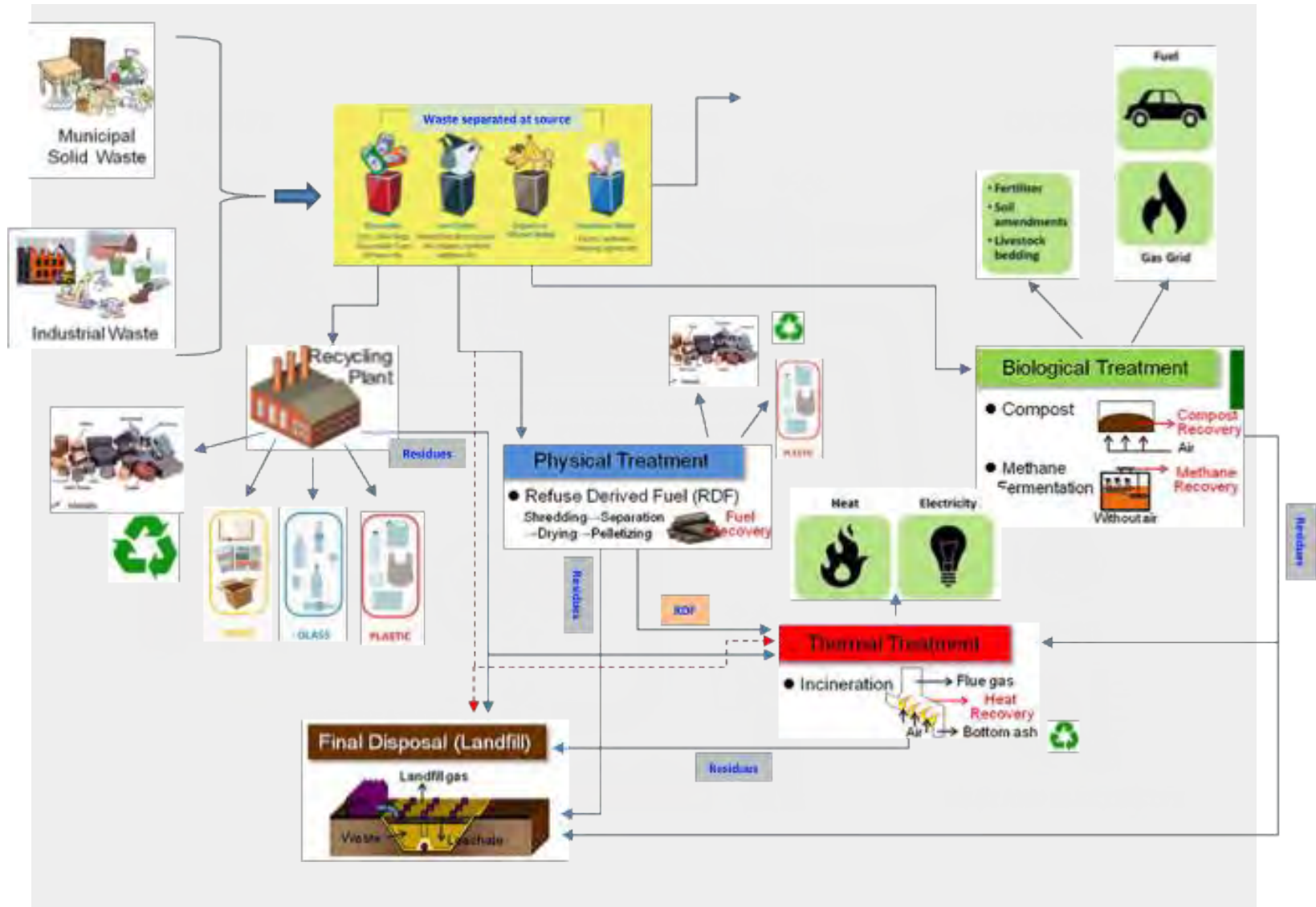
New binding target to reduce landfill to
10% of municipal waste by 2030



Common EU target for recycling 75%
of packaging waste by 2030



Fonte: elaborazione ISPRA



i rifiuti – classificazione per origine

rifiuti urbani

rifiuti speciali

i rifiuti – classificazione (normativa)

20	RIFIUTI URBANI (RIFIUTI DOMESTICI E ASSIMILABILI PRODOTTI DA ATTIVITÀ COMMERCIALI E INDUSTRIALI NONCHÉ DALLE ISTITUZIONI (INCLUSI I RIFIUTI DELLA RACCOLTA DIFFERENZIATA)			
20 01	Frazioni oggetto di raccolta differenziata (tranne 1501)			
	20 01 01	carta e cartone	NP	
	20 01 02	vetro	NP	
	20 01 08	rifiuti biodegradabili di cucine e mense	NP	
	20 01 10	abbigliamento	NP	
	20 01 11	prodotti tessili	NP	
20 01 13	*	solventi	P	
20 01 14	*	acidi	P	
20 01 15	*	sostanze alcaline	P	
20 01 17	*	prodotti fotochimici	P	
20 01 19	*	pesticidi	P	
20 01 21	*	tubi fluorescenti ed altri rifiuti contenenti mercurio	P	
20 01 23	*	apparecchiature fuori uso contenenti clorofluorocarburi	P	
	20 01 25	oli e grassi commestibili	NP (A)	
20 01 26	*	oli e grassi diversi da quelli di cui alla voce 20 01 25	P (A)	
20 01 27	*	vernici, inchiostri, adesivi e resine contenenti sostanze pericolose	SP	20 01 28 vernici, inchiostri, adesivi e resine diversi da quelli di cui alla voce 20 01 27 SNP
20 01 29	*	detergenti contenenti sostanze pericolose	SP	20 01 30 detergenti diversi da quelli di cui alla voce 20 01 29 SNP
20 01 31	*	medicinali citotossici e citostatici	P (A)	

	20 01 32	medicinali diversi da quelli di cui alla voce 20 01 31	NP (A)	
20 01 33	*	batterie e accumulatori di cui alle voci 16 06 01, 16 06 02 e 16 06 03 nonché batterie e accumulatori non suddivisi contenenti tali batterie	P (A)	
	20 01 34	batterie e accumulatori diversi da quelli di cui alla voce 20 01 33	NP (A)	
20 01 35	*	apparecchiature elettriche ed elettroniche fuori uso, diverse da quelle di cui alla voce 20 01 21 e 20 01 23, contenenti componenti pericolosi (1) (1) Fra i componenti pericolosi di apparecchiature elettriche ed elettroniche possono rientrare gli accumulatori e le batterie di cui alle voci 16 06, contrassegnati come pericolosi, commutatori a mercurio, vetri di tubi a raggi catodici ed altri vetri radioattivi ecc.	P (A)	
	20 01 36	apparecchiature elettriche ed elettroniche fuori uso, diverse da quelle di cui alle voci 20 01 21, 20 01 23 e 20 01 35	NP (A)	
20 01 37	*	legno, contenente sostanze pericolose	SP	20 01 38 legno, diverso da quello di cui alla voce 20 01 37 SNP
	20 01 39	plastica	NP	
	20 01 40	metallo	NP	
	20 01 41	rifiuti prodotti dalla pulizia di camini e ciminiere	NP	
	20 01 99	altre frazioni non specificate altrimenti	NP	

20 02	Rifiuti prodotti da giardini e parchi (inclusi i rifiuti provenienti da cimiteri)		
	20 02 01	rifiuti biodegradabili	NP
	20 02 02	terra e roccia	NP
	20 02 03	altri rifiuti non biodegradabili	NP
20 03	Altri rifiuti urbani		
	20 03 01	rifiuti urbani non differenziati	NP
	20 03 02	rifiuti dei mercati	NP
	20 03 03	residui della pulizia stradale	NP
	20 03 04	fanghi delle fosse settiche	NP
	20 03 06	rifiuti della pulizia delle fognature	NP
	20 03 07	rifiuti ingombranti	NP
	20 03 99	rifiuti urbani non specificati altrimenti	NP



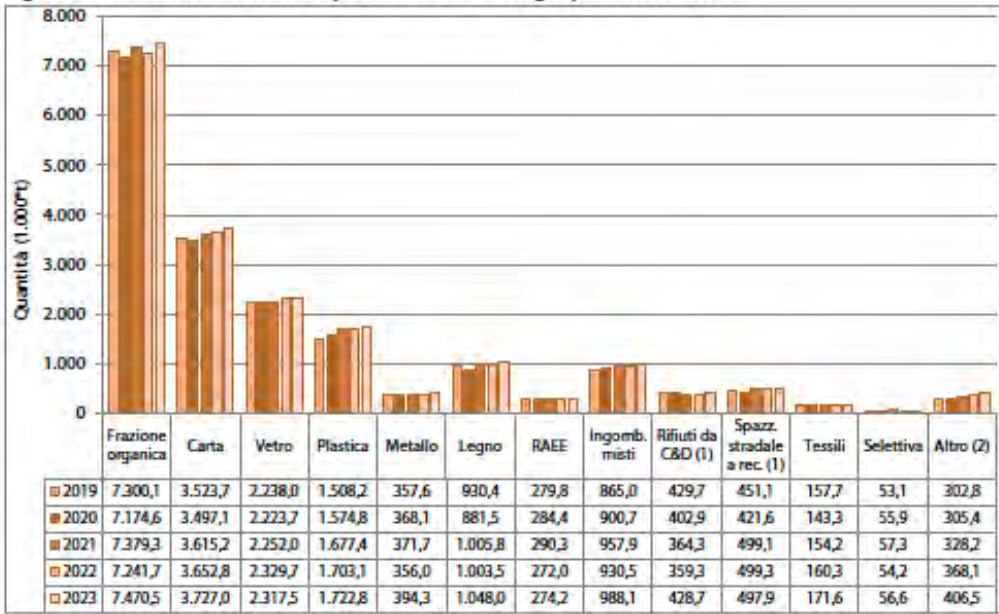
Attribuzione del codice EER

i rifiuti – caratterizzazione in relazione alla raccolta e al trattamento

raccolta differenziata



Figura 2.11 – Raccolta differenziata per frazione merceologica, anni 2019 – 2023



FONTE ISPRA 2024

i rifiuti – caratterizzazione per metodo di trattamento

Riusabili/riutilizzabili	riciclabili	recuperabili energeticamente	smaltibili
Preparazione al riuso con prolungamento del ciclo di vita	Recupero di materia: Carta, vetro, metalli, plastica .. ; Recupero per biodegradabilità Biometano, compost ..	Recupero di energia in impianti WTE ... Recupero per biodegradabilità di biogas con produzione di energia	Trattamenti di riduzione volumetrica e/o della pericolosità Smaltimento in discarica termodistruzione

Analisi merceologica dei RU

Codice	Categorie	Codice	Sottocategorie
SV	sottovaglio	SV 1	> 10 mm
		SV 2	10-5 mm, 5-3 mm
		SV 3	< 3 mm
OR	organico	OR 1	putrescibile da cucina
		OR 2	putrescibile da giardino
		OR 3	giardino
		OR 4	altro
CT	carta	CT 1	imballaggi
		CT 2	giornali, riviste
		CT 3	altro
CN	cartone	CN 1	cartone da imballo ondulato
		CN 2	cartone da imballo liscio
		CN 3	altro
PT	poliaccoppiati	PT 1	imballaggi poliaccoppiati in cartone
		PT 2	altri imballaggi poliaccoppiati
		PT 3	altri poliaccoppiati non da imballaggio
TE	tessili	TE 1	tessili naturali e sintetici
		TE 2	imballi tessili

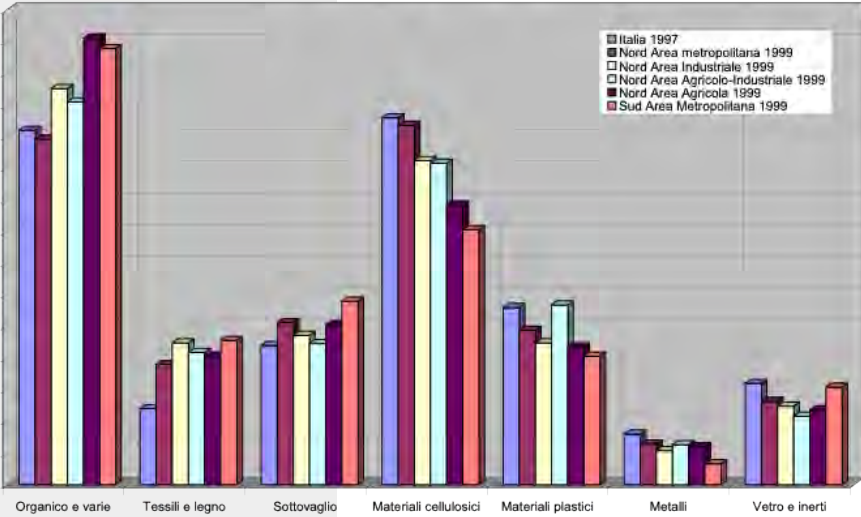
FONTE ANPA 2000

GO	gomma	GO1	di origine domestica
		GO2	pneumatici
VE	vetro	VE 1	vetro trasparente
		VE 2	vetro colorato
		VE 3	altro vetro
ME	metalli	ME 1	metalli ferrosi
		ME 2	altri metalli ferrosi
		ME 3	alluminio
		ME 4	alluminio lamine
		ME 5	altri metalli non ferrosi
IN	inerti	IN	inerti
PE	pericolosi	PE 1	pitture, vernici, colle, resine
		PE 2	solventi
		PE 3	prodotti chimici
		PE 4	tubi fluorescenti
		PE 5	pile e batterie
		PE 6	altri pericolosi
LE	legno	LE	legno
PC	pelle e cuoio	PC	pelle e cuoio
ANC	altro non classificabile	ANC	altro non classificabile

Tabella 3.1 – Composizione merceologica dei rifiuti urbani stimata da ISPRA (media periodo 2009 - 2022*)

Frazione merceologica	Nord	Centro	Sud	Italia
	(%)			
Frazione organica (umido + verde)	34,0	30,5	38,9	34,7
Carta e cartone	21,4	24,3	20,8	21,8
Plastica	11,9	14,5	13,0	12,8
Metalli	2,4	2,5	2,3	2,4
Vetro	9,8	6,9	7,4	8,3
Legno	4,9	2,8	1,9	3,5
RAEE	-	-	-	1,0
Tessili	-	-	-	4,3
Materiali inerti/spazzamento	-	-	-	0,7
Selettiva	-	-	-	0,3
Pannolini/materiali assorbenti	-	-	-	4,8
Altro	-	-	-	5,4
Totale				100,0

FONTE ISPRA 2024



VALUTAZIONE DEI FLUSSI DI RU, RD, RESIDUALI E RD RICICLATI – Scenari



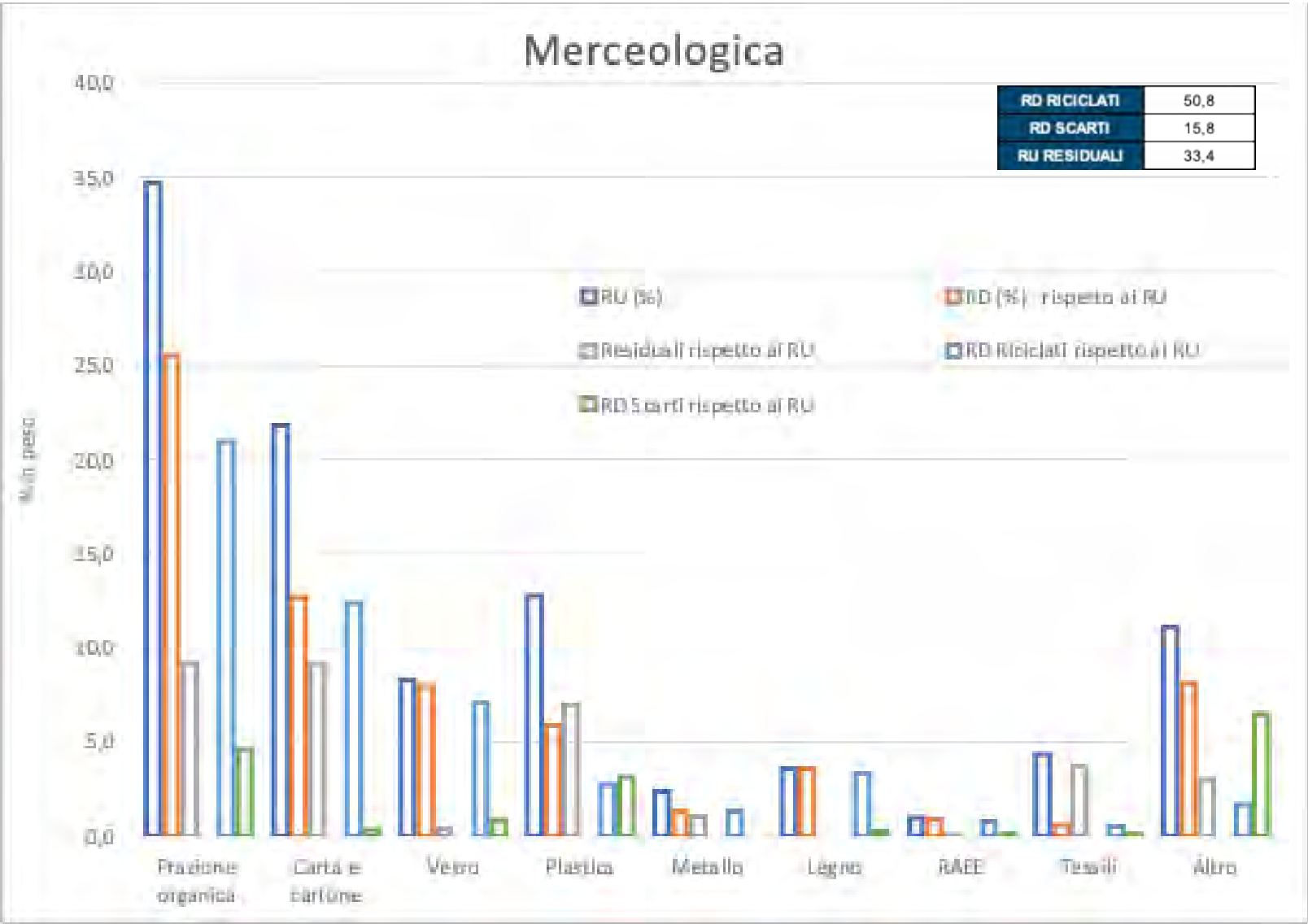
Scenario 2023				
Frazione merceologica	Rese 2023 Quantità (%)	Indifferenziato 2023 Quantità (%)	Riciclato 2023 Quantità (%)	Scarti rispetto alla RD_2023 Quantità (%)
FO	73,6	26,4	60,3	18,0
Carta	58,4	41,6	56,9	2,7
Vetro	95,4	4,6	85,1	10,8
Plastica	46,0	54,0	21,4	53,4
Metallo	56,1	43,9	56,1	0,0
Legno	100,0	0,0	93,6	6,4
RAEE	93,7	6,3	81,3	13,2
Tessili	13,6	86,4	11,8	13,4
Altro	73,1	26,9	14,8	79,7
Totale (rif. RU)	66,6	33,4	50,8	23,8

Scenario 2035_0			
Rese RU_2035_0 Quantità (%)	Indifferenziato RU_2035_0 Quantità (%)	Riciclato RU_2035_0 Quantità (%)	Scarti rispetto al RD_2035_0 Quantità (%)
95,0	1,7	27,0	18,0
85,0	3,3	18,0	2,7
96,0	0,3	7,1	10,8
50,0	6,4	3,0	53,4
80,0	0,5	1,9	0,0
100,0	0,0	3,4	6,4
93,7	0,1	0,8	13,2
60,0	1,7	2,2	13,4
80,0	2,2	1,8	79,7
83,8	16,2	65,3	22,1

Scenario 2035_1			
Rese RU_2035_1 Quantità (%)	Indifferenziato RU_2035_1 Quantità (%)	Riciclato RU_2035_1 Quantità (%)	Scarti rispetto al RD_2035_1 Quantità (%)
85,0	5,2	27,1	8,0
60,0	7,6	13,8	2,7
98,0	0,2	7,5	8,0
50,0	6,4	5,1	20,0
80,0	0,5	1,9	0,0
100,0	0,0	3,4	6,4
93,7	0,1	0,8	10,0
60,0	1,7	2,3	10,0
50,0	5,6	3,6	35,0
71,7	27,2	65,6	9,9

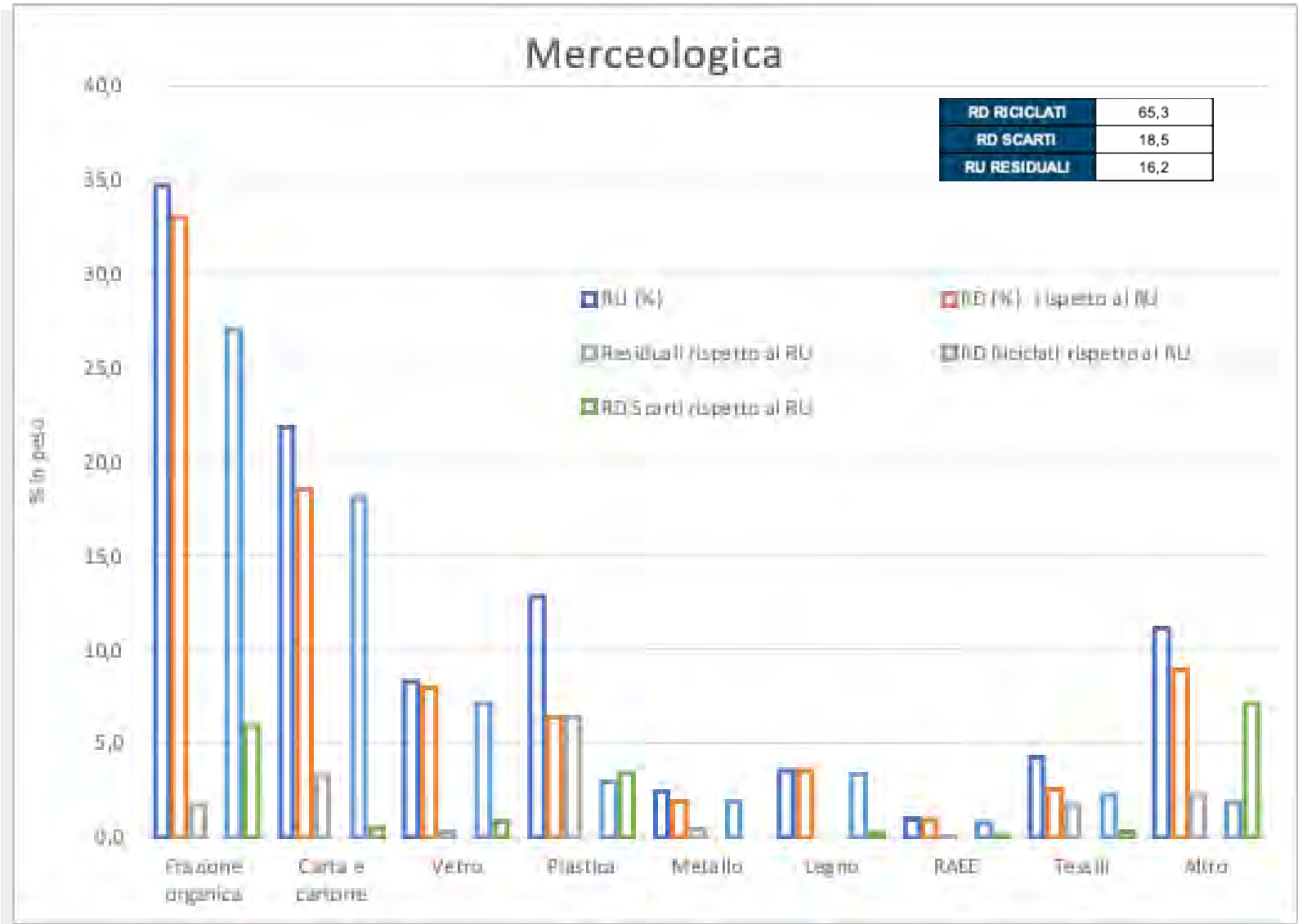
FONTE DATI ISPRA 2024

MERCEOLOGICA RU E RIPARTIZIONE TRA RD (RD RICICLATI E RD SCARTI) E RESIDUALI – Scenario 2023



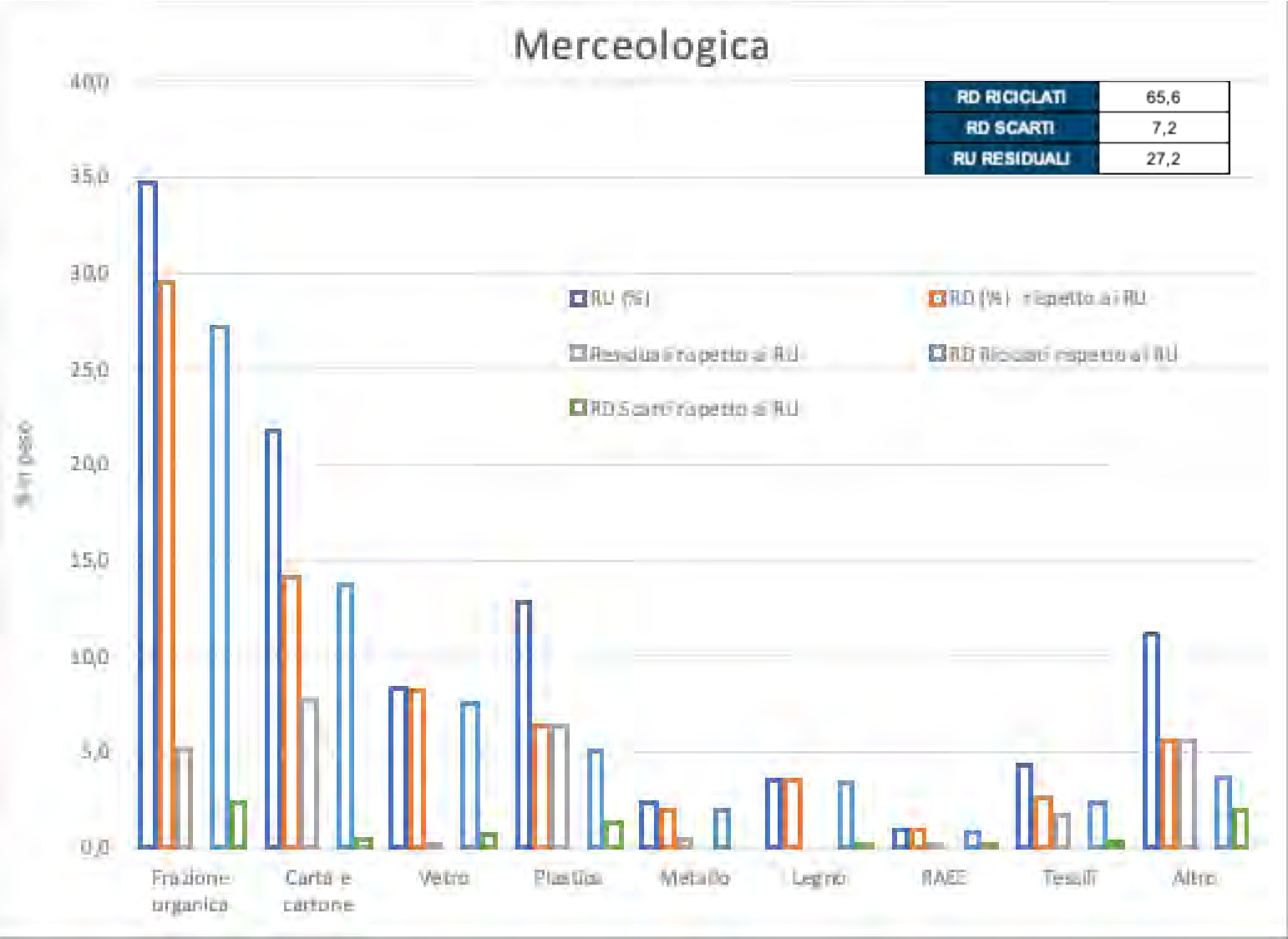
FONTE DATI ISPRA 2024

MERCEOLOGICA RU E RIPARTIZIONE TRA RD (RD RICICLATI E RD SCARTI) E RESIDUALI – Scenario 2035_0



FONTE DATI ISPRA 2024

MERCEOLOGICA RU E RIPARTIZIONE TRA RD (RD RICICLATI E RD SCARTI) E RESIDUALI – Scenario 2035_1



FONTE DATI ISPRA 2024

i rifiuti – Proprietà chimiche (RU)

RISULTATI DI INDAGINI A LIVELLO EUROPEO

Presenza di sostanze d'interesse ambientale in rifiuti solidi urbani europei tal quali e parzialmente selezionati

Sostanza	Concentrazione
Ceneri	15-20%
N	0,5-2%
S	0,1-5%
Cl	0,7-0,8%
F	0,01-0,002%
Diossine (TEQ)	8,0-25 µg/t
PCB	300-700 mg/t
Clorobenzeni	100-200 mg/t

Clorofenoli	600-2400 mg/t
Arsenico	4-5 g/t
Cadmio	3-40 g/t
Cromo	73-849 g/t
Mercurio	0,2-7 g/t
Manganese	175-411 g/t
Nichel	16-80 g/t
Piombo	268-2500 g/t
Rame	93-2500 g/t
Zinco	634-3500 g/t

i rifiuti – Proprietà chimiche (CSS)

Sull'intero					
Parametri	UM	Valore medio	Dev. St.	Max	Min
pH	unità	7,35	1,20	8,20	6,50
Umidità	%	33,19	6,24	48,40	20,91
P.C.I.	kJ/kg	9449	2383	12035	6455
Rasiduo secco	%	82,50	3,82	85,20	79,80
Ceneri	%	10,13	1,40	12,20	8,10
Cloro	%	0,12	0,02	0,14	0,08
Zolfo	%	0,09	0,01	0,11	0,06

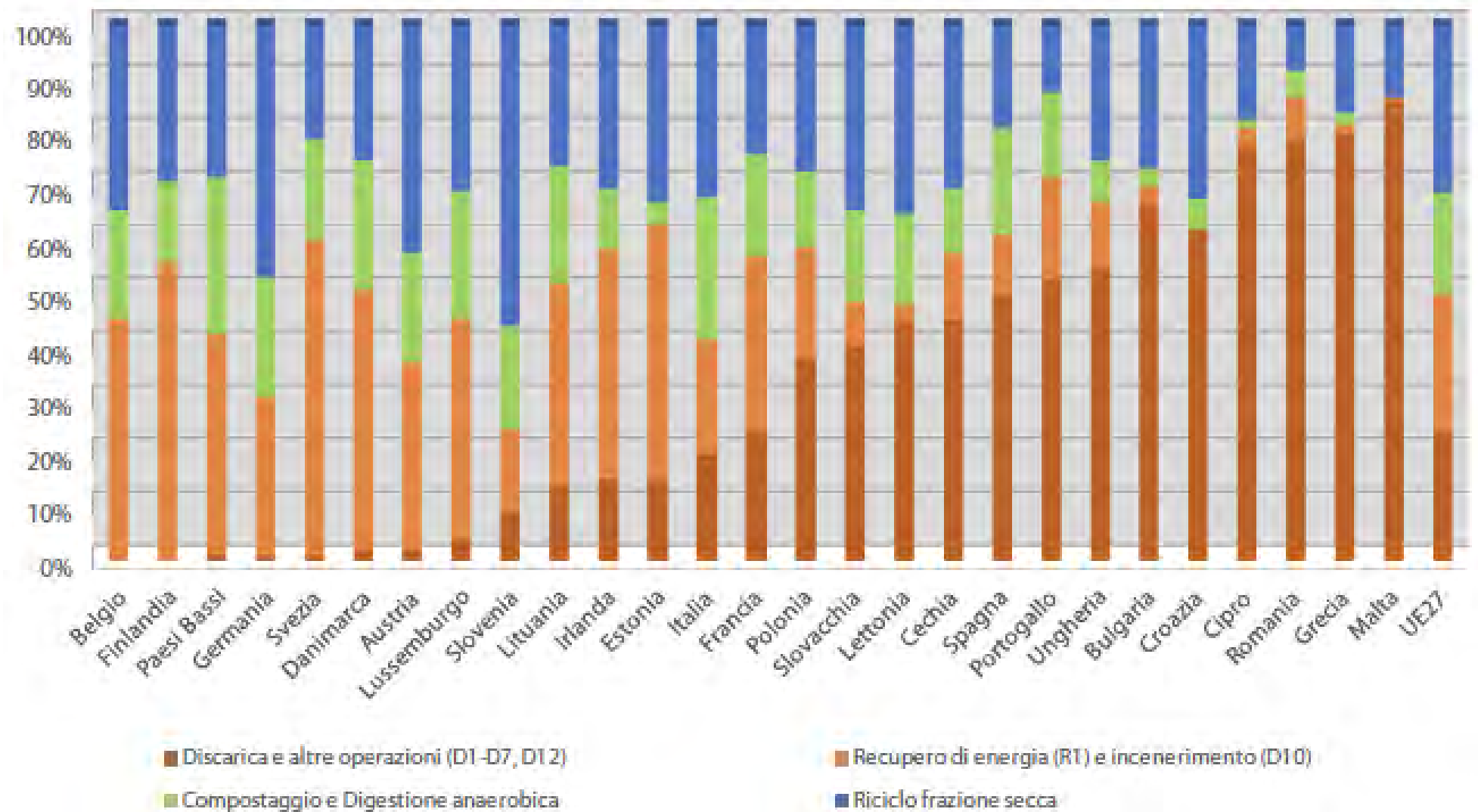
Parametri	UM	Valore medio	Dev. St.	Max	Min
Sul secco					
BTEX	mg/kg	<0,5			
PCB	mg/kg	0,11	0,01	0,12	0,10
Olio minerale	mg/kg	13,55	5,59	17,50	9,60
TOC	g/kg	30,70	2,26	32,30	29,10
Ceneri	%	16,21	2,18	19,50	13,10
Cadmio+Mercurio	mg/kg	<0,2			
Cromo	mgCr/kg	5,80	5,10	14,90	0,50
Nichel	mgNi/kg	2,71	3,18	9,10	0,50
Piombo volatile	mgPb/kg	19,58	11,59	41,20	6,80
Rame	mgCu/kg	38,31	19,39	62,40	11,80
Manganese	mgCu/kg	33,91	14,05	55,10	6,90
Arsenico	mgCu/kg	<0,2			
Sull'eluato					
pH di prova	unità	6,20	0,28	6,40	6,00
Conducibilità	µS/cm	1353	1107	2135	570
Arsenico	mg/l	0,002	0,0014	0,0030	0,0010
Bario	mg/l	0,28	0,27	0,48	0,09
Cadmio	mg/l	<0,003			
Cromo totale	mg/l	0,014	0,005	0,017	0,010
Rame	mg/l	0,034	0,003	0,036	0,032
Mercurio	mg/l	<0,002			
Molibdeno	mg/l	0,017	0,012	0,025	0,008
Nichel	mg/l	0,013	0,011	0,021	0,005
Piombo	mg/l	0,008	0,002	0,009	0,006
Antimonio	mg/l	<0,005			
Selenio	mg/l	<0,005			
Zinco	mg/l	0,568	0,599	0,991	0,144
Cloruri	mg/l	30,75	26,52	49,50	12,00
Fluoruri	mg/l	13,40	1,98	14,80	12,00
Solfati	mg/l	52,00	31,82	74,50	29,50

Per quei parametri che hanno evidenziato alcune concentrazioni inferiori del LR, è stato assunto il valore limite. Per quelli che hanno evidenziato tutti i valori al di sotto del LR, è stato riportato nella media LR.

PARAMETRI RILEVATI SU CSS DA IMPIANTI TMB DI RU RESIDUALI DA RD

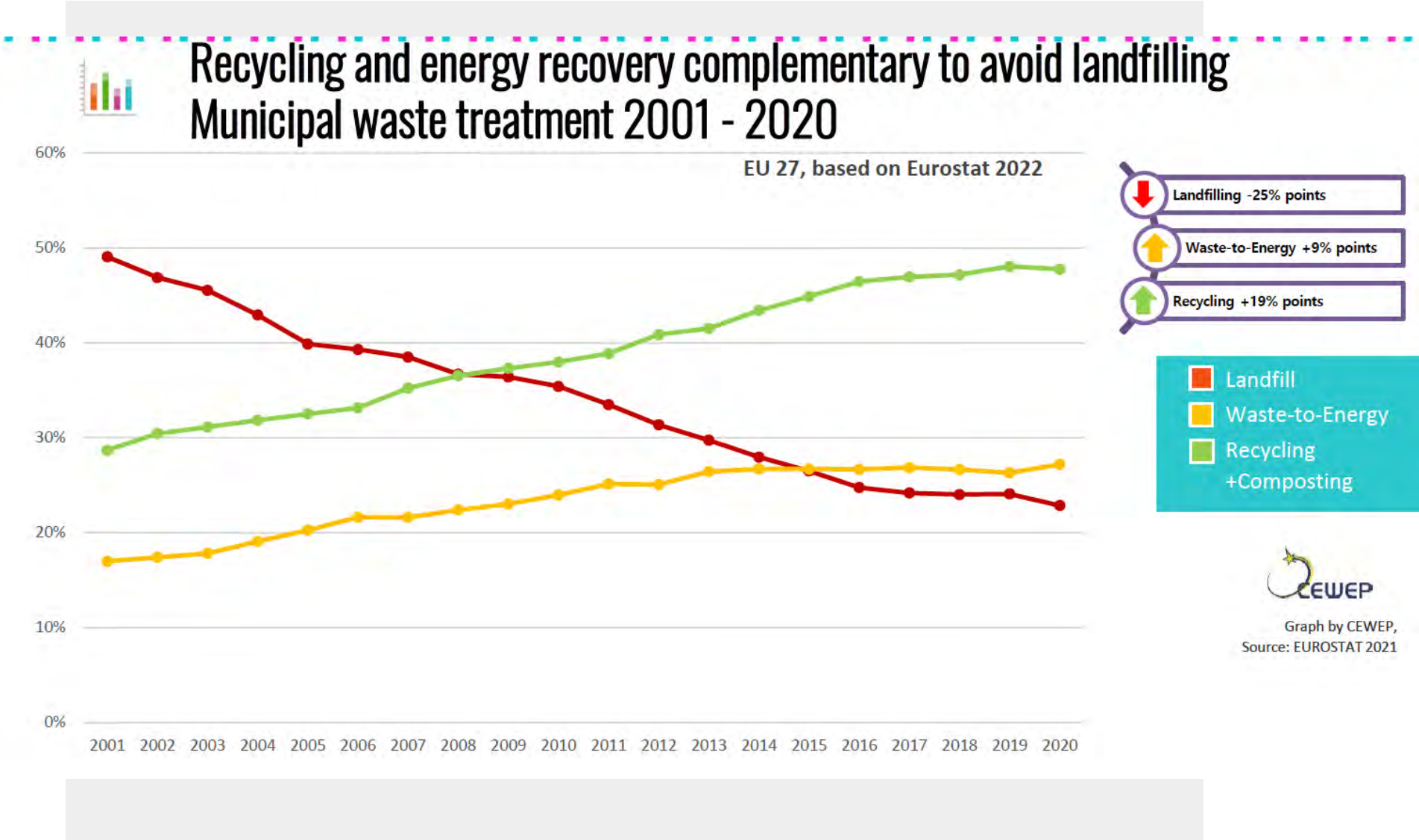
VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI VALORIZZABILI DERIVANTI DAGLI SCENARI CONSIDERATI

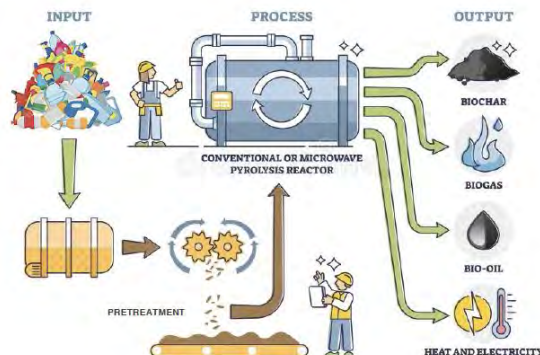
Caratteristiche del rifiuto	RU	Residuale RD 2023	Residuale RD 2035_0	Residuale RD 2035_1
Quantità (%) rispetto al RU prodotto	100,0	33,4	16,2	27,2
Scarti da RD (%) rispetto al RU prodotto		15,8	18,5	7,2
Residuale RD + Scarti da RD		49,2	34,7	34,4
Peso nell'unità di volume (kg/m ³)	75,0	60,0	54,5	62,5
Umidità (%)	28,5	23,7	12,4	18,3
Frazione Secca combustibile	49,9	63,7	69,6	60,2
Ceneri frazione secca combustibile (%)	6,2	6,6	7,7	7,1
Composizione chimica elementare				
C (moli)	725	873	1.549	980
H (moli)	1.125	1.339	2.314	1.503
O (moli)	398	444	652	491
N (moli)	13	17	20	13
S (moli)	1	1	1	1
PCS (Kcal/kg - MJ/kg)	2.323 - 9,7	3.097 - 12,8	3.745 - 15,7	2.952 - 12,3
PCI (Kcal/kg - MJ/kg)	1.976 - 8,3	2.727 - 11,4	3.421 - 14,3	2.637 - 11,0
Aria stechiometrica (Nm ³ /h)	41.033	54.433	65.191	51.848
Fumi prodotti allo stechiometrico in combustione completa (Nm ³ /h)	52.131	65.897	74.459	61.450



Fonte: elaborazioni ISPRA su dati Eurostat

Anno 2022





con il patrocinio di

Seminario tecnico-scientifico

TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

7 ottobre 2025 - 14.00-18.00

*Sala Convegni – Università degli studi di Roma Tor Vergata
via del Politecnico, 1 - Roma*

CARATTERISTICHE DEI RIFIUTI VALORIZZABILI

Francesco Lombardi

Professore Ordinario di Ingegneria Sanitaria Ambientale
Docente di Impianti di trattamento dei rifiuti

+39 (06) 72.59.7023

lombardi@ing.uniroma2.it

<https://web.uniroma2.it>

**Grazie
per
l'attenzione**

Seminario tecnico-scientifico

TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

7 ottobre 2025 - 14.00-18.00

*Sala Convegni – Università degli studi di Roma Tor Vergata
via del Politecnico, 1 - Roma*

Tecnologie per la valorizzazione del residuo secco: confronto ambientale ed economico

Prof. Luca Andreassi

con il patrocinio di

Le tecnologie

I **trattamenti termici** sono processi chimici che operano a temperature elevate, e servono a demolire le sostanze organiche complesse per trasformarle in composti più semplici. Trasformazione del rifiuto per:

1. Produrre sostanze meno pericolose per l'ambiente e per la salute umana
2. Ridurre la quantità e il volume di materiale che deve essere smaltito definitivamente. Con recupero del contenuto energetico del materiale, trasformando parte del rifiuto in energia utile (o «nuova» materia prima)



Termovalorizzazione: combustione completa del rifiuto in presenza di ossigeno in eccesso rispetto alla quantità stechiometrica. Obiettivo produzione diretta di energia termica ed elettrica.



Gassificazione: processo di ossidazione parziale, in cui si genera un gas combustibile (syngas: miscele di CO, H₂, CH₄, ecc.), residui solidi e cenere. utilizzato soprattutto per produrre energia in modo più efficiente o come materia prima per altri processi.



Pirolisi: decomposizione termica in **assenza totale o quasi totale** di ossigeno. Ottenendo gas – diverso da quello prodotto dalla gassificazione –, liquidi (oli, catrami) e residui solidi carboniosi (char).

Le tecnologie – Punti Chiave (1/3)

	Termovalorizzazione	Pirolisi	Gassificazione
Temperatura di esercizio	800°C-1000°C – Processo esotermico	350°C-500°C – Processo endotermico	700°C-1300°C
Livelli di ossigeno	Eccesso di ossigeno (combustione completa)	Assenza di ossigeno (decomposizione senza bruciare)	Ossigeno limitato (ossidazione parziale)
Prodotti in uscita	Calore, CO ₂ , vapore acqueo, cenere	Gas, bio-olio, carbone solido	Syngas (idrogeno, monossido di carbonio, metano)
Impatto ambientale	Emissioni più elevate, richiede una «Filtrazione» avanzata CO ₂ , Nox, diossine, furani, particolato	Meno emissioni (es. diossine). Necessaria purificazione syngas	Meno inquinanti, recupero efficiente dell'energia

Le tecnologie – Punti chiave (2/3)

	Termovalorizzazione	Pirolisi	Gassificazione
Applicazioni	RSU, rifiuti pericolosi, recupero energetico	Biomassa, plastica, Pneumatici, recupero di materiali	Biomassa, carbone e rifiuti in syngas, combustibili sintetici e materie prime chimiche.
Efficienza energetica	Energia termica diretta, limitata dalla necessità di gestire le emissioni	Conserva l'energia nel bio-olio e nel Syngas. Più efficiente per recupero materiali.	Altamente efficiente per il recupero di energia (conversione di % maggiore del materiale in input in syngas)
Complessità	Semplice, ma necessita di sistemi di controllo delle emissioni	Richiede un controllo preciso della temperatura e dell'ossigeno	Più complesso, gestisce ossigeno, temperatura e composizione del syngas
Considerazioni economiche	Costi di capitale inferiori, costi operativi superiori	Investimento iniziale più elevato, ricavi dai sottoprodotti	Elevati costi di capitale e operativi, potenziali ricavi dal syngas

Le tecnologie – Punti Chiave (3/3)

	Termovalorizzazione	Pirolisi	Gassificazione
Quantità di rifiuto trattabile	Elevata. Adatta per grandi città con flussi di residui alti	Adatti a scale medio-piccole distribuite. Spesso per tipi specifici di rifiuti	Buona capacità ma più difficile da gestire. Scala medio grande
Rendimento energetico/potenziale di recupero	Rendimento spesso non altissimo se si considera il PCI dei rifiuti e perdite del sistema. Ma dipende molto da impianto	Efficienza dipende molto dal tipo di rifiuto, dalla temperatura e dal controllo dei processi. Necessita di trattamento ulteriore (oli, gas)	Potenzialmente buon recupero energetico, spesso migliore TMV, specie su certe frazioni e con utilizzo efficiente
Limiti/Svantaggi	Emissioni. Sindrome Nimby. Ceneri e residui da gestire. Costi elevati	Variabilità nel prodotto finale. Endotermica bisogna fornire energia iniziale. Scale impattante. Non è plug and play.	Complessità tecnologica. Impurità syngas. Sicurezza. Minore diffusione. La bassa uniformità del rifiuto riduce efficienza

Impianto termovalorizzazione - Schema

TRATTAMENTO DEI FUMI

I fumi prodotti durante la combustione sono sottoposti a un processo di depurazione per garantire il rispetto dei limiti imposti dalla legge.

I fumi raffreddati e depurati vengono rilasciati in atmosfera attraverso i 3 camini alti 110 metri.

RECUPERO DEI MATERIALI

Dal processo di combustione dei rifiuti residuano materiali inerti, le cosiddette ceneri pesanti.

Per essere recuperate, queste ceneri vengono trattate da aziende specializzate che separano le varie frazioni metalliche (ferro, alluminio, rame, leghe varie) per avviarle alle fonderie, mentre gli inerti sono utilizzati per impieghi edili.

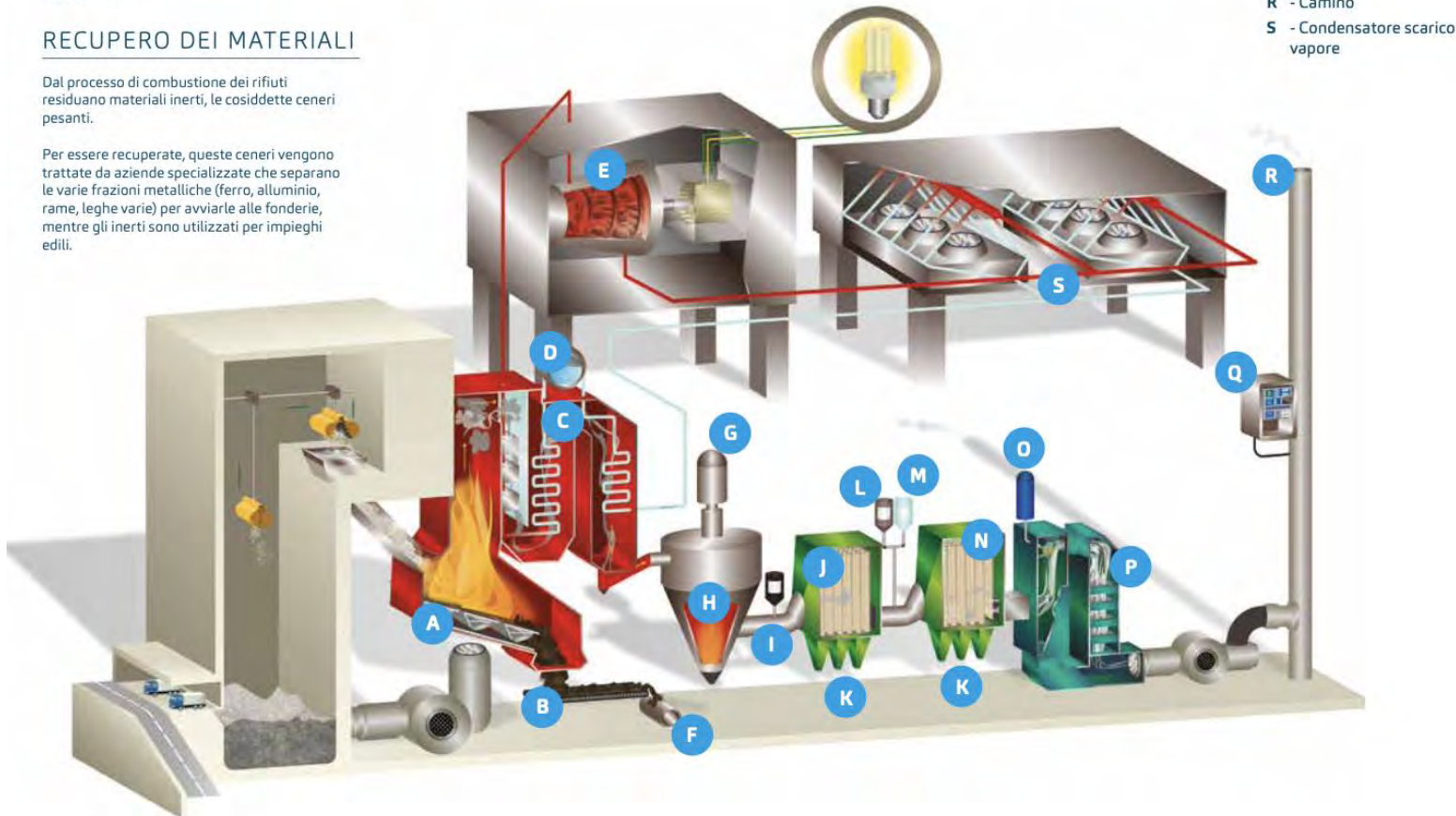
LEGENDA

A - Griglia mobile
B - Nastro trasportatore
C - Generatore di vapore
D - Acqua

E - Turbina
F - Ceneri
G - Latte di calce
H - Reattore

I - Carboni attivi
J - Filtro a maniche
K - Polveri
L - Carboni attivi

M - Ossido di Calcio
N - Filtro a maniche
O - Ammoniaca
P - DeNO_x
Q - Controllo emissioni
R - Camino
S - Condensatore scarico vapore



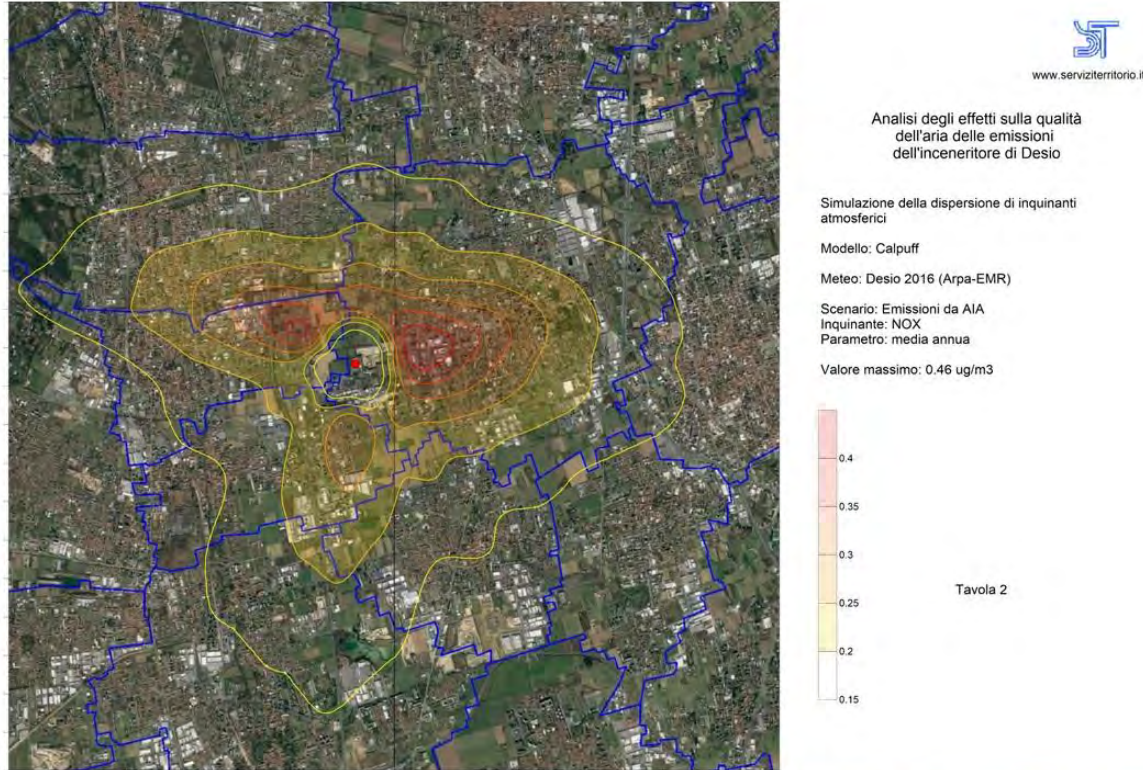
Impianto termovalorizzazione – Desio

L'impianto, tratta circa 90.000 t/anno di rifiuti urbani ed assimilabili e produce energia elettrica e calore per la rete di teleriscaldamento dell'area urbana, ha una configurazione complessiva allineata con le BAT di settore, con una linea di depurazione fumi costituita da un depolveratore elettrostatico, un sistema a secco con filtro a maniche e dosaggio di agente neutralizzante e carbone attivo ed un'unità finale di riduzione catalitica selettiva



Impianto termovalorizzazione – Desio

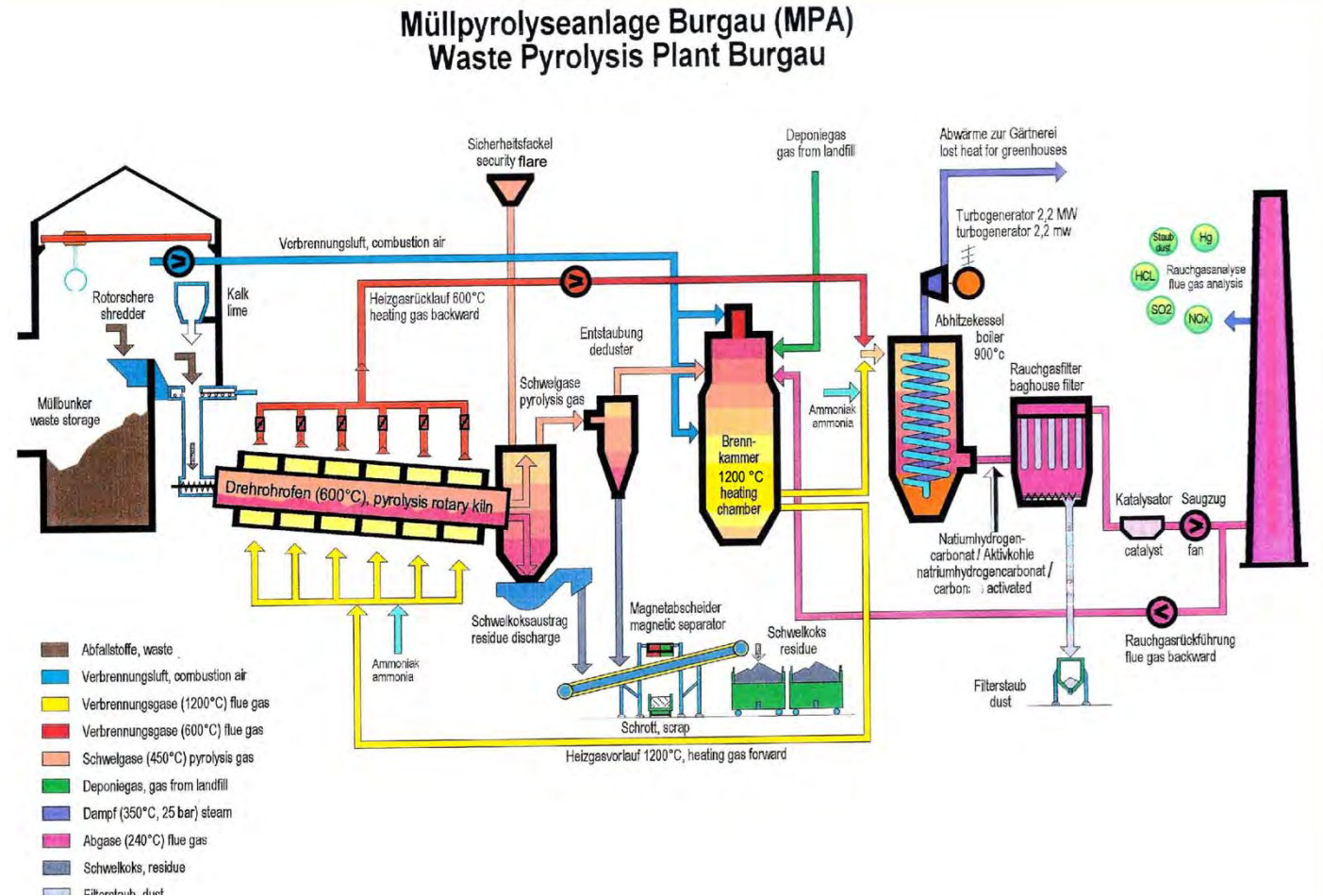
Emissioni NOx



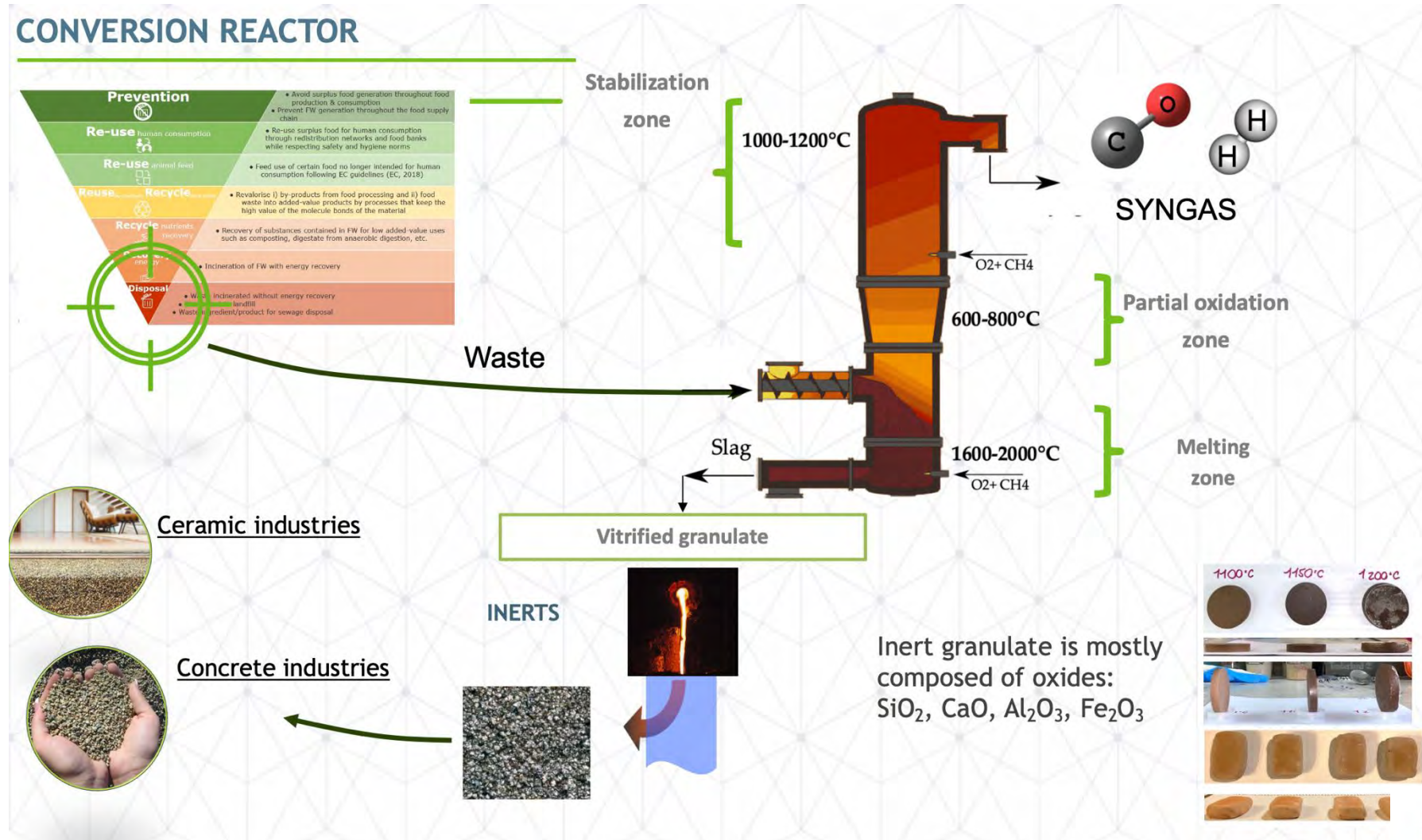
La concentrazione di NOx stimata dal modello come media annua nel punto di massima ricaduta è pari a $0.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori delle ricadute di NOx sul territorio decrescono allontanandosi dal camino di emissione nel modo visualizzato dalle curve di isoconcentrazione definite nella mappa. Il valore minimo mappato è pari a $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che corrisponde allo 0.4% del limite di legge pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il territorio non compreso nelle curve di isoconcentrazione è soggetto a ricadute di NOx inferiori al livello minimo mappato.

Impianto pirolisi - Schema

- Pre-trattamento dei rifiuti
- Alimentazione del reattore di pirolisi
- Riscaldamento e decomposizione termica
- Separazione dei prodotti
- Raffreddamento e stoccaggio
- Controllo delle emissioni
- Recupero di energia ed efficienza
- Uso del catalizzatore (opzionale)
- Sistemi di sicurezza e controllo



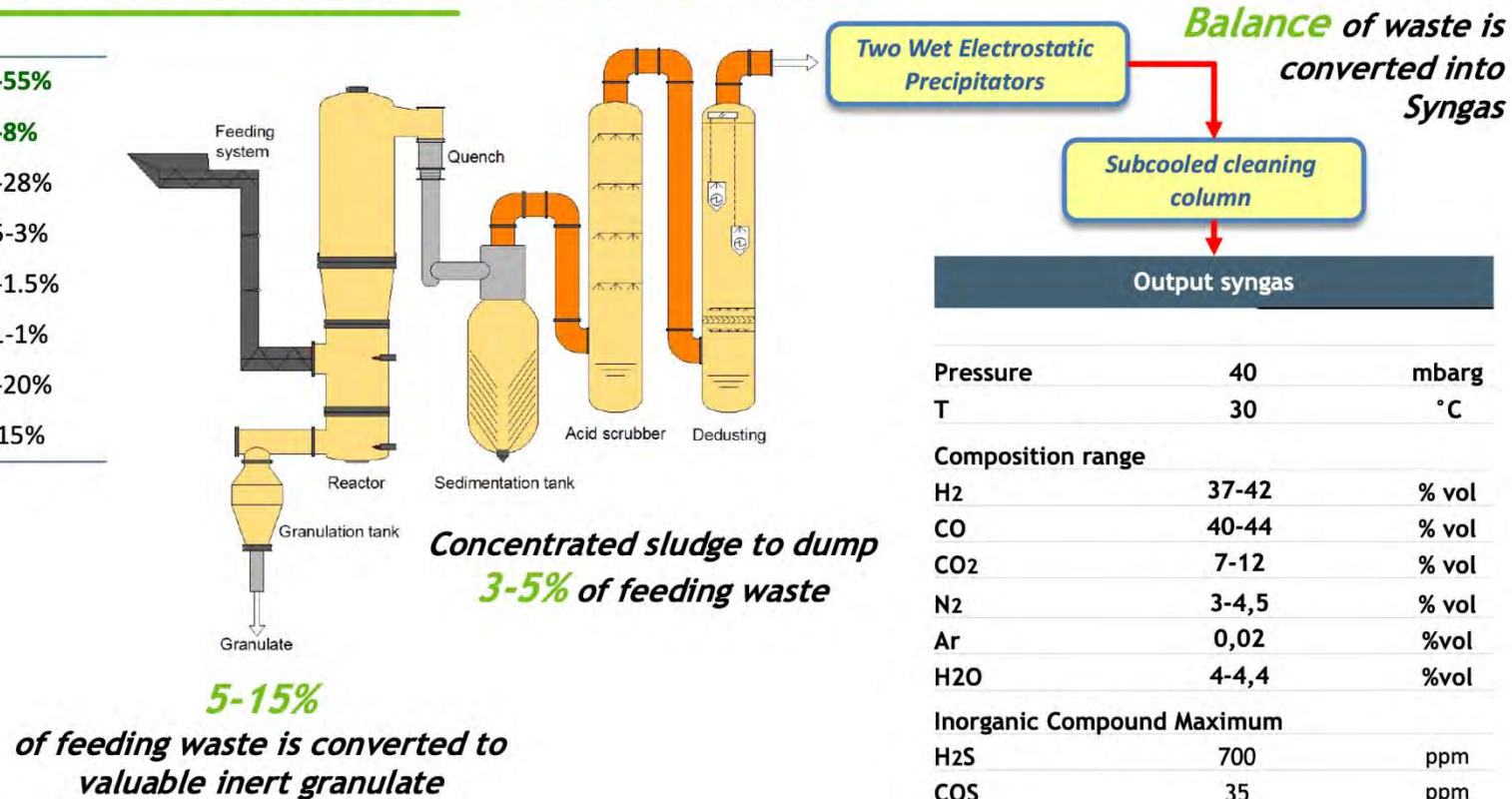
Gassificatore – Il reattore



Gassificatore – La tecnologia WtC

WASTE TO CHEMICAL TECHNOLOGY - WASTE CONVERSION

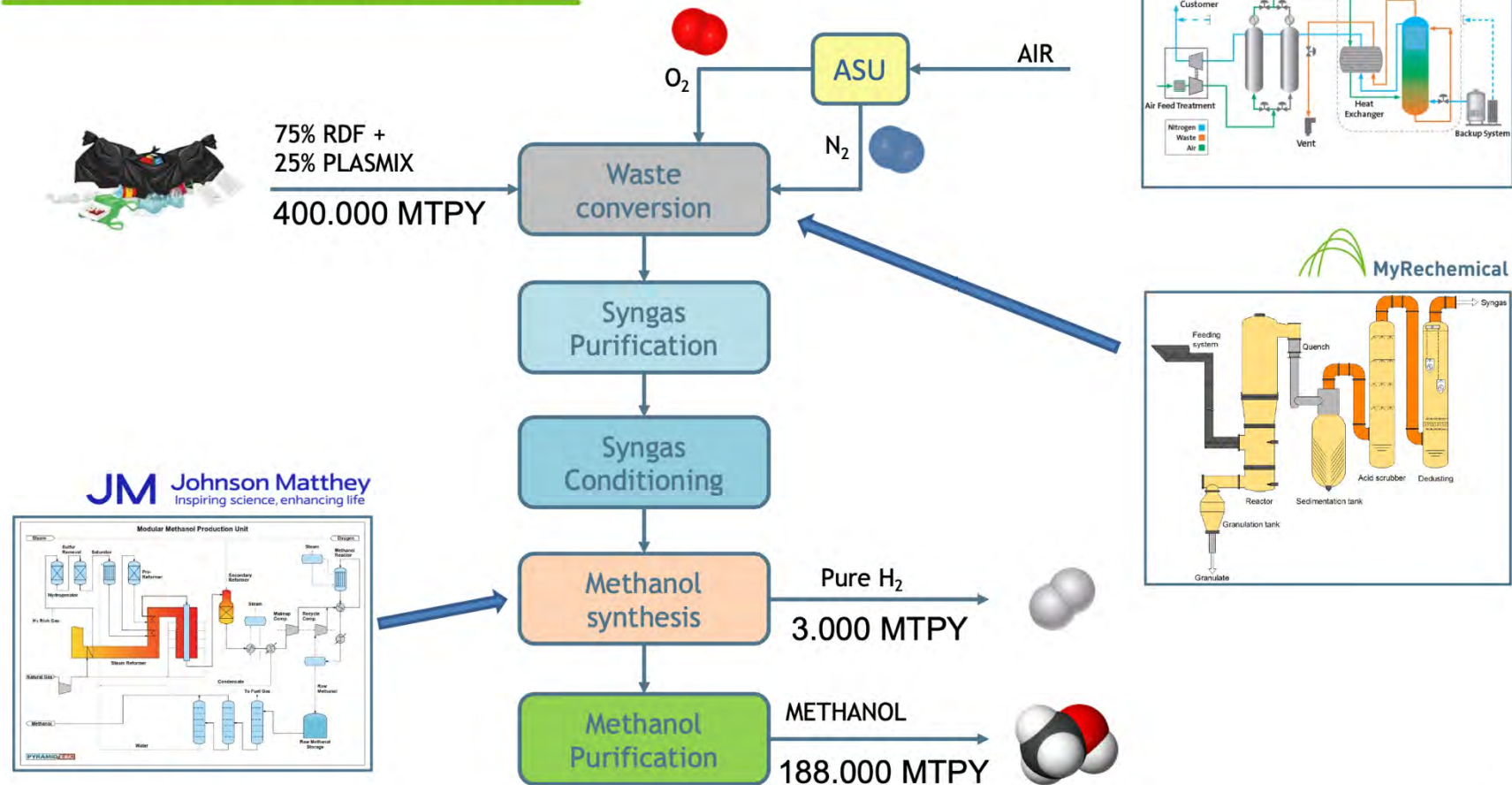
C	40-55%
H	5-8%
O	20-28%
Cl	0.5-3%
N	0.5-1.5%
S	0.1-1%
Moisture	10-20%
Ash	5-15%



Pressure	40	mbarg
T	30	°C
Composition range		
H2	37-42	% vol
CO	40-44	% vol
CO2	7-12	% vol
N2	3-4,5	% vol
Ar	0,02	%vol
H2O	4-4,4	%vol
Inorganic Compound Maximum		
H2S	700	ppm
COS	35	ppm
HCl	50	ppm
Hg	0,1	ppm
PM	0,1	ppm
Metals		

Gassificatore – Qualche numero

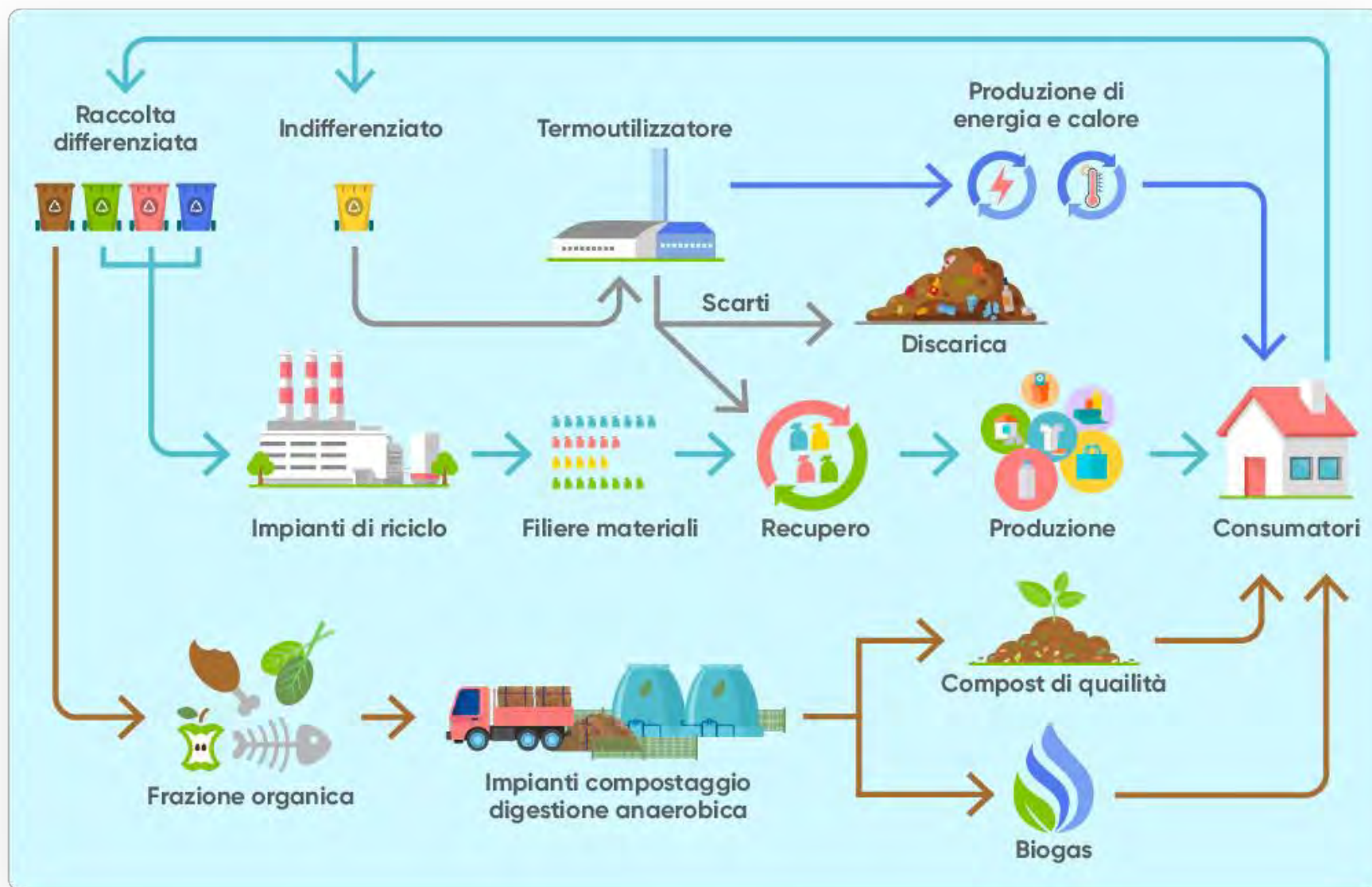
WASTE TO METHANOL + H₂



Gassificazione vs Termovalorizzazione

	Termovalorizzatore	Gassificatore
Obiettivo di processo	Massimizzare la produzione di CO ₂ e H ₂ O	Massimizzare la produzione di CO e H ₂ (syngas)
Carbonio nei rifiuti	Quasi tutto convertito in CO ₂ ; il resto va nelle ceneri di fondo	Il carbonio è parzialmente o totalmente convertito in nuovi prodotti chimici
Residuo solido	Ceneri di fondo contenenti carbonio, polveri volatili e tossiche → smaltimento in discarica	Granulato inerte e vetrificato, non pericoloso, riutilizzabile in edilizia o per recupero metalli
Comburente	Grandi quantità di aria → combustione difficile da controllare	Ossigeno puro in quantità controllata → migliore controllo di temperatura e processo
Emissioni	Gas di scarico con potenziali emissioni di diossine, furani, NO _x e particolato, soprattutto nei transitori di impianto	Il syngas viene completamente pulito e utilizzato come materia prima chimica, non rilasciato in atmosfera
Zolfo nei rifiuti	Convertito in ossidi di zolfo (SO _x) → rischio di piogge acide	Convertito in H ₂ S, poi recuperato come zolfo elementare vendibile
Riduzione volume rifiuti	Circa 1:5	Circa 1:100
Consumo di gas naturale	Elevato, per assicurare la combustione completa	Ridotto, usato solo per il controllo temperatura

La «R» di Ripensare



Conclusioni



Occuparsi di ecologia significa occuparsi di politiche industriali e impianti



La rivoluzione digitale sta segnando il cambiamento di un'epoca. Ripensare è la parola chiave e ciò che è il meglio oggi potrebbe non esserlo domani. Pertanto un settore storicamente rigido e resistente ai cambiamenti deve diventare flessibile e pronto.



Non esiste la tecnologia migliore in assoluto. Ma va valutato caso per caso, considerando anche il contesto socio-culturale e la partecipazione dei cittadini al processo, unica strada per superare la sindrome NIMBY



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

Seminario tecnico-scientifico

TECNICHE INNOVATIVE DI
VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI
Roma, 7 ottobre 2025

Il riciclo chimico dei rifiuti urbani
Federico Viganò

Dipartimento di Energia – Politecnico di Milano

Il «riciclo chimico» o «Waste-to-Chemicals» (WtC)

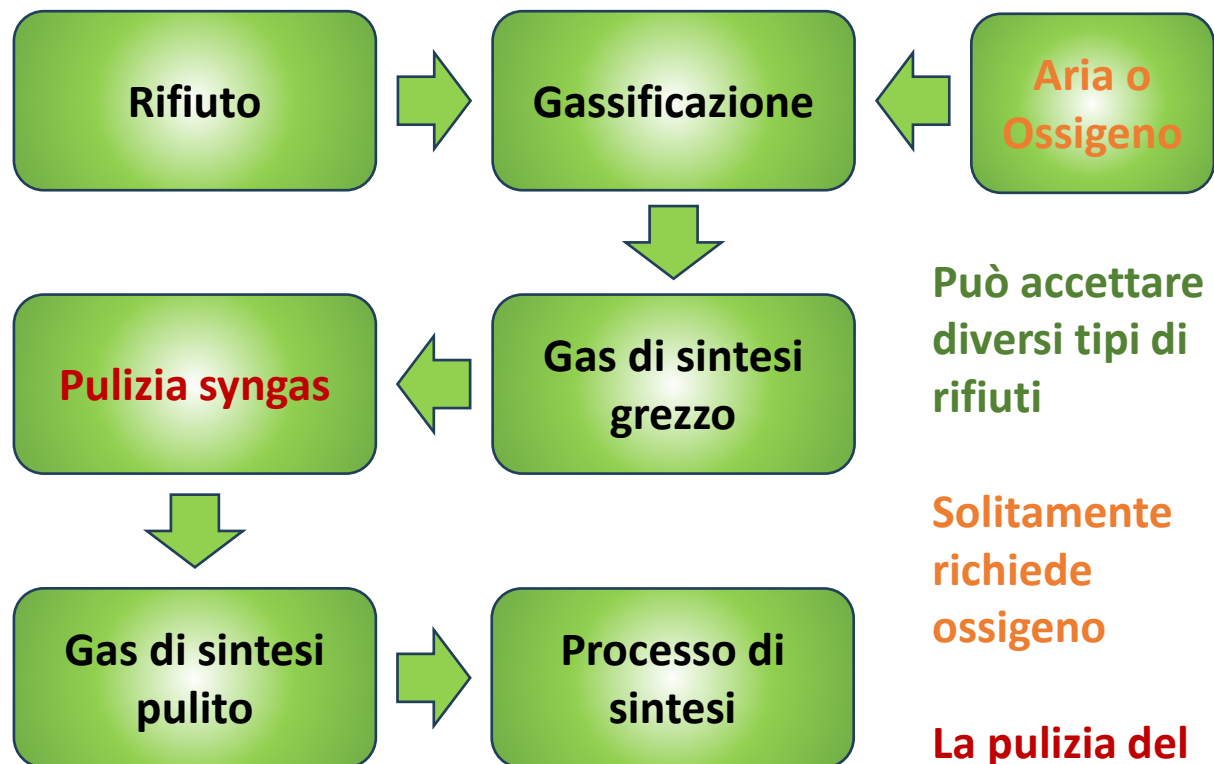
Il concetto di «riciclo chimico», detto anche *Waste-to-Chemicals* (WtC), mira a trasformare i rifiuti in materiali utili per costruire una nuova chimica sostenibile

In tale ottica i Rifiuti Solidi Urbani (RSU), i Combustibili Solidi Secondari (CSS) e i Rifiuti di Plastica Non Riciclabili (RPNR) sono considerati una fonte di materia prima alternativa agli idrocarburi fossili

- Attraverso tecnologie di conversione a medio-alta temperatura, i rifiuti possono essere trasformati in olii e gas sintetici da utilizzare quali elementi costitutivi per la sintesi di un'ampia gamma di sostanze chimiche e combustibili alternativi
- Gli olii e i gas sintetici (syngas) possono essere risorse intermedie fondamentali per la produzione di idrogeno, ammoniaca, metanolo, etanolo e idrocarburi sintetici

I due approcci dei processi WtC

Gassificazione → Syngas → Pulizia → Sintesi

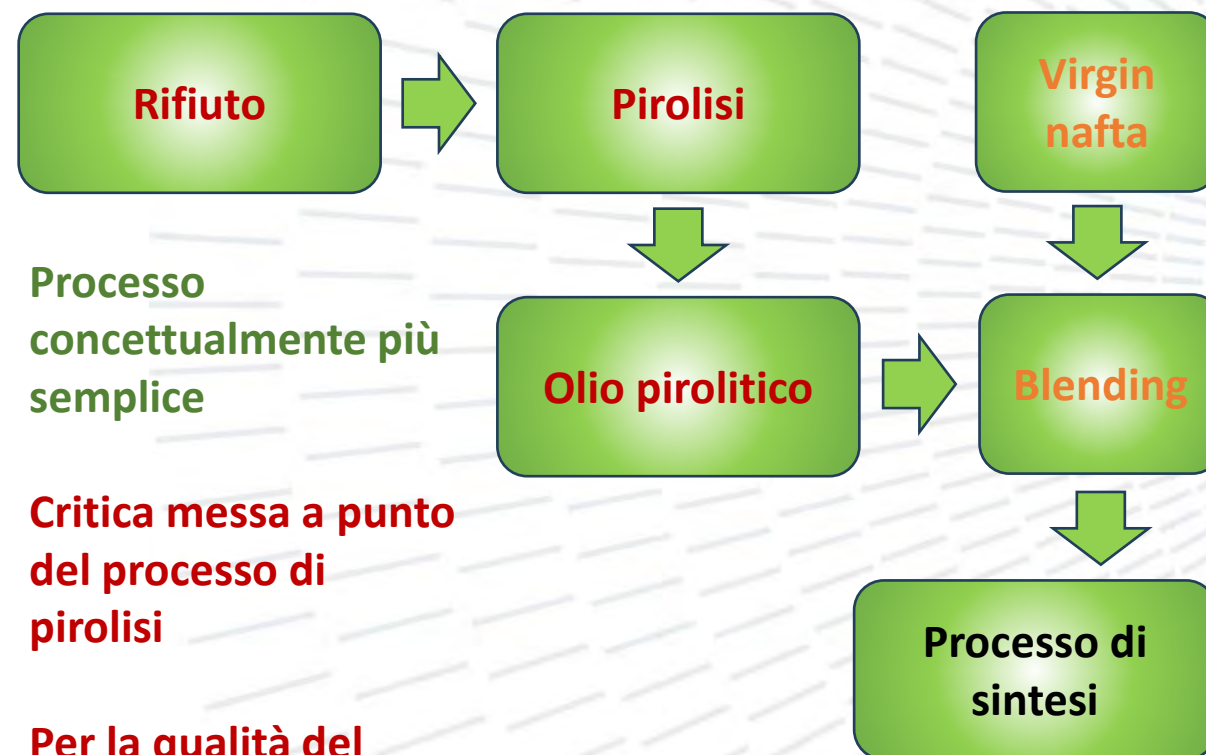


Può accettare
diversi tipi di
rifiuti

Solitamente
richiede
ossigeno

La pulizia del
syngas è
critica!

Pirolisi veloce → Pyro-olio → Blending → Sintesi



Processo
concettualmente più
semplice

Critica messa a punto
del processo di
pirolisi

Per la qualità del
piro-olio è critica la
«qualità» del rifiuto

Situazione attuale dei processi WtC

Processi «sul mercato» da
un po' di tempo

Prevalentemente basati su
gassificazione



Informazioni disponibili **LIMITATE**

Spesso non v'è prova di funzionamento
continuativo e affidabile

Processi «innovativi»
→ «molto promettenti»

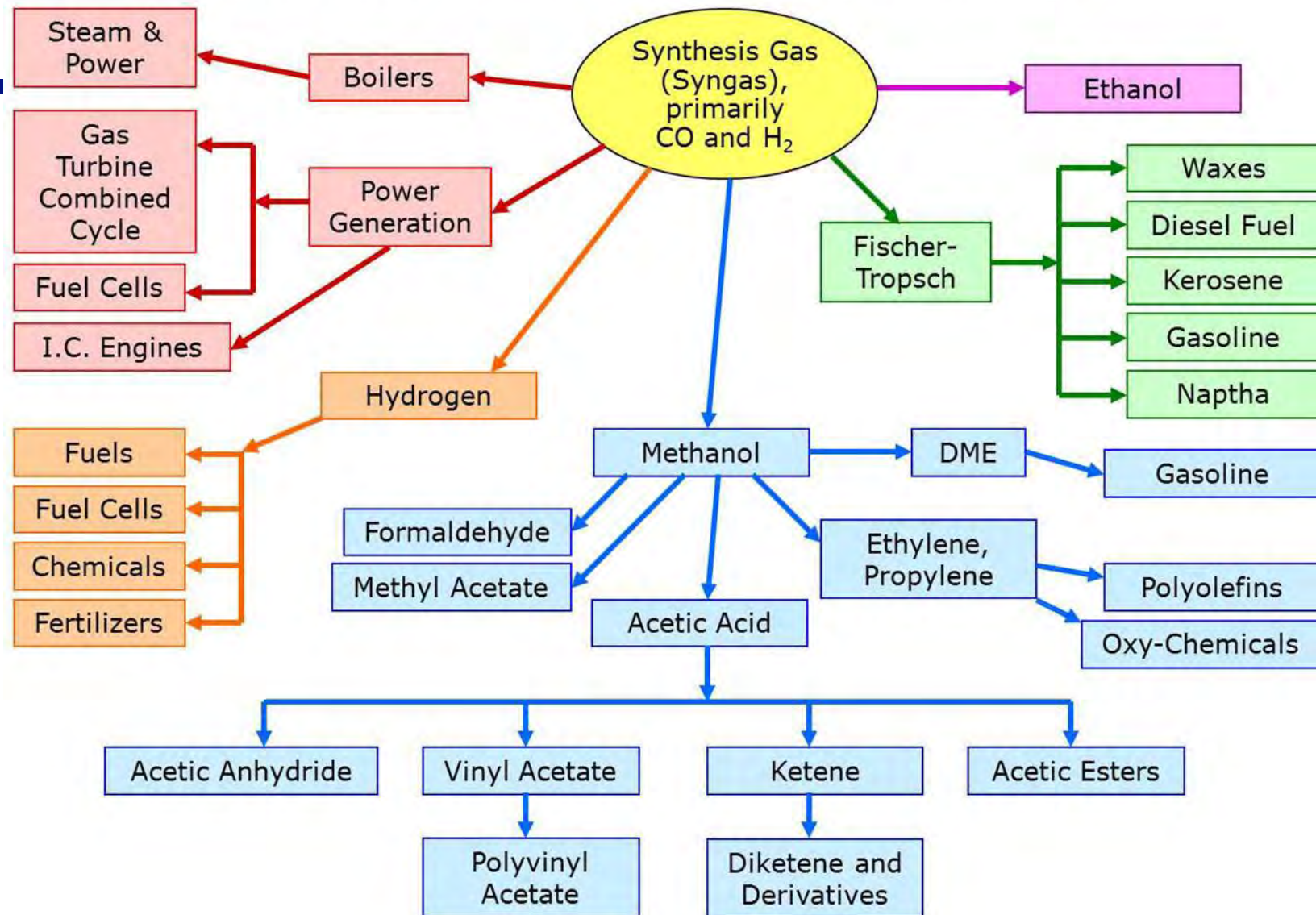
Prevalentemente basati su
pirolisi



Informazioni disponibili **SCARSISSIME**

I casi più «avanzati» sono a stadio di
pilota/dimostratore o poco più

Gasification – Potential Output Products



Il syngas, **se**
sufficientemente
pulito, apre molteplici
possibilità

Survey delle tecnologie potenzialmente WtC (scala semi-ind.)

- **LEAP ha condotto una survey delle tecnologie di gassificazione dei rifiuti già orientate a WtC o che potrebbero costituire la base per tecnologie WtC:**

Tecnologie Waste-to-Energy (WtE, eventualmente CHP):

NIPPON STEEL & SUMIKI (JP)
KOBELCO ECO-SOLUTIONS (JP)
EBARA TWIN-REC (JP)
ENERGOS (NO)
JFE (JP)

Tecnologie Waste-to-Chemicals (WtC):

EBARA-UBE (JP)
ENERKEM (CA)

Tecnologie Waste-to-Fuels (WtF):

ENERKEM (CA)
Gasplasma (UK)
Schwarze Pumpe (DE)
Ineos Bio (US)
AMBIGO (NL)

Tecnologie Waste-to-Syngas (WtS):

CHO Power (Fr)
Plasco (CA)
Thermoselect (CH)
AlterNRG (US, JP)
ENVIROTHERM (DE)
Lahti Kymijärvi I (Fi)
Lahti Kymijärvi II (Fi)
Lahti Kymijärvi III (Fi)
Noell Conversion (DE, JP, CH)

Survey delle tecnologie potenzialmente WtC (scala semi-ind.)

Per ogni tecnologia sono stati qualitativamente valutate una serie di caratteristiche:

- **(Efficienza energetica):** non considerata, poiché risulta impossibile il reperimento di informazioni affidabili circa l'efficienza energetica delle tecnologie analizzate.
- **Fattibilità del Waste-to-Chemicals:** indica la facilità con cui è possibile utilizzare una certa tecnologia per la produzione di composti chimici da rifiuti.
- **Indipendenza da fonti energetiche ausiliarie:** da intendersi come fonti d'energia, in aggiunta ai rifiuti, necessarie per il funzionamento del processo.
- **Indipendenza da input ausiliari: O₂, CO₂, etc.:** gli input ausiliari sono sostanze che vengono aggiunte per facilitare il processo di gasificazione.
- **Facilità / predisposizione a cattura CO₂:** nessuna delle tecnologie analizzate effettua la cattura della CO₂, tuttavia è valutata positivamente la possibile predisposizione, per esempio la presenza di lavaggio con ammine.
- **Flessibilità sui rifiuti alimentati:** sono premiate le tecnologie che non necessitano di selezione e/o pretrattamento spinto del materiale in ingresso.
- **Limitata produzione rifiuti:** sono premiati aspetti relativi alla quantità e qualità dei residui solidi prodotti (contenuto di incombusti, lisciviabilità, ...)
- **Produzione materie valorizzabili:** p.e. metalli

→ segue ...

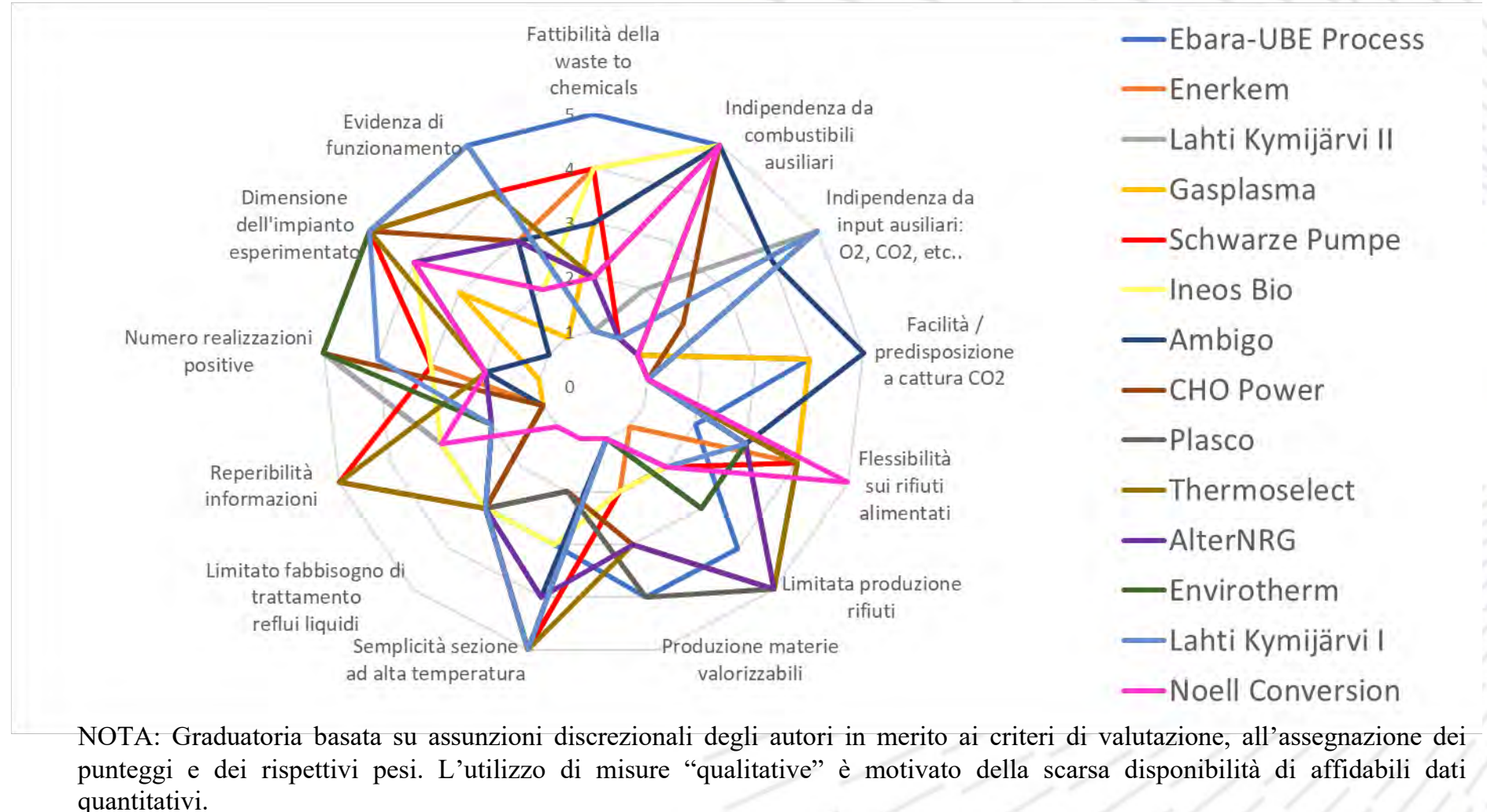
Survey delle tecnologie potenzialmente WtC (scala semi-ind.)

... segue

- **Semplicità sezione ad alta temperatura:** sono premiate le tecnologie con pochi reattori ad alta temperatura rispetto a quelle che ne impiegano molteplici.
- **Limitato fabbisogno di trattamento reflui liquidi:** tutte le tecnologie analizzate necessitano un ciclo liquido per la purificazione dei syngas, alcune anche per la gestione di piro-oli.
- **Reperibilità informazioni:** è premiata l'abbondanza di informazioni reperibili circa la tecnologia analizzata, lo schema d'impianto, dati di funzionamento, etc.
- **Numero di realizzazioni positive:** si valuta il numero di impianti costruiti utilizzando una determinata tecnologia e il grado di maturità tecnologico di tali impianti.
- **Dimensione dell'impianto sperimentato:** si valuta il grado di maturità tecnologica raggiunto sulla base della massima taglia d'impianto effettivamente sperimentata.
- **Evidenza di funzionamento:** Si premia la disponibilità di informazioni verificabili circa il funzionamento dell'impianto, senza tuttavia arrivare in alcun caso a un'indicazione sulle effettive ore di funzionamento annue.

Survey delle tecnologie potenzialmente WtC (scala semi-ind.)

Tecnologia	Punteggio
1 Ebara-UBE Process	3,81
2 Enerkem	3,41
3 Lahti Kymijärvi II	3,37
4 Thermoselect	3,34
5 Schwarze Pumpe	3,29
6 Envirotherm	3,17
7 Lahti Kymijärvi I	3,09
8 CHO Power	3,01
9 Ineos Bio	3,00
10 AMBIGO	2,99
11 Plasco	2,79
12 Gasplasma	2,69
13 Noell Conversion	2,49
14 AlterNRG	2,47



Pirolisi di plastiche: elenco non esaustivo

Significativa difficoltà nel reperire informazioni

Esplicito rifiuto da alcuni sviluppatori a fornire informazioni all'Università

Prodotto principale: **Piro-olio** (rese 80%)
Sostituto della **virgin-nafta** nella produzione dei **polimeri plastici**

Fornitore di tecnologia	Luogo	Capacità [t/giorno]	Impianto	Commissionato	Sito web
Agilyx	Tigard (US)	10	Pilota	2014 (chiuso 2016)	https://www.agilyx.com/
Nexus Fuels	Atlanta (US)	50	Pilota	2013	https://www.nexusfuels.com/
Recycling Technologies	Swindon (UK)	2,5	Pilota	2018	https://recyclingtechnologies.co.uk/
Alterra Energy (ex VADXX)	Danville (US)	1	Pilota	2010 (chiuso 2014)	https://alterraenergy.com/
	Akron (US)	60	Produzione	2016 (chiuso 2017)	
Plastic Energy (ex Cynar)	Portaloise pilot (UK)	10	Pilota	2010 (chiuso 2016)	https://plasticenergy.com/
	Avonmouth (UK)	16	Pilota	2015 (chiuso)	
	Siviglia (ES)	20	Produzione	2016	
	Almeria (ES)	20	Produzione	2017	
	Grandpuits (FR)	45	Produzione	2023	
Quantafuel	Navojoa (MX)	10	Pilota	2016 (chiuso 2018)	https://www.quantafuel.com/
	Skive (DK)	60	Produzione	2020	
Klean Industries	Sapporo (JP)	50	Produzione	2000 (chiuso 2012)	https://kleanindustries.com/
Brightmark	Perry (US)	60	Pilota	2013 (chiuso 2013)	https://www.brightmark.com/
	Ashley (US)	270	Produzione	2021	
MK Aromatics Ltd	Tamil Nadu (IN)	10	Produzione	2009	http://www.mkaromatics.com/
PolyPetron	Sa Keo (TH)	20	Produzione	2019	https://www.sepcoindustries.com/polypetron
Renewlogy (formerly PK clean)	Salt Lake City (US)	5	Pilota	2013	http://renewlogy.com/
	Nova Scotia (CA)	12	Produzione	2021	
MoReTec	Ferrara (IT)	0,3	Pilota	2020	https://www.lyondellbasell.com/en/

Rese in massa dei processi WtC-pirolisi

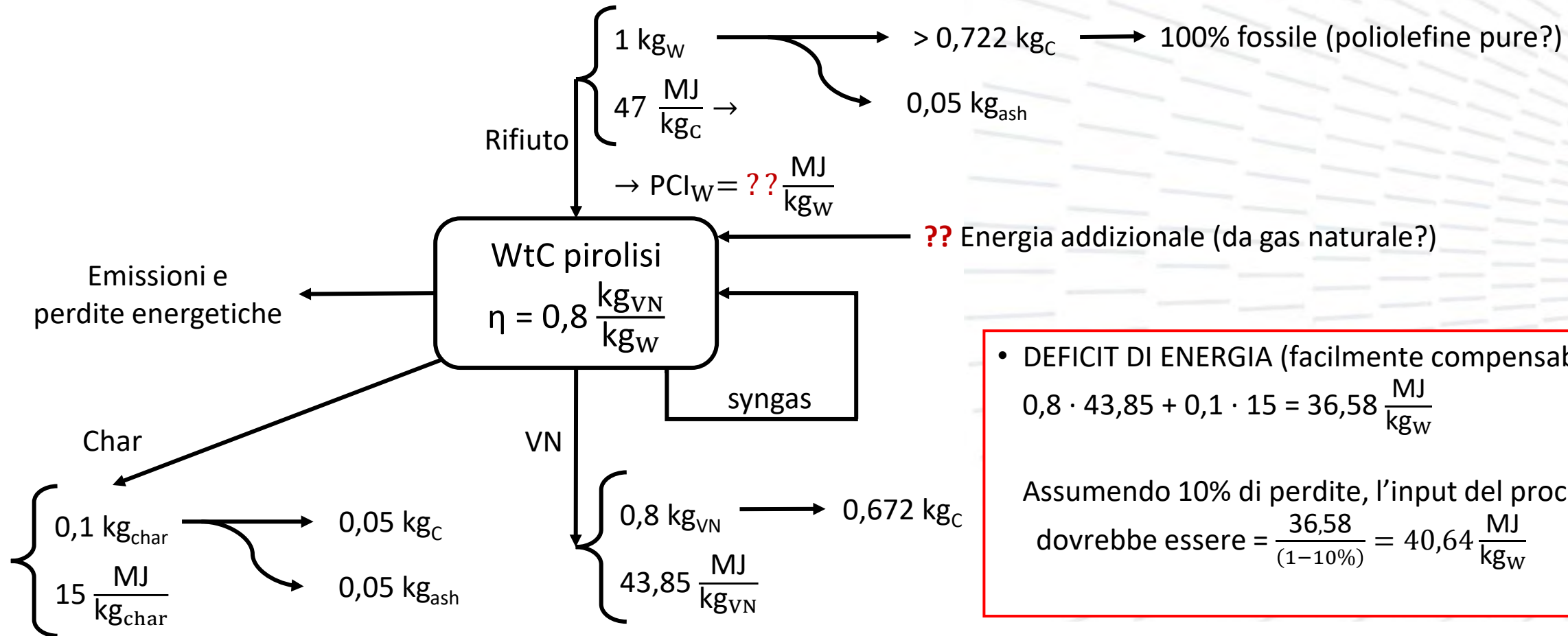
- I processi «più innovativi» appaiono piuttosto allineati in termini di rese in piro-olio
- Non sono disponibili né Process-Flow-Diagram (PFD), né, tantomeno, bilanci di massa ed energia
- Tuttavia, ragionevoli ipotesi sono possibili sulle caratteristiche dei flussi in uscita
- Ciò consente di indagare natura e quantità dei flussi di ingresso mediante bilanci di massa ed energia di tipo «black box»

<i>Technology / yields</i>	<i>Pyro-oil</i>	<i>Syngas</i>	<i>Char</i>
<i>Eni Versalis – HOOP [4]</i>	80%	8%	12%
<i>LyondellBasell – MoReTec [5]</i>	70-80%	10-15%	~10%
<i>Plastic Energy Ltd [6]</i>	85-90%	~0%	10-15%
<i>Quantafuel [7]</i>	80%	10%	10%
<i>This work</i>	80%	10%	10%

References

- [4] Eni Versalis website.
- [5] LyondellBasell website.
- [6] Plastic Energy Ltd website.
- [7] Quantafuel website.

Bilancio del carbonio e dell'energia di un processo con $\varepsilon = 80\%$



- DEFICIT DI ENERGIA (facilmente compensabile):

$$0,8 \cdot 43,85 + 0,1 \cdot 15 = 36,58 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_W}$$

Assumendo 10% di perdite, l'input del processo dovrebbe essere $= \frac{36,58}{(1-10\%)} = 40,64 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_W}$

VN indica un "virgin naphtha-like pyro-oil".

Conclusioni

- Gassificazione e pirolisi sono entrambi processi termochimici che, **sul piano teorico**, ben si prestano quale base per tecnologie WtC (o di «riciclo chimico delle plastiche»)
- Le soluzioni basate sulla gassificazione hanno una storia più lunga, ma anche nei casi migliori (p.e., esercizio commerciale provato), **non hanno mai raggiunto una significativa diffusione**
- L'aspetto più critico dei processi basati sulla gassificazione è la **pulizia del syngas**
- Le recenti soluzioni basate sulla pirolisi sono attualmente **sotto i riflettori**
- La **preparazione del rifiuto** da alimentare al processo è importante sia per la gassificazione che per la pirolisi, ma per quest'ultimo diviene un **aspetto critico**
- Insieme alla preparazione del rifiuto, per la pirolisi è **critica la messa a punto del processo**
- Le tecnologie basate su pirolisi che riportano rese interessanti devono **necessariamente utilizzare rifiuti selezionati**, ad alto / altissimo tenore di carbonio (es. mix di poliolefine poco contaminati)
- Verosimilmente, si tratta di **rifiuti 100% fossili** la cui disponibilità è piuttosto circoscritta
- Si tratta di rifiuti che già oggi seguono **altre strade virtuose di valorizzazione energetica**

Grazie per l'attenzione

federico.vigano@polimi.it



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI ENERGIA



www.mater.polimi.it



LEAP
FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO

7 OTTOBRE 2025



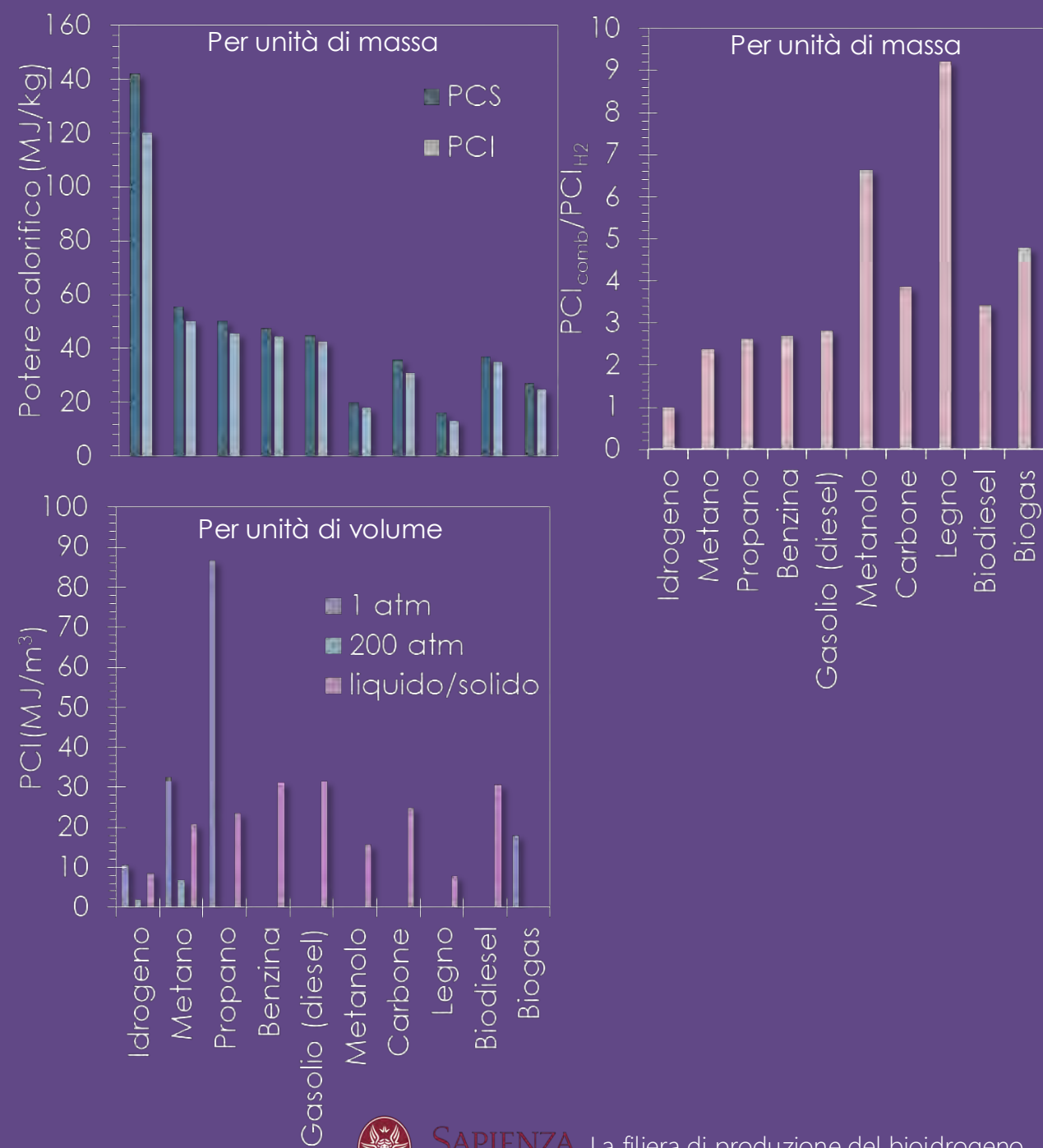
LA FILIERA DI PRODUZIONE DEL BIOIDROGENO

Alessandra Poletti – Università degli Studi di Roma «La Sapienza»

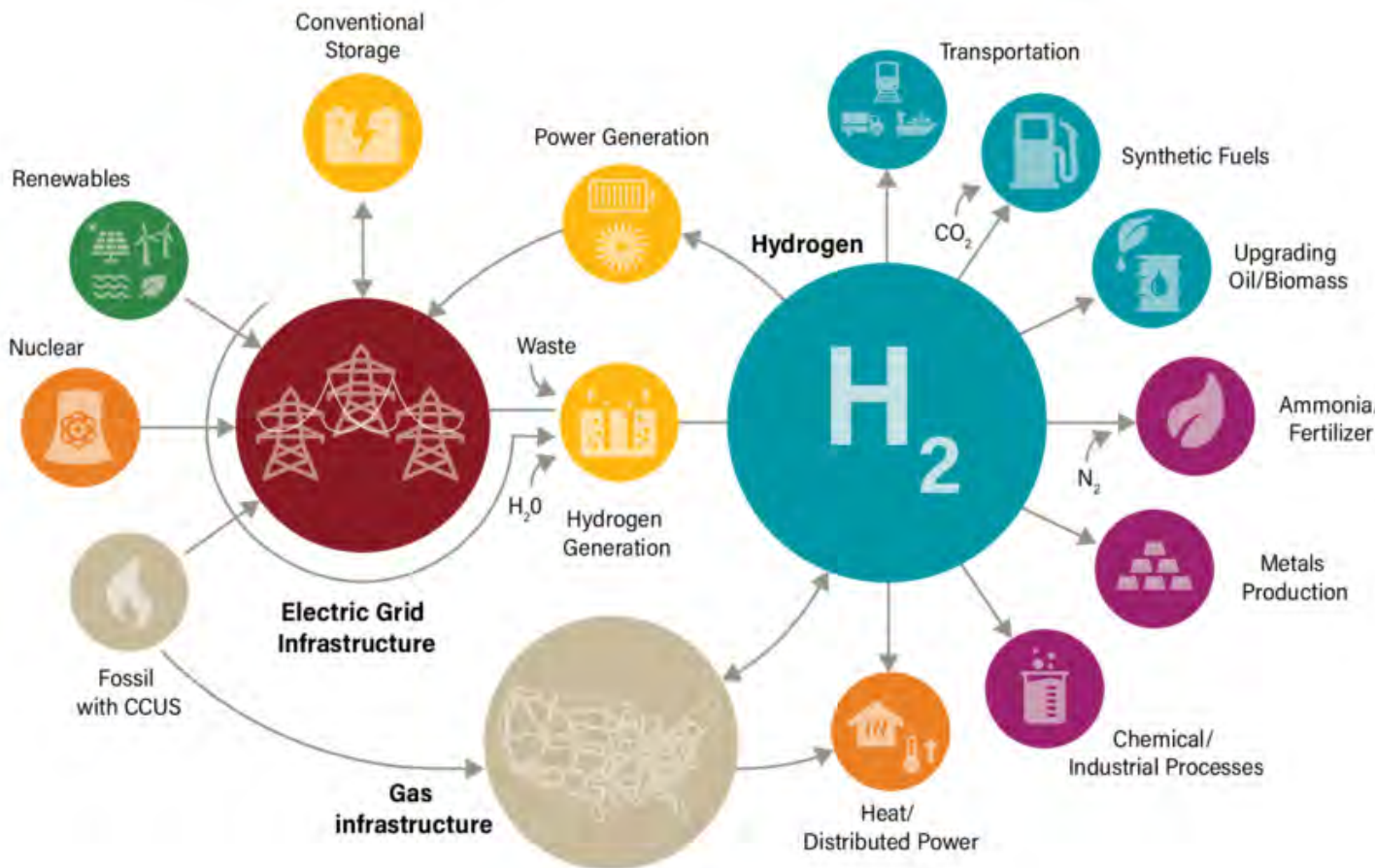
PROPRIETÀ DELL'H₂

- L'elemento chimico più abbondante nell'universo
- Sulla terra presente sotto forma di acqua e stoccato nelle biomasse
- Il gas più leggero tra quelli noti
- Ridotta solubilità in acqua (1.9 mL H₂/100 ml H₂O a STP)

Temperatura di fusione	-259.14 °C
Temperatura di ebollizione	-252.87 °C
Intervallo esistenza fase liquida	6.27 °C
Temperatura critica	-259.14 °C
Densità vapore	0.084 kg/m ³
Densità liquido	70.8 kg/m ³
Limiti infiammabilità	4–75 % vol.
Limite detonabilità in aria	13–59 % vol.

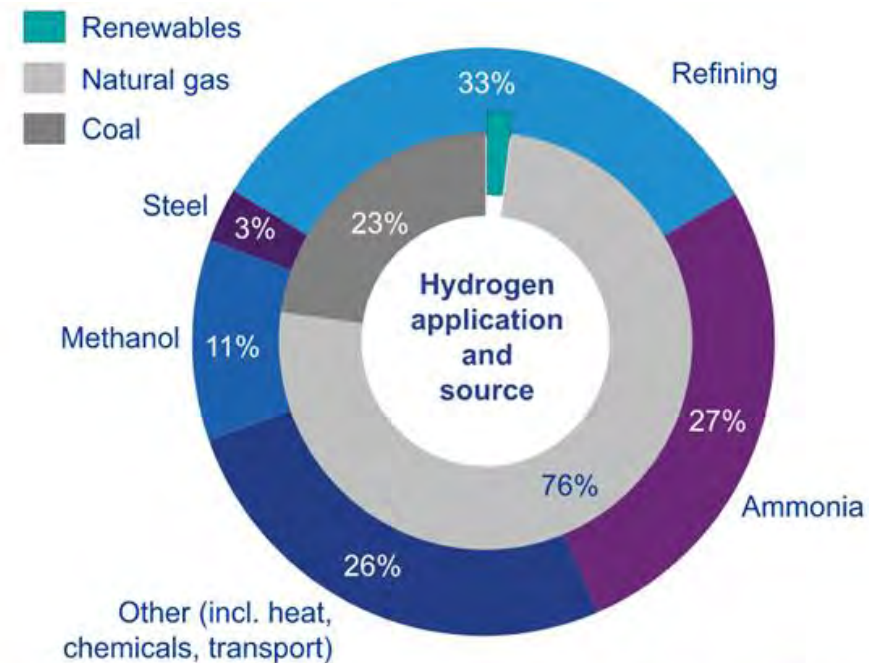


PRINCIPALI IMPIEGHI DELL'H₂



- Stoccaggio di energia
- Impieghi industriali
- Sistemi di trasporto
- Produzione di calore

Produzione totale: 144 Mt H₂/anno



Source: The Hydrogen Trajectory, by Dr Michael Casperson, KPMG Denmark, [The hydrogen trajectory - KPMG Global \(home.kpmg\)](https://home.kpmg)

TIPI DI H₂

BLACK/BROWN H₂

Prodotto da combustibili fossili (carbone o lignite)

GREY H₂

Prodotto da combustibili fossili (gas naturale)

BLUE H₂

Prodotto da combustibili fossili + sistemi di CCS

PINK H₂

Prodotto mediante elettrolisi dell'acqua utilizzando energia nucleare

TURQUOISE H₂

Prodotto da gas naturale mediante pirolisi

YELLOW H₂

Prodotto mediante elettrolisi dell'acqua utilizzando energia solare

GREEN H₂

Prodotto da fonti rinnovabili (acqua + energia rinnovabile, biomasse, rifiuti)

WHITE H₂

Idrogeno di origine geologica presente in giacimenti naturali (al momento non ancora sfruttabile)

PRODUZIONE DI BIOIDROGENO

Ruolo dei processi biologici di produzione di H_2

Produzione di H_2 con emissioni nette di CO_2 inferiori (o nulle) rispetto ai processi di produzione tradizionali

Contestuale valorizzazione energetica e stabilizzazione di materiali di scarto

Processi non energivori al contrario dei sistemi di produzione di H_2 tradizionali

Elevate velocità di produzione di H_2

Ridotte rese di produzione di H_2

PRODUZIONE DI BIOIDROGENO

Tipologie di processi biologici

FONTE DI ENERGIA

PROCESSO

MICRORGANISMI

Energia solare

Biofotolisi

Diretta

Alghe verdi

Indiretta

Cianobatteri

Composti organici

Fermentazione

Fotofermentazione

Batteri purpurei sulfurei

Batteri purpurei non sulfurei

Dark fermentation

Batteri mesofili (obbl. o facolt.)

Batteri termofili (obbl. o facolt.)

Energia elettrica

Elettrolisi biologica

Celle di elettrolisi
microbica

Batteri elettroattivi

DARK FERMENTATION

RESIDUI POTENZIALMENTE VALORIZZABILI

Rifiuti da lavorazioni agricole

Biomasse acquatiche

- Alghe

Rifiuti industriali

- Residui industria alimentare
- Residui industria casearia
- Residui agroindustria

Effluenti industriali

- Effluenti zuccherifici
- Reflui attività vitivinicole
- Reflui industria agrumaria
- Reflui caseari
- Altri reflui

Rifiuti urbani

- Scarti alimentari
- Rifiuti verdi
- Fanghi di depurazione

DARK FERMENTATION

PERCORSI METABOLICI

Produzione
H₂

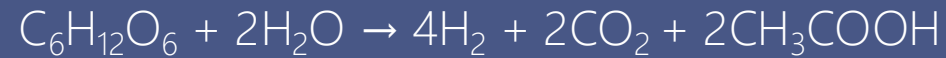
Consumo o
mancata
produzione
H₂

Tipo fermentaz.	Reazione	Microrganismi
Acetica	Esoso $\rightarrow$ 2 Acetico + 4 H ₂ + 2 CO ₂	Clostridium pasteurianum
Butirrica	Esoso $\rightarrow$ Butirrico + 2 H ₂ + 2 CO ₂	Clostridium butyricum
Caproica/ Butirrica	6 Etanolo + 3 Acetato ⁻ $\rightarrow$ 3 Butirrato ⁻ + Caproato ⁻ + 2 H ₂ + 4 H ₂ O + H ⁺	Clostridium kluyveri
Acido-mista	Esoso $\rightarrow$ Etanolo + 2,3-Butanodiolo + Succinico + Lattico + Acetico + Formico + H ₂ + CO ₂	Batteri enterici: Escherichia, Salmonella, Shigella, Klebsiella, Enterobacter
Butanolica	2 Esoso $\rightarrow$ Butanolo + Acetone + 5 CO ₂ + 4 H ₂	Clostridium acetobutylicum
Propionica	Esoso + 2 H ₂ $\rightarrow$ 2 Propionico + H ₂ O	Propionibacterium, Clostridium propionicum
Alcolica	Esoso $\rightarrow$ 2 Etanolo + 2 CO ₂	Lieviti, Zymomonas
Omolattica	Esoso $\rightarrow$ 2 Lattico	Streptococcus, alcuni Lactobacilli
Eterolattica	Esoso $\rightarrow$ Lattico + CO ₂ + Etanolo	Leuconostoc, alcuni Lactobacilli
Omoacetogenica	4 H ₂ + 2 CO ₂ $\rightarrow$ Acetico + 2 H ₂ O	Clostridium aceticum

DARK FERMENTATION

RESA EFFETTIVA

Limite di Thauer – fermentazione ad acido acetico:



• Resa in H_2 : $4 \frac{\text{mol H}_2}{\text{mol esoso}}$ ($\frac{1}{3}$ della resa teorica)

Effetti di altri percorsi metabolici:

• Formazione di prodotti metabolici più ridotti dell'acetato (es. propionato, butirato e acidi alifatici a catena più lunga, lattato, formiato, alcoli e chetoni):



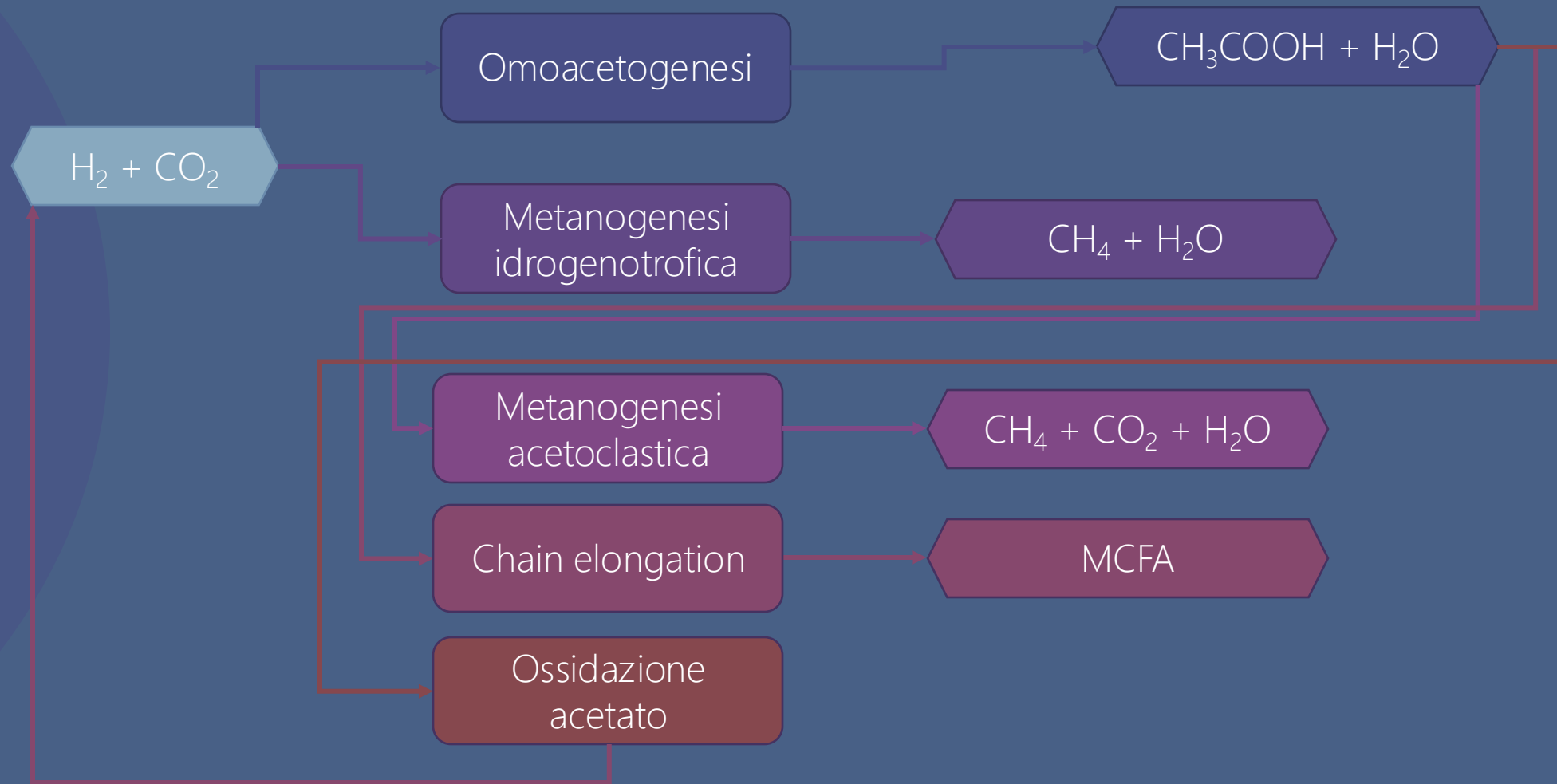
• Resa in H_2 : $2 \frac{\text{mol H}_2}{\text{mol esoso}}$ ($\frac{1}{6}$ della resa teorica)

Considerazioni metaboliche ed energetiche:

- H_2 preferenzialmente riciclato nei percorsi metabolici per consentire la ri-ossidazione dell' NADH , ottimizzando l'utilizzo di energia da parte della biomassa e aumentando il rendimento di crescita
- Formazione di ulteriori prodotti allo stato ridotto

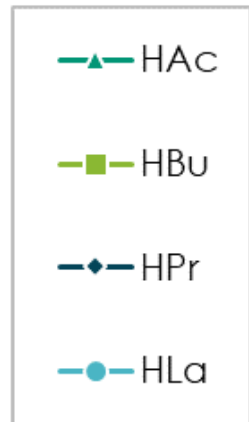
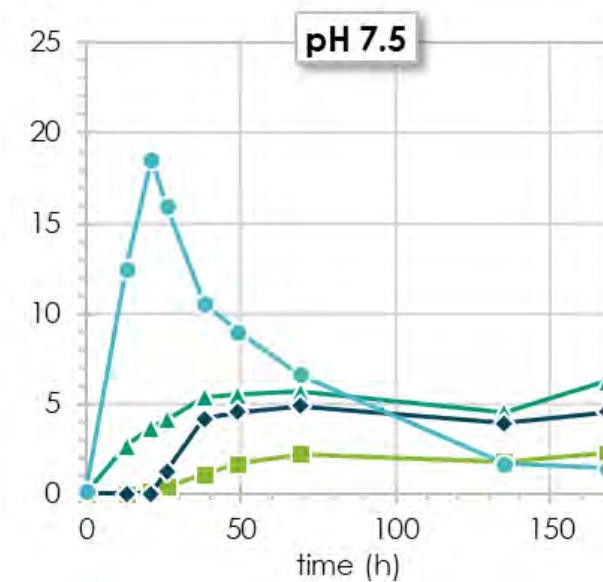
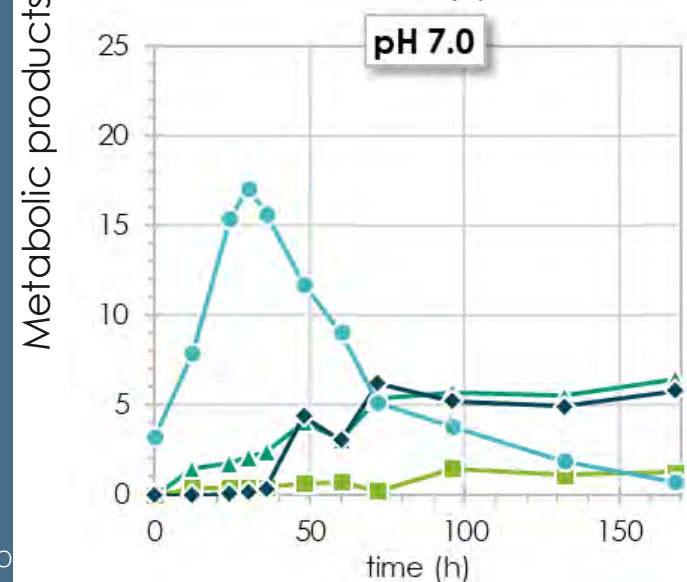
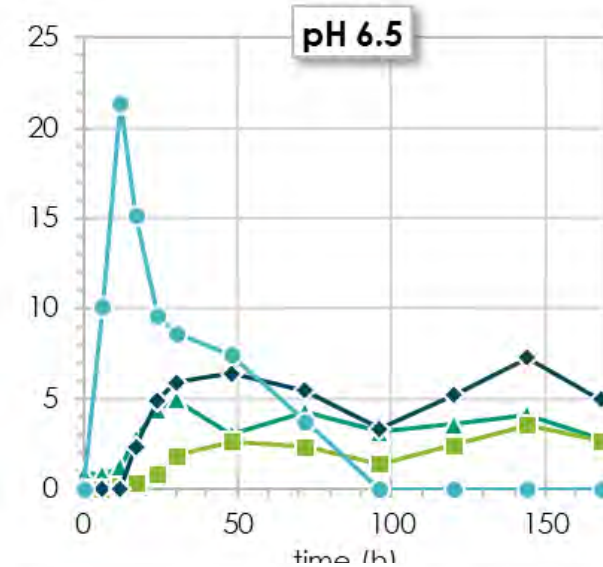
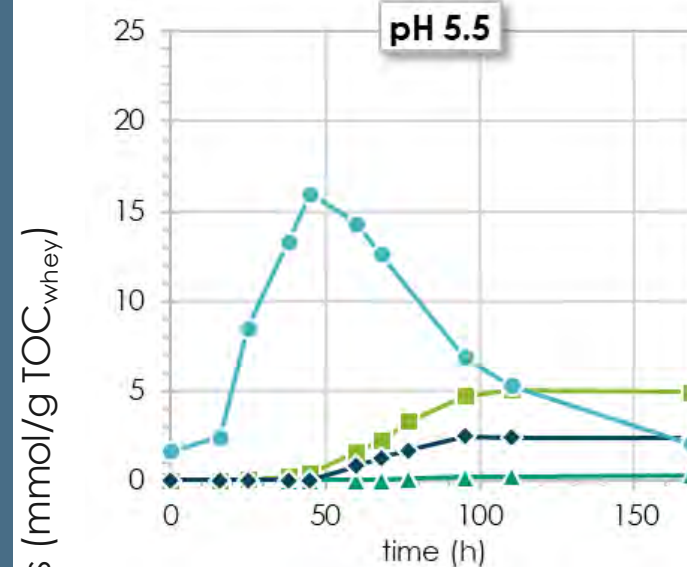
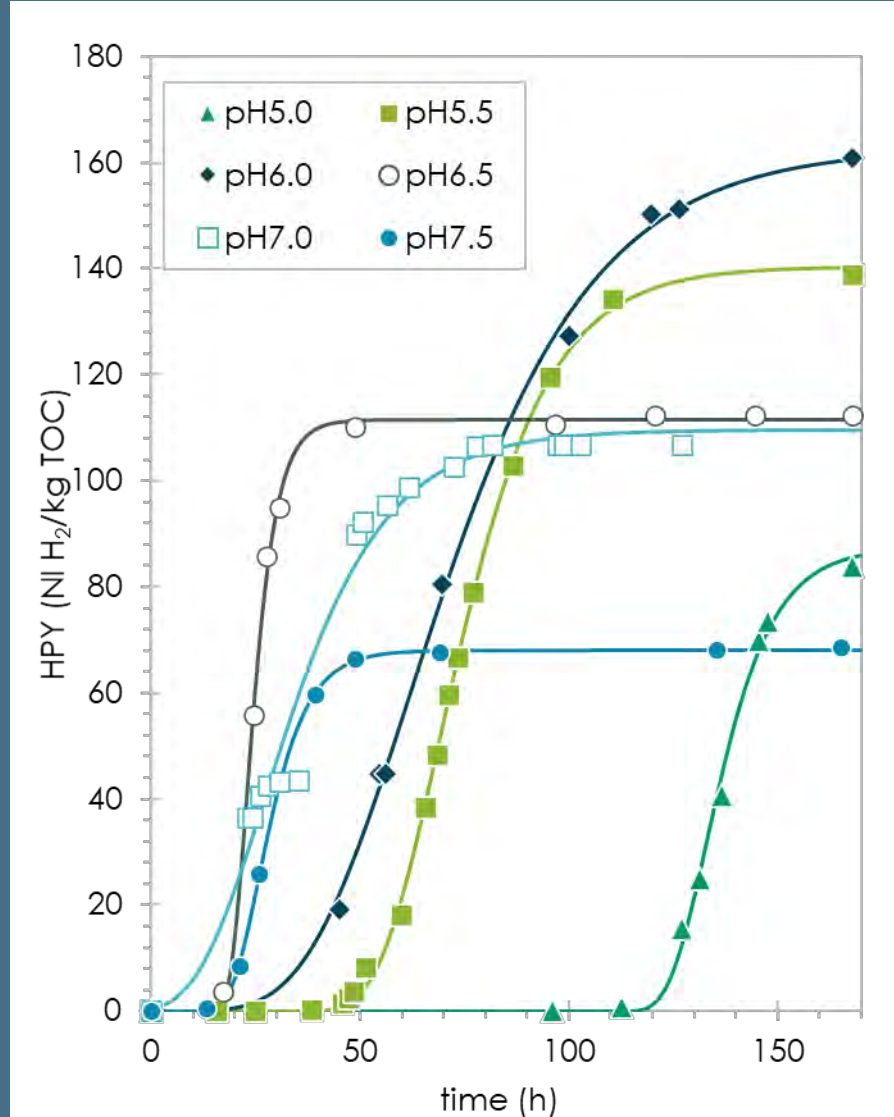
DARK FERMENTATION

POSSIBILI ULTERIORI STADI DI CONVERSIONE



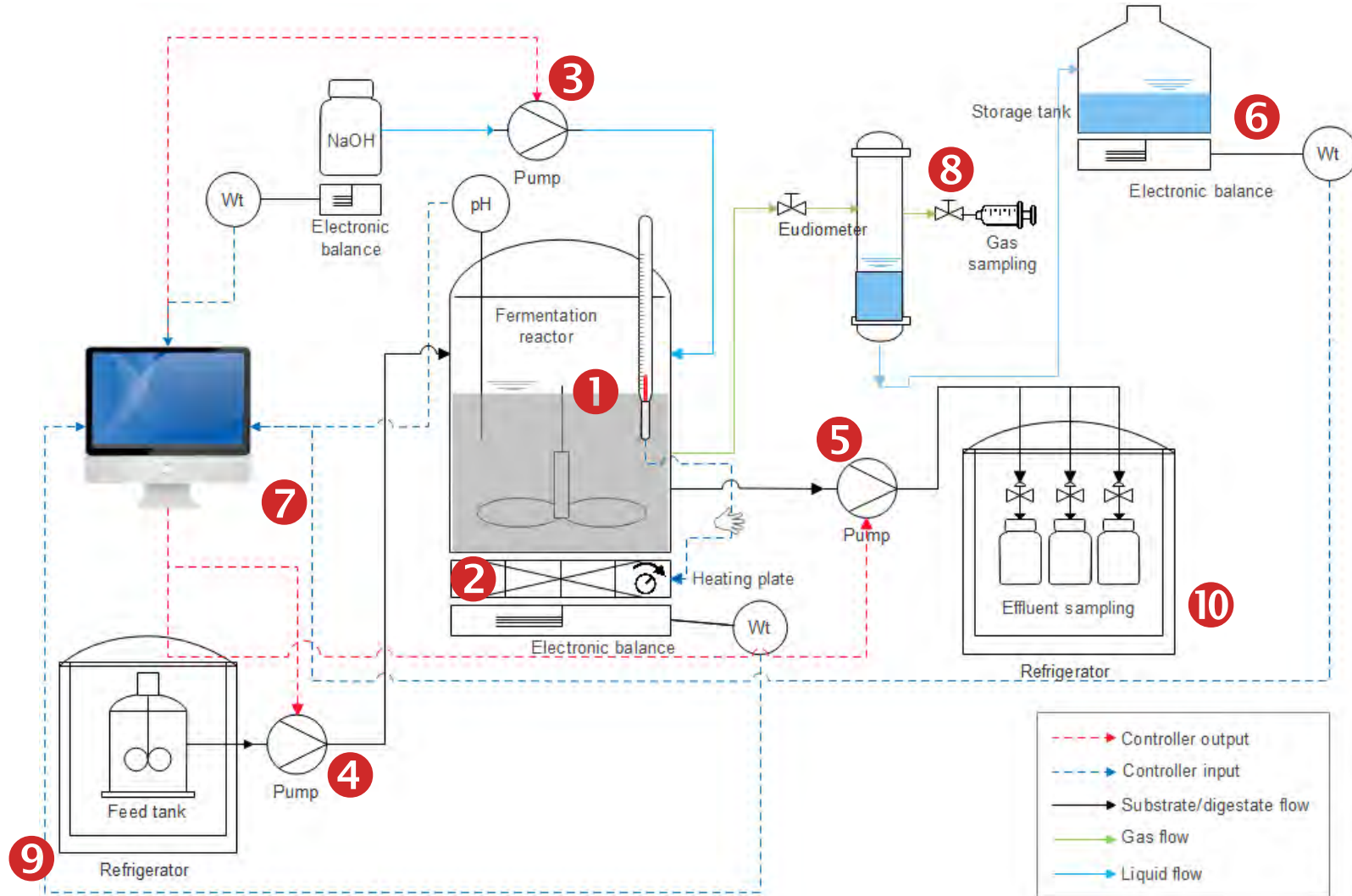
STUDI SPERIMENTALI (test batch)

Prodotti metabolici (siero caseario senza inoculo)



STUDI SPERIMENTALI (test in continuo)

Set-up sperimentale

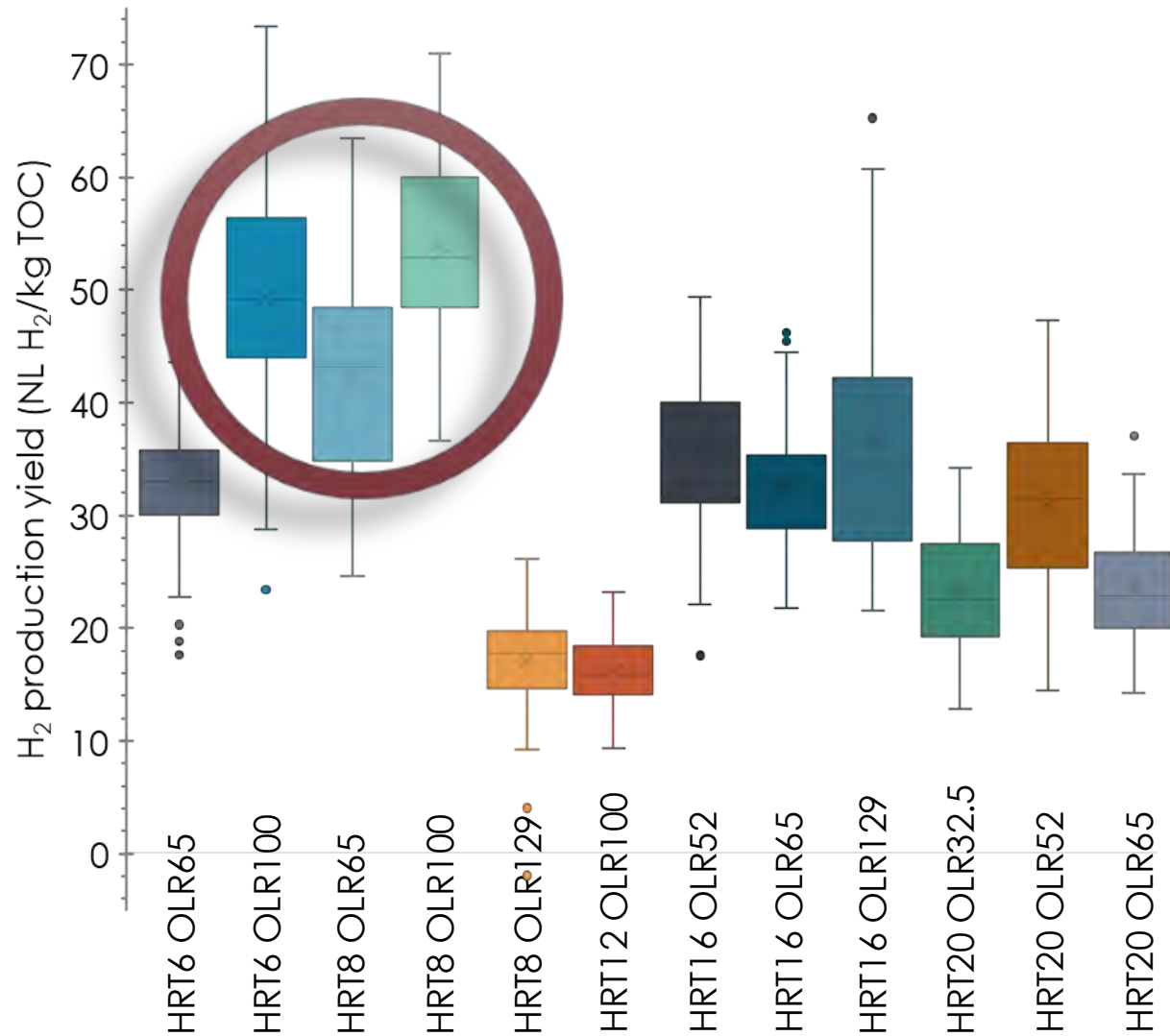


Componenti

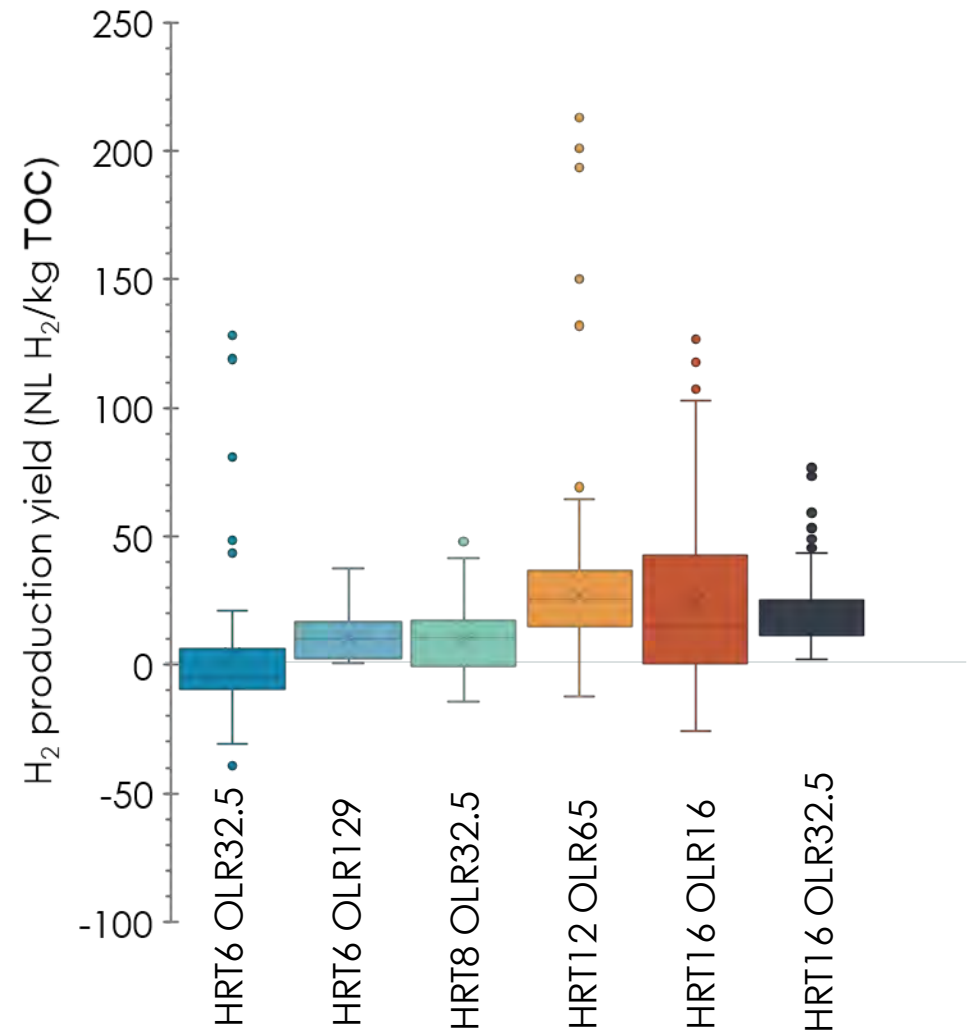
- 1 1-L anaerobic CSTR
- 2 Reactor heating system ($T = 38 \pm 1^\circ \text{C}$)
- 3 Automatic pH control system
- 4, 5 Automatic pumps for reactor feeding/discharge
- 6, 7 Automatic biogas volume measurement and recording
- 8 Biogas sampling and collection port
- 9, 10 Refrigerators for feed and discharge

STUDI SPERIMENTALI (test in continuo)

Test stabili



Test instabili



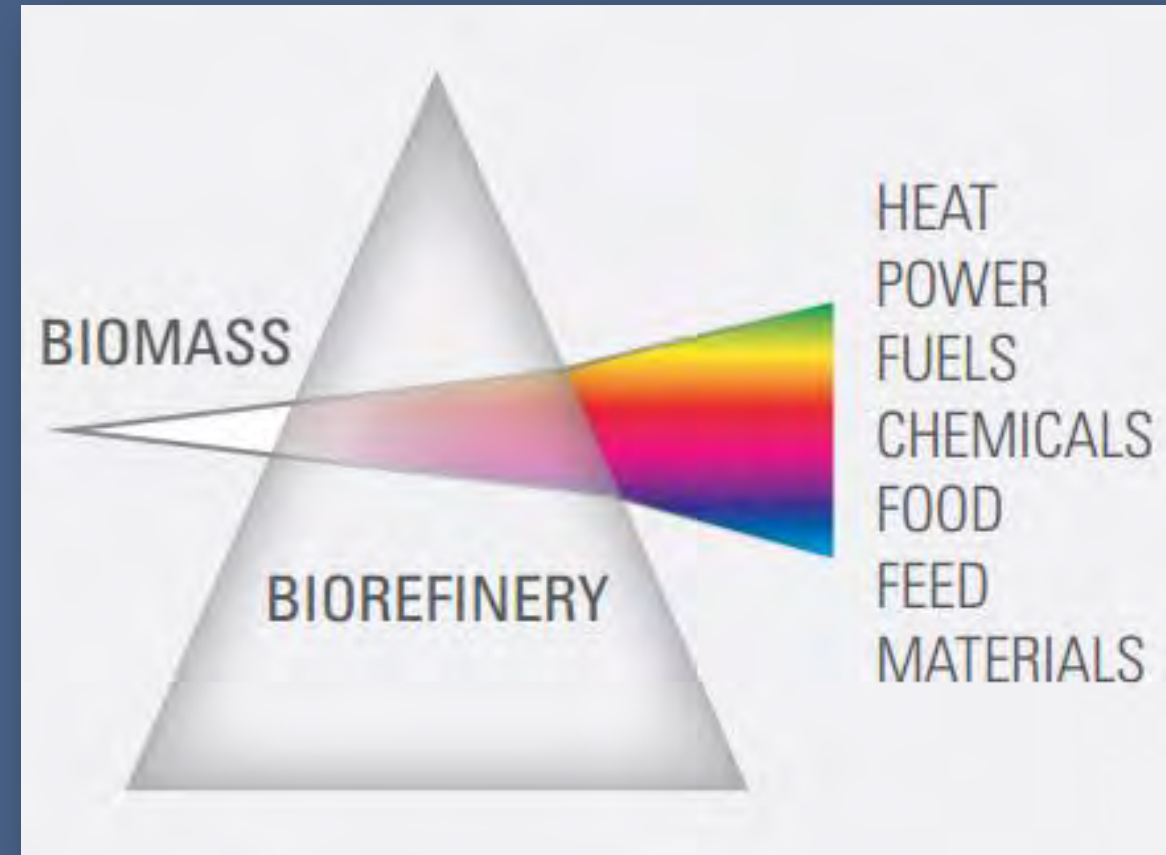
CONCETTO DI BIORAFFINERIA



Conversione sostenibile di biomasse in una varietà di materiali e forme di energia (IEA, Bioenergy Task 42, 2008) mediante processi biochimici e/o (termo)chimici:



- Combustibili liquidi o gassosi
- Calore
- Energia elettrica
- Biopolimeri/bioplastiche
- Enzimi
- Ingredienti per alimenti
- Mangimi per zootecnia
- Fertilizzanti
- Sostanze chimiche (acidi organici, dioli, prodotti farmaceutici, ...)



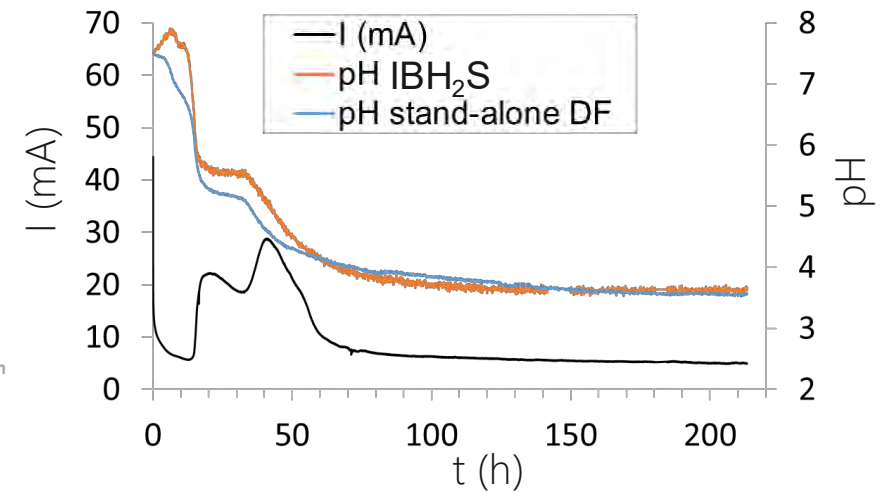
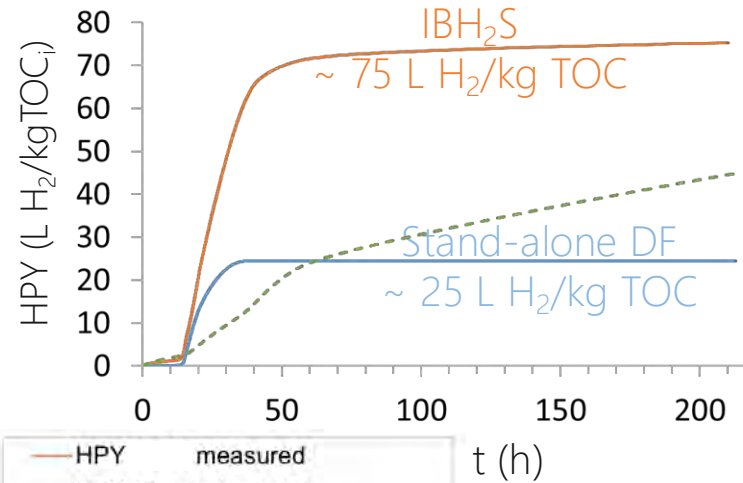
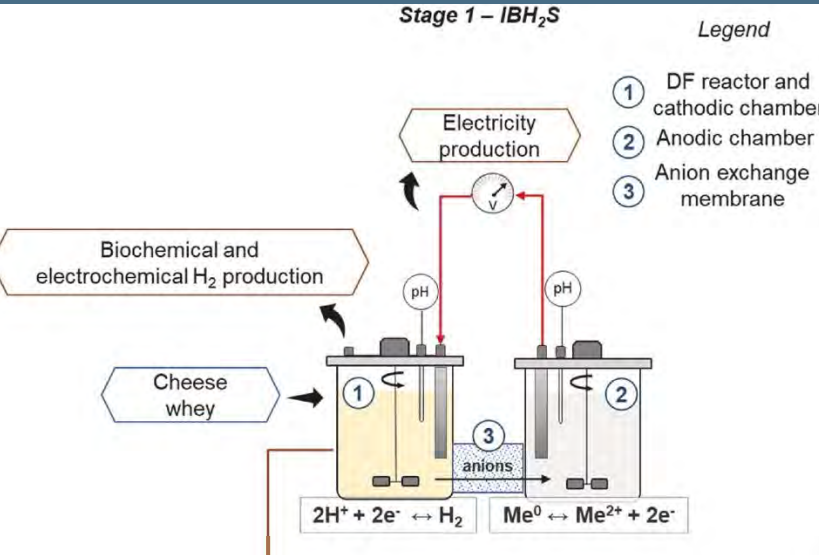
STUDI SPERIMENTALI (test bioelettrochimici)

Sistema integrato bioelettrochimico + MEC

Stage 1 – IBH₂S

Legend

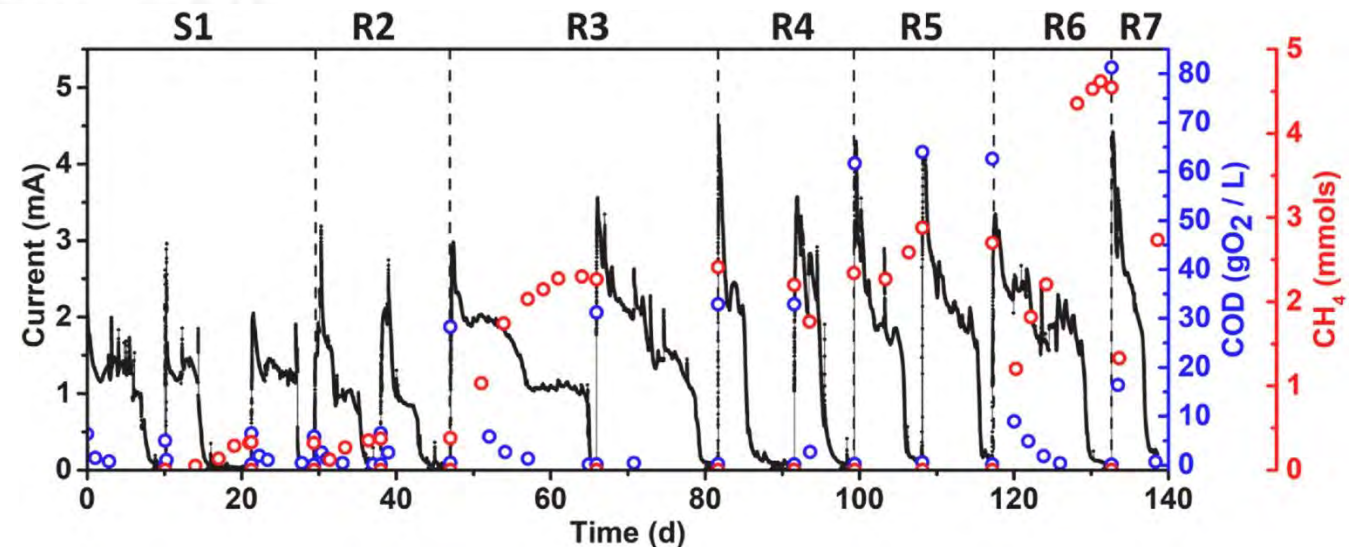
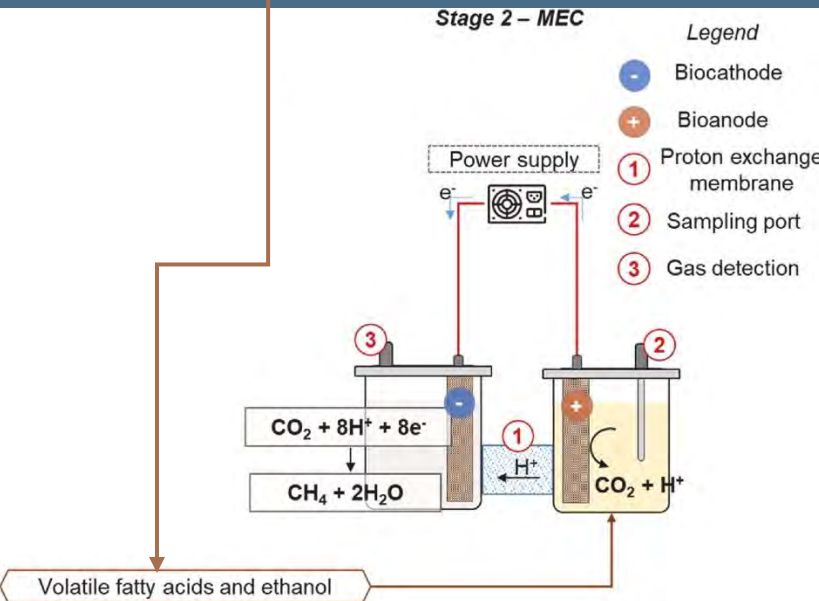
- 1 DF reactor and cathodic chamber
- 2 Anodic chamber
- 3 Anion exchange membrane



Stage 2 – MEC

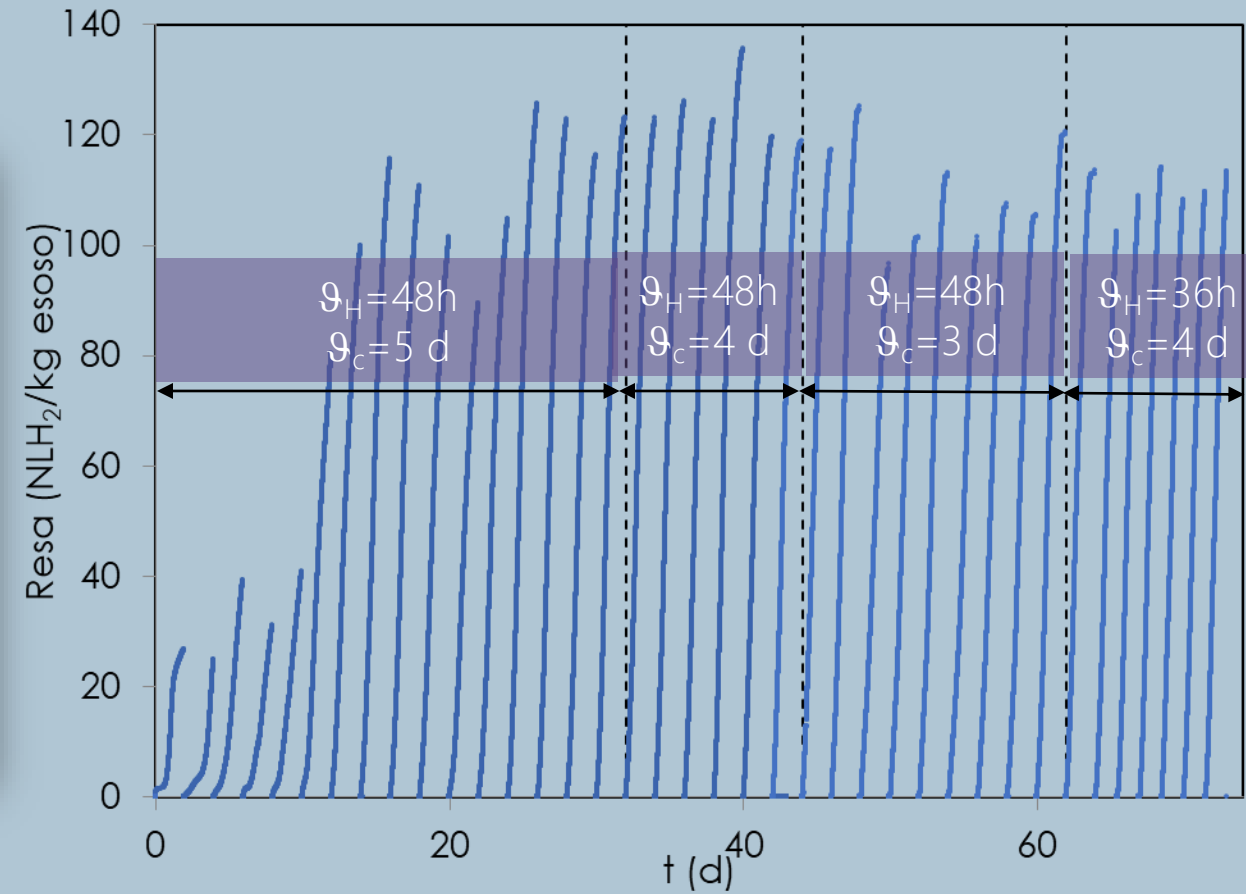
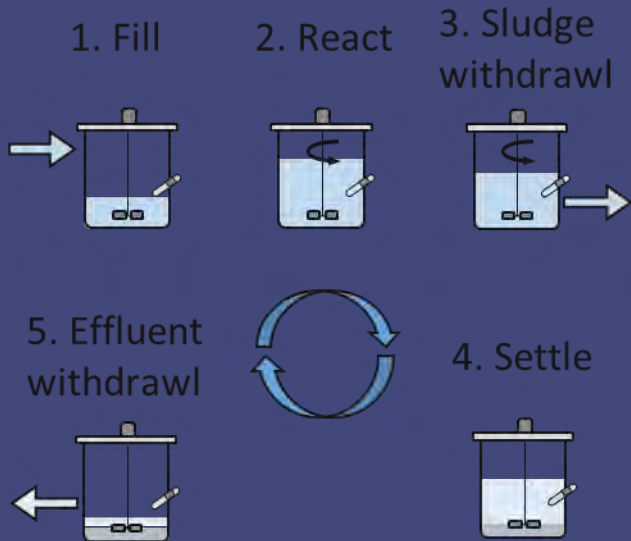
Legend

- Biocathode
- Bioanode
- 1 Proton exchange membrane
- 2 Sampling port
- 3 Gas detection



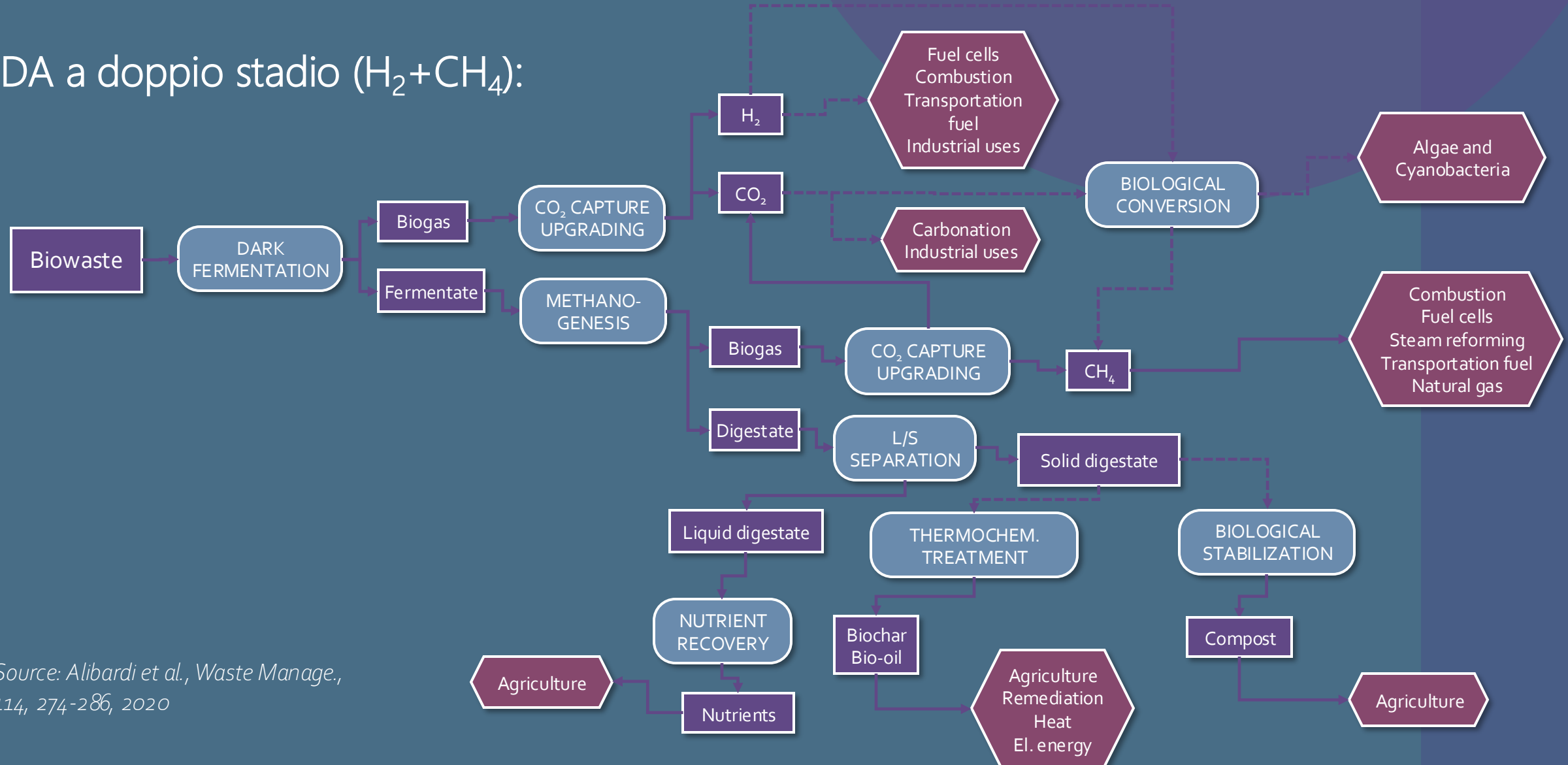
STUDI SPERIMENTALI (test in SBR)

Reattore di fermentazione in sequenza di fasi



PRODUZIONE DI H₂ E BIORAFFINERIE

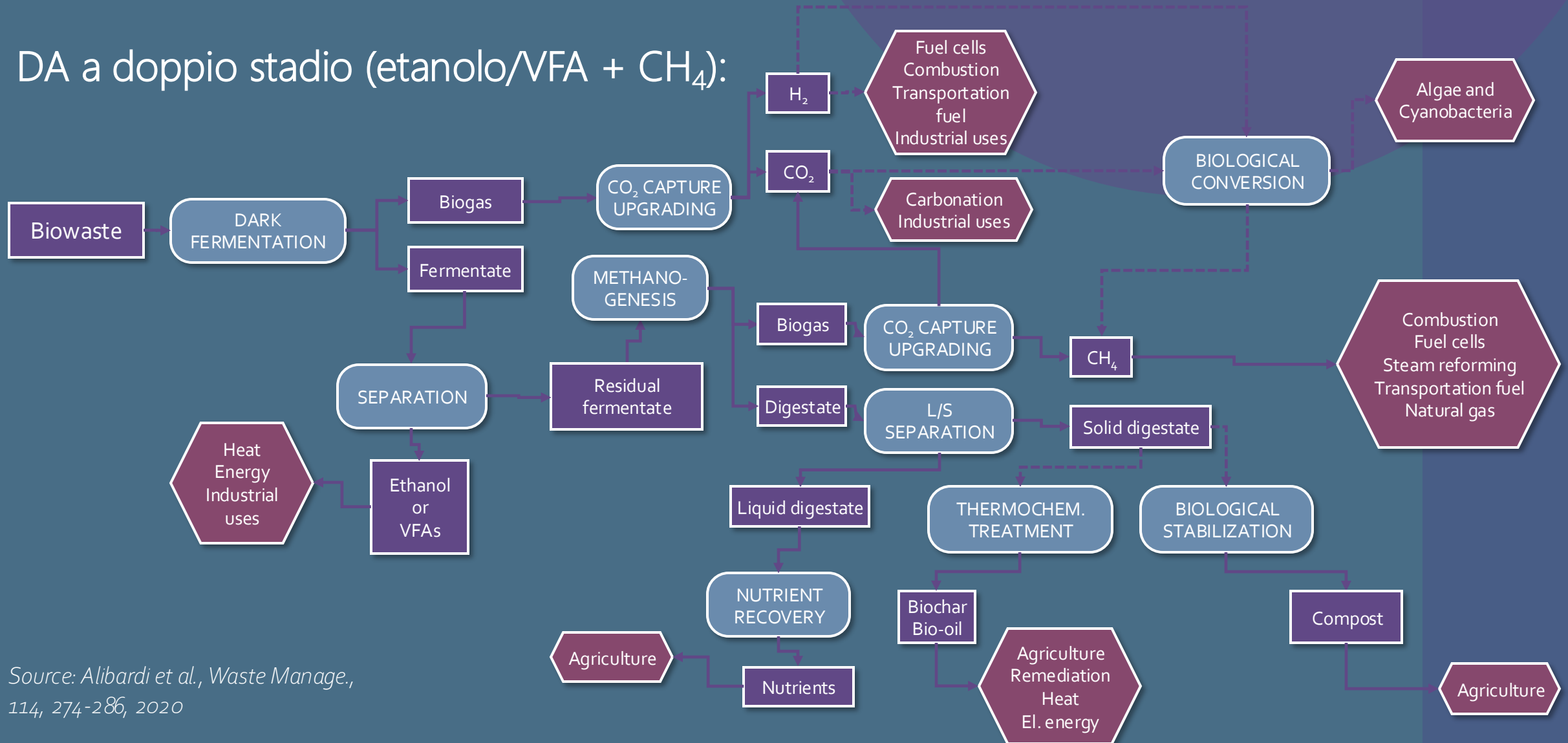
DA a doppio stadio (H₂+CH₄):



Source: Alibardi et al., Waste Manage., 114, 274-286, 2020

PRODUZIONE DI H₂ E BIORAFFINERIE

DA a doppio stadio (etanolo/VFA + CH₄):



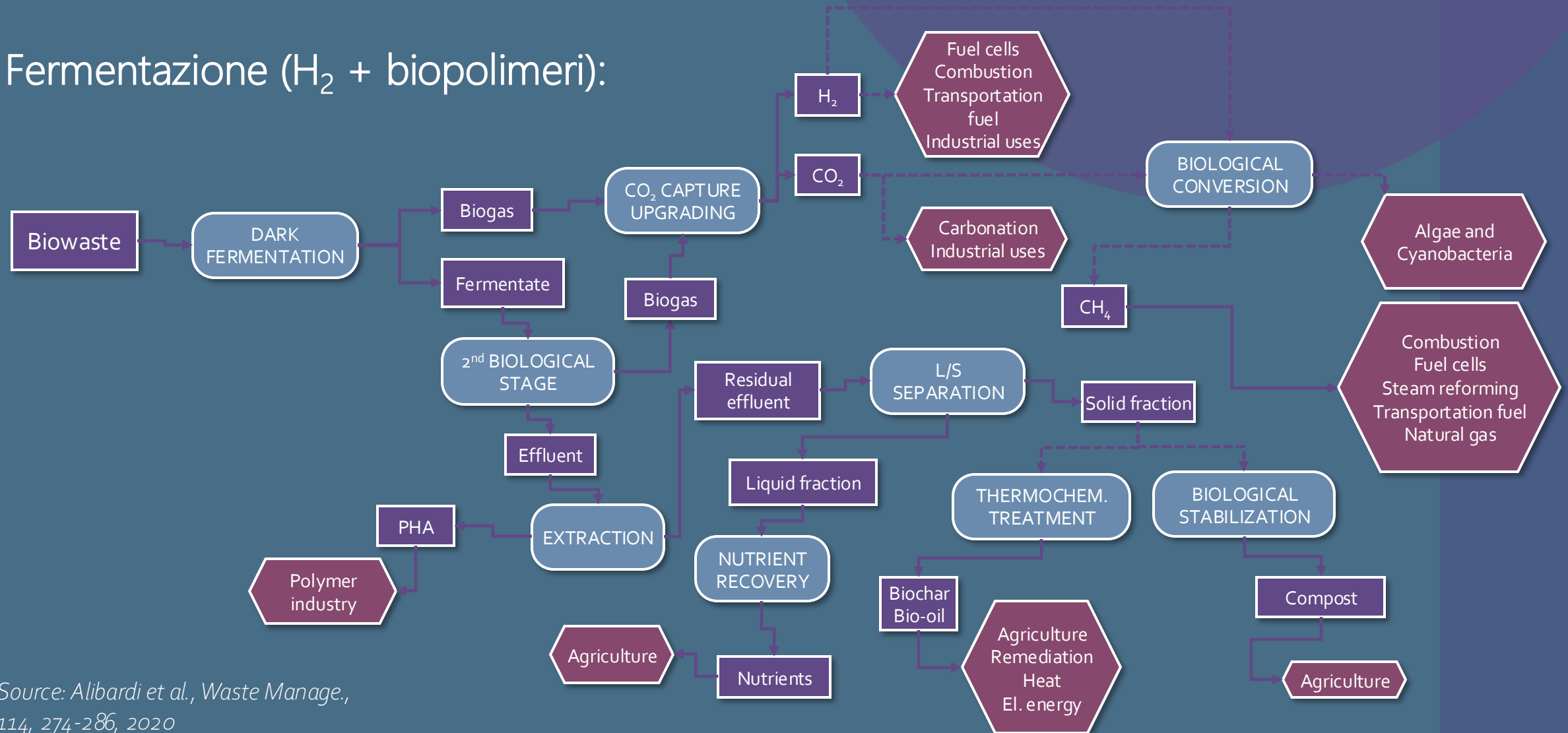
Source: Alibardi et al., Waste Manage., 114, 274-286, 2020

DF a doppio stadio (solo H₂):



PRODUZIONE DI H₂ E BIORAFFINERIE

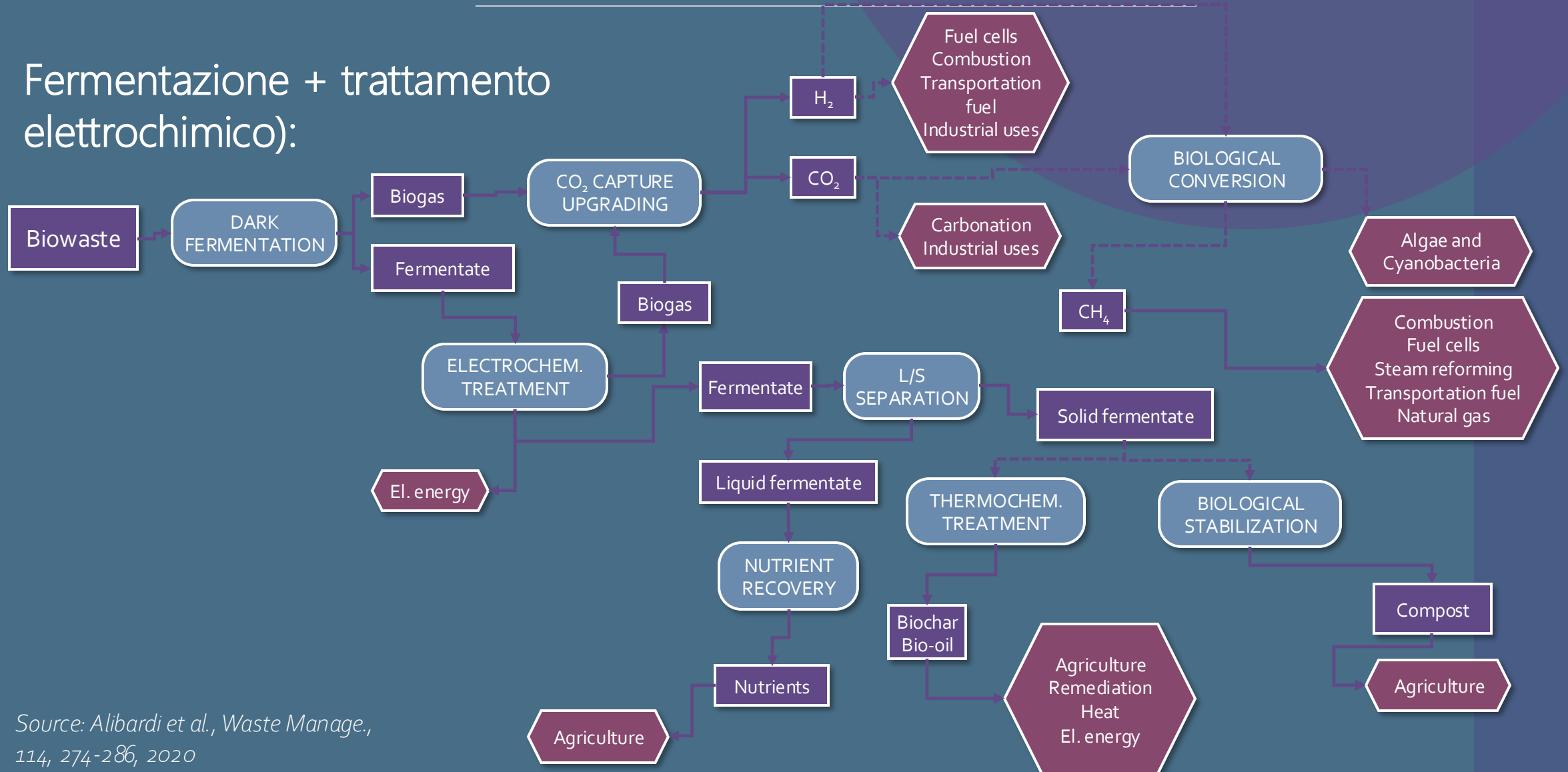
Fermentazione (H₂ + biopolimeri):



Source: Alibardi et al., Waste Manage., 114, 274-286, 2020

PRODUZIONE DI H₂ E BIORAFFINERIE

Fermentazione + trattamento elettrochimico):



Source: Alibardi et al., Waste Manage., 114, 274-286, 2020

Grazie per
l'Attenzione

Seminario tecnico-scientifico

TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

Università degli studi di Roma Tor Vergata - 7 ottobre 2025

PIANIFICAZIONE NAZIONALE NELL'OTTICA DELLE NUOVE TECNOLOGIE



ASSOAmbiente
Associazione Imprese Servizi Ambientali
ed Economia Circolare

Elisabetta Perrotta

con il patrocinio di

PNRR e PNRR



MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

COMPONENTI E RISORSE (MILIARDI DI EURO):



59,47

Totale

M2C1 - ECONOMIA CIRCOLARE E AGRICOLTURA SOSTENIBILE 5,27

M2C2 - ENERGIA RINNOVABILE E IDROGENO, RETE

M

R

M

ID

QUADRO DELLE MISURE E RISORSE (MILIARDI DI EURO):

5,27
Mld

Totale

Ambiti di Intervento/Misure	Totale
1. Migliorare la capacità di gestione efficiente e sostenibile dei rifiuti e il paradigma dell'economia circolare	2,10
Investimento 1.1: Realizzazione nuovi impianti di gestione rifiuti e ammodernamento di impianti esistenti	1,50
Investimento 1.2: Progetti "faro" di economia circolare	0,60
Riforma 1.1: Strategia nazionale per l'economia circolare	-
Riforma 1.2: Programma nazionale per la gestione dei rifiuti	-
Riforma 1.3: Supporto tecnico alle autorità locali	-
2. Sviluppare una filiera agroalimentare sostenibile	2,80
Investimento 2.1: Sviluppo logistica per i settori agroalimentare, pesca e acquacoltura, silvicoltura, floricoltura e vivaismo	0,80
Investimento 2.2: Parco Agricolo	1,50
Investimento 2.3: Innovazione e meccanizzazione nel settore agricolo ed alimentare	0,50
3. Sviluppare progetti integrati	0,37
Investimento 3.1: Isole verdi	0,20
Investimento 3.2: Green communities	0,14
Investimento 3.3: Cultura e consapevolezza su temi e sfide ambientali	0,03



P.
N.
G.
R.

- 1 FINALITÀ E CONTESTO DEL PROGRAMMA
- 2 L'ITALIA NEL QUADRO EUROPEO IN MATERIA DI RIFIUTI: I TARGET EUROPEI E NAZIONALI PER IL PNGR
- 3 DAGLI OBIETTIVI GENERALI AI MACRO-OBIETTIVI
- 4 IL QUADRO CONOSCITIVO: DATI DI PRODUZIONE, IMPIANTI, FLUSSI IMPIANTISTICI E GAP
- 5 GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI E RICOGNIZIONE IMPIANTISCA
- 6 GESTIONE DEI RIFIUTI SPECIALI E RICOGNIZIONE DEL QUADRO IMPIANTISTICO
- 7 PRODUZIONE E GESTIONE DI SPECIFICHE TIPOLOGIE DI RIFIUTI SPECIALI E RICOGNIZIONE DEL QUADRO IMPIANTISTICO
- 8 FLUSSI DI RIFIUTI OMOGENEI STRATEGICI E AZIONI PER COLMARE I GAP
- 9 CRITERI E LINEE STRATEGICHE PER L'ELABORAZIONE DEI PIANI REGIONALI
- 10 CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE MACROAREE
- 11 PIANO NAZIONALE DI COMUNICAZIONE E CONOSCENZA AMBIENTALE IN TEMA DI RIFIUTI E DI ECONOMIA CIRCOLARE
- 12 IL MONITORAGGIO DEL PROGRAMMA

OBIETTIVI GENERALI

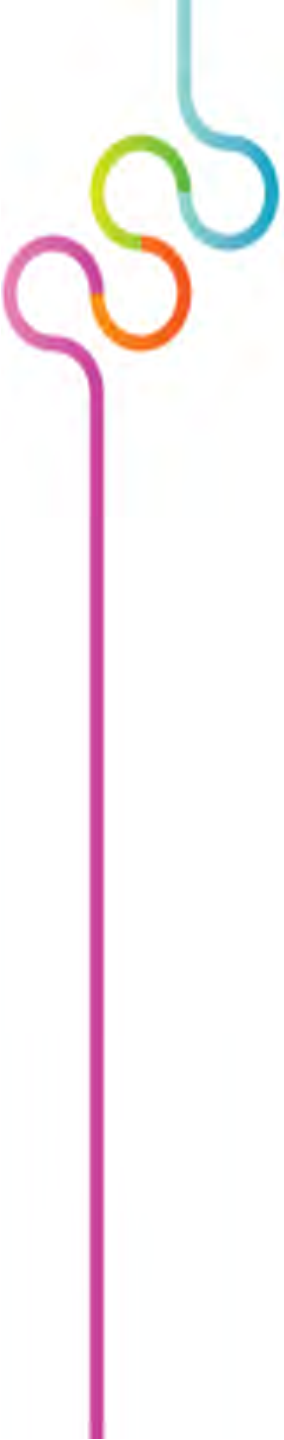
- I. Contribuire alla sostenibilità nell'uso delle risorse e ridurre i potenziali impatti ambientali negativi del ciclo dei rifiuti
- II. Progressivo riequilibrio dei divari socio-economici, per quanto riguarda la gestione dei rifiuti
- III. Rafforzare la consapevolezza e i comportamenti virtuosi degli attori economici e dei cittadini per la riduzione e la valorizzazione dei rifiuti
- IV.** Promuovere una gestione del ciclo dei rifiuti che contribuisca al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica

MACRO-OBIETTIVI

- A.** Ridurre il divario di pianificazione e di dotazione impiantistica tra le diverse regioni e aree del territorio nazionale (→ v. Paragrafi 1.4 e 0, e paragrafo 8.12)
- B. Garantire il raggiungimento degli obiettivi di preparazione per il riutilizzo, riciclaggio e recupero dei rifiuti (di cui all'art. 181 d.lgs. 152/2006) e di riduzione dello smaltimento finale al minimo, come opzione ultima e residua (→ v. Tabella 1)
- C. Razionalizzare e ottimizzare il sistema impiantistico e infrastrutturale nazionale secondo criteri di sostenibilità, inclusi quelli relativi alla tutela dei beni culturali e paesaggistici, efficienza, efficacia ed economicità, nel rispetto dei principi di autosufficienza e prossimità
- D.** Garantire una dotazione impiantistica con elevati standard qualitativi di tipo gestionale e tecnologico, promuovendo una gestione del ciclo dei rifiuti che contribuisca in modo sostanziale al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica
- E. Aumentare la conoscenza ambientale e migliorare i comportamenti ambientali (inclusa la tutela dei beni culturali e paesaggio) per quanto riguarda il tema di rifiuti e l'economia circolare

MACRO-AZIONI

1. Promozione dell'adozione dell'approccio basato sulla analisi dei flussi come base per l'applicazione del LCA (→ capitoli 1 e 9)
2. Individuare e colmare i gap gestionali e impiantistici (→ Tabella 28)
3. Verificare che la pianificazione delle Regioni sia conforme agli indirizzi e ai metodi del PNGR (→ capitolo 9)
4. Promuovere la comunicazione e la conoscenza ambientale in tema di rifiuti ed economia circolare (→ capitolo 11)
5. Promuovere l'attuazione delle componenti rilevanti del PNRR e di altre politiche incentivanti (→ paragrafo 1.4)
6. Minimizzare il ricorso alla pianificazione per macroaree (→ capitolo 10)
7. Assicurare un adeguato monitoraggio dell'attuazione del PNGR e dei suoi impatti (→ capitolo 12)

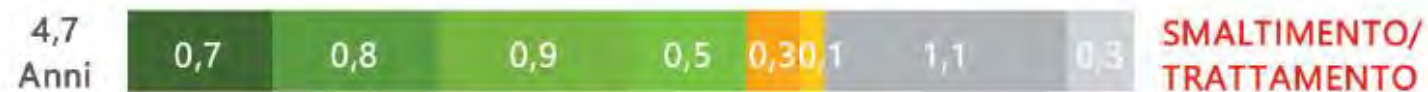
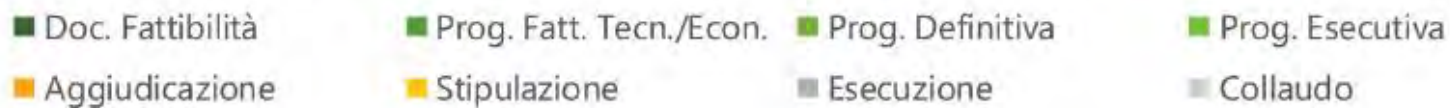


«La promozione della conoscenza e dell'innovazione sono motori rilevanti per la futura crescita e ciò sarà possibile attraverso una migliore qualità dell'istruzione e dell'utilizzo ottimale delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, al fine di consentire che le idee innovative si trasformino in nuovi prodotti e servizi, tali da promuovere un modello economico basato sulla maggiore efficienza delle risorse e su un alto tasso di occupazione».

[P.N.G.R.]

Durata media complessiva dell'attuazione delle opere dei rifiuti

Durata effettiva in anni, per fase

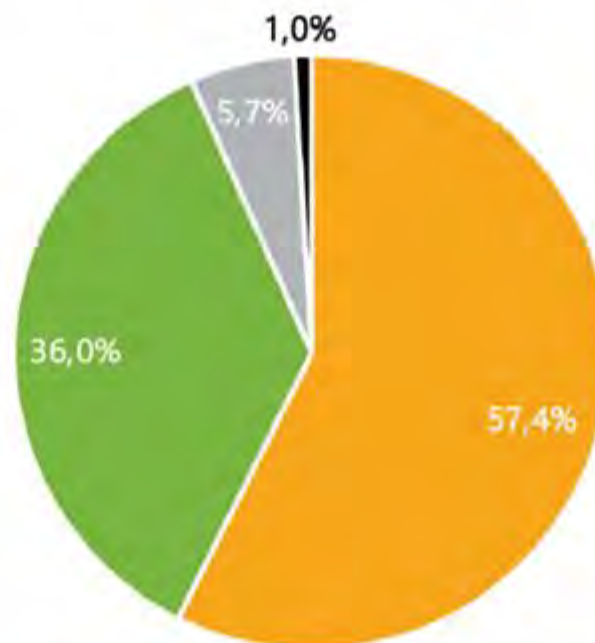


Fonte: elaborazione Corte dei conti su dati OpenCoesione

Distribuzione settoriale degli impianti oggetto di NIMBY

Valori percentuali, anno 2017

■ Comparto Energetico ■ Rifiuti ■ Infrastrutture ■ Altro



Fonte: elaborazioni REF Ricerche su dati Osservatorio NIMBY Forum (2018, XIII Edizione)

Grazie per l'attenzione!



assoambiente.org



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Processi integrati di recupero di materiali ed energia da rifiuti organici, inorganici e da biomassa residuale mediante trasformazioni termochimiche - **Rome Technopole project**

Starting date: July, 1st, 2022

Ending date: December, 31st, 2025

[Stefano Cordiner](#)

Dip. Ingegneria Industriale

Università degli Studi di Roma Tor Vergata





Flagship Project 3: motivazioni



- Secondo il rapporto ISPRA 2024, in Italia, la produzione di rifiuti urbani ammontava a circa 29,3 milioni di tonnellate (2023) e la generazione di rifiuti speciali si attestava a circa 161,4 milioni di tonnellate (2022).
- Il rifiuto è quindi una merce vera e propria: ha un suo mercato, un valore economico e viene scambiato tra paesi diversi.



ISPRA Rapporto Rifiuti Speciali Edizione 2024



Riciclare i rifiuti trasformandoli in **Materia Prima Secondaria (MPS)**, è un obiettivo fondamentale per attuare uno **stile consumistico sostenibile** volto a:

- ridurre lo **sfruttamento di materie prime vergini**;
- ridurre l'impatto energetico a vita intera di un prodotto **minimizzandone l'impronta carbonica**;
- favorire l'innescio di distretti circolari **minimizzando** la quota parte di **rifiuti destinati alla discarica** creando al contempo nuove opportunità professionali



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



PROGETTO FLAGSHIP #3



OBIETTIVI

- Studiare come le **tecnologie digitali** possano aiutare ad **industrializzare meglio i processi e gli impianti di riciclo dei rifiuti** rendendoli sostenibili e innovativi, favorendo nel frattempo la creazione e l'attivazione di distretti circolari.
- Industrializzare le risposte che l'**ecosistema di Rome Technopole** sarà in grado di fornire ai **punti critici dell'industria nel settore del riciclo dei rifiuti**.



Il progetto dell'Università Tor Vergata nel FP3: Motivazioni



- Lo sviluppo di soluzioni tecnologiche di trattamento dei rifiuti che utilizzino il processo di pirolisi
- Di questa tecnologia sono particolarmente interessanti:
 - Le caratteristiche di **flessibilità** in termini di prodotti ottenuti
 - La possibilità di rafforzare **elementi di circolarità** nella gestione dei rifiuti
 - L'eventuale recupero di energia anche in forma di **vettori energetici**
 - La possibile integrazione con i processi biologici.
- La migliore possibilità di sfruttare queste caratteristiche è data dalla capacità di adattarsi alle **variazioni del feedstock** sia in termini di **composizione** che di **caratteristiche fisiche**.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Obiettivi



Il progetto si pone l'obiettivo di integrare varie metodologie per la **trasformazione** di residui organici da **rifiuti** (in particolare plastiche e bio-plastiche) o da **lavorazioni agricole**, per **ottimizzare i processi** di **valorizzazione** e quindi il recupero.

Tale obiettivo viene perseguito attraverso diverse attività di ricerca di tipo sperimentale e numerico:

- **Studio fondamentale del processo di pirolisi** a partire da diversi materiali di scarto (rinnovabili o meno) per la **produzione flessibile** di prodotti organici (biochar, bio-olio, combustibili gassosi ...)
- Sviluppo di **sistemi integrati** per la produzione di prodotti di raffineria ad **alto valore aggiunto** (e-fuel, idrogeno e prodotti chimici) da plastiche/bioplastiche e biomassa residuale
- Sviluppo di **modelli data-driven** per l'**ottimizzazione ed il controllo** in tempo reale dei processi in funzione della composizione del feedstock
- **Progettazione** e **scale-up** dei reattori



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





*Determinazione del potenziale:
pirolisi di componenti selezionati e di miscele*



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Pirolisi di residui agro-industriali (scala laboratorio)

Risultati e trend generali:

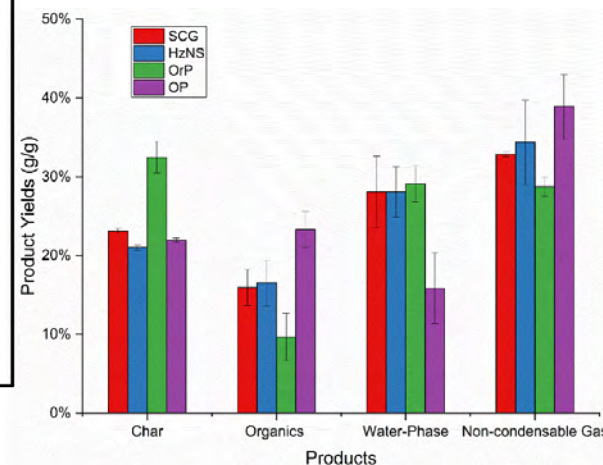
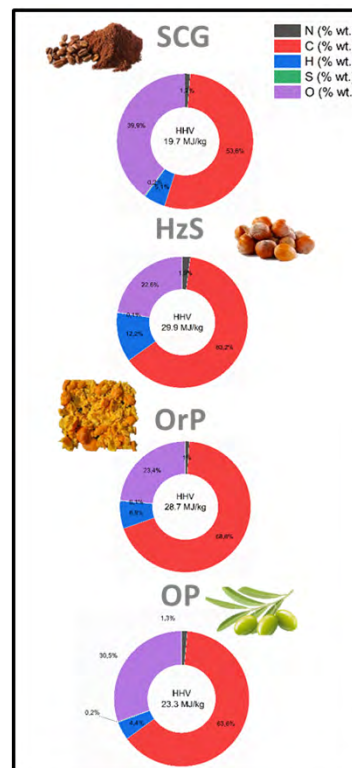
- All'aumentare della temperatura aumenta la produzione di non-condensabili
- L'olio (prodotto di maggior interesse) ha produzione massima a temperature intermedie (500 °C)
- Elevate efficienze di processo ~ 80-85% , con valori massimi per temperature intermedie (500 °C)
- Il char ottenuto ha caratteristiche di porosità tali che lo rendono adatto per applicazioni ad alto valore aggiunto (ad esempio come supporto per **elettrodi per dispositivi elettrochimici**)

Principali problematiche

- Alto contenuto di umidità nel feedstock
- I prodotti gassosi e l'olio hanno un basso LHV
- L'olio prodotto ha un alto contenuto di ossigeno, il che lo rende non adatto ad un utilizzo tal quale



Possibilità di integrazione della pirolisi con processi di stabilizzazione dell'output



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



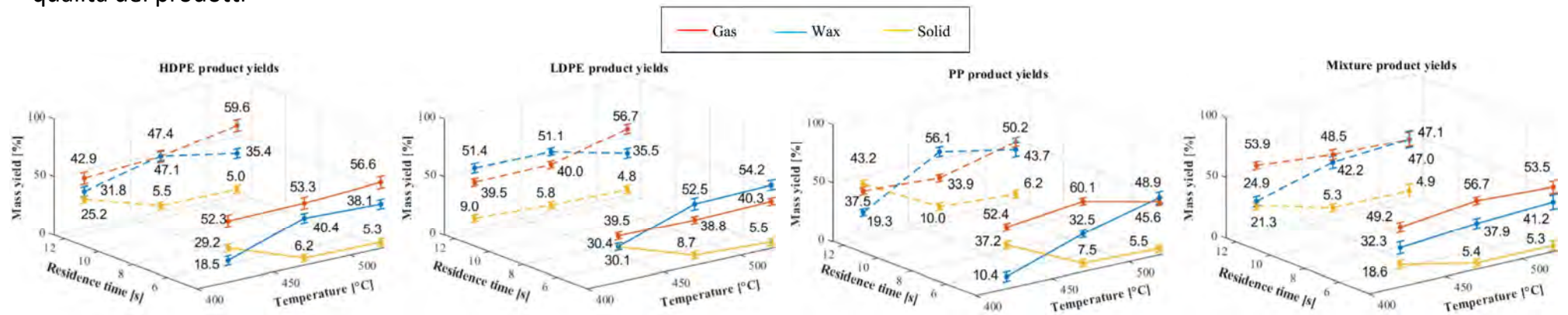
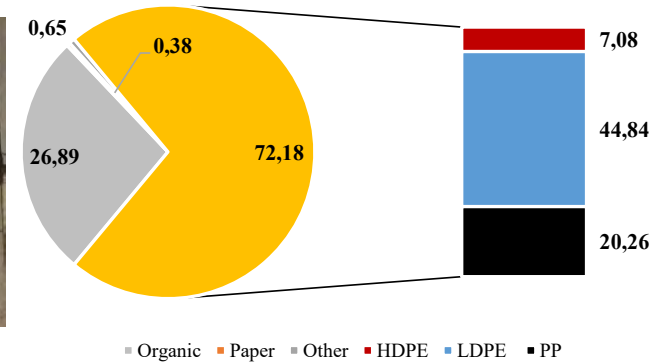
Pirolisi di plastiche post consumo (scala laboratorio)



- Le componenti gassosa e liquida sono miscele di idrocarburi ad alto potere calorifico, all'interno del quale troviamo anche i precursori delle plastiche di partenza
- Noto il feedstock, le rese dei prodotti variano significativamente al variare dei principali parametri operative
- La contaminazione è un potenziale problema per la qualità dei prodotti



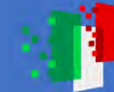
Merceologica e frazioni delle plastiche



Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA





Modellazione di processo e di sistema modelli fisici e modelli data-driven



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Simulazione CFD 2D del reattore e analisi delle componenti principali

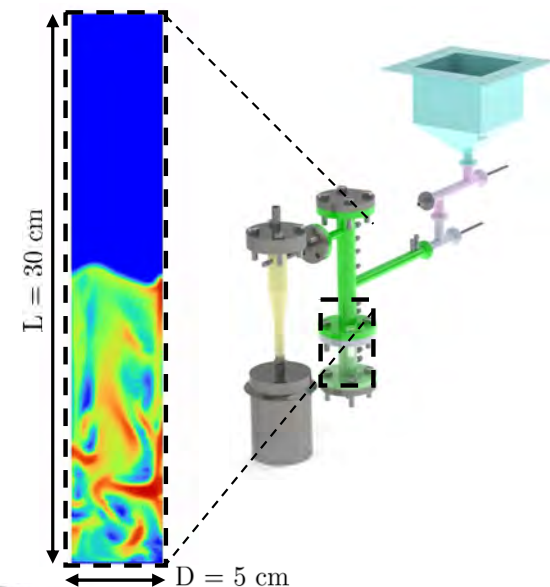
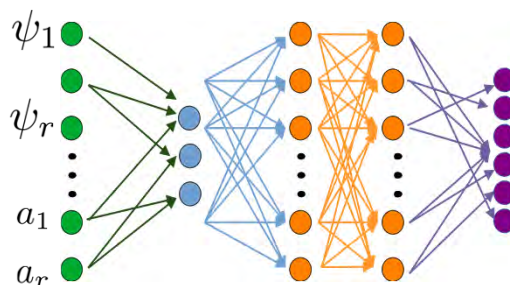
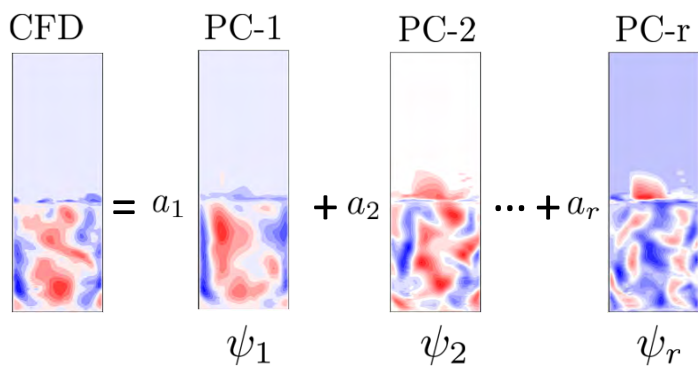
Obiettivi

- Creare un data-base di simulazioni esplorando le più diverse configurazioni al variare dei parametri di processo. Questi dati vengono usati per lo sviluppo di modelli ridotti
- Esplorare diverse geometrie per affrontare il problema dello scale-up
- Sviluppo modello ridotto del reattore per controllo e scale-up

Set-up simulazioni preliminari CFD

- Sabbia (letto) con diametro $d = 5 \times 10^{-4}$ m, densità $\rho = 2700$ kg/m³
- Temperatura 450°C
- Azoto come carrier a diverse velocità 0.06-0.4 m/s
- Metodo Euleriano-Euleriano
- Tempo simulato 30 secondi

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) \simeq \bar{\mathbf{u}}(\mathbf{x}) + \sum_{k=1}^r \psi_k(\mathbf{x}) a_k(t)$$



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Obiettivo

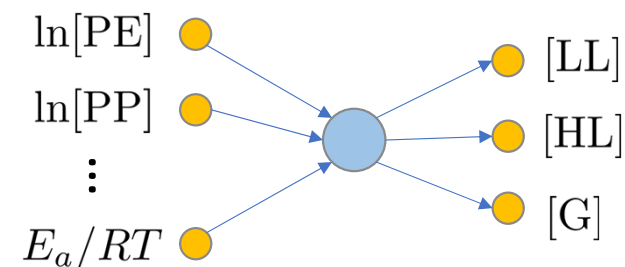
- Studio preliminare di sviluppo di un modello ridotto **physics informed** per le reazioni di pirolisi per plastiche
- Il modello viene anche utilizzato per **dedurre la cinetica chimica**

Reazioni di pirolisi e funzione di attivazione



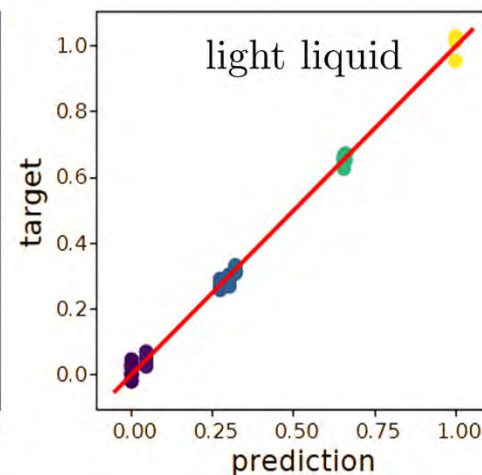
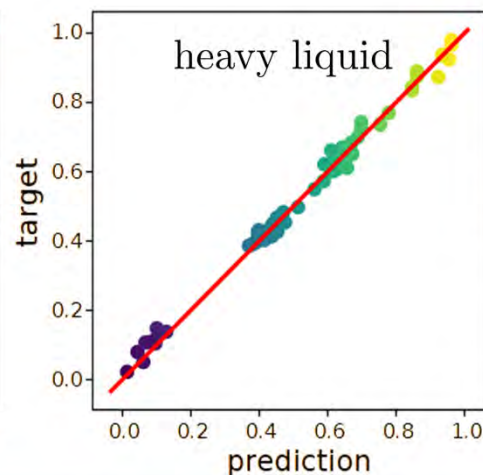
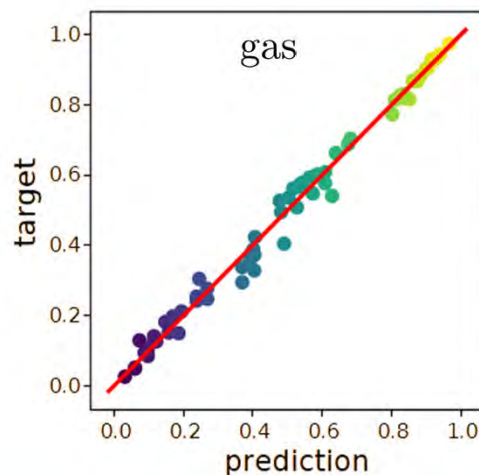
$$r = D^m L^l [\text{PE}]^a [\text{PP}]^b AT^n \exp(-E_a/RT)$$

Neurone della NN per una reazione



Modello

- L'equazione di **Arrhenius** è integrata nella **funzione di attivazione**
- Ogni **neurone** rappresenta una **singola reazione**
- Introduzione nell'equazione di Arrhenius del diametro (D) e della lunghezza (L) del reattore per dedurre gli effetti sui prodotti



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



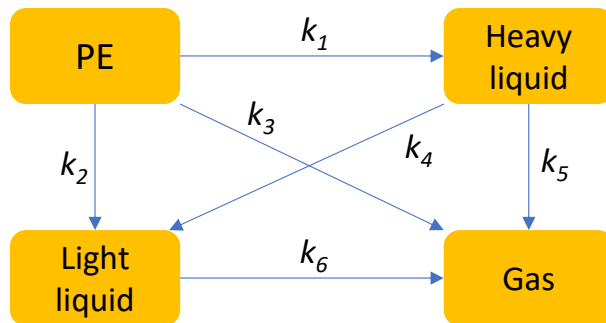
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Modellazione del processo a partire dai dati



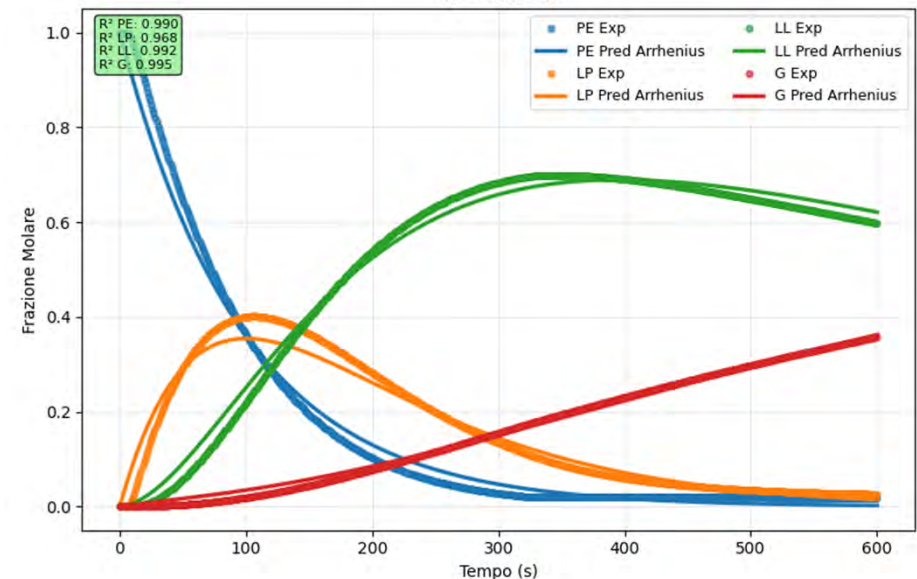
$$k_i = f(T, t_r, D_p)$$

$$\begin{aligned}
 [PE]' &= (-k_{PE-LP} + k_{PE-LL} + k_{PE-G}) * [PE] \\
 [HL]' &= -(k_{LP-LL} + k_{LP-G}) * [HL] + k_{PE-LP} * [PE] \\
 [LL]' &= k_{PE-LL} * [PE] + k_{LP-LL} * [HL] - k_{LL-G} * [LL] \\
 [G]' &= k_{PE-G} * [PE] + k_{LP-G} * [HL] + k_{LL-G} * [LL]
 \end{aligned}$$

- Partendo da dataset corrispondenti a prove effettuate al variare dei principali parametri operativi (T, tr, Dp), si vogliono trovare le costanti e quindi le dipendenze delle costanti che regolano il consumo e la produzione delle concentrazioni delle specie facilmente misurabili.

TEST VALIDAZIONE - Parametri Arrhenius vs Dati Reali

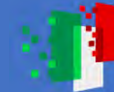
VALIDAZIONE T = 525°C
R² = 0.986



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



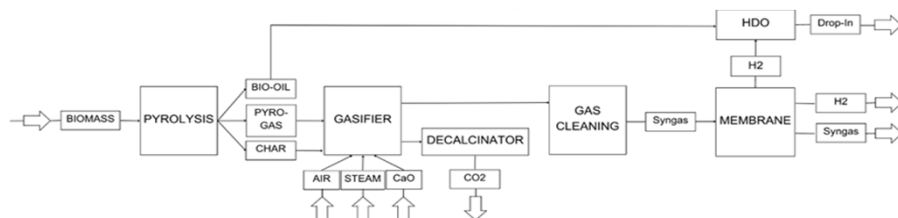
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



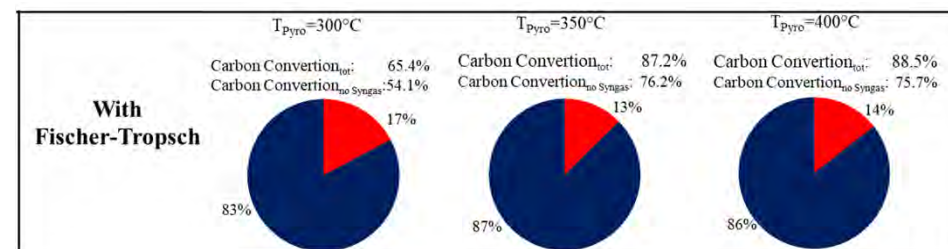
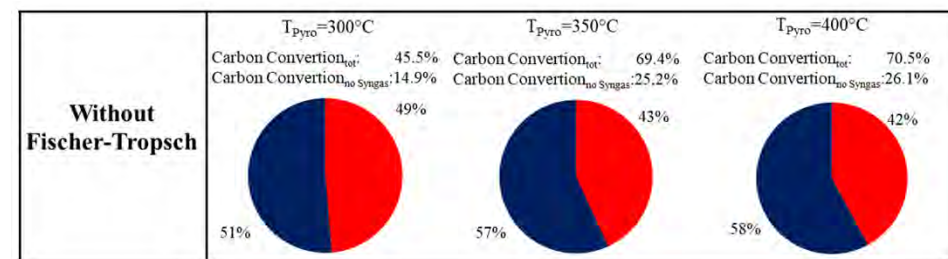
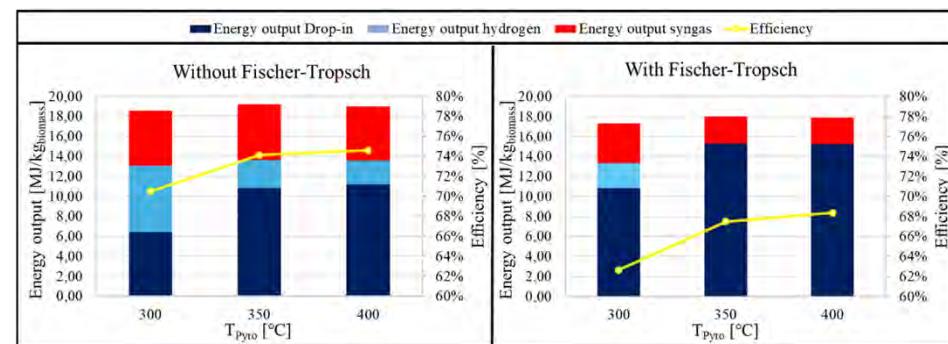
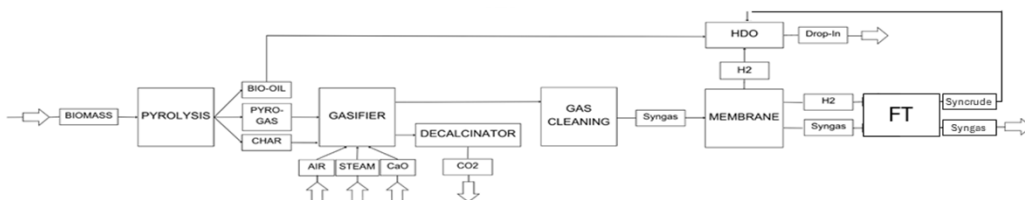
Impatto dell'integrazione dei processi: energia e ambiente

Obiettivo: Studio dell'effetto in termini energetici dell'utilizzo della Fischer-Tropsch in un processo integrato (pirolisi + gassificazione)

Integrated Process w/o Fischer Tropsch



Integrated Process with Fischer Tropsch



■ Carbon Conversion Syngas

■ Carbon Conversion Drop-In



Progettazione, flessibilità e scale-up del reattore



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Idropirolisi catalitica: progetto di un nuovo prototipo di reattore

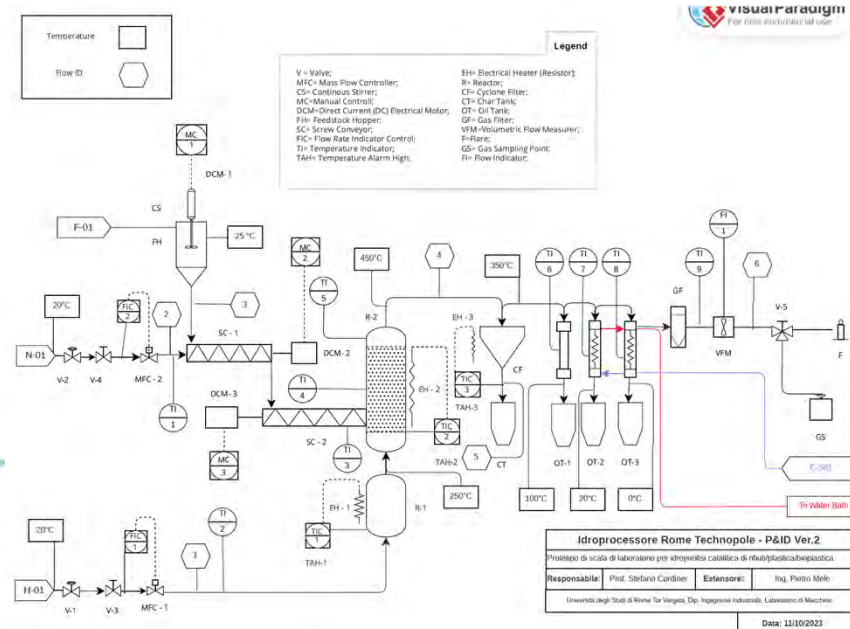


Idee alla base della progettazione

- Ridurre il contenuto di ossigeno nei prodotti di pirolisi per aumentarne il contenuto energetico (aumento LHV)
- Aumentare la **qualità dell'olio prodotto** con conseguente riduzione di post trattamenti

Design del reattore su scala laboratorio

- Reattore per idropirolisi catalitica a letto fluido
- Il fluido vettore è una miscela di azoto e idrogeno (deossigenazione dei prodotti)



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

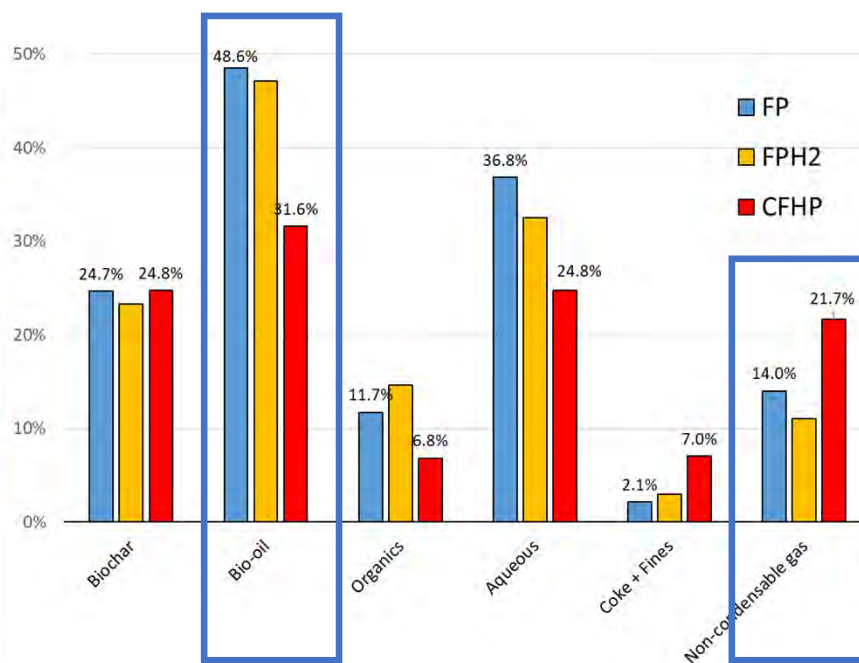
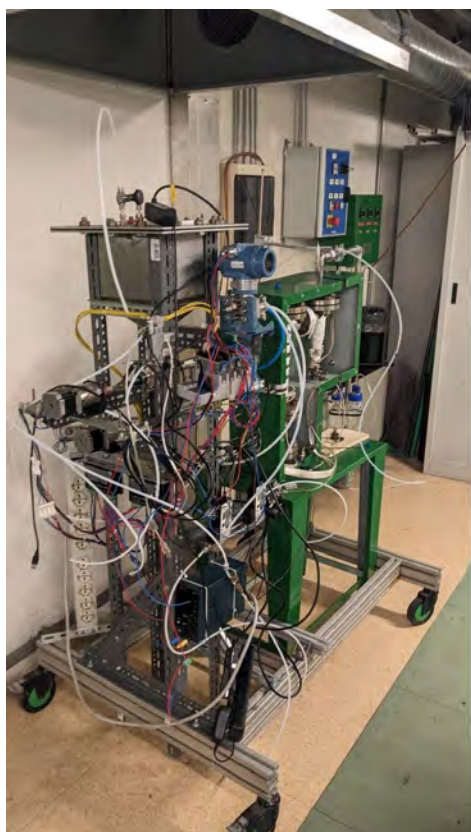


Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





- Il guscio di nocciola (1,5-2 mm) è stato selezionato come materia prima per questo studio preliminare;
- Quando il catalizzatore viene introdotto e attivato nel sistema, si osserva un effetto significativo;
- Il catalizzatore promuove la deossigenazione dei volatili attraverso reazioni di decarbossilazione, disidratazione e decarbonilazione migliorate;
- Ciò comporta una riduzione delle rese di bio-olio ma una stabilizzazione delle sue proprietà;
- Aumenta la produzione della componente gassosa;
- Il biochar è stabile;

Pirolisi di plastiche post consumo: reattore CSTR

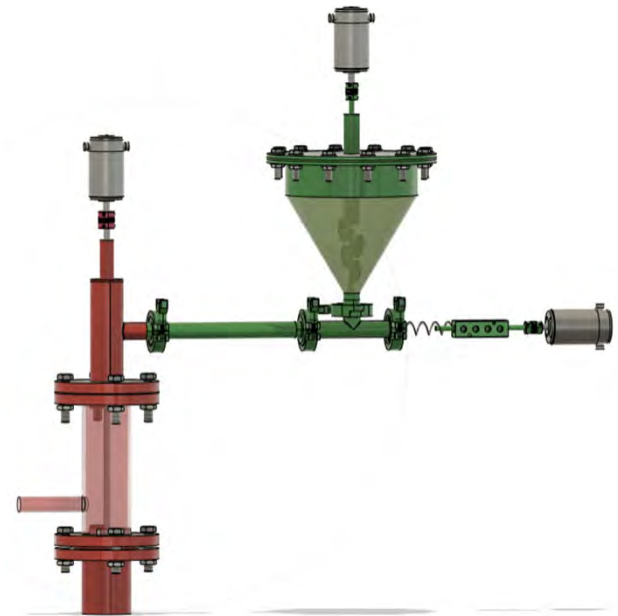


Limiti dei reattori su scala laboratorio per pirolisi delle plastiche

- **Reattore a vite:** a causa del riscaldamento del feedstock prima dell'ingresso nella parte attiva del reattore, la plastica può subire una transizione vetrosa (blocco dell'esperimento)
- **Reattore batch:** quantità ridotte di massa processata e lunghi periodi di attesa tra un test e il successivo

Design di un reattore semi-continuo (CSTR Continuous-flow Stirred-Tank Reactor)

- Il sistema di alimentazione in tre fasi del feedstock consente di eliminare l'aria dopo l'apertura delle flange
- Aumento della massa processabile (400-500 g/h)
- Il feedstock viene inserito direttamente nella zona calda del reattore evitando così la transizione vetrosa
- Velocità di riscaldamento maggiori possono dar luogo ad idrocarburi più leggeri



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

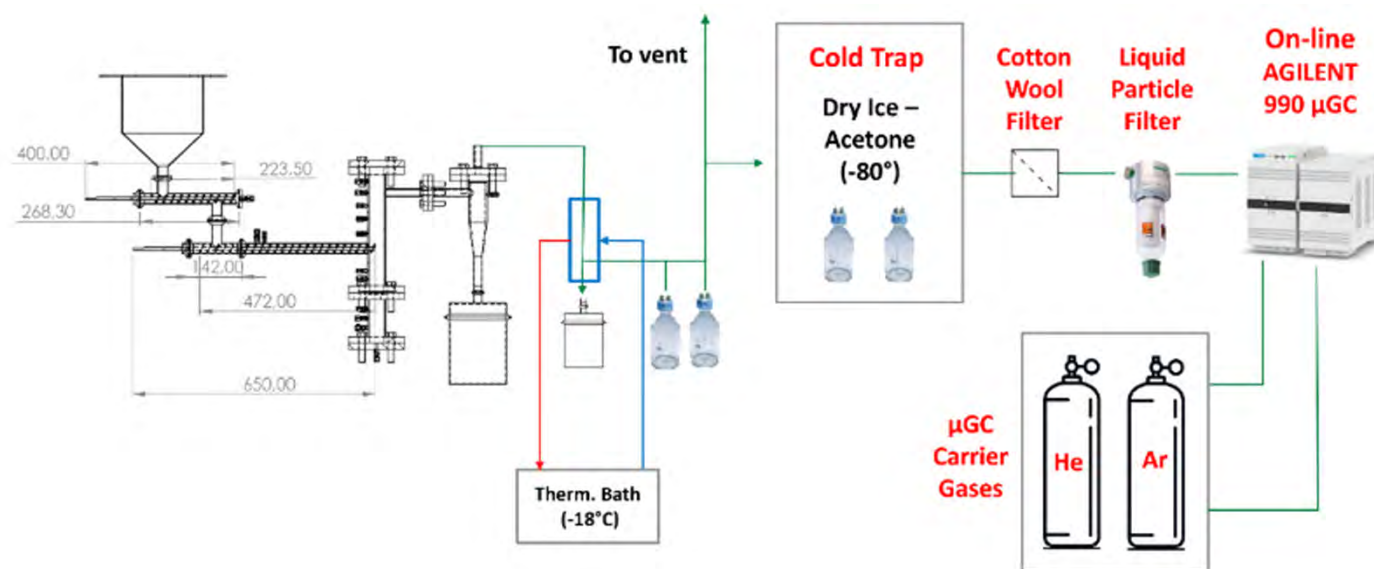




Analisi real-time dei gas in uscita



- Il micro-GC grazie alle elevate frequenze di campionamento consente di conoscere in tempo reale la composizione dei gas di uscita
- Tale strumento consente anche di individuare eventuali contaminanti gassosi, consentendo di determinare il range di parametri all'interno del quale è possibile minimizzarli



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

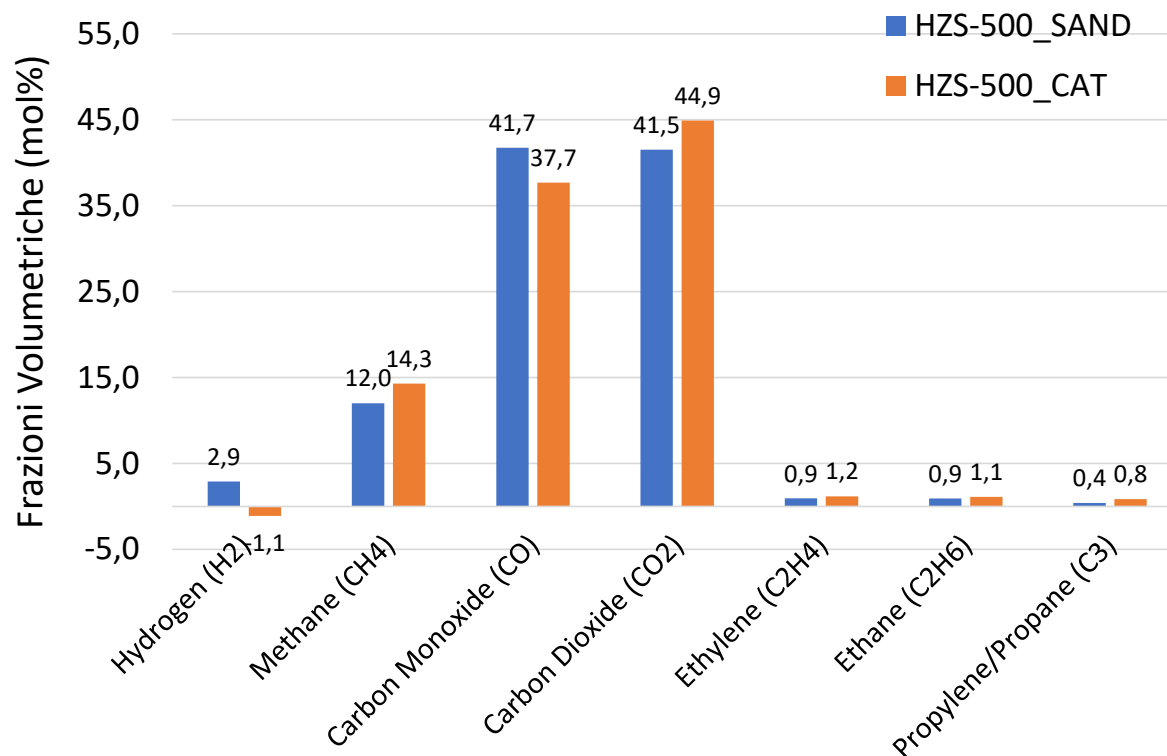


Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

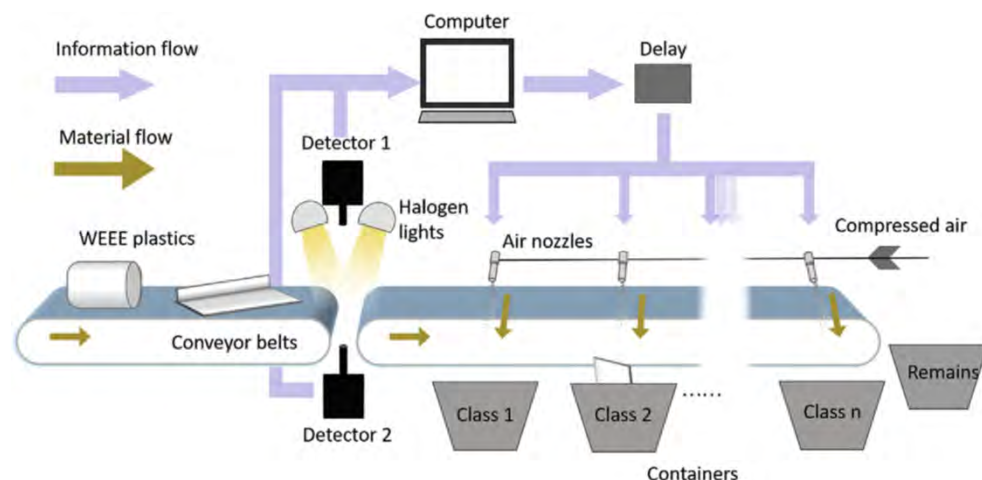
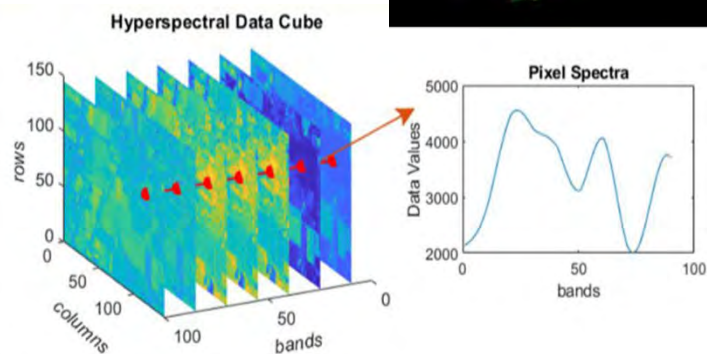
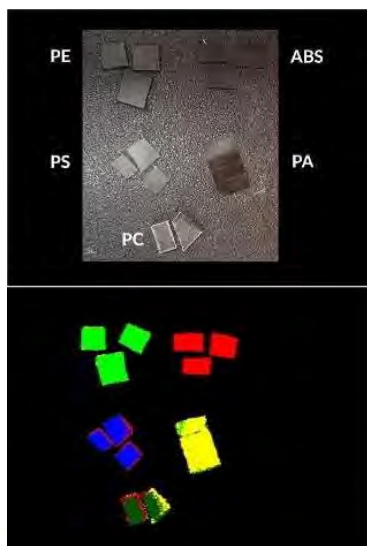
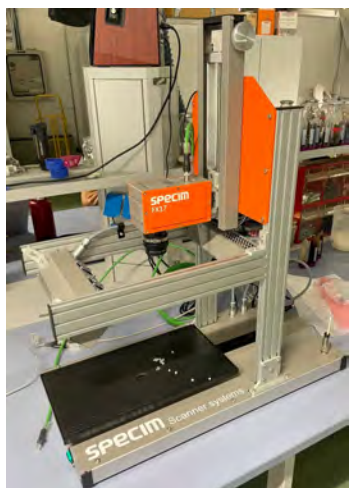


Analisi real-time syngas: **Pirolisi vs Idropirolisi Catalitica**

- In real-time, si può stimare come **l'atmosfera riducente** (ricca di **idrogeno rinnovabile**), congiunta al catalizzatore) modifichi la composizione del syngas verso un diverso contenuto in **metano/idrocarburi leggeri (C2-C4)**, favorendo il **cracking** catalitico di lunghe catene di biopolimeri;
- Dall'analisi on-line, si determina un lieve **incremento della produzione di syngas**, dal 11.1 al 15.7 %, a 500°C.



Riconoscimento ottico delle matrici in ingresso



- L'imaging iperspettrale, combinato con tecniche avanzate di apprendimento automatico, consente il rapido riconoscimento di campioni eterogenei e contaminati combinando informazioni spettrali e spaziali.
- Un sistema di separazione ottimizzato consente di preparare un campione per produrre prodotti consolidati utilizzando parametri di pirolisi ottimizzati.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Conclusioni



- É in corso un ampio insieme di attività relative al recupero termochimico di materia ed energia con l'obiettivo di sfruttare le potenzialità di **flessibilità** in relazione ai prodotti, di **ottimizzazione energetica** e di capacità di adattarsi alla **variabilità del feedstock**; **Le attività svolte e gli esiti raggiunti si sviluppano in modo coerente con gli obiettivi iniziali.**
- L'analisi dettagliata di diverse categorie di feedstock ha confermato il potenziale in termini di produzione di vettori energetici e materie prime secondarie.
- Le attività sperimentali sui prototipi hanno consentito di identificare la relazione tra la composizione del feedstock, la resa ed il tipo di prodotti e la dipendenza dai parametri di processo.
- Lo sviluppo di modelli di simulazione ci consente di supportare il disegno e l'ottimizzazione di prototipi su scala rilevante nonché modelli di tipo Data-Driven per il controllo dinamico dei processi analizzati;
- Stiamo procedendo con la realizzazione di prototipi in grado di valorizzare in modo selettivo la composizione dei prodotti e di adattarsi alla composizione del feedstock, anche in maniera automatica.

Ringraziamenti:

- ✓ Tutti i colleghi e gli studenti coinvolti nelle attività-(di massa critica e non):
Francesco Lombardi, Vincenzo Mulone, Lorenzo Bartolucci, Matteo Baldelli, Pietro Mele, Davide Sorino
- ✓ Il contributo economico del Progetto "Rome Technopole"



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Processi integrati di recupero di materiali ed energia da rifiuti organici, inorganici e da biomassa residuale mediante trasformazioni termochimiche - **Rome Technopole project**

Starting date: July, 1st, 2022

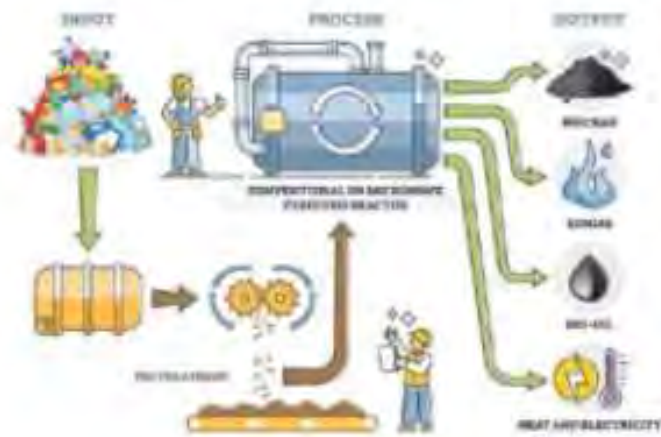
Ending date: December, 31st, 2025

[Stefano Cordiner](#)

Dip. Ingegneria Industriale

Università degli Studi di Roma Tor Vergata





Seminario tecnico-scientifico **TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI**

7 ottobre 2025 - 14.00-18.00

Sala Convegni – Università degli studi di Roma Tor Vergata
via del Politecnico, 1 - Roma

A PATHWAY TOWARDS CIRCULAR ECONOMY AND LOW-CARBON FUELS:

Analysis and comparison of Thermal and Electrified Pyrolysis for Plastic Waste

Valorization



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Analysis and comparison of Thermal and Electrified Pyrolysis for Plastic Waste Valorization

Valentina Segneri*, Giorgio Vilardi,
Nicola Verdone

Department of Chemical Engineering Materials and
Environment,

“Sapienza” University of Rome,
via Eudossiana 18, 00184, Rome, Italy

valentina.segneri@uniroma1.it



OUTLINE



1. Research Problem



2. Objective of the Work



3. Models and Results



4. Conclusion and Future research work plans



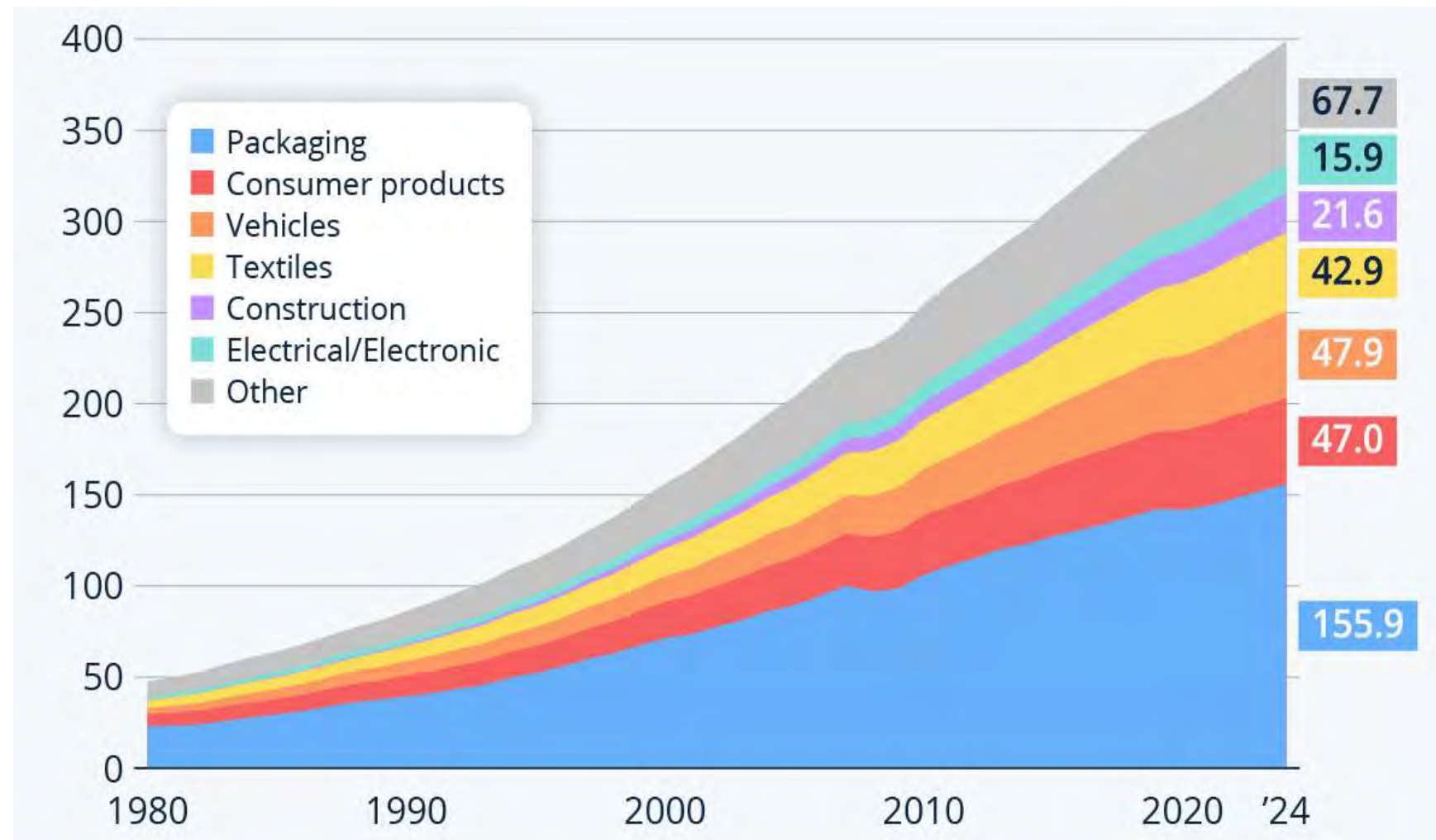


1. RESEARCH PROBLEM



1. Production and management of plastic waste

Global Production of plastic waste [million tonnes]



<https://www.statista.com/chart/32385/global-plastic-waste-production-by-application/>

The amount of plastic in the world is constantly increasing, it is faster than urbanization.

Currently 400 million tonnes are produced per year of which about **37% are unsustainably disposed of.**



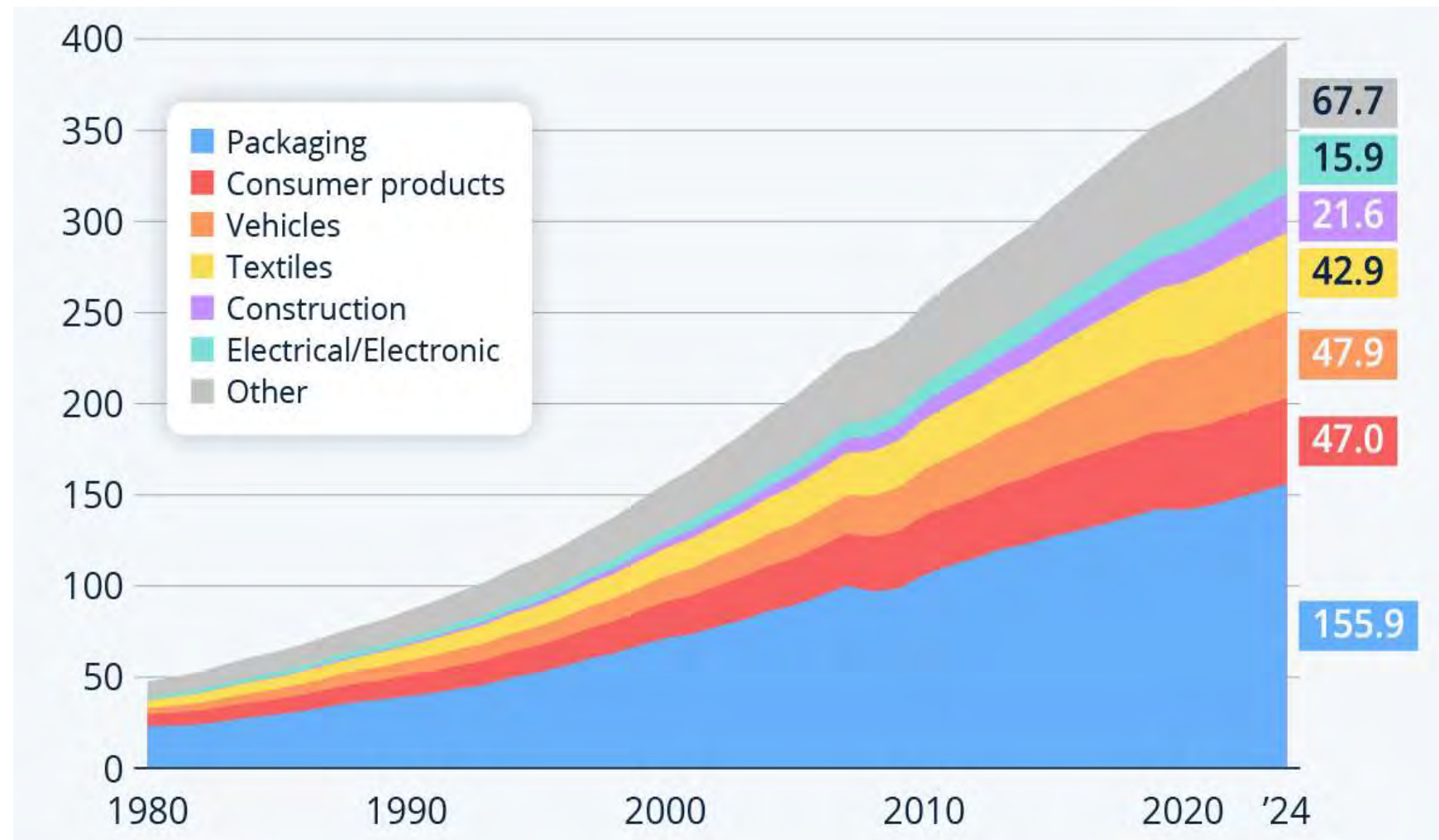


1. RESEARCH PROBLEM



1. Production and management of plastic waste

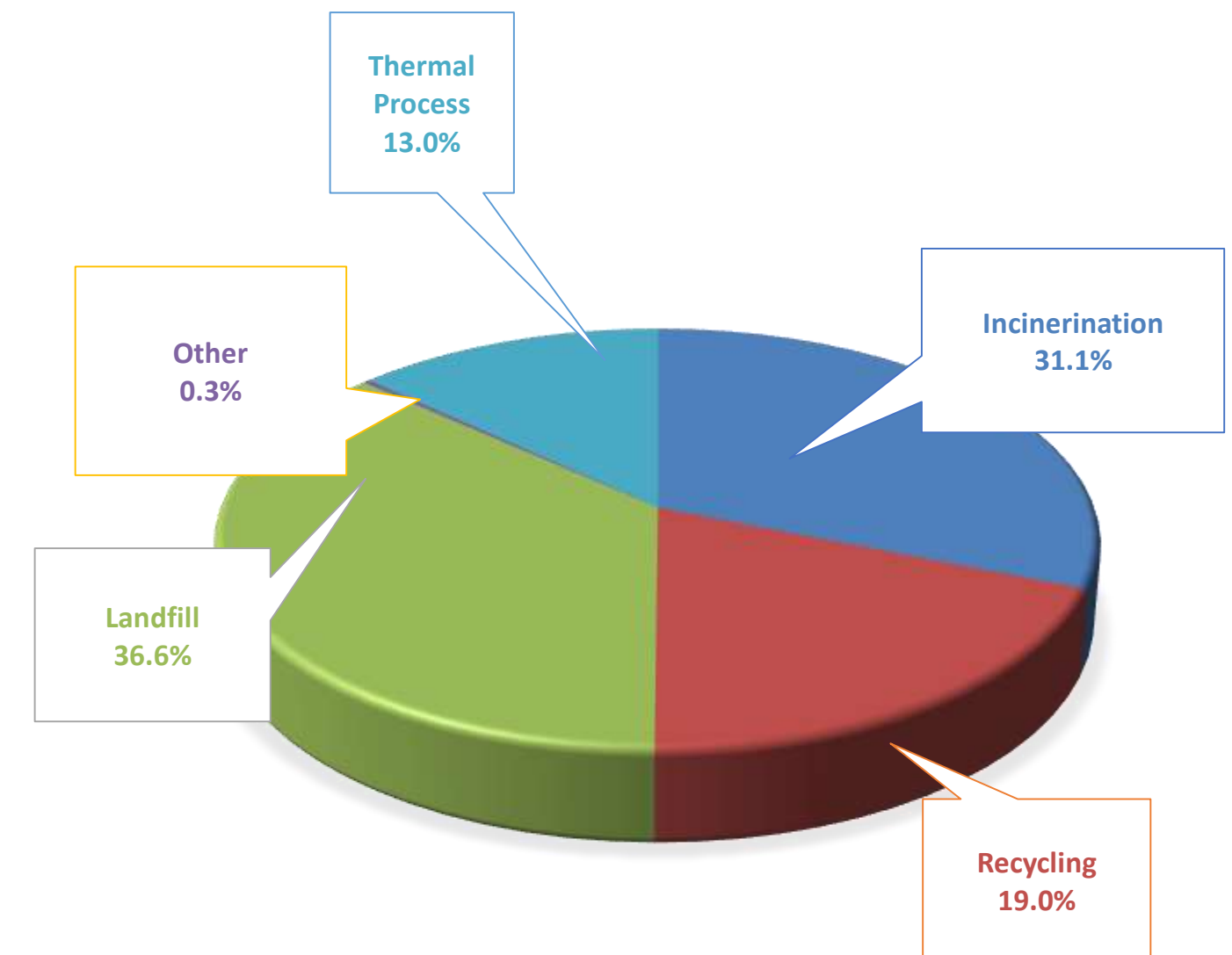
Global Production of plastic waste [million tonnes]



<https://www.statista.com/chart/32385/global-plastic-waste-production-by-application/>

The amount of plastic in the world is constantly increasing, it is faster than urbanization.

Currently 400 million tonnes are produced per year of which about **37% are unsustainably disposed of.**

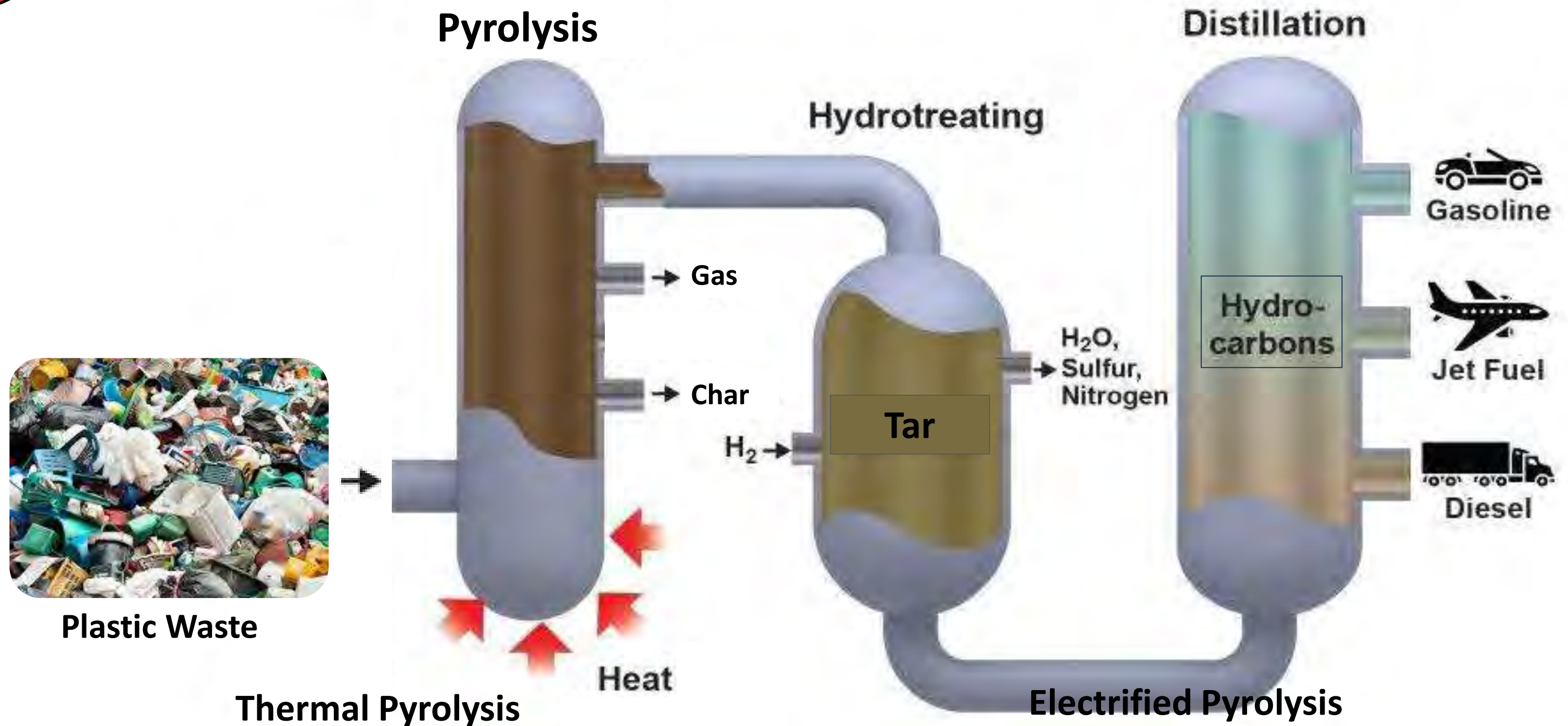




1. RESEARCH PROBLEM



2. Pyrolysis Process

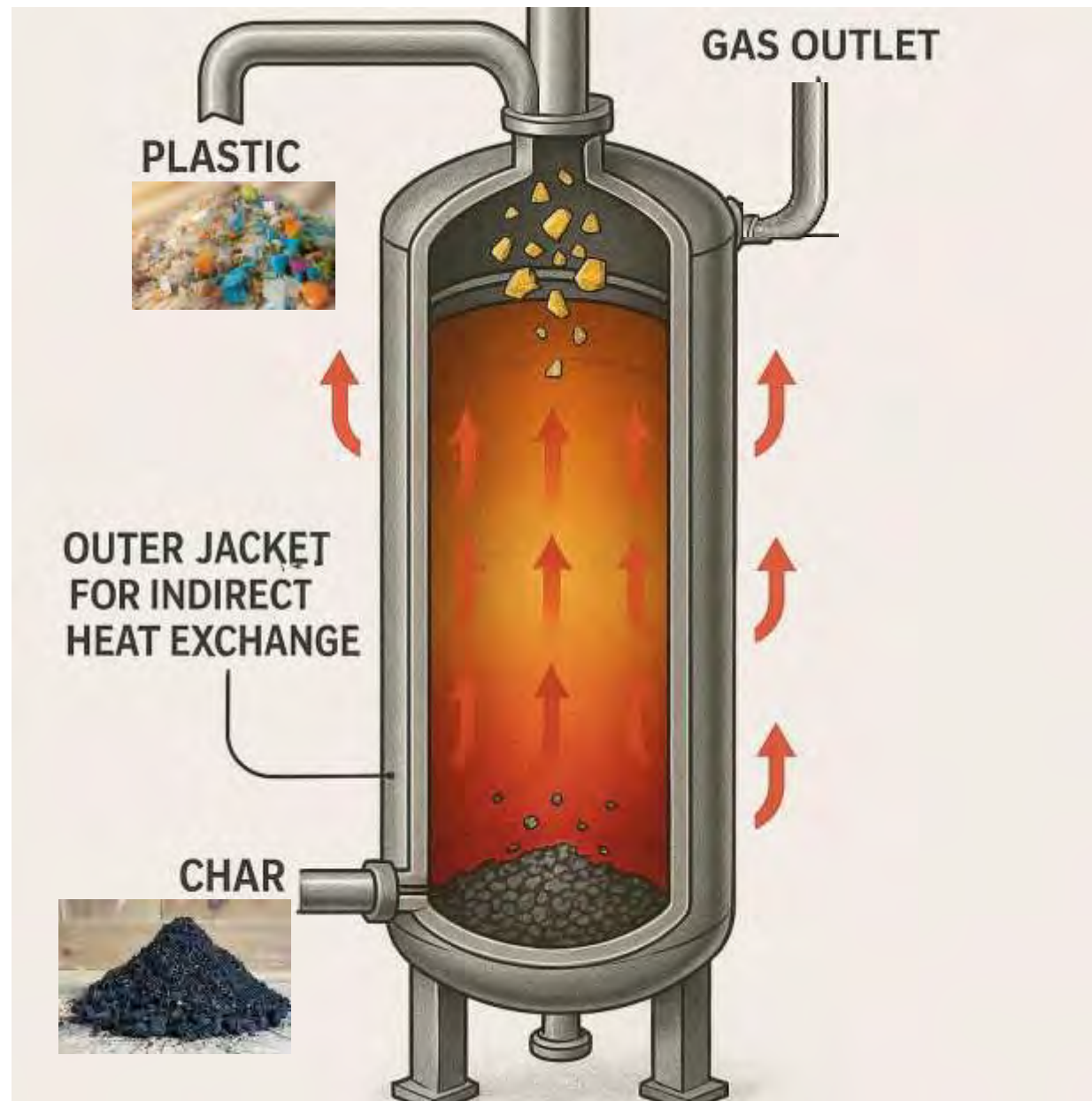




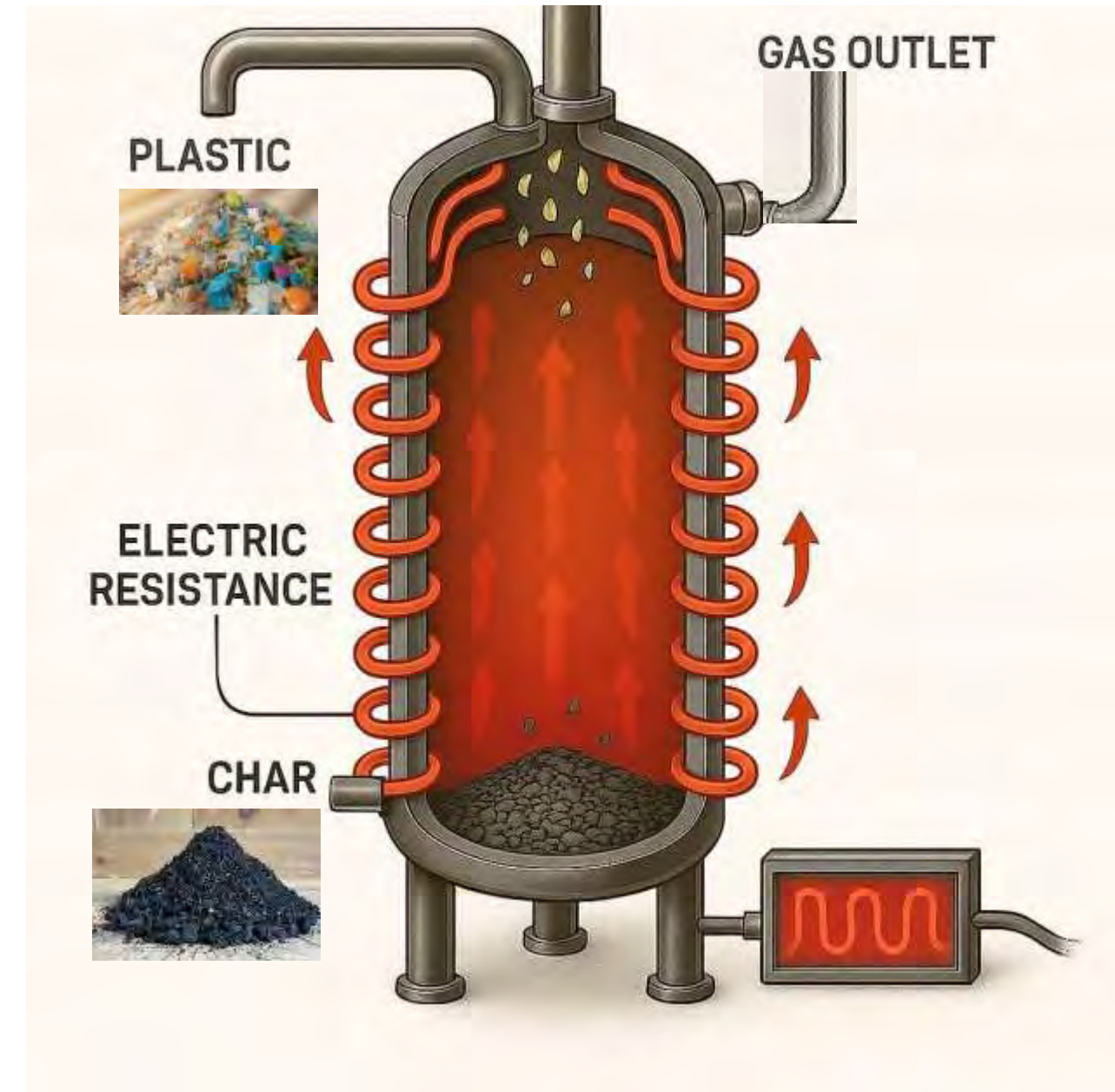
1. RESEARCH PROBLEM



2. Pyrolysis Process



Thermal Pyrolysis



Electrified Pyrolysis





OUTLINE



1. Research Problem



2. Objective of the Work



3. Models and Results



4. Conclusion and Future research work plans





2. OBJECTIVE



The work focuses on the following key contributions:

Development of a simulation in the Aspen Plus environment of a **Waste to Fuel process** based on the **pyrolysis** of the **plastic waste** and **upgrading of tar** to produce a **marketable fuel**, comparing **two configuration: Thermal Pyrolysis and Electrified Pyrolysis**.

Reduction of the fraction of plastic waste to be disposed of in landfill



Production of a fuel with characteristics similar to those of fossil fuels



Thermal/ Electrified Pyrolysis

Research Problem

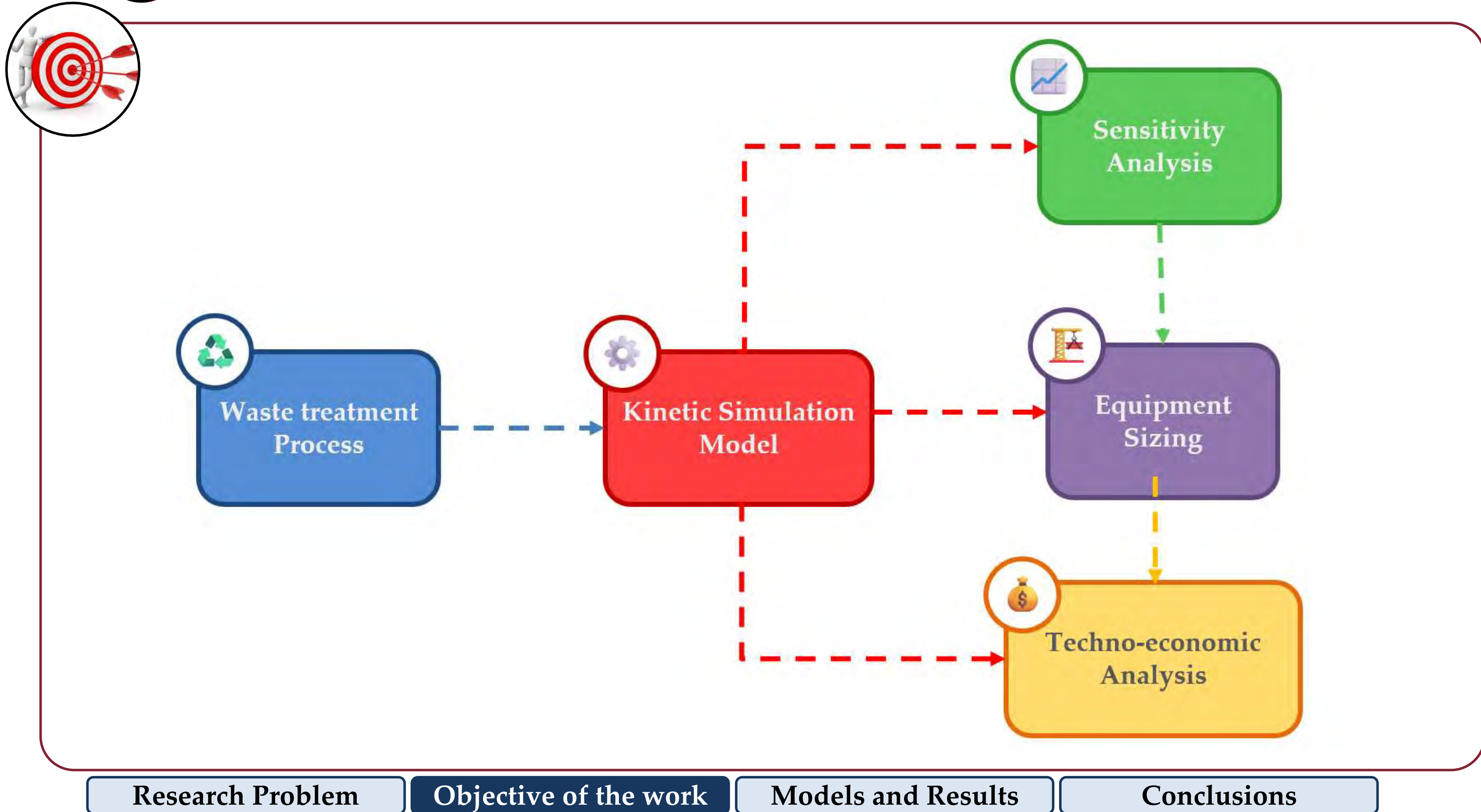
Objective of the work

Models and Results

Conclusions



2. OBJECTIVE





OUTLINE



1. Research Problem



2. Objective of the Work

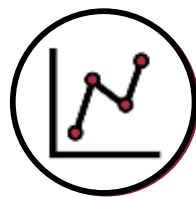


3. Models and Results



4. Conclusion and Future research work plans





3. MODELS AND RESULTS



1. Characterization of Plastic Waste

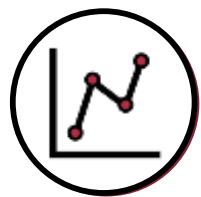
The Plasmix is the residue from the mechanical recycling of plastics.



Polymer	% by weight
PE	40-50%
PP	20-30%
PS	10-20%
PET	5-10%
PVC	2-4%
ABS, PMMA	0-2%

Composition of the plastic waste feedstock

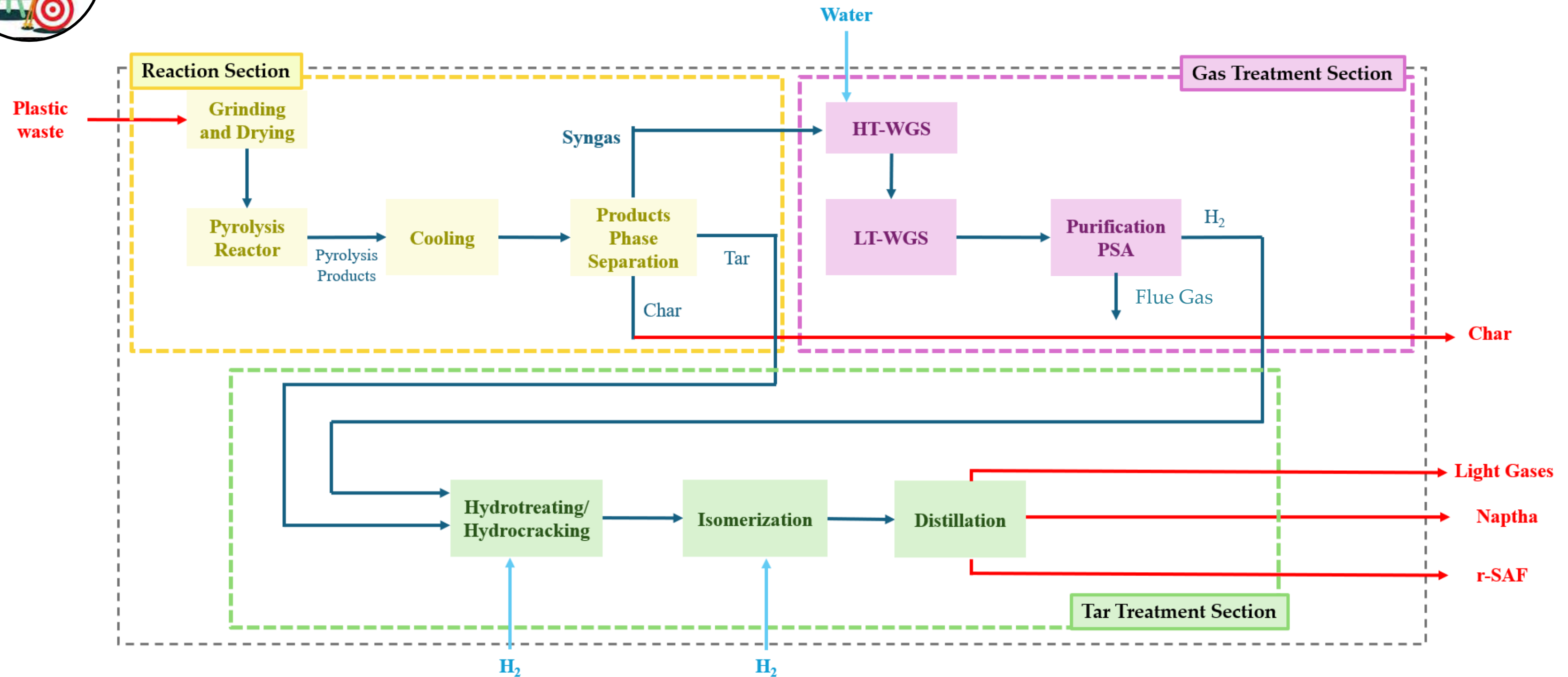
Compound	Chemical formula	% weight
Plastic fraction		69.3
Polyethylene	C_2H_4	32.6
Polypropylene	C_3H_6	18.04
Polystyrene	C_8H_8	11.12
Polyethylene terephthalate	$C_{10}H_{10}O_5$	5.57
Polyvinyl chloride	C_2H_3Cl	1.97
Lignocellulosic fraction		4.7
Cellulose	$C_6H_{10}O_6$	2.61
Hemicellulose	$C_8H_{14}O_8$	0.87
Lignin	$C_{10}H_{12}O_2$	1.22
Moisture		16
Water	H_2O	16
Ashes		10



3. MODELS AND RESULTS



2. Process Simulation



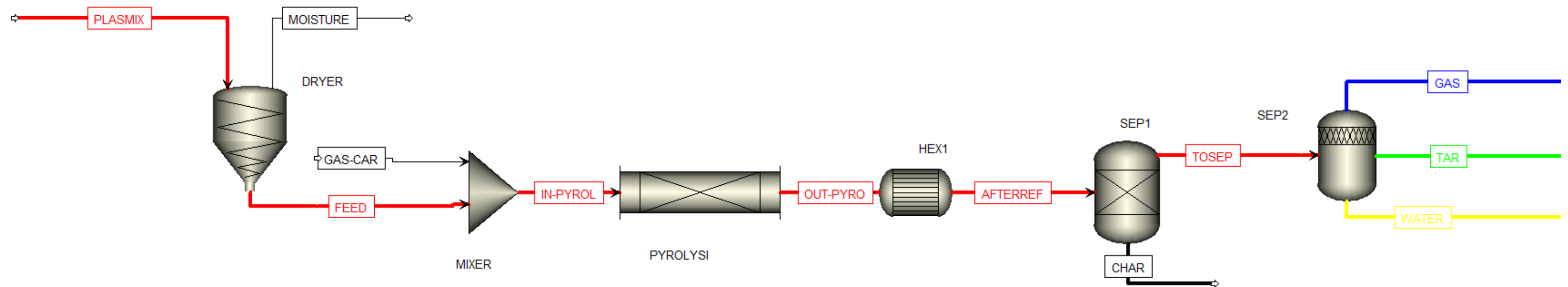
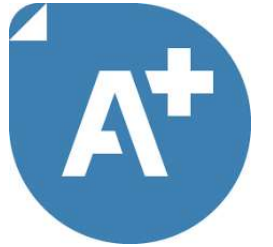


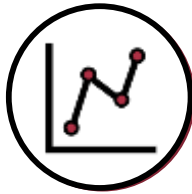
3. MODELS AND RESULTS



2.1 Pyrolysis Reaction Section

Flowsheet





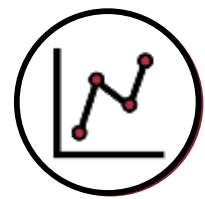
3. MODELS AND RESULTS



2.1 Pyrolysis Reaction Section

Kinetic Modelling

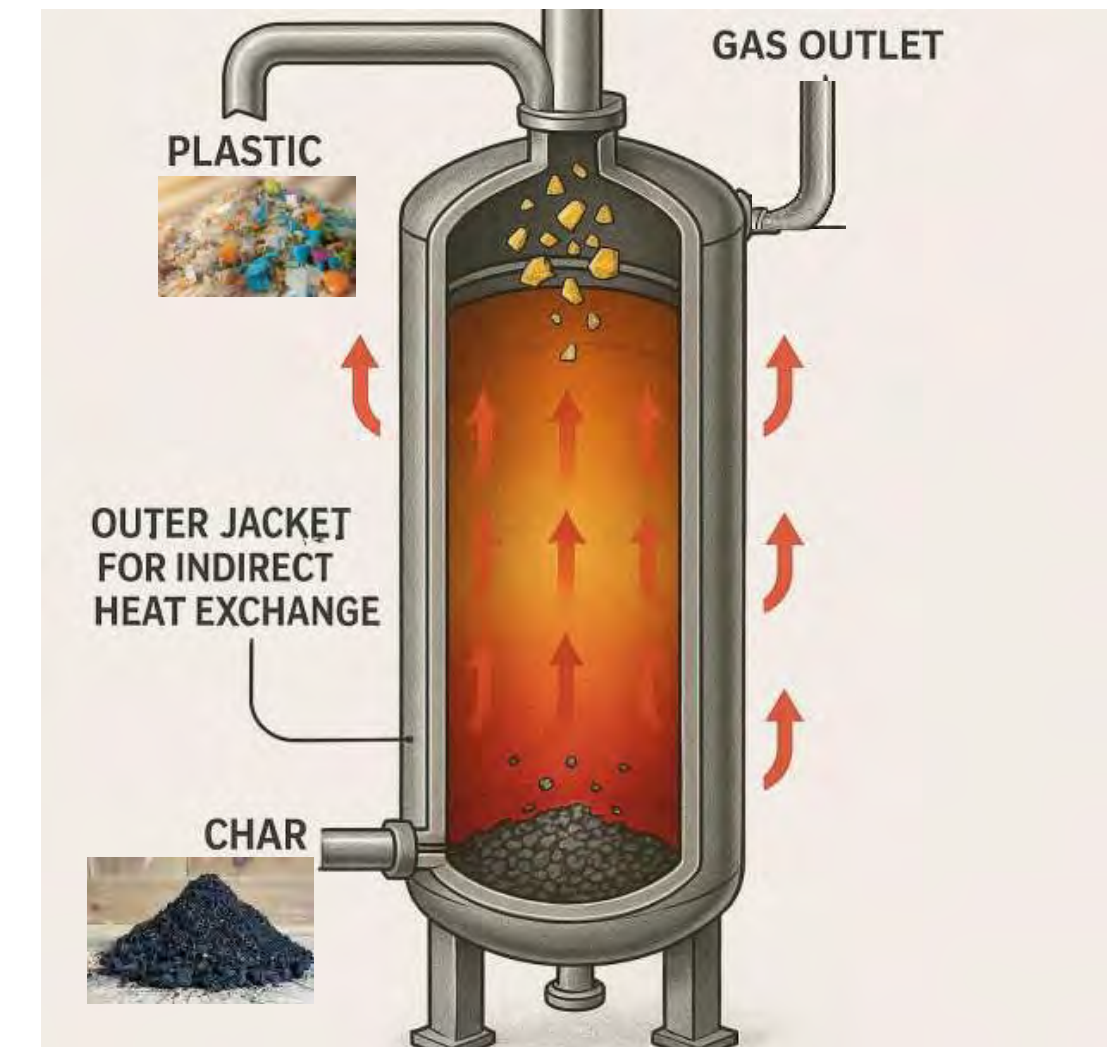
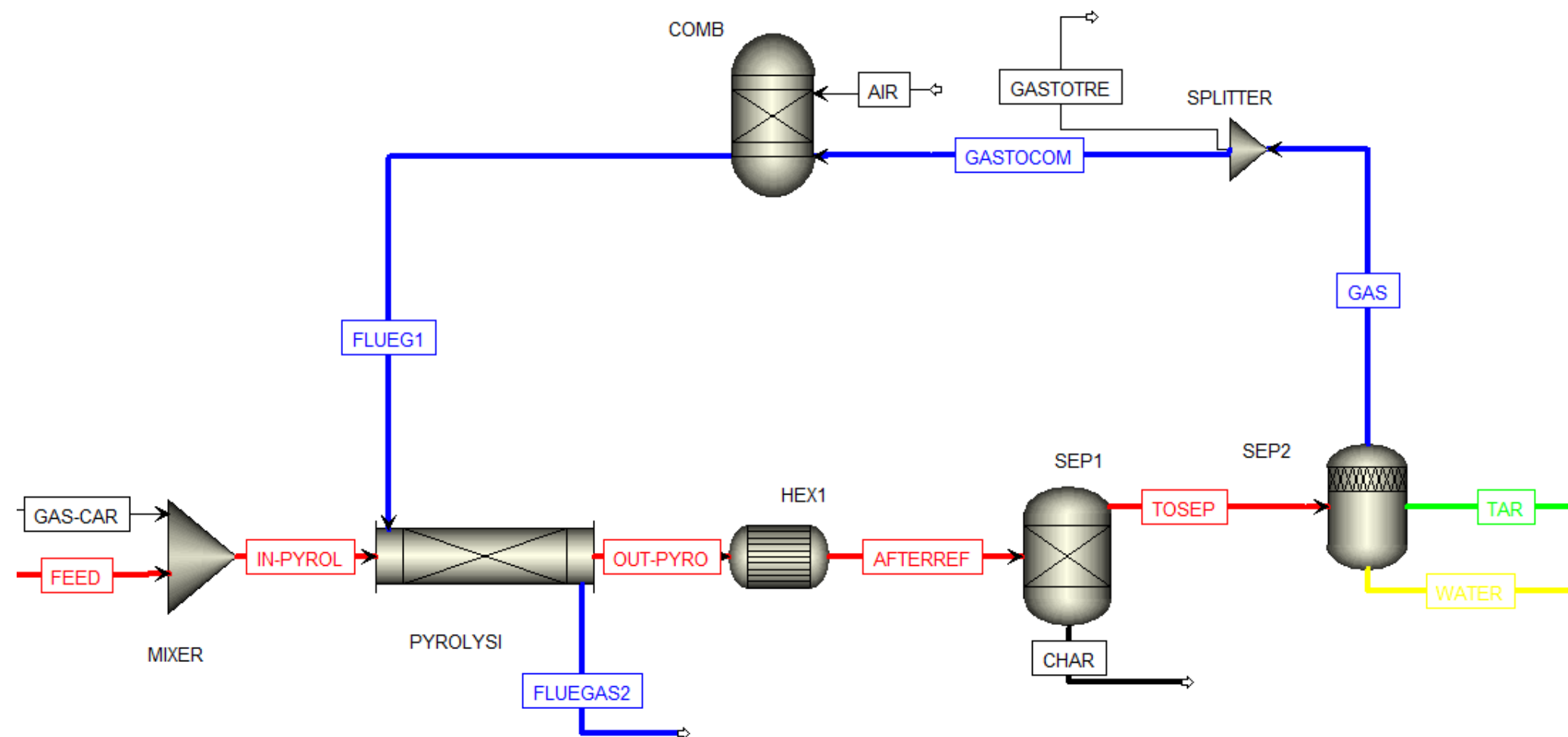
Reaction	Reactant Compound	A [1/s]	E _A [kJ/mol]
$C_2H_4 \rightarrow 0.3CH_4 + 0.02H_2 + 0.1 C_2H_6 + 0.25 C_3H_6 + 0.11 C_6H_6 + 0.09 C$	PE	10^{15}	241
$C_{10}H_{10}O_5 \rightarrow 1.6 CO + 1.4 CO_2 + 0.5 CH_4 + 1.35 H_2 + 0.3 H_6O + 0.4 C_7H_8 + 0.15 C_2H_2O_2 + 1.6 C$	PET	$6.21 \cdot 10^{16}$	256.4
$C_8H_8 \rightarrow 0.3089 CH_4 + 3,77 C + 0,0298 H_2 + 0,2193 C_7H_8 + 0,0896 C_8H_{10} + 0,298 C_2H_6 + 0,239 C_3H_6 + 0,079 C_4H_{10} + 0,000638 C_{10}H_8 + 0,000229 C_{14}H_{10}$	PS	$3.3 \cdot 10^{13}$	204
$C_2H_3Cl \rightarrow 0.9603 HCl + 0.052 CH_4 + 0.16185 H_2 + 0.091 C_2H_6 + 0.098 C_2H_4 + 0.095 C_6H_6 + C + 0.0086 C_6H_4Cl_2O + 0.0075 C_6H_3Cl_3O$	PVC	$2,74 \cdot 10^{11}$	141.44
$C_3H_6 \rightarrow 0.5H_2 + 0.25CH_4 + 0.25C_2H_4 + 0.25C_2H_6 + 0.25C_6H_6 + 0.25C$	PP	$3.2 \cdot 10^{15}$	244



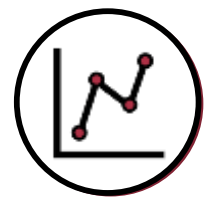
3. MODELS AND RESULTS

2.1 Pyrolysis Reaction Section

Configuration 1: Thermal Pyrolysis



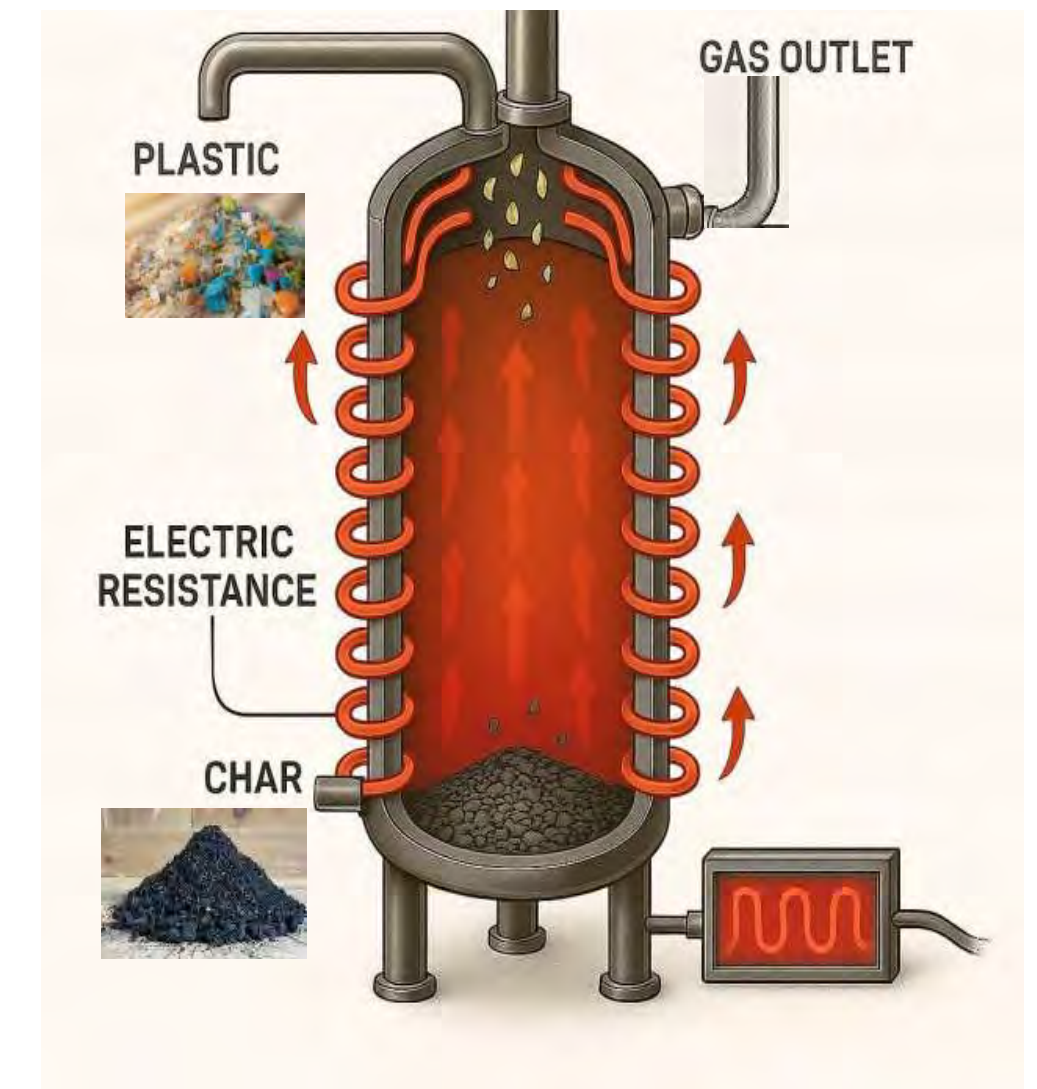
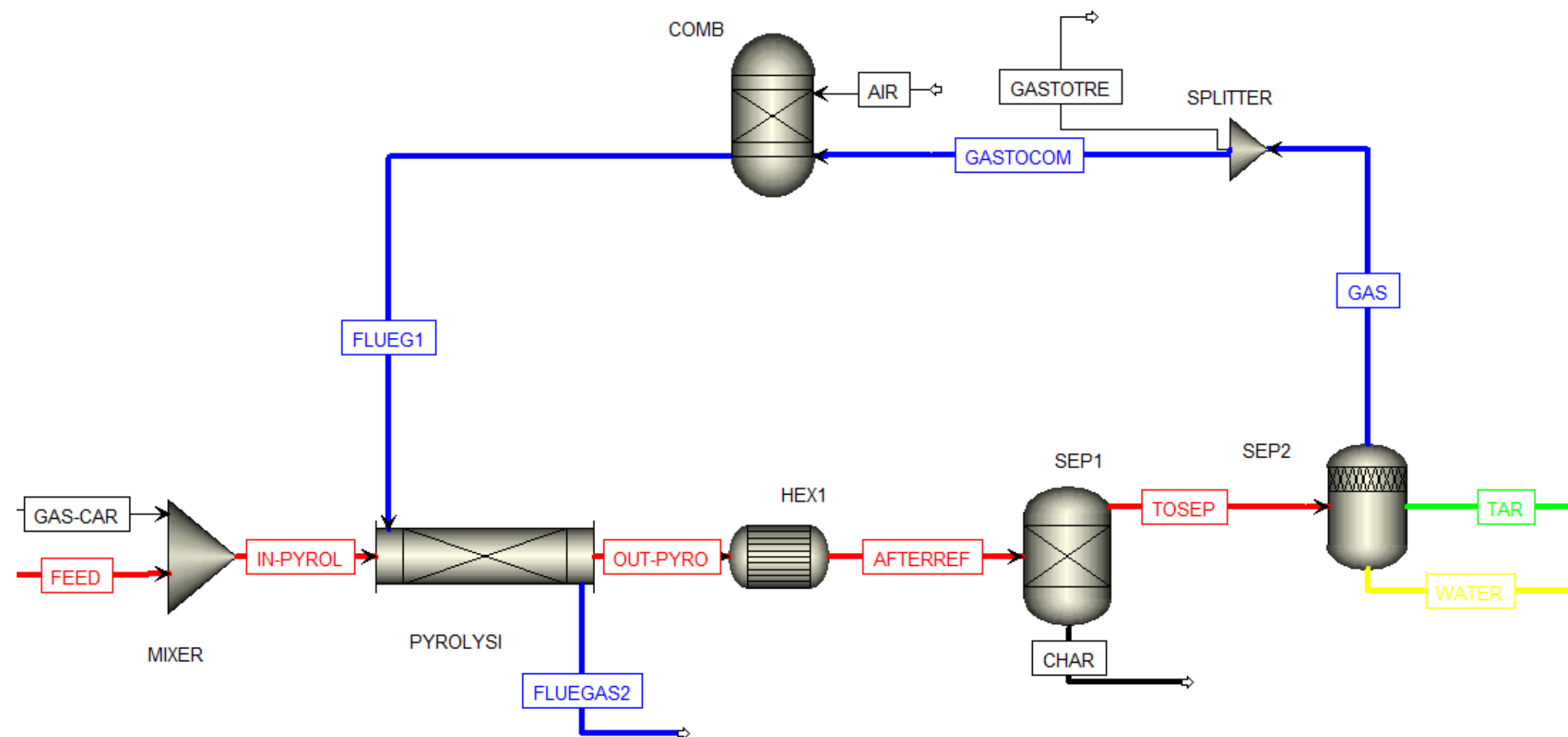
Yield	Thermal Pyrolysis
Char	12.58%
Tar	37.03%
Gas	50.42%



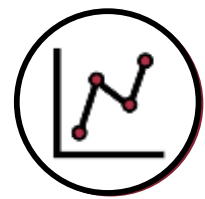
3. MODELS AND RESULTS

2.1 Pyrolysis Reaction Section

Configuration 2: Electrified Pyrolysis



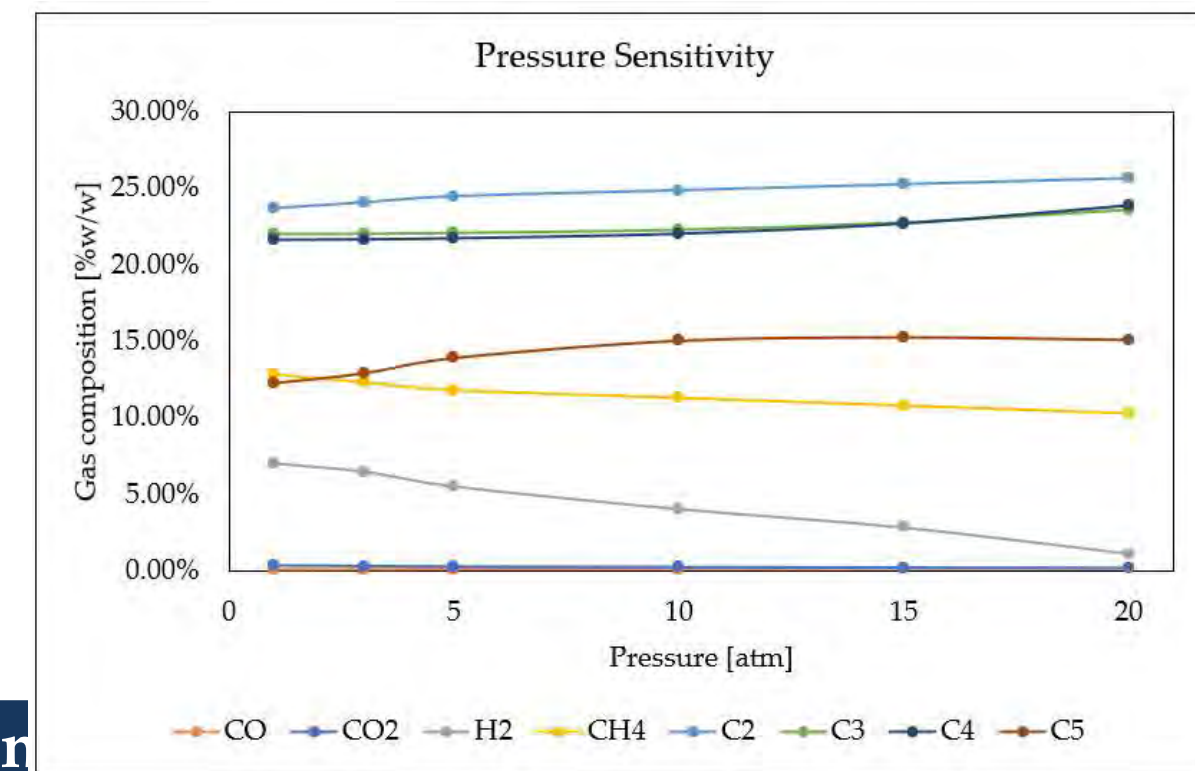
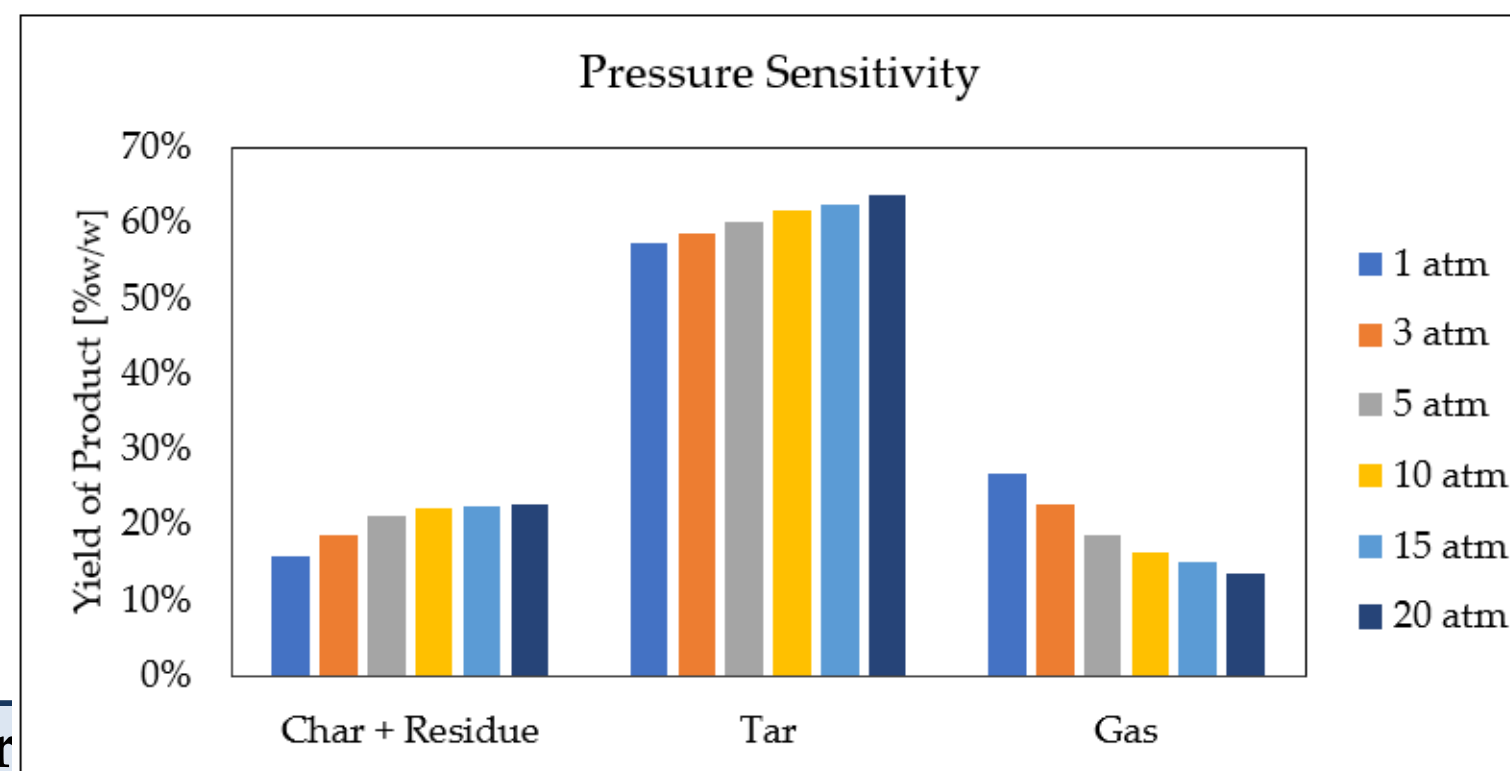
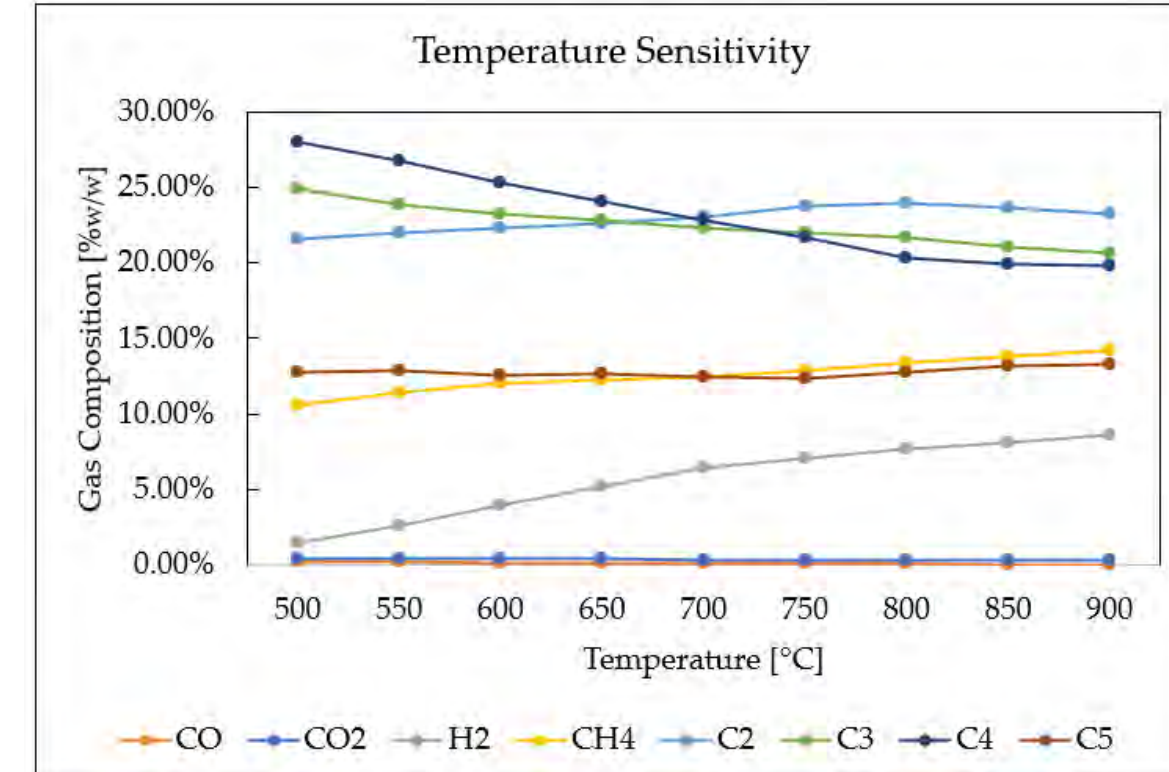
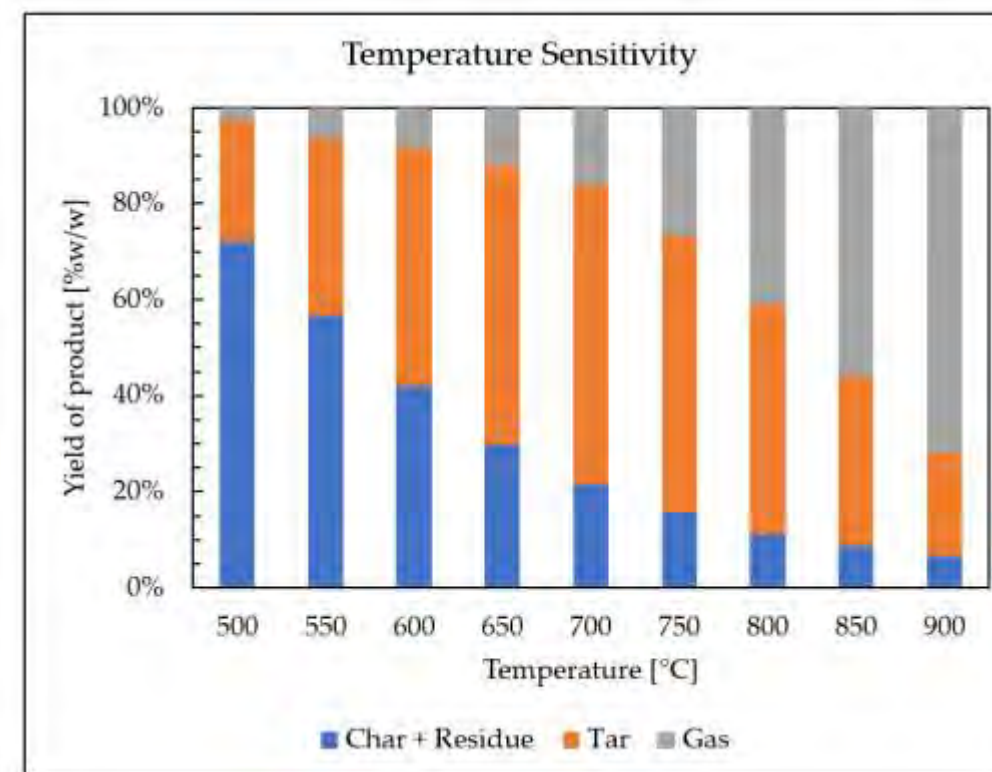
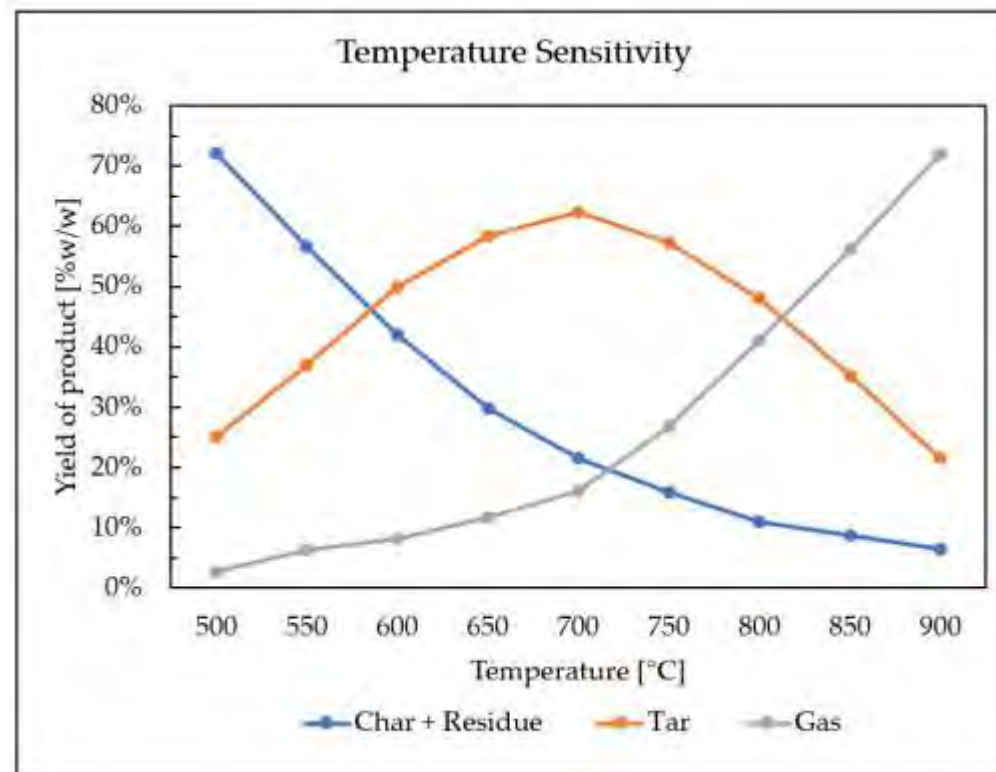
Yield	Electrified Pyrolysis
Char	9.15%
Tar	27.99%
Gas	62.86%

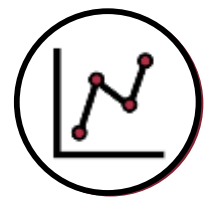


3. MODELS AND RESULTS

2.1 Pyrolysis Reaction Section

Sensitivity Analysis

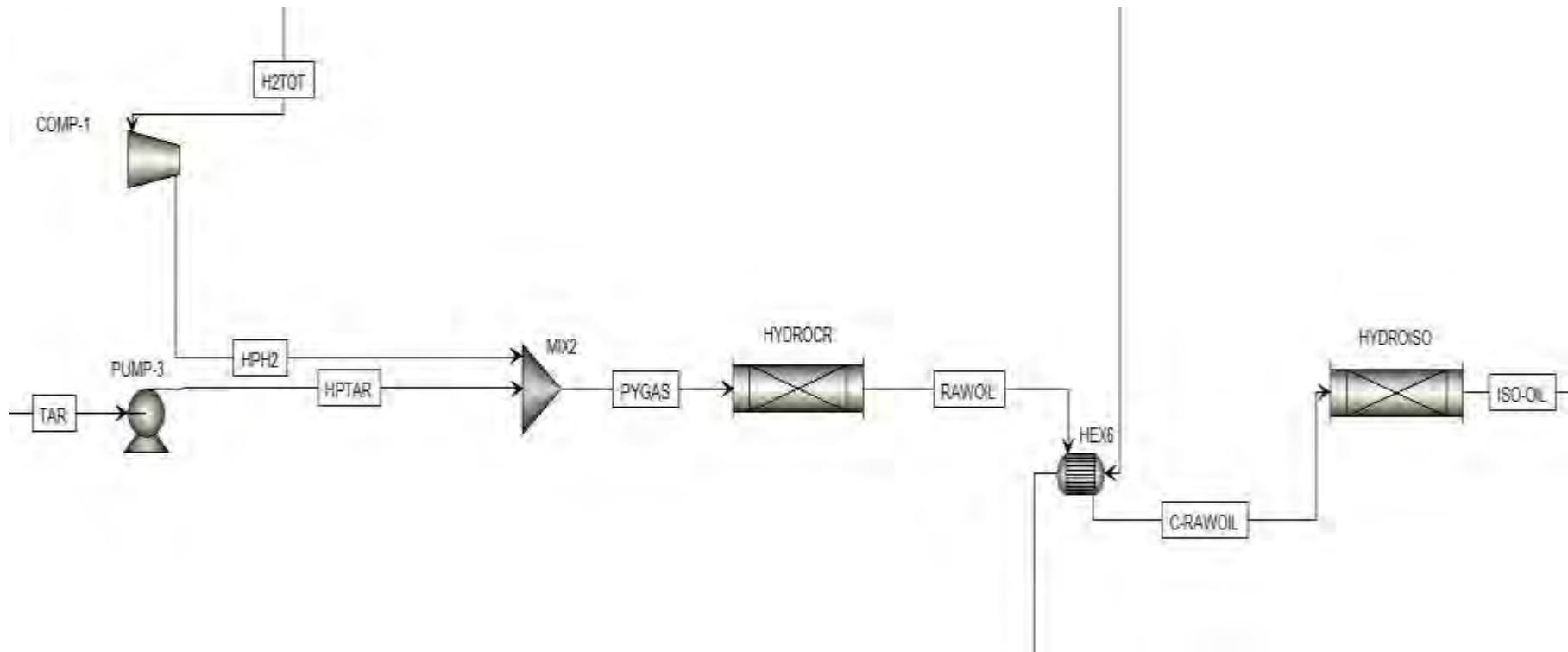




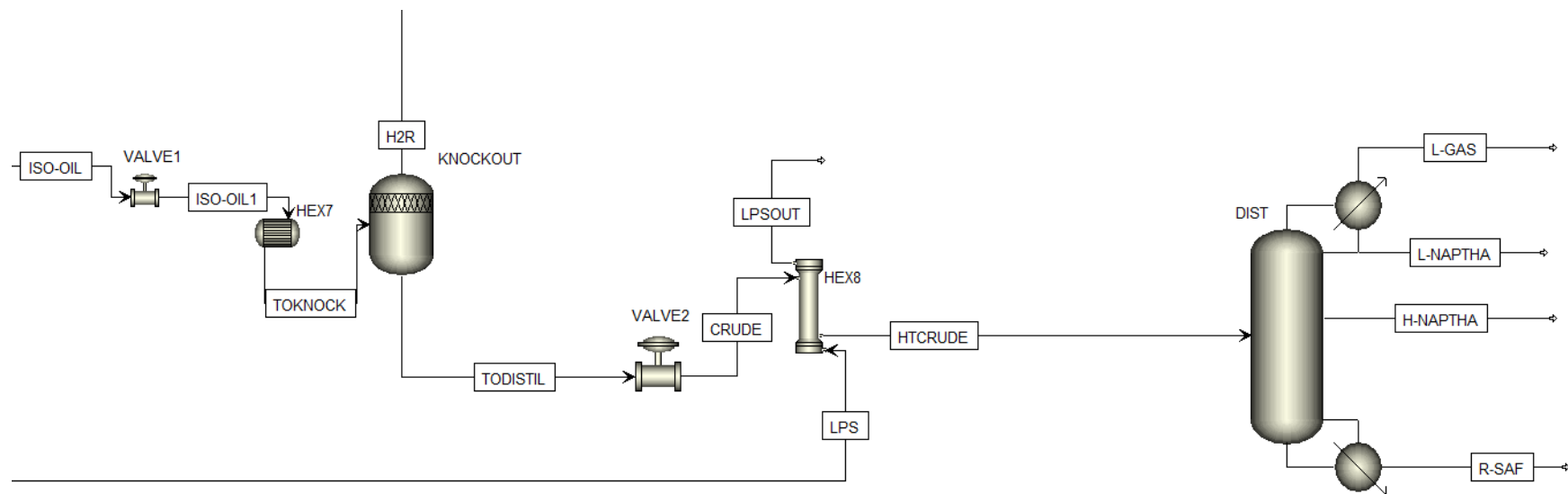
3. MODELS AND RESULTS

2.2 Tar Upgrading Section

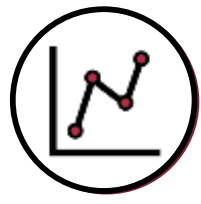
- Hydroprocessing reactors



- Distillation



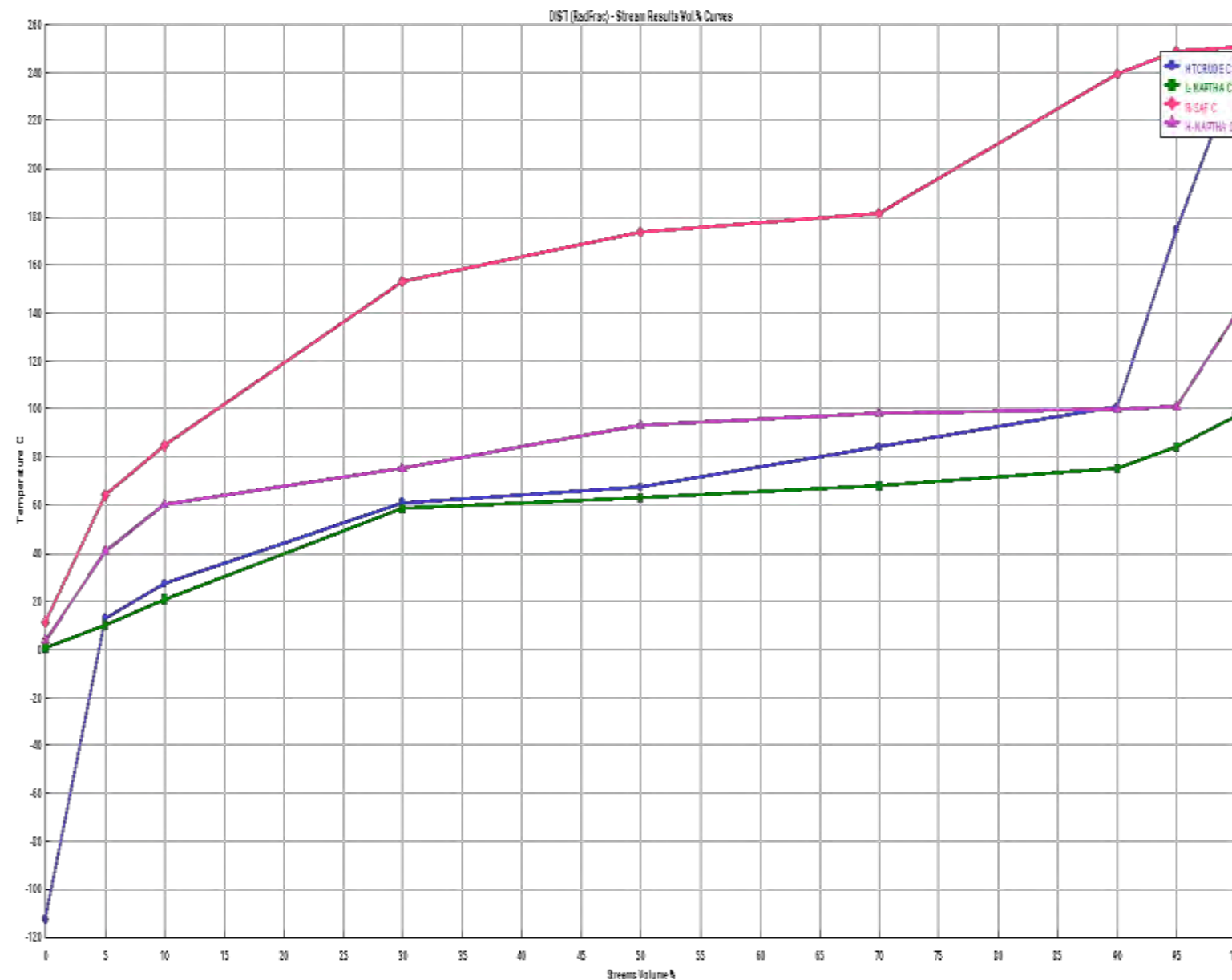
Output Distillation [%mass]		
	<i>naptha</i>	<i>r-SAF</i>
H ₂ O	0.03%	-
C ₆ H ₆ O	0.02%	28%
n-C ₆ H ₁₄	34.03%	0.08%
i-C ₆ H ₁₄	27.54%	0.01%
n-C ₇ H ₁₆	11.65%	13.08%
i-C ₇ H ₁₆	20.71%	2.86%
n-C ₈ H ₁₈	0.12%	15.92%
i-C ₈ H ₁₈	5.56%	5.82%
C ₇ H ₁₄	0.34%	0.79%
C ₈ H ₁₆	-	0.19%
n-C ₁₀ H ₂₂	-	8.47%
i-C ₁₀ H ₂₂	-	12.02%
C ₁₄ H ₂₈	-	9.98%
C ₆ H ₄ Cl ₂ O	-	1.34%
C ₆ H ₃ Cl ₃ O	-	1.42%



3. MODELS AND RESULTS

3. Results: Characteristic of Fuel Product

%mol	Paraffins	Napthenes	Aromatics
<i>r-SAF</i>	39.16	32.55	28.28

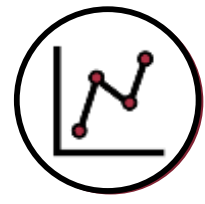


TBP Distillation curve

	r-SAF	Jet A-1 [ASTM D1655]	HEFA Jet (Tallow Oil)
$\rho_{LIQ.}$ (kg/m ³) 15°C	7845.4	775-840	760
HHV (MJ/kg)	47.48	Min. 42.	44.1
DCN.	32.93	45	53
FLASH POINT (°C)	40.1	Min. 38	44
FREEZING POINT (°C) [ASTM D97]	-65	-47	-53

* Fuels properties comparison: data taken from *Fuels & Energy Branch, Turbine Engine Division. U.S Interim Report, James T. Edwards (2020)*





3. MODELS AND RESULTS

3. Results: Techno-Economic Analysis

Economic analysis

Capital Expenditure (CAPEX)

All the equipment costs are calculated only in the reaction and downstream separation sections.

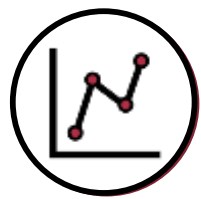
Operating expenditure (OPEX)

All costs and revenues reported refer to a continuous plant that works 8000 hours per year.

- The Electric Energy cost is estimated based on the forecasting of the 2024 cost, approximately in the range **120 €/MWh**;
- The only raw materials needed are make-up H₂ with a cost of **8 \$/kg**.

Utility/Chemical	Cost	Unit
<i>Cooling Water</i>	0.014	€/t
<i>Steam (HP)</i>	59.3	€/t
<i>Electrical Energy</i>	0.12	€/kWh
<i>Fe₂O₃ /Cr₂O₃</i>	173	€/kg
<i>Pt-Pd/HZSM-5</i>	450	€/kg

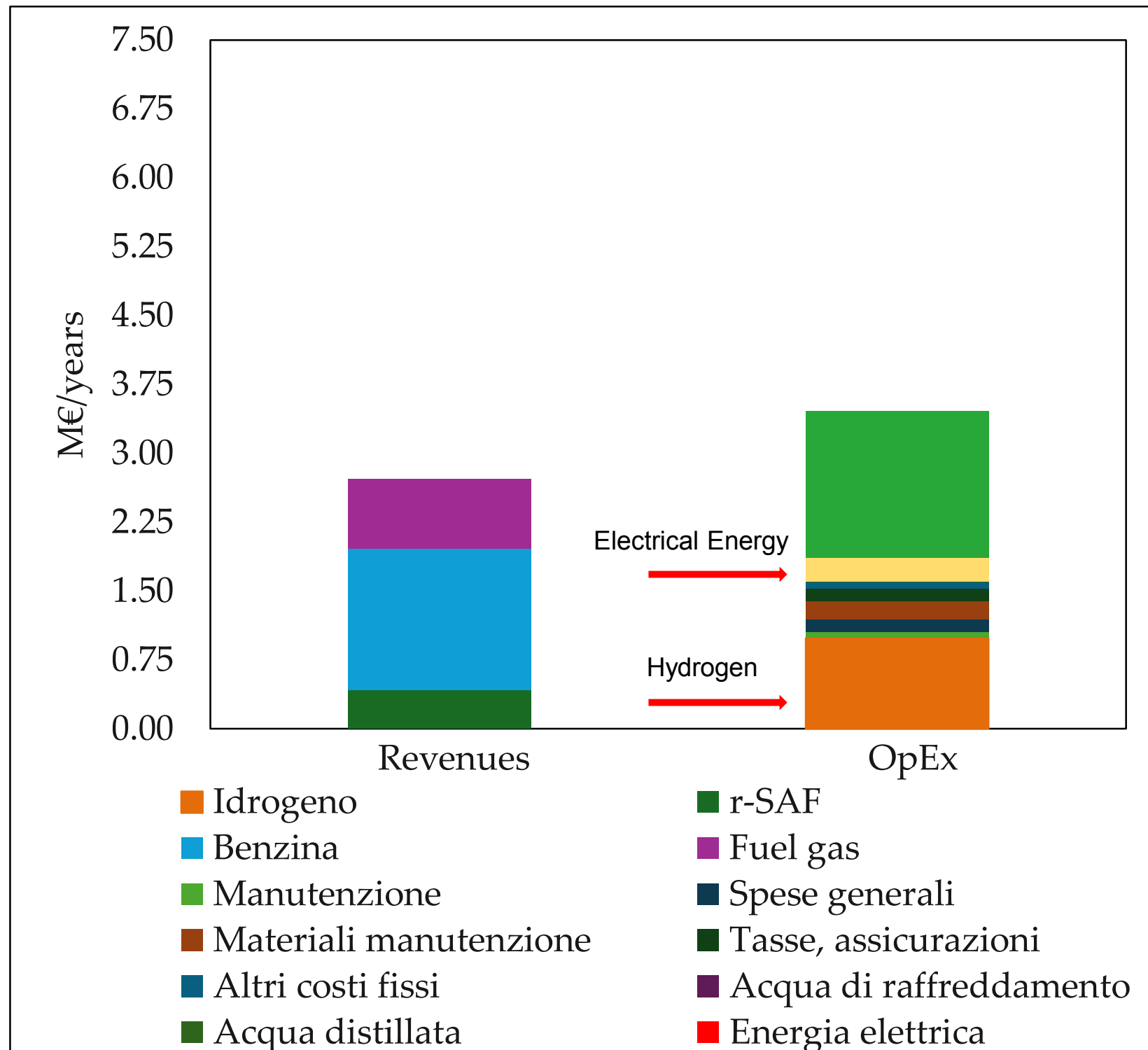




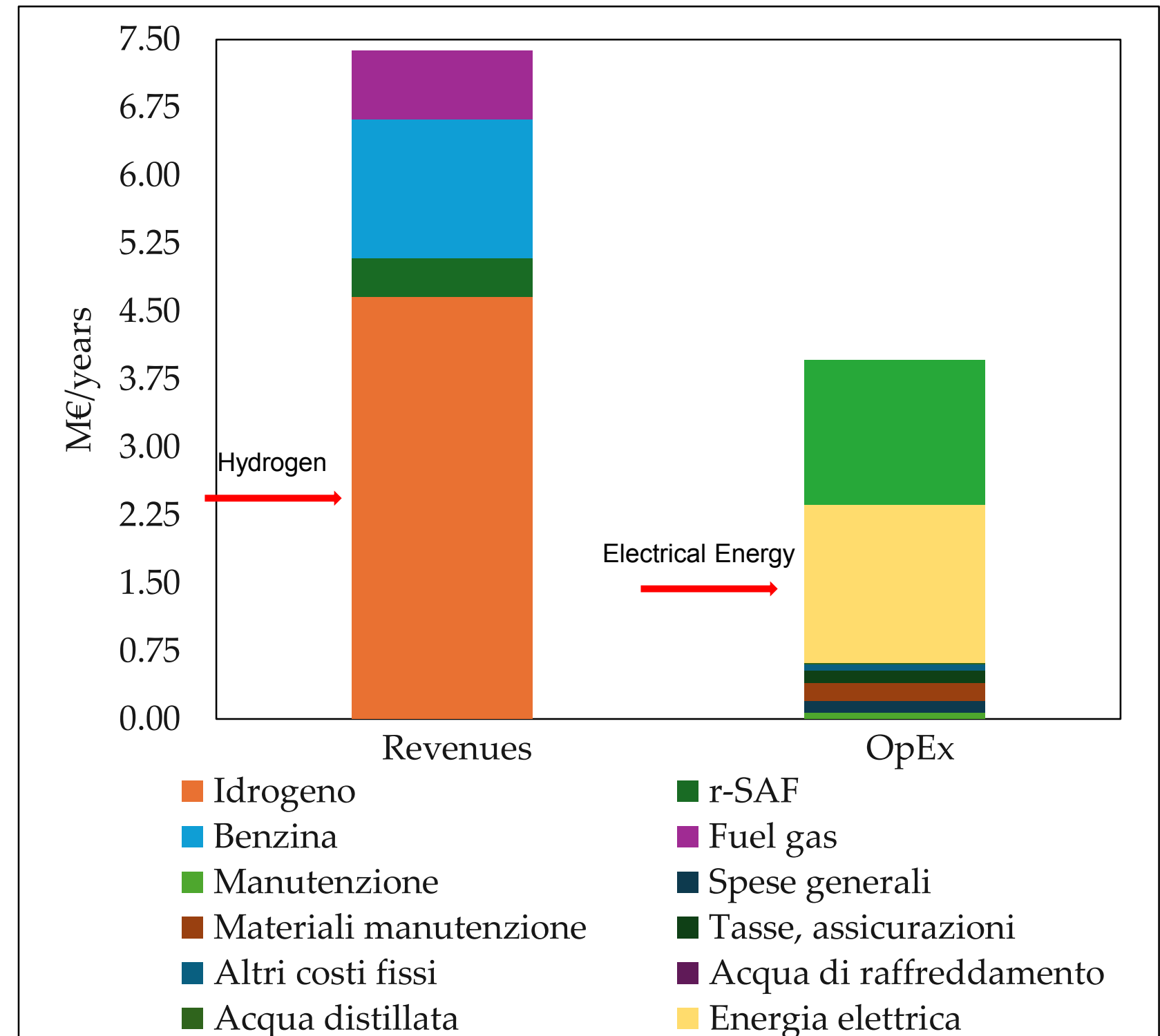
3. MODELS AND RESULTS

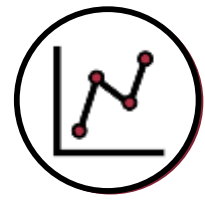
3. Results: Techno-Economic Analysis

Configuration 1: Thermal Pyrolysis



Configuration 2: Electrified Pyrolysis

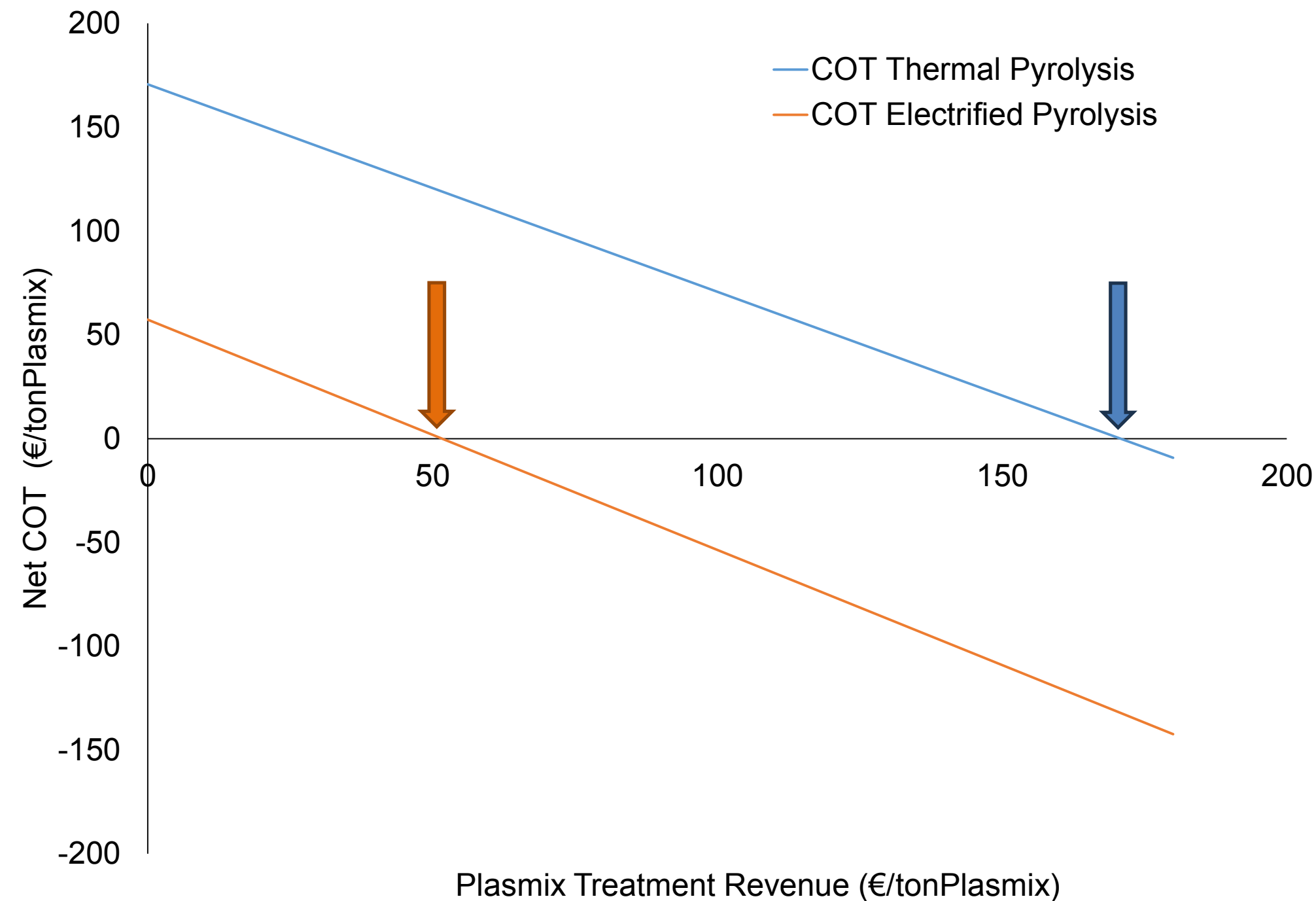


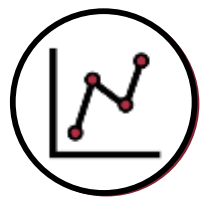


3. MODELS AND RESULTS

3. Results: Techno-Economic Analysis

Cost of treatment (COT)





3. MODELS AND RESULTS



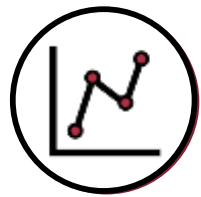
3. Results: Techno-Economic Analysis

Energy analysis

The energy efficiency of the system (η) is defined as the ratio:

$$\eta = \frac{\text{Energy Out}}{\text{Energy In} + \text{Power}}$$

	Thermal Pyrolysis Case	Electrified Pyrolysis Case
Reaction Pyrolysis Section	74.96 %	83.98 %
Syngas upgrading section	41.84 %	43.55 %
Upgrading section of the Tar	91.67 %	95.88 %
Plant	33.56 %	48.95 %



3. MODELS AND RESULTS



3. Results: Techno-Economic Analysis

Environmental analysis

Regarding the carbon dioxide emissions of the process the Emissions Factor (F.E) used by **SIRENA 20 (Sistema Informativo Regionale ed Ambiente)**, actualized to May 2024, are used (**CO₂ Emission factor** = 0.3373 kg CO₂ eq./kWh).

Emissions	kg CO ₂ /kg _{PLASMIX}	kg CO ₂ /kg _{r-SAF}	kg CO ₂ /kg _{Products}
Carbon footprint Thermal Pyrolysis Case	1.56	28.66	5.45
Carbon footprint Electrified Pyrolysis Case	0.51	20.35	1.39



OUTLINE



1. Research Problem



2. Objective of the Work



3. Models and Results



4. Conclusion and Future research work plans





4. CONCLUSIONS



Conclusion and Future research work plans



Pyrolysis confirms itself as a **green solution** for plastic waste treatment, but still requires **further research** and in-depth studies at industrial scale.



The production of **fuel products** is a **strategic advantage**, thanks to **market opportunities** for **Recycled Carbon Fuels (RCF)** (e.g., **ReFuelEU Aviation**). The role of **electrification** and **catalyst optimization** is crucial to reduce emissions and enhance process efficiency.



Among the **future developments**:

- **Scale-up** of the technology
- **Research on more efficient catalysts and processes**
- Stronger **integration with renewable energy** and **Life Cycle Assessment (LCA)** to evaluate the overall environmental impact.



🌐 **Take-home message**

→ $\square$ **Pyrolysis + Electrification = Sustainability**

A key combination to turn plastic waste into low-carbon fuels, supporting the **transition to a circular and decarbonized economy**.



Thank you for your kind attention



Any questions?



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

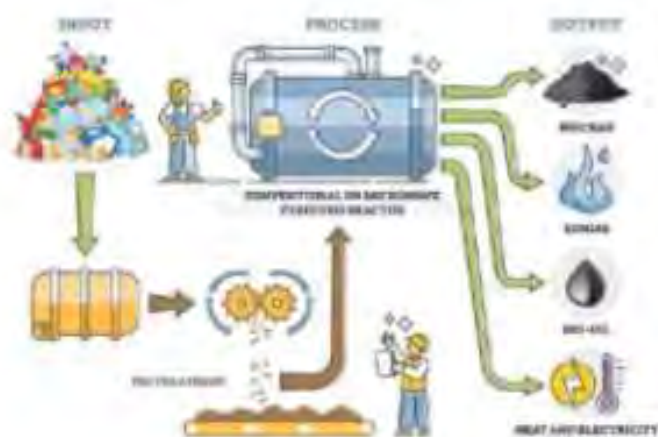


Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA





Seminario tecnico-scientifico

TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

7 ottobre 2025 - 14.00-18.00

Sala Convegni – Università degli studi di Roma Tor Vergata
via del Politecnico, 1 - Roma



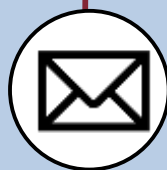
SEGNERI Valentina



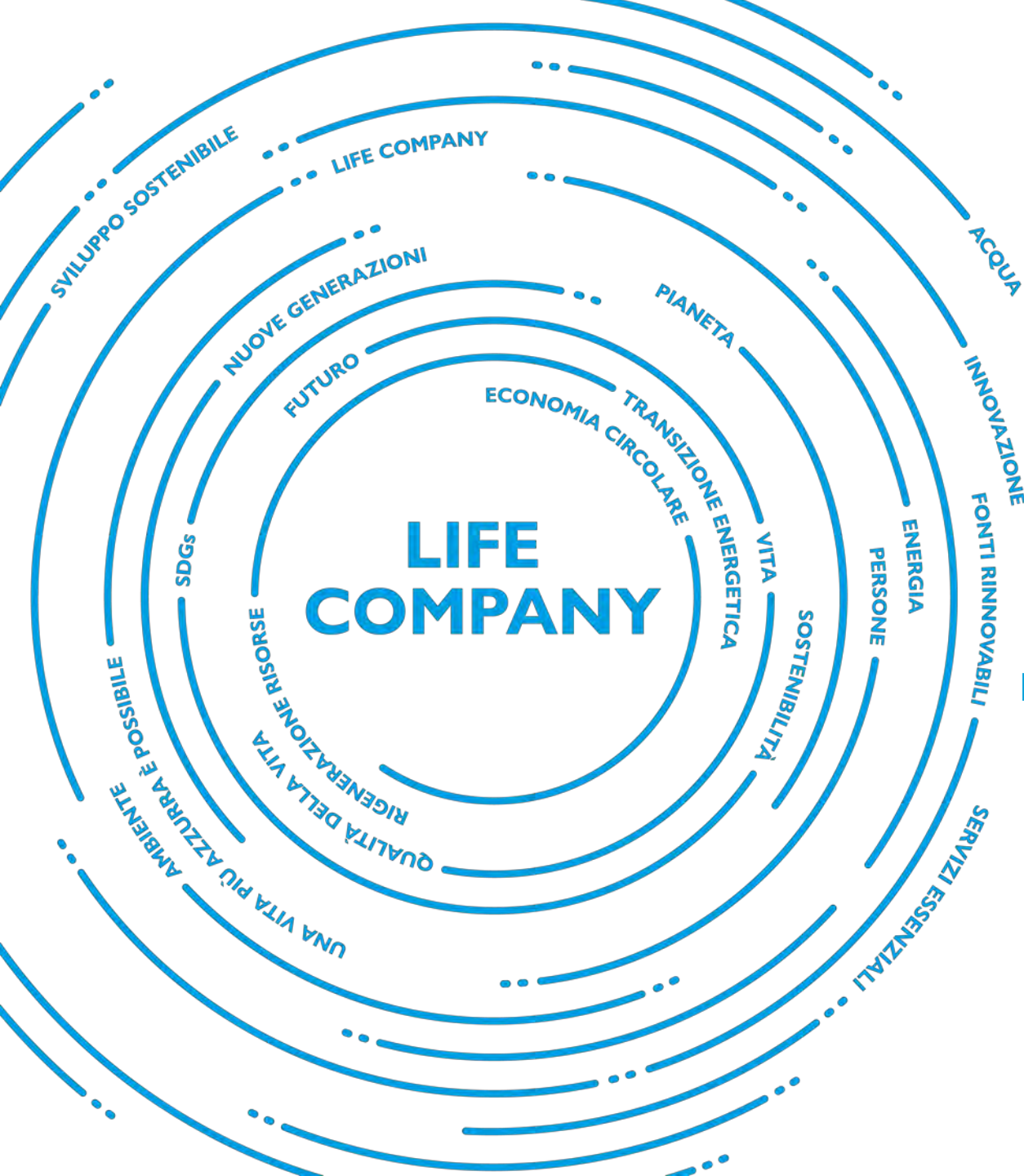
Research Fellow in **Chemical Processes for Industry and Environment**



Department of Chemical Engineering, Materials and Environment
University of Rome, «La Sapienza»



valentina.segneri@uniroma1.it



TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

Innovazione continua nel recupero energetico dei rifiuti

7 Ottobre 2025

A2A in a snapshot



IL GRUPPO A2A



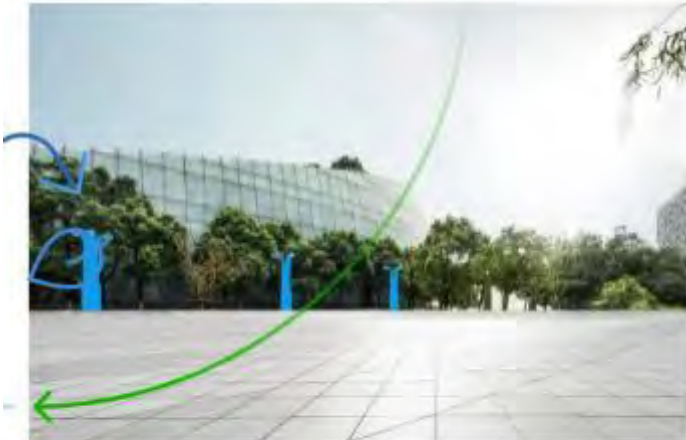
Energia

Siamo presenti in tutta la catena del valore dell'energia, dalla produzione alla vendita di energia elettrica e gas e di servizi di efficienza energetica e mobilità elettrica.



Secondo operatore dell'energia in Italia

per capacità installata, quanto tra gli operatori industriali delle rinnovabili (per eolico e solare)



Servizi a rete

Distribuiamo energia elettrica e gas, acqua potabile e calore da teleriscaldamento. Illuminiamo, connettiamo e progettiamo città e imprese secondo infrastrutture smart e digitali.



Secondo operatore delle reti elettriche in Italia

per energia elettrica distribuita



Ambiente

Dalla gestione integrata dei rifiuti al recupero di materia ed energia: proteggiamo l'ambiente trasformando i rifiuti e gli scarti in nuove risorse, riducendo gli sprechi.



Primo operatore dei rifiuti in Italia

per tonnellate trattate



Utile netto @ 2023

635

milioni di euro



EBITDA @ 2024

2.330

milioni di euro

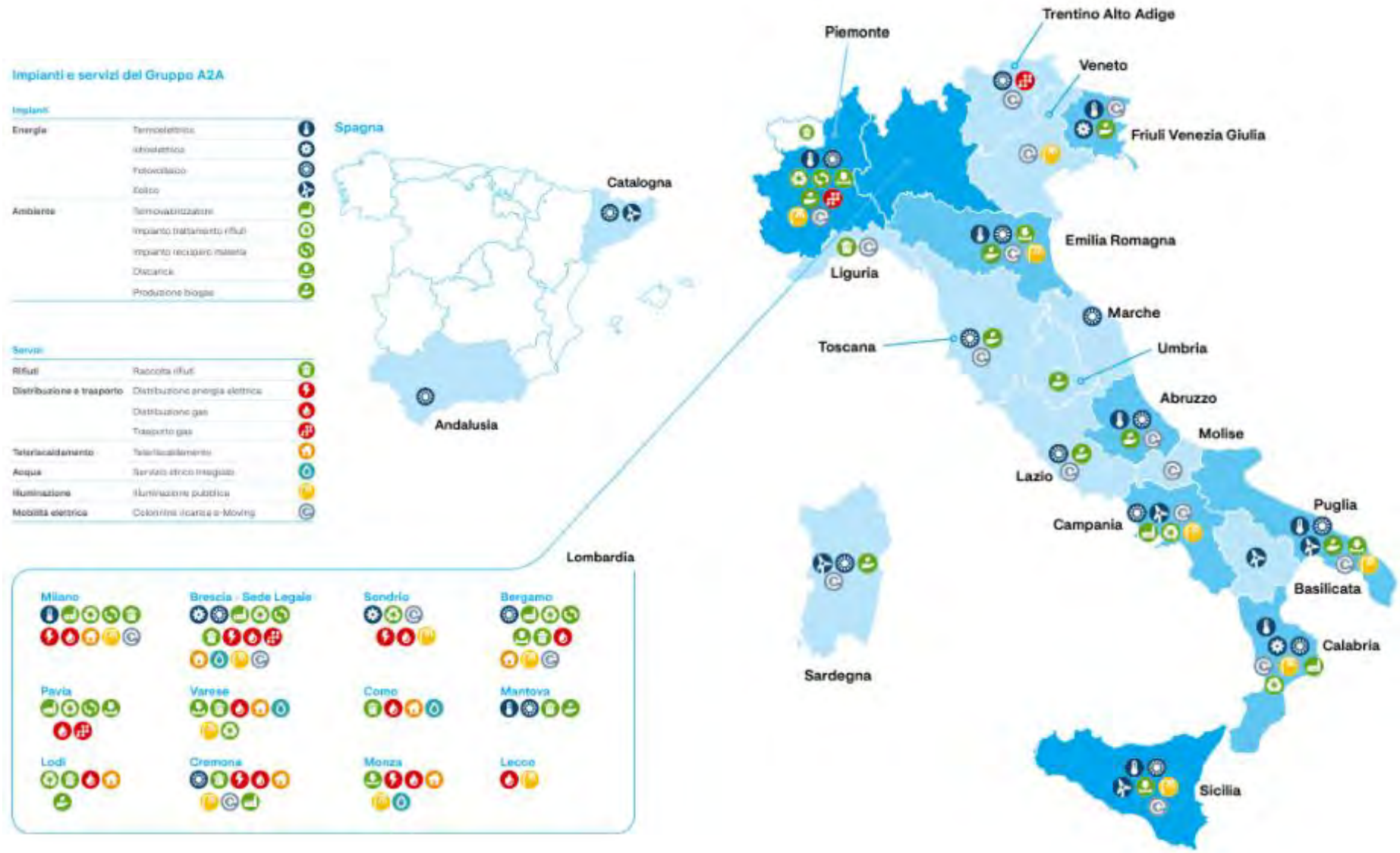


Dipendenti @ 2023

13.958

Dipendenti del gruppo

GRUPPO A2A - LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA



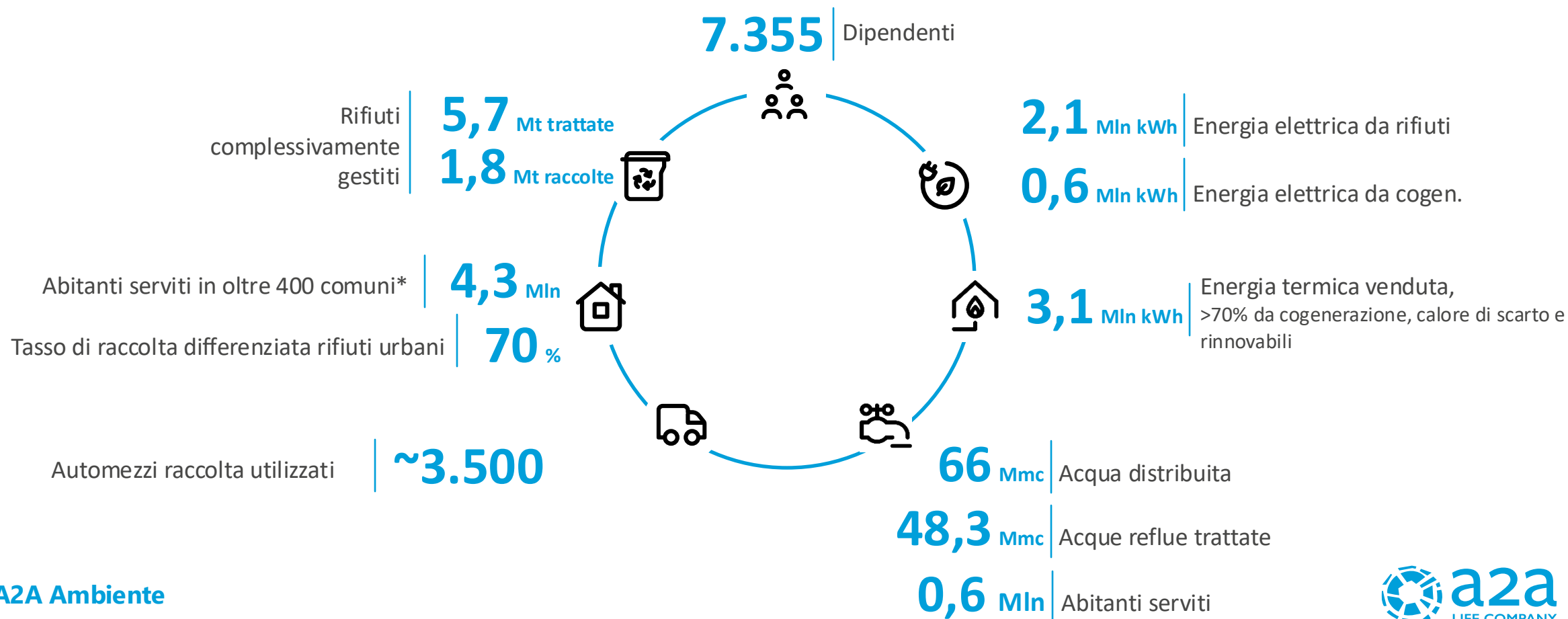
LA Business Unit Circular Economy

KEY FIGURES 2024 - B.U. CIRCULAR ECONOMY

 **2.140M** Ricavi

 **583M** EBITDA

 **460M** Capex



A2A Ambiente



(*) tramite le società AMSA, APRICA e Gelsia Ambiente

DOVE SIAMO IN ITALIA WASTE MANAGEMENT

Leader in Italia nell'ambito delle attività di recupero di materia ed energia attraverso la valorizzazione dei rifiuti

Impianti di recupero di materia **14**

Impianti di trattamento organico **6**

Termovalorizzatori **12**
per rifiuti urbani **10**
per rifiuti pericolosi **2**

Impianti TMB e produzione CSS **10**

Piattaforme polifunzionali **5**

Discariche **2**

Impianti biomasse e bioenergie **22**

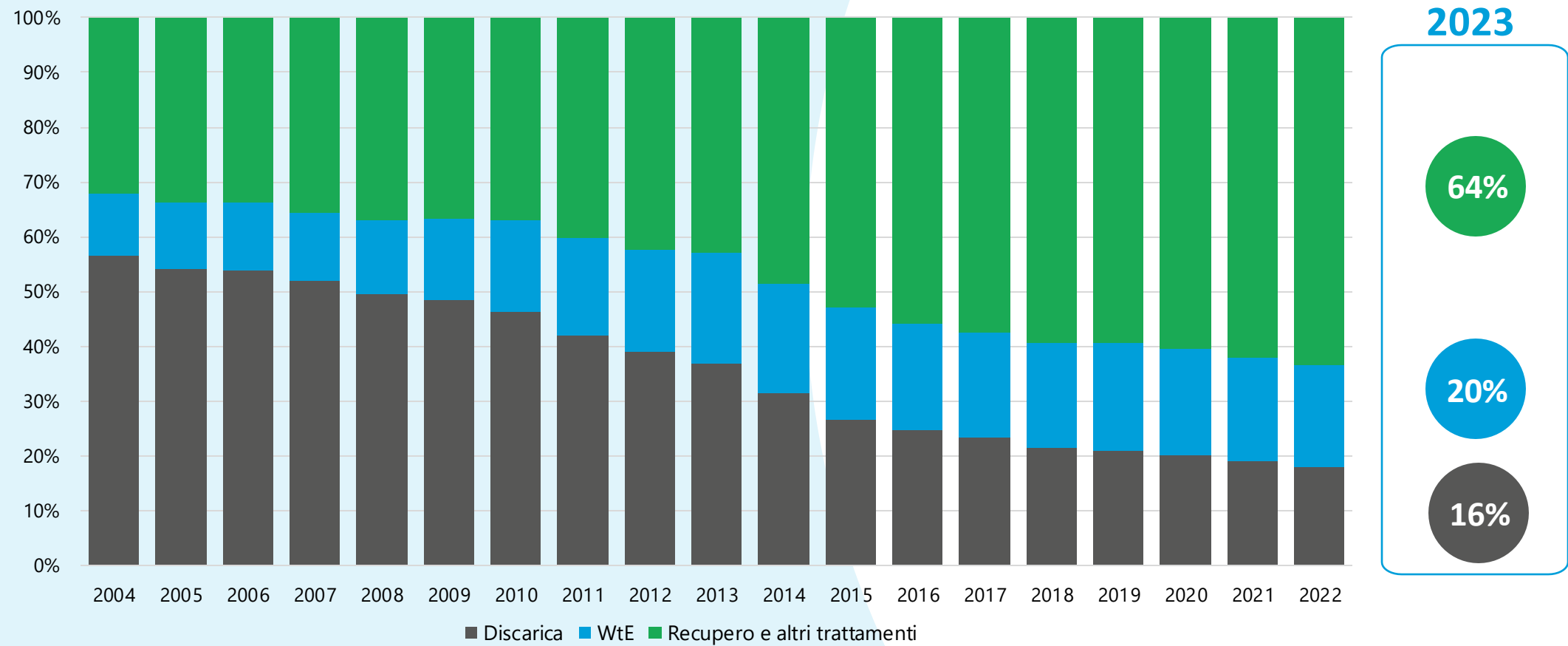


A hand is shown holding a blue recycling symbol (a triangle with a dot in the center) over a recycling bin. The bin is white and contains several glass jars. In the background, there is a red recycling bin and a clear plastic bottle. The text "Il contesto di riferimento in ottica di economia circolare" is overlaid on the right side of the image.

Il contesto di riferimento in ottica di economia circolare

LA GESTIONE DEI RIFIUTI IN ITALIA

Evoluzione

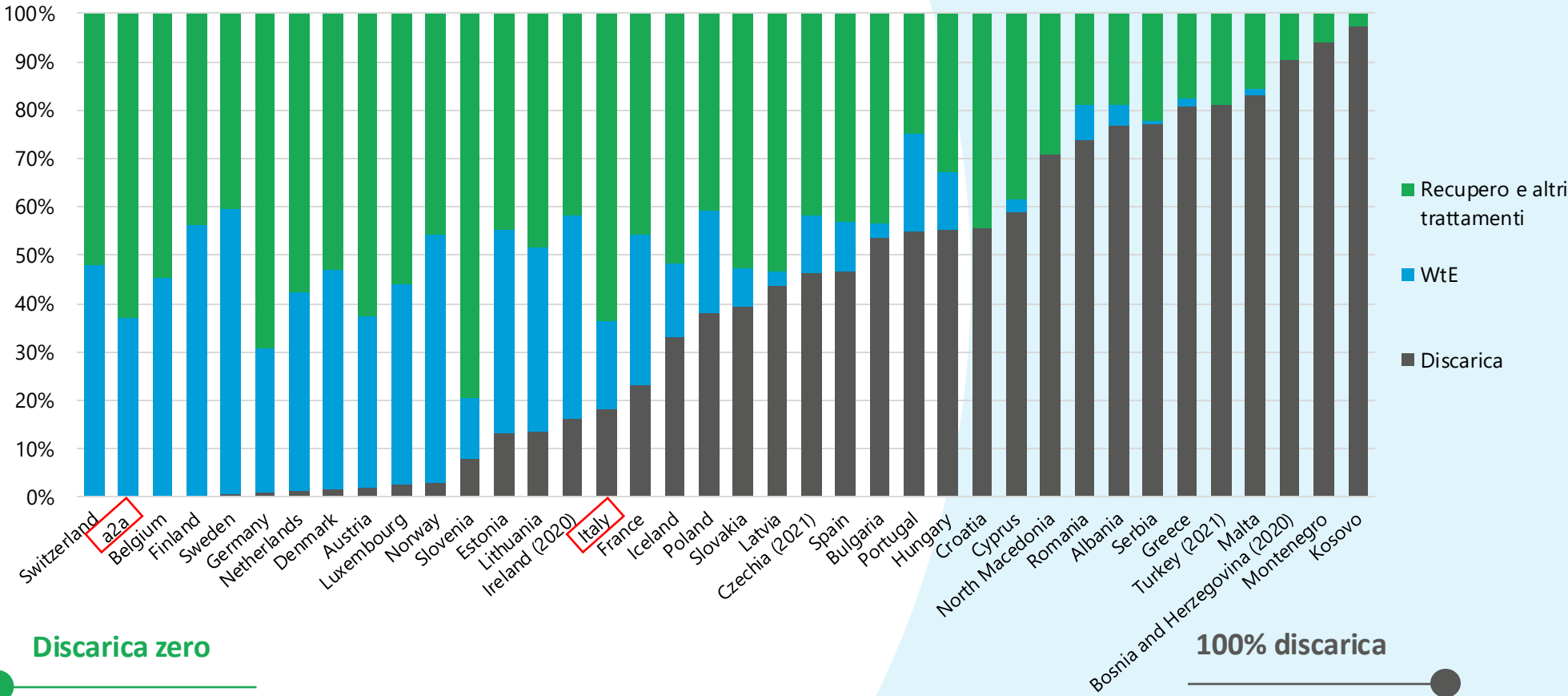


Fonte Eurostat, dati 2022, Rapporto rifiuti urbani ISPRA 2024, dati 2023

ITALIA VS EU

I Best Performer hanno alti tassi di recupero di energia e di riciclo

La gestione degli RSU in Europa



16%
Discarica IT 2023
Fonte Report
Ispra 2024

Discarica zero

100% discarica

Fonte Eurostat, dati 2022



L'ESEMPIO DEL TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

11

TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

DATI DI ESERCIZIO 2024



712.709

T



Fabbisogno di circa
175.000 famiglie
(pari a 436 GWh)



Fabbisogno di circa
58.000 famiglie
(pari a 911 GWh)



140.000

Tep



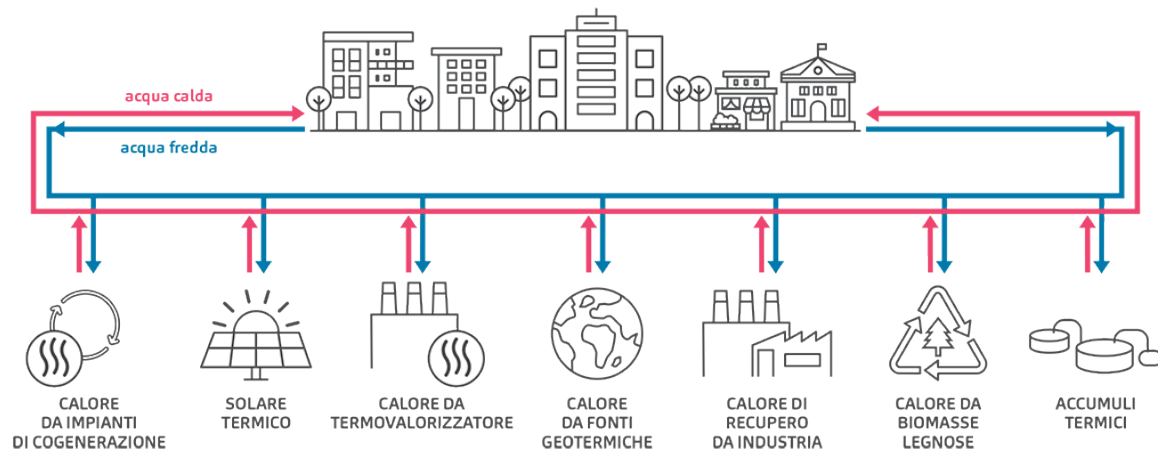
508.000

T

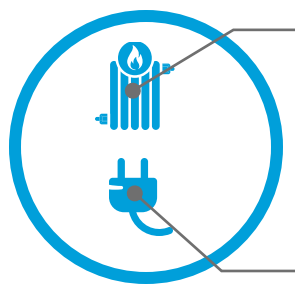


SISTEMA INTEGRATO ENERGIA E AMBIENTE (SEA)

MAPPA DELLA RETE DEL TELERISCALDAMENTO



- ✓ 20.377 utenti serviti
- ✓ >179.000 appartamenti equivalenti serviti
- ✓ 43 milioni di m³ di volumetria allacciata
- ✓ 682 km di doppia tubazione



>1.100 GWh di calore

>700 GWh di energia elettrica

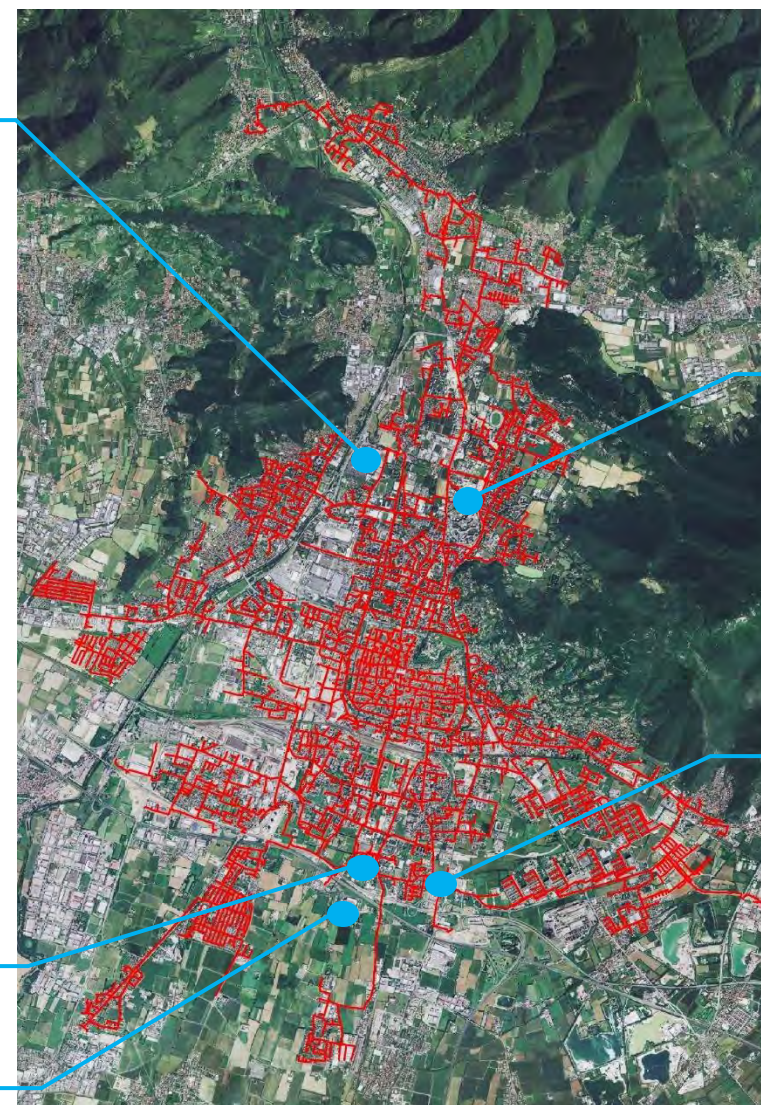
Ori Martin

C.Le Nord

Alfa Acciai

C.Le Lamarmora

Termoutilizzatore

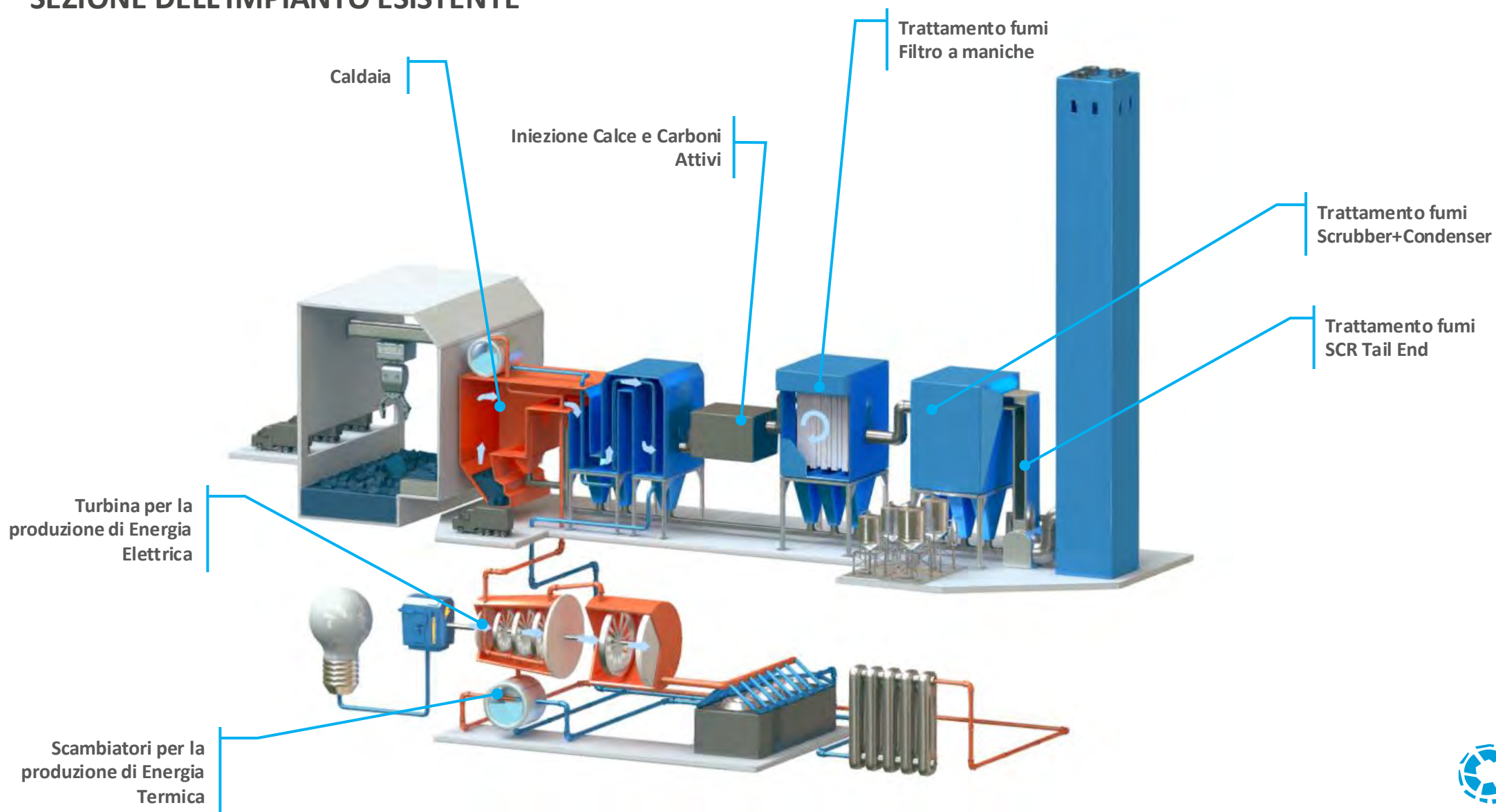


A2A Ambiente

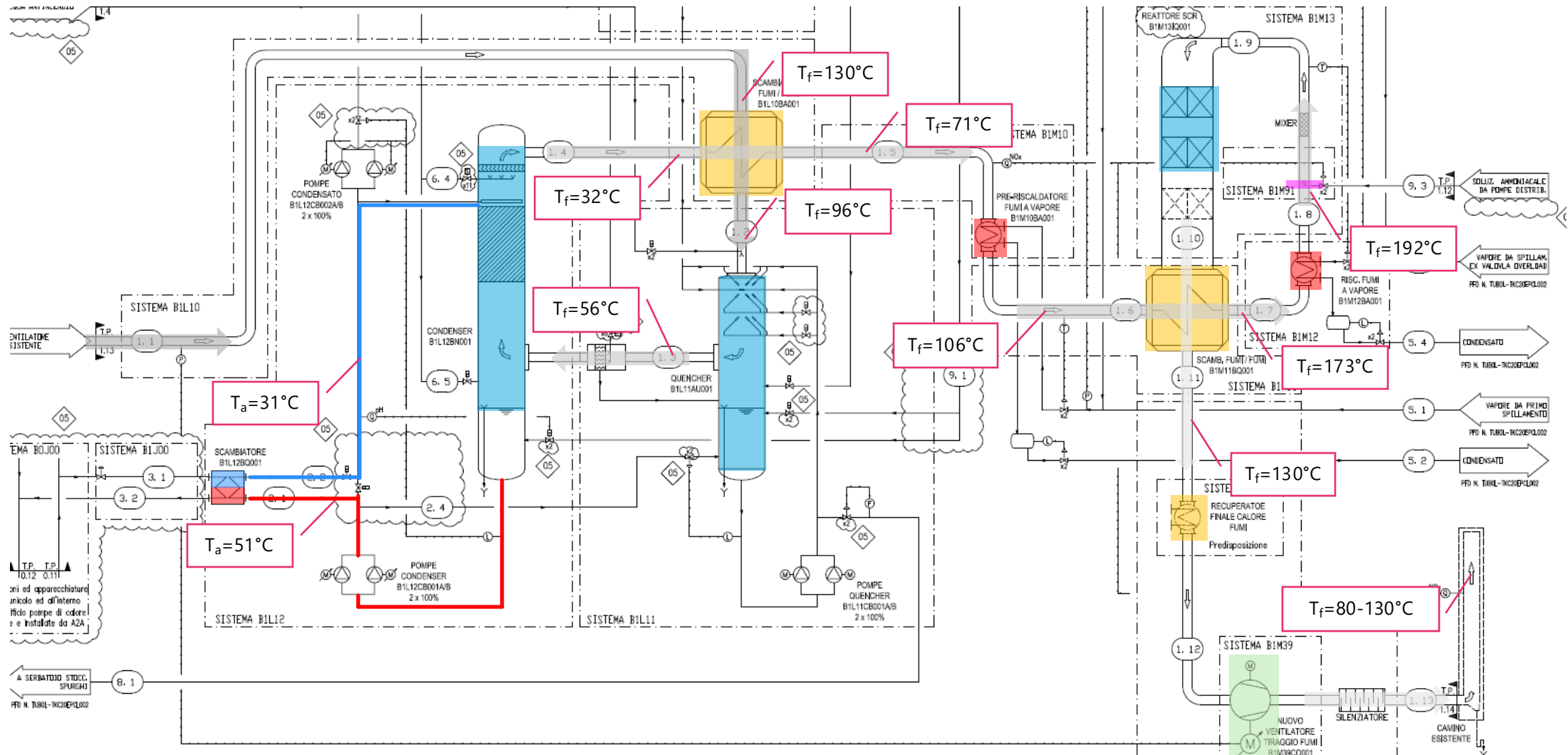
Dati 2024 – A2A Calore e Servizi

TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

SEZIONE DELL'IMPIANTO ESISTENTE



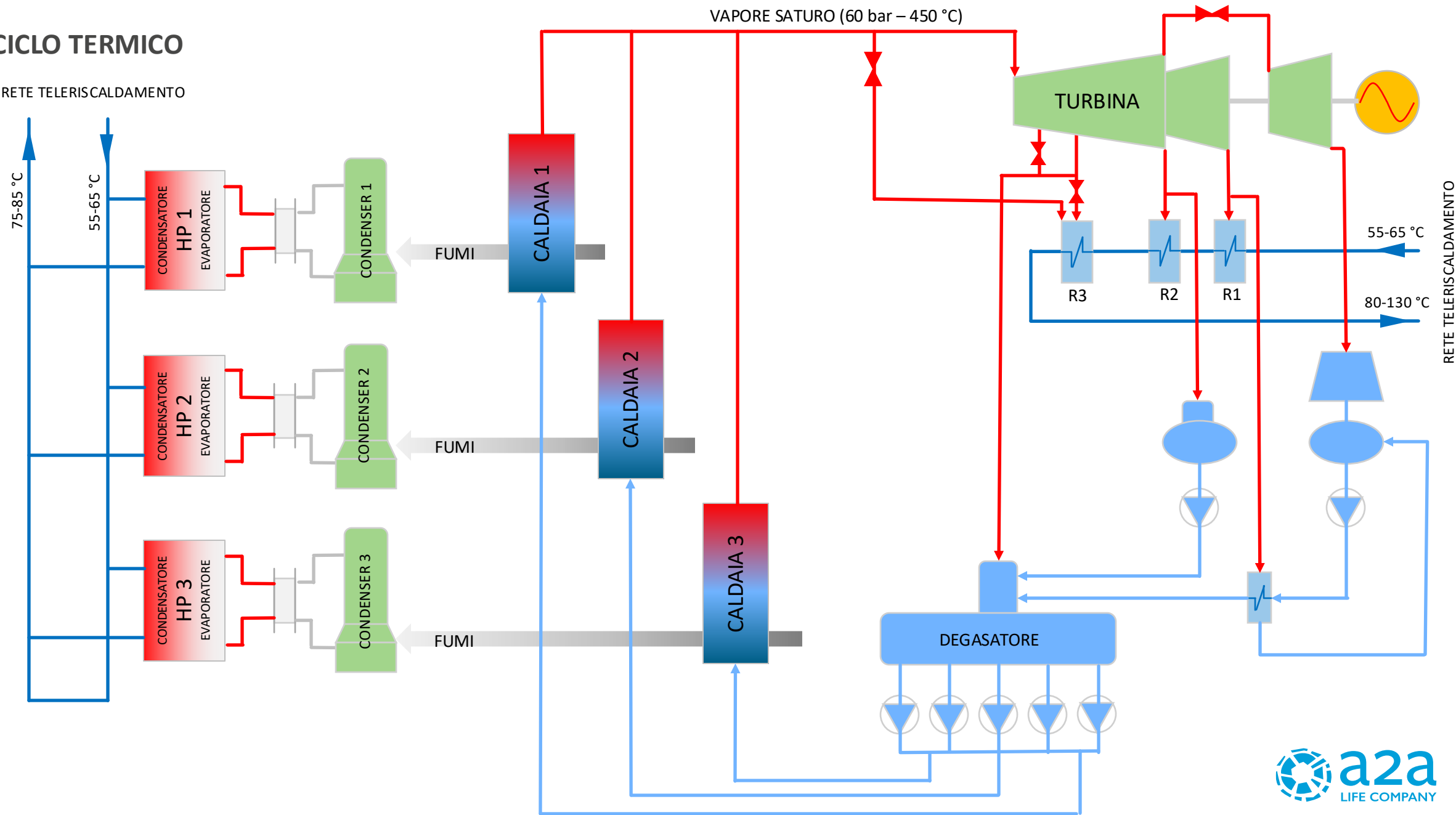
BRESCIA WTE – REVAMPING FLUE-GAS – FGC



TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

CICLO TERMICO

RETE TELERISCALDAMENTO



RETE TELERISCALDAMENTO

FLUE GAS CONDENSATION

FLUE GAS CONDENSATION

DE-NOX SCR «TAIL-END»



Obiettivo: contenimento delle emissioni di NOx e recupero di ulteriore calore da cedere alla rete di teleriscaldamento in sostituzione del calore generato con fonti fossili



Risultato: superamento delle nuove BAT, già rispettate con l'impianto esistente

Benefici

164 GWh all'anno incremento energia termica

5.000 t/anno riduzione produzione **polveri residue** della filtrazione

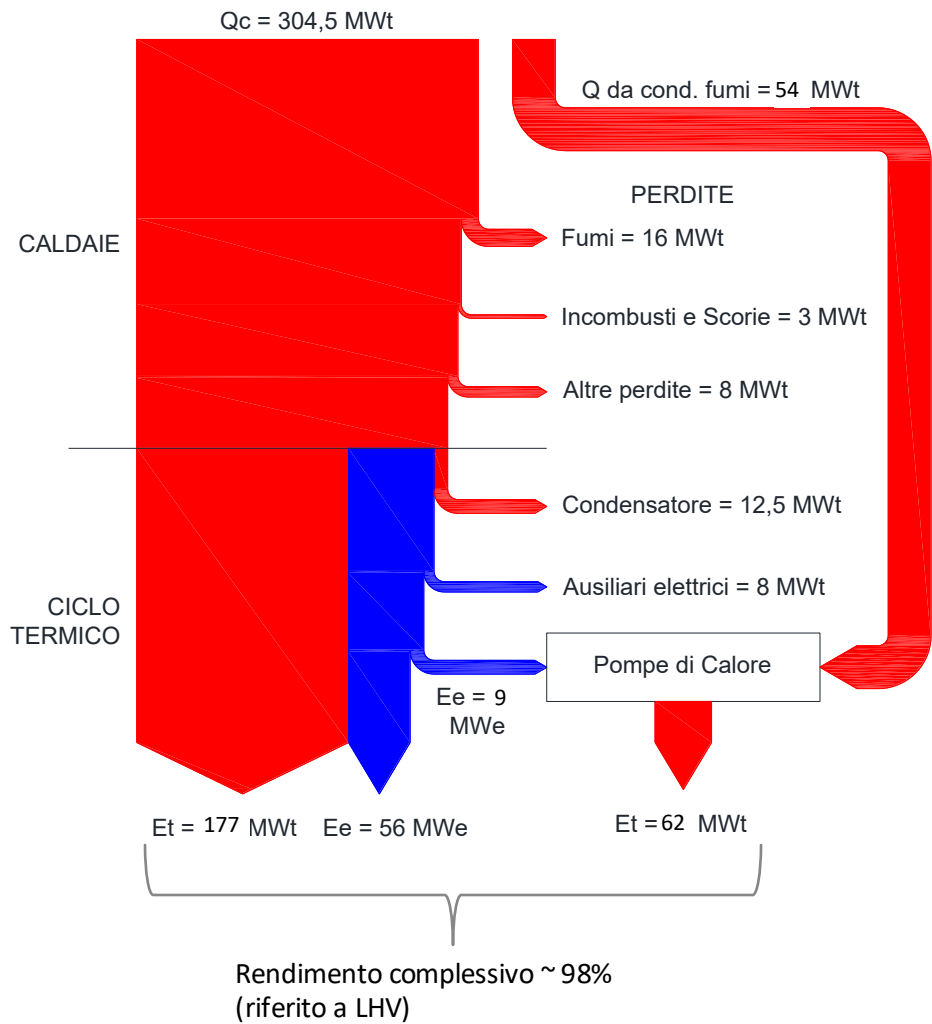
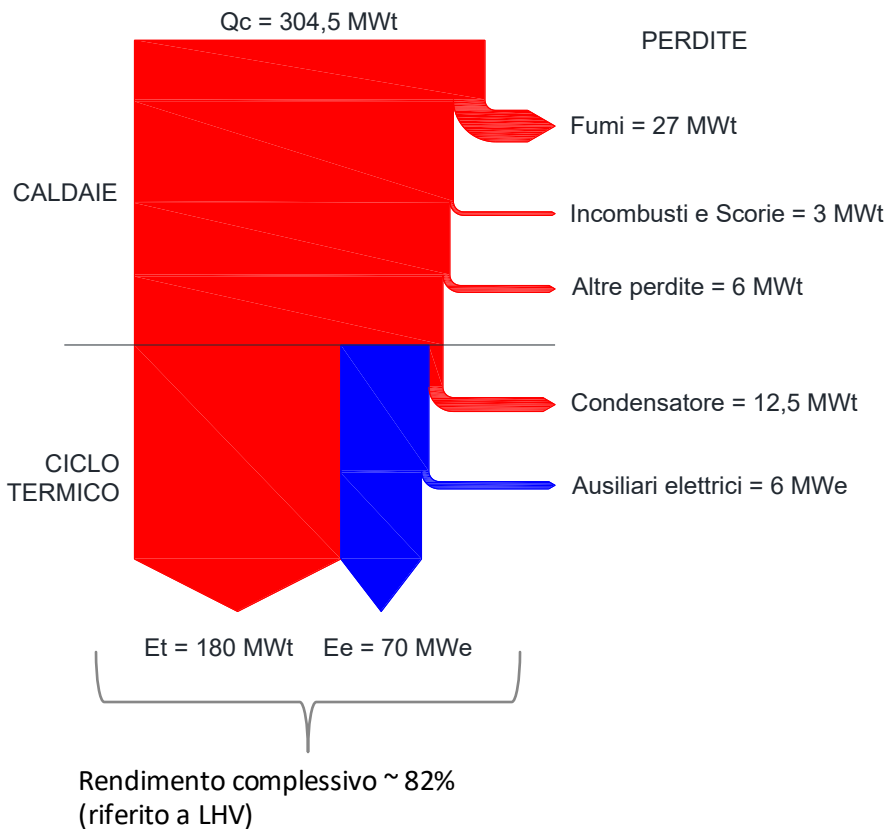
25.000 t/anno riduzione complessiva **emissioni di CO₂**

98% rendimento (+14%)



TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

PROGETTO FLUE GAS CONDENSATION



LE RICADUTE AMBIENTALI

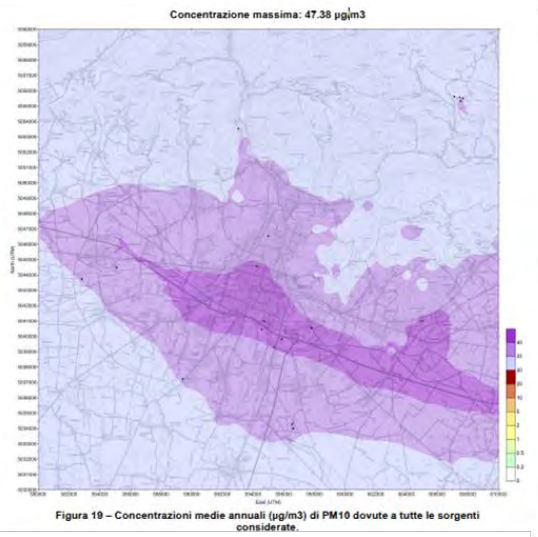
STUDIO DI DISPERSIONE ATMOSFERICA DI INQUINANTI EMESSI SUL TERRITORIO BRESCIANO



Contributo delle ricadute al suolo sul territorio bresciano delle polveri sottili (Pm10)

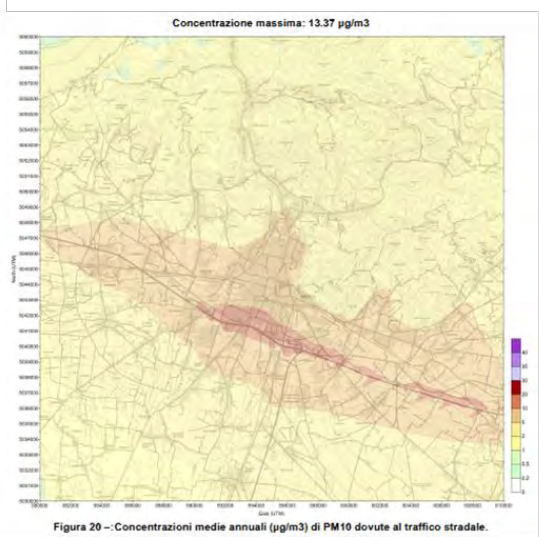
tutte le sorgenti
(compreso il valore di fondo)

47,38 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



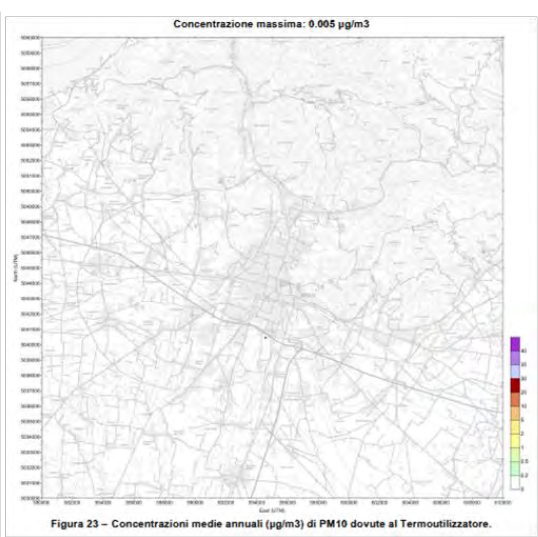
traffico

13,37 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



termoutilizzatore

0,005 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



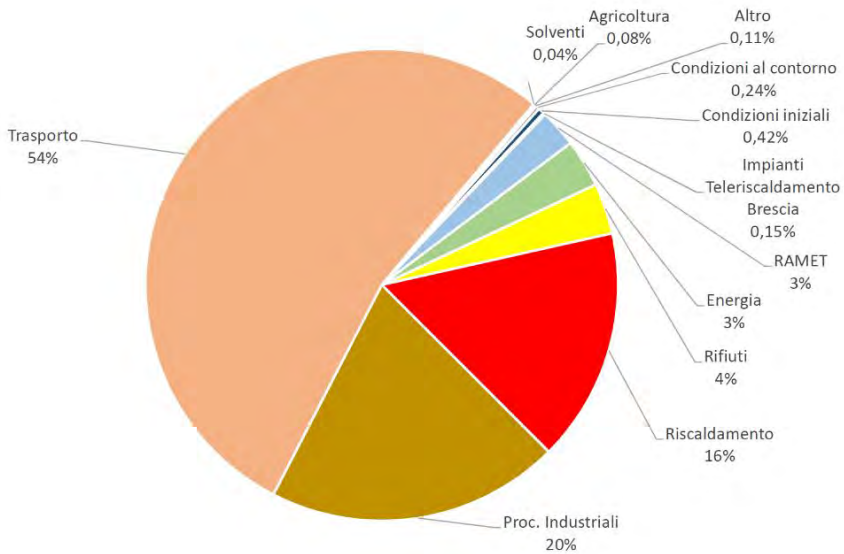
* Concentrazione nel punto di massima ricaduta

TERMOVALORIZZATORE DI BRESCIA

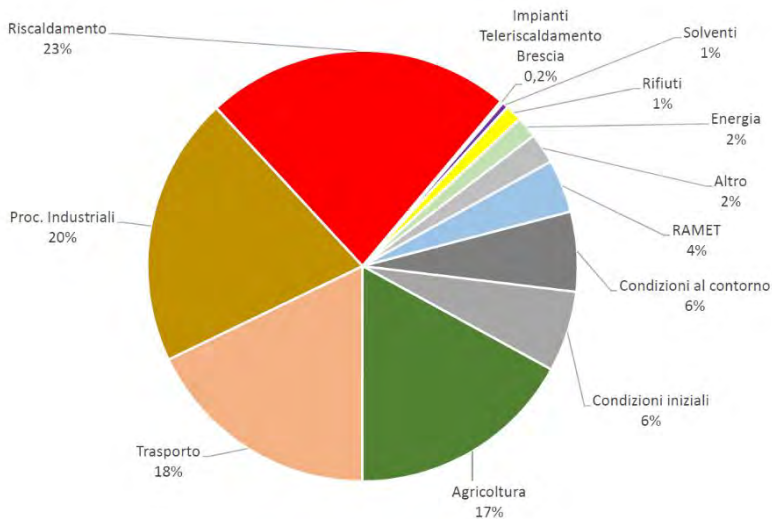
IMPATTO SULLA QUALITA' DELL'ARIA



Contributi dei diversi settori nella città di Brescia sulla concentrazione media di biossido di azoto (NO₂)



E sulla concentrazione di particolato



VERSO IL 2030

GREEN H2



Obiettivo: utilizzo di una fonte rinnovabile per decarbonizzare il trasporto ferroviario

PROGETTO HYDROGEN VALLEY VALCAMONICA

Prima realtà italiana di riconversione di una linea ferroviaria (Brescia-Iseo-Edolo)



Fornitura energia rinnovabile

dal termoutilizzatore di Brescia



Costruzione impianto di elettrolisi da 6 MW

compressione e stoccaggio



Fornitura H2 per riconversione flotta treni FNM

e trasporto pubblico locale su gomma

VERSO IL 2030

FULL RECOVERY 100%



Obiettivo: recupero del 100% di energia termica

Installazione di **scambiatori aggiuntivi per il recupero di calore dai fumi prima della loro immissione in atmosfera**

Intervento già autorizzato in AIA



Benefici

80°C

Temperatura dei fumi a camino (*attualmente pari a 130°C*)

+10 MW

Potenza recuperata utile per il teleriscaldamento

Prima

Energia immessa
nel sistema
304,5 MWt

Energia recuperata
e disponibile
294,5 MWt

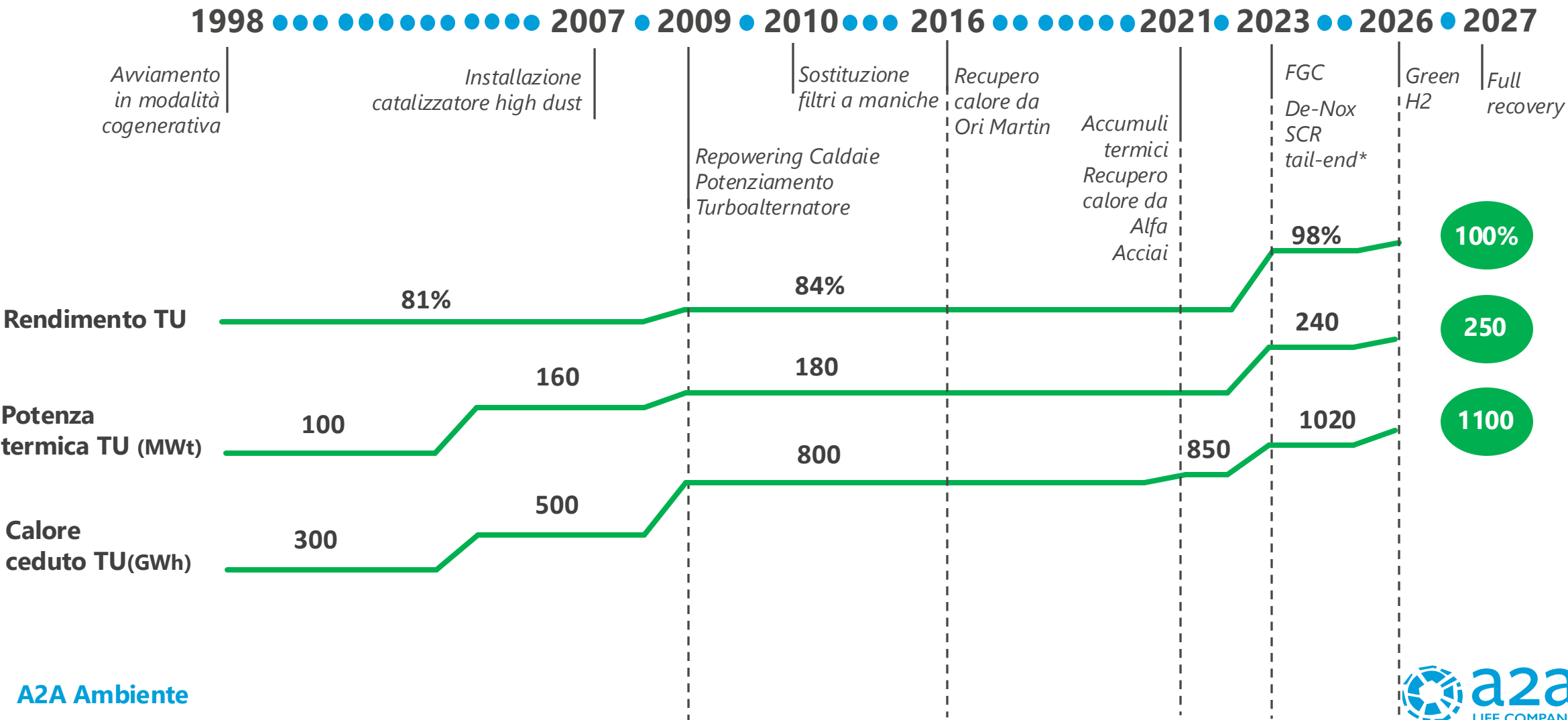
Dopo

Energia immessa
nel sistema
304,5 MWt

Energia recuperata
e disponibile
304,5 MWt

IL TU DI BRESCIA E LA SUA EVOLUZIONE

RISULTATI OTTENUTI



VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI

**Seminario tecnico-scientifico
TECNICHE INNOVATIVE DI
VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI URBANI**

Maurizio Giani – Direttore Marketing e
Brand Promotion Herambiente

GRUPPO HERA

Nasce nel **2002** dall'aggregazione di **11 aziende municipalizzate emiliano-romagnole**. Attraverso un cammino di crescita costante ed equilibrata, diventa una tra le maggiori **multiutility nazionali**. Opera nei settori **ambiente, acqua ed energia**, offrendo una pluralità di servizi prevalentemente nei territori di **Emilia-Romagna, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Marche e Toscana**.



13 mld €
fatturato



> 10.000
dipendenti



Dal 2003 quotata in Borsa Italiana. Nel 2019 entra nel FTSE Mib.

Inclusa nel Dow Jones Sustainability Europe Index e nel Dow Jones Sustainability World Index.

Dal 2021 nel MIB ESG Index, primo indice blue-chip per l'Italia, dedicato alle best practice ESG.

FTSE



MIB ESG

1

AMBIENTE



8,5 mln ton
di rifiuti trattati

2

ACQUA



285 mln mc
di acqua venduta

3

GAS



11,3 mld mc
di gas venduto

ENERGIA



16,2 TWh
di energia elettrica venduta

GRUPPO HERAMBIENTE

Nasce il 1° luglio 2009 per concentrare la **ricca dotazione di impianti** del Gruppo Hera in una nuova realtà in grado di cogliere meglio le prospettive di sviluppo del settore.

Herambiente oggi è **leader in Italia nel trattamento rifiuti, recupero di energia e materia.**



7,9 MLN TON/ANNO
rifiuti trattati



6 MLN TON/ANNO
rifiuti speciali trattati
• Di cui > 1,5 MLN TON/ANNO
rifiuti industriali commercializzati



1,9 MLN TON/ANNO
rifiuti urbani trattati



93 impianti di
proprietà



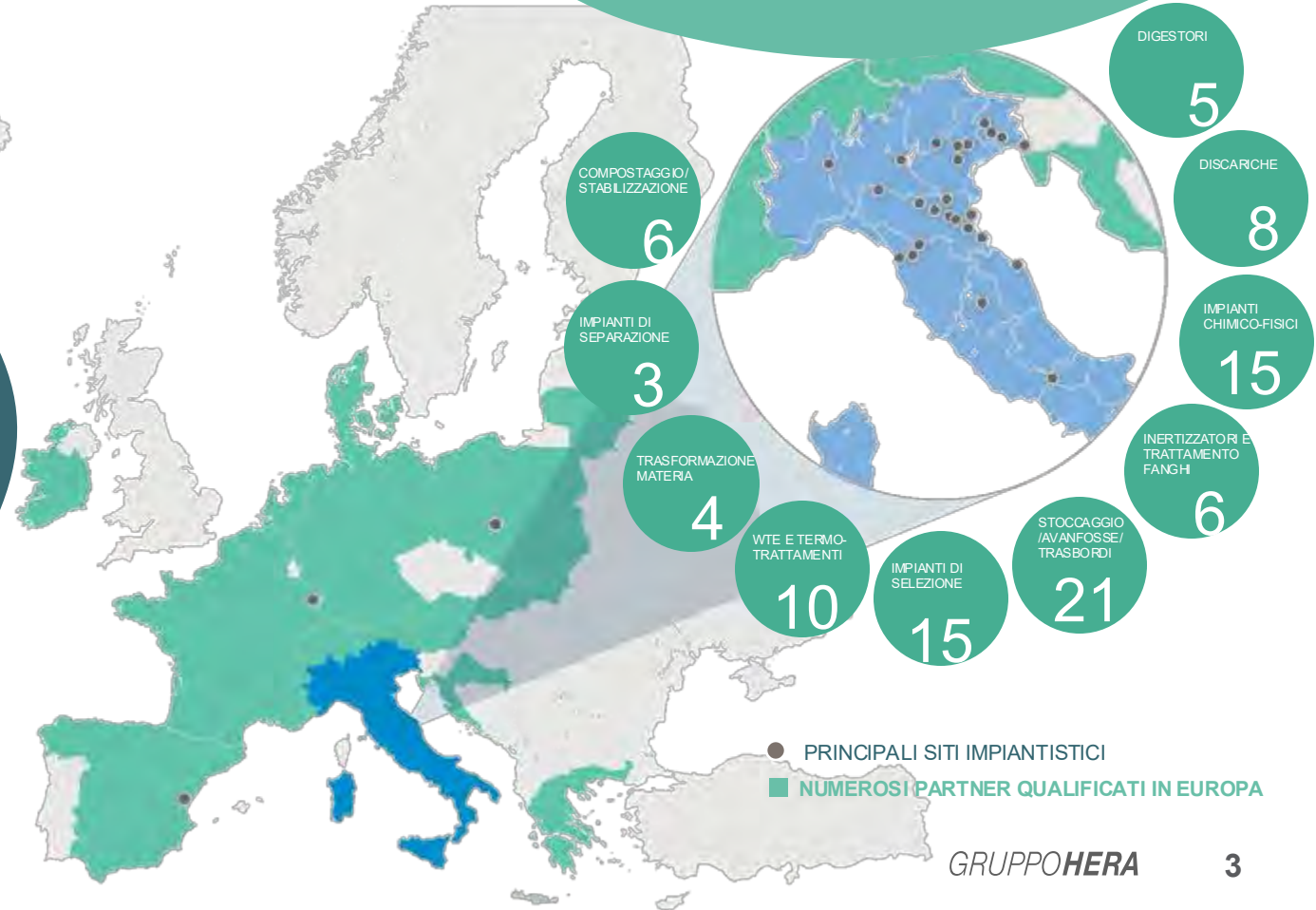
25 distretti
impiantistici per
rifiuti industriali



1,1 mld €
fatturato



> 2.000
dipendenti



INNOVAZIONI TECNOLOGICHE: *RICICLO PLASTICHE RIGIDE*

Entro il 2025, Aliplast, società controllata al 100% da Herambiente, realizzerà un impianto di riciclo avanzato delle plastiche rigide a Modena. Aliplast è leader nel riciclo delle materie plastiche per la produzione di polimeri rigenerati, di film flessibili in RLDPE e di lastre in RPET.

Capacità autorizzata: Impianto autorizzato alla produzione di 27.000 tonnellate/anno di HDPE e PP riciclato.

Tipologia rifiuti: Materiale post-consumo in HDPE e PP proveniente principalmente da comparti industriali in particolare automotive ed elettronica.

Posizione geografica: Polo impiantistico modenese Gruppo Hera, situato in via Cavazza a Modena.



**UNA NUOVA RISPOSTA CONCRETA AL
RICICLO DI MATERIALI PLASTICI FINO AD
ORA DIFFICILI DA RICICLARE**

GRUPPOHERA

POSIZIONE STRATEGICA E SINERGIE

L'impianto è situato all'interno del polo impiantistico modenese del Gruppo Hera dove già coesistono: termovalorizzatore e impianto di depurazione delle acque reflue.

- Sarà alimentato dall'energia elettrica prodotta dal vicino termovalorizzatore
- Il processo produttivo utilizzerà l'acqua in uscita dal depuratore, per poi reimmetterla nello stesso, chiudendo così un circolo virtuoso.
- **Plastica trattata a km 0:** il materiale lavorato nell'impianto verrà selezionato prevalentemente tra i rifiuti che il Gruppo Hera già tratta nelle proprie linee di selezione e recupero attraverso Herambiente, oppure coinvolgendo il tessuto produttivo locale.



NUOVA VITA ALLE PLASTICHE RIGIDE

INPUT 30 kton

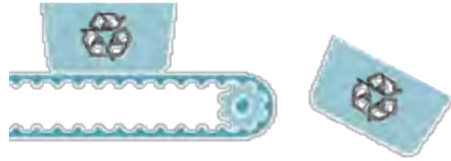
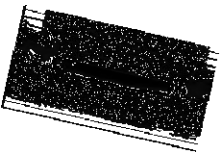
Rifiuto
industriale
pre consumo



Rifiuto
industriale
post consumo



Rifiuto
urbano
post consumo



Scaglia HDPE O PP



Granulo HDPE o PP



OUTPUT 27 kton

Totale capacità in uscita

L'impianto sarà in grado di produrre polimeri riciclati di alta qualità a partire da **rifiuti plastici rigidi**, tra i più difficili da riciclare con efficacia, provenienti in modo particolare da settori come l'elettronica di consumo e l'automotive.

I materiali in uscita potranno essere reimpiegati anche negli stessi comparti di origine, con prestazioni analoghe a quelle garantite da materiali vergini.

INNOVAZIONI TECNOLOGICHE: **FIB3R**

INPUT

360 ton di scarti
industriali

- Sfridi
- Prepreg
- Curato scarti e finissaggio
- Stampi a fine vita

OUTPUT

160 ton
Fibra
riciclata



Nel cuore della Motor Valley, a Imola (BO), nasce nel 2025 il **PRIMO IMPIANTO A LIVELLO EUROPEO**, in grado di rigenerare la fibra di carbonio su scala industriale attraverso un procedimento all'avanguardia di pirogassificazione.

I settori industriali interessati a questa eccellenza sono: **automotive, aerospace, nautica, arredo.**



RISPARMIO ENERGETICO DEL 75%
rispetto alla produzione di fibre vergini



IMPATTO AMBIENTALE DELL'INTERO CICLO DI VITA INFERIORE DEL 74%
in termini di emissioni di gas serra



RIDUZIONE DEI CONFERIMENTI IN DISCARICA



CARATTERISTICHE TECNICHE E PERFORMANTI ANALOGHE
a quella vergine



INFINITO CICLO DI RICICLO

La produzione di fibra di carbonio riciclata potrà **colmare il capacity gap** fra domanda e produzione di fibra vergine, materiale pregiato sempre più utilizzato dall'industria.

FIB3R VINCE IL PREMIO PIMBY 2025

FIB3R ha vinto il Premio Pimby Green, istituito da Assoambiente per promuovere la cultura del "Please In My BackYard" e valorizzare chi investe nell'innovazione e nella sostenibilità per migliorare la competitività del Paese, favorendo il dialogo con il territorio.

A Herambiente il premio PIMBY

Il riconoscimento assegnato da Assoambiente all'impianto FIB3R di Imola per il riciclo di fibre di carbonio.

15 settembre 2025 08:42



L'impianto FIB3R di Herambiente, il primo su scala industriale in Europa in grado di riciclare la fibra di carbonio presente nei materiali compositi ([leggi articolo](#)), si è aggiudicato uno dei premi PIMBY (Please In My Back Yard) Green 2025 di Assomambiente.



ECONOMIA CIRCOLARE, NEWS IN RILIEVO, RIFIUTI E SERVIZI AMBIENTALI 17/09/2025 Servizi a Rete

Premio Pimby Green 2025 a FIB3R, l'impianto di Herambiente per la rigenerazione della fibra di carbonio

Assoambiente, Premi PIMBY Green 2025: premiati i vincitori

A Roma i riconoscimenti alle eccellenze della sostenibilità e della transizione ecologica

Economia 13 settembre 2025 - 09:00



(Teleborsa) - Sono stati consegnati a Roma, presso la prestigiosa location "La Lanterna Rome", i Premi "PIMBY (Please In My Back Yard) Green 2025", promossi da ASSOAMBIENTE, l'Associazione che rappresenta le imprese che operano nel settore dell'igiene urbana, riciclo, recupero, economia circolare, smaltimento rifiuti e bonifiche.

Menu Cerca Notifiche

la Repubblica

ABBONATI Accedi

Assoambiente annuncia i vincitori dei premi Pimby Green 2025

di Roberto Bargone

I riconoscimenti verranno assegnati a imprese e pubbliche amministrazioni che si sono distinte in progetti volti a ridurre le emissioni, promuovere sviluppo e valorizzare il territorio

12 SETTEMBRE 2025 ALLE 19:35

1 MINUTI DI LETTURA

Assoambiente conferisce i premi Pimby (Please In My Back Yard) Green 2025 nel corso di un evento promosso grazie al sostegno delle aziende partner Systema Ambiente, Erion, Omnisyst e Unisalute, e con il patrocinio dell'Ancli. La serata si terrà il 12 settembre a Roma, nella location de La Lanterna, e sarà moderata da Ilaria D'Amico.



Ricicla News Lunedì, 06 ottobre 2025

Premio Pimby Green 2025, svelati i vincitori di questa edizione
di Elvira Iadanza 12/09/2025

f in t

Sei qui: [Home](#) > [Ambiente e Territorio](#)



**Siamo il motore
dell'economia
circolare.**



 **HER**Ambiente

Seminario tecnico-scientifico
TECNICHE INNOVATIVE DI VALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI INDUSTRIALI
7 OTTOBRE 2025
Esperienze applicative



Valorizzazione energetica
di biomasse e rifiuti a prevalente contenuto organico
Risultati sperimentali

RESET S.p.A.
Luigi Iannitti – Responsabile Ricerca e Innovazione



RESET è un'azienda cleantech nata come startup innovativa nel 2015, ed attiva nel settore dell'economia circolare e delle fonti rinnovabili di energia.

In particolare, si occupa di progettazione, costruzione e commercializzazione di impianti tecnologici e servizi correlati, nell'ambito della valorizzazione delle biomasse legnose e del recupero dei rifiuti mediante processi per la perdita della qualifica di rifiuto, in ottica di Economia Circolare.

- 5 brevetti per invenzione industriale;
- Progettazione e costruzione di impianti di gassificazione e sistemi di cogenerazione;
- Filiera industriale integrata: R&D, ingegneria e sviluppo tecnologico, costruzione e assemblaggio, servizi post-vendita di O&M;
- Unità produttiva di 20.000 mq di cui ca. 7.600 coperti.

MISSION

Sviluppo di soluzioni innovative per la gassificazione di biomasse e rifiuti a prevalente contenuto organico (fanghi, FOS, digestato, compost, scarti agroindustriali, forestali, etc.) per la riduzione degli impatti ambientali e la creazione valore per operatori e collettività.

Skills, competenze, tecnologia di RESET



RESET
INNOVATION IN BIOMASS TECHNOLOGY

- **know how specializzato su** processi termochimici e cogenerazione;
- caratterizzazione biomasse e simulazione performance;
- ingegneria di processo, prototipazione, ingegneria esecutiva con modellatori 3D, meccanica, automazione, sviluppo software PLC;
- Officina certificata per esecuzione di lavori di carpenteria, saldatura, assemblaggio, quadristica, motoristica, manutenzione
- Tecnologia brevettata **SyngaSmart®**

Recupero e riciclo dei rifiuti a prevalente contenuto organico

Obiettivo: processo di gassificazione innovativo per l'ottenimento del **recupero energetico** e la riduzione della quantità di rifiuti derivanti dalle attività di trattamento mediante **recupero di materiali** e **cessazione della qualifica di rifiuto** e l'acquisizione dello status di prodotto (cosiddetta procedura **End of Waste**).



PRETRATTAMENTO



ETG Syngas - Measuring Display - Display - All Components			
CH4	7.70 %	CO	18.84 %
CO2	13.64 %	O2	1.54 %
H2	17.07 %	N2	41.21 %
CV	6.81 MJ/Nm3		



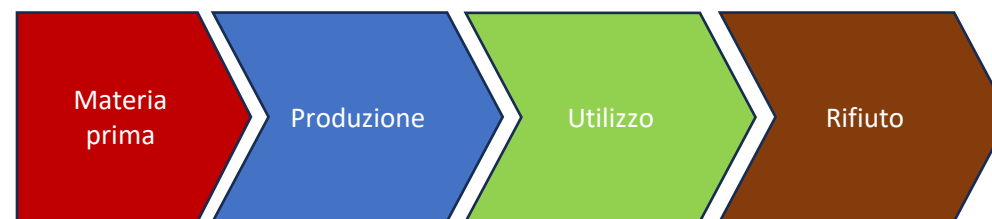
Recupero di Energia
Elettrica e Termica



Recupero di materiali

Da rifiuto a risorsa

La conversione dei rifiuti in risorsa attua i principi dell'**economia circolare**, che prevedono la trasformazione del ciclo produttivo «lineare» in un ciclo virtuoso che consiste nella raccolta, riciclaggio e recupero dei rifiuti e nello smaltimento della sola parte non altrimenti utilizzabile.



ECONOMIA LINEARE

L'Economia Circolare promuove il trattamento dei rifiuti come un sistema industriale per la produzione di nuove materie prime di qualità. In quest'ottica si inquadra anche la **normativa «end of waste»**, che consente, a determinate condizioni, la **cessazione della qualifica di rifiuto** per il residuo finale, attraverso una **procedura di recupero** e conseguente acquisizione dello **status di prodotto**.



ECONOMIA CIRCOLARE

La gerarchia della gestione dei rifiuti

Il concetto della gerarchia nella gestione dei rifiuti è istituito attraverso la Direttiva 2008/98/CE, integrata dalla Direttiva 2018/851 che introduce in questo settore i principi dell'economia circolare.

Viene stabilito che all'interno dell'Unione Europea debba esistere un ordine di priorità specifico nell'attuazione dei processi di gestione dei rifiuti:

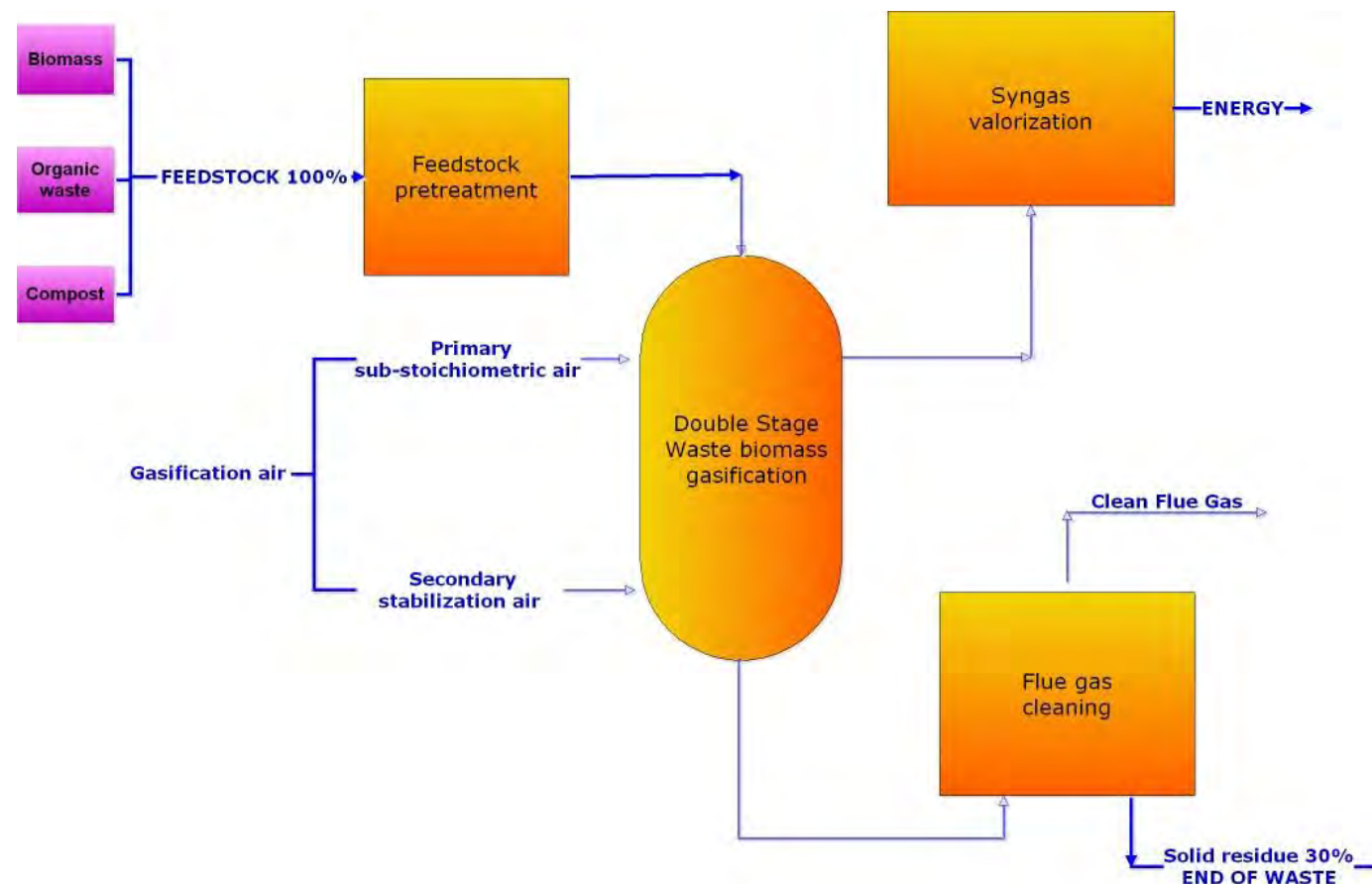


La stessa Direttiva 2008/98/CE stabilisce che l'azione di smaltimento debba essere l'ultima operazione possibile, da mettere in atto solo qualora non siano possibili le precedenti, inclusa l'operazione di recupero ai fini energetici.

A tali principi si ispira l'innovativo processo di gassificazione sviluppato da RESET.

Il concetto W20 Waste to zero di RESET

La tecnologia W20 – Waste to zero - si prefigge l'obiettivo di realizzare un processo di trattamento di rifiuti a prevalente contenuto organico mediante **recupero di energia** e la contemporanea produzione di un materiale residuale per il quale si possa ottenere la cessazione della qualifica di rifiuto (**end of waste**).



L'Impianto sperimentale

Tutti i test sperimentali fino ad oggi condotti sulle biomasse e sui rifiuti a prevalente contenuto organico sono stati condotti dal team R&D di RESET utilizzando un impianto di gassificazione commerciale, opportunamente strumentato, avente una capacità di lavorazione fino a 60 kg/h – 360 ton/anno. Grazie all'esperienza maturata all'impianto verranno apportate le modifiche che, a fine sperimentazione, consentiranno la realizzazione della versione W20 – WASTE to ZERO.



Il procedimento

Sono stati condotti test sperimentali sulle seguenti matrici:

- Biomassa legnosa (per il confronto)
- Scarti di canapa industriale
- Biomassa di scarto (potatura di palma da dattero proveniente da Israele)
- Fanghi industriali oleosi
- Frazione Organica Stabilizzata prodotta da Impianto di trattamento meccanico biologico della FORSU

Sulle matrici utilizzate sono state condotte le seguenti attività:

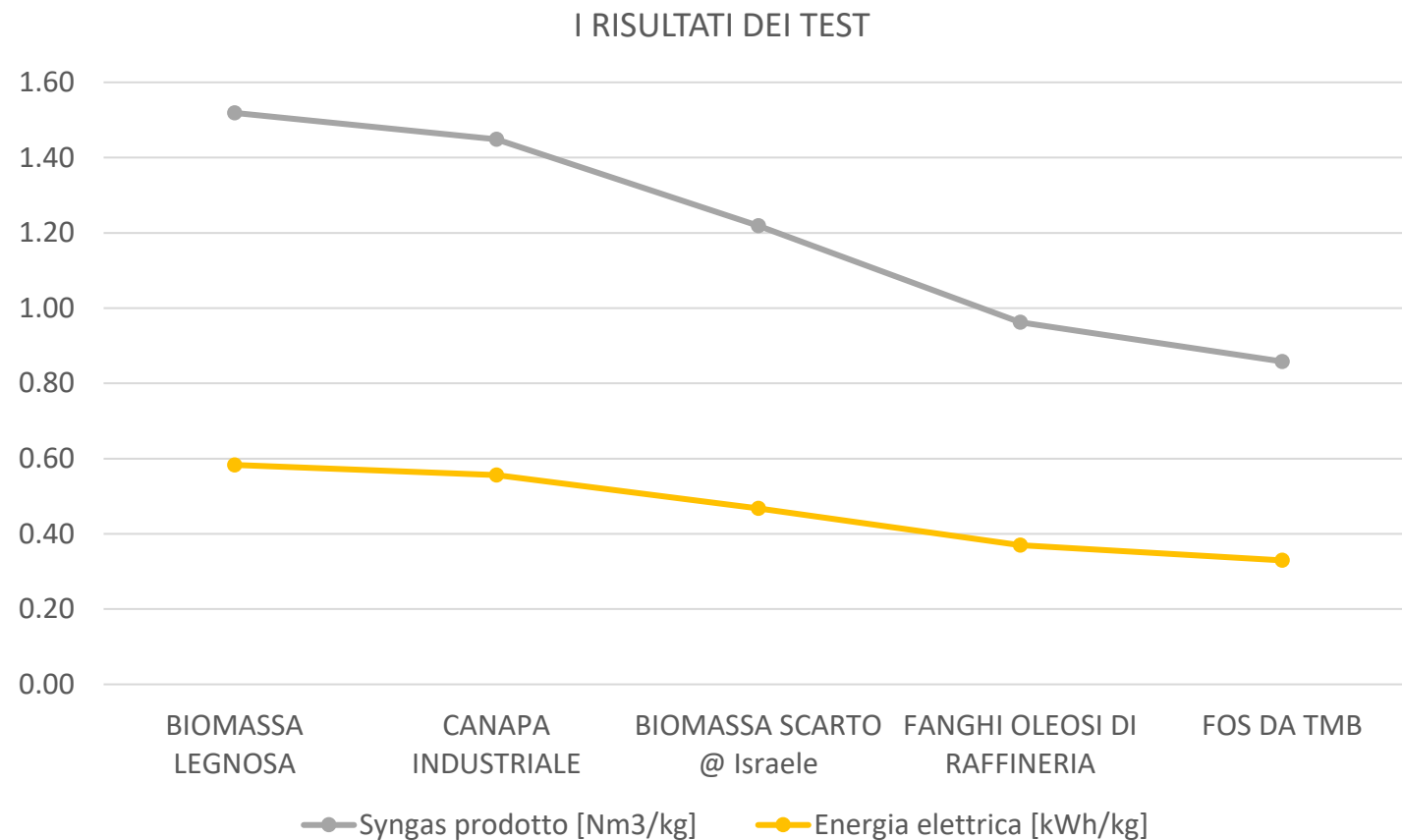
- Analisi di Laboratorio (proxymate analysis)
- Bilancio di materia e di energia
- Ingegnerizzazione di un idoneo sistema di pretrattamento
- Conduzione di un Test Run su Impianto pilota di taglia commerciale alla presenza del detentore delle biomasse
- Presentazione di un Report dettagliato delle attività svolte e dei risultati ottenuti.

Risultati sperimentali

BIOMASSA LEGNOSA	Umidità [% p]	Sostanze Volatili [% p DAF]	Ceneri [% p DRY]	Syngas [Nm3/kg]	Energia Elettrica [kWh/kg]
	10	79	2,9	1,52	0,58
SCARTI DI CANAPA INDUSTRIALE	Umidità [% p]	Sostanze Volatili [% p DAF]	Ceneri [% p DRY]	Syngas [Nm3/kg]	Energia Elettrica [kWh/kg]
	15	79,36	2,4	1,45	0,56
POTATURE DI PALMA DA DATTERO (Israele)	Umidità [% p]	Sostanze Volatili [% p DAF]	Ceneri [% p DRY]	Syngas [Nm3/kg]	Energia Elettrica [kWh/kg]
	10	67,74	9,14	1,22	0,47
FANGHI INDUSTRIALI OLEOSI	Umidità [% p]	Sostanze Volatili [% p DAF]	Ceneri [% p DRY]	Syngas [Nm3/kg]	Energia Elettrica [kWh/kg]
	5	78,06	40,99	0,96	0,37
FRAZIONE ORGANICA STABILIZZATA	Umidità [% p]	Sostanze Volatili [% p DAF]	Ceneri [% p DRY]	Syngas [Nm3/kg]	Energia Elettrica [kWh/kg]
	10	70,52	38,54	0,86	0,33

Risultati sperimentali

Produzione di syngas ed energia elettrica



Sviluppi futuri

La valorizzazione delle ceneri inerti

CARATTERIZZAZIONE DEI CAMPIONI DI CENERI PRODOTTE DURANTE I TEST DI GASSIFICAZIONE							
Parametro	Unità di misura	Limiti Biochar da norma Fertilizzanti D.lgs. 29 aprile 2010 n. 75 del	biochar da legno vergine	Fanghi oleosi	Digestato 1	Digestato 2	Sansa
Massa volumica apparente su campione compattato in laboratorio	g/L		126.00	270.00	193.00	300.00	350.00
Carbonio tot	% mm/mm s.s.		68.50	57.20	27.00	47.40	52.90
C tot di origine biologica (#)	% mm/mm s.s.	≥ 20 e ≤ 30 (CI*3)	68.40	53.80	24.20	43.50	50.00
		> 30 e ≤ 60 (CI*2)					
		> 60 (CI*1)					
Calcare totale	mg/kg s.s.		9000.00	285000.00	235000.00	325000	244000
Max ritenzione idrica	% mm/mm s.s.		400.00	-	32.80	-	-
Conducibilità elettrica/Salinità	mS/m	≤ 1000 (^)	500.00	923.00	1200.00	1200.00	1770.00
pH (H2O)	Unità di pH	4-12	11.30	12.20	12.50	9.84	11.00
Umidità	%	≥ 20 per prodotti polverulenti	2.76	2.04	1.30	8.90	2.90
Ceneri	% s.s.	> 40 e ≤ 60 (CI*3)	6.40	33.90	56.70	34.30	44.80
		≥ 10 e ≤ 40 (CI*2)					
		> 10 (CI*1)					
H/C (molare) (§)		≤ 0,7	0.48	< 0,10	0.07	0.02	< 0,10
Granulometria							
Frazione granulometrica < 5,00 mm	%		64.04				
Frazione granulometrica < 2,00 mm	%		35.29				
Frazione granulometrica < 0,50 mm	%		14.73				
Azoto tot	mg/kg s.s.		516.00	7600.00	0.10	6500.00	9500.00
Fosforo tot	mg/kg s.s.		340.00	8765.00	18913.00	6310.00	8879.00
Potassio tot	mg/kg s.s.		4300.00	30679	34200	55172	63.78
Calcio tot	mg/kg s.s.		10600.00	19877	120500	20069	18569.00
Magnesio tot	mg/kg s.s.		2200.00	7284.00	7100	7310	8069.00
Sodio tot	mg/kg s.s.		216.00	6358.00	2560.00	6724.00	7012.00
Piombo tot	mg/kg s.s.		< 1,0	< 2,0	3.50	< 2,0	< 2,0
Cadmio tot	mg/kg s.s.		< 1,0	0.90	< 0,1	< 0,5	< 0,5
Rame tot	mg/kg s.s.		10.40	50.00	63.00	45.20	65.90
Zinco tot	mg/kg s.s.		11.80	233.00	360.00	80.70	83.90
Nichel tot	mg/kg s.s.		5.34	42.00	40.00	21.40	137.00
Mercurio tot	mg/kg s.s.		< 1,0	< 0,5	< 0,10	< 0,5	< 0,5
Cromo esavalente	mg/kg s.s.		< 1,0	< 0,5	< 0,05	< 0,5	< 0,5
Test fitotossicità e accrescimento				-	-	-	-
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)							
IPA totali	mg/kg s.s.			< 0,1	115.00	< 0,1	< 0,1
Policlorobifenili (PCB)							
PCB Totali	mg/kg s.s.		<1,0	< 0,01	< 0,025	< 0,01	< 0,01
Policlorodibenzodiossine (PCDD) + Policlorodibenzofurani (PCDF)							
Sommatoria PCDD/PCDF	ng/kg s.s.		< 2,5	< 5,0		< 5,0	< 5,0



Grazie per
l'attenzione



Luigi IANNITTI

Responsabile Ricerca e Innovazione

M +39 335 7212439

RESET S.p.A. Società Benefit

Via Maestri del Lavoro, 15/17 – 02100 Rieti

Tel. +39 0746 1898010

