Progetto di ricerca Conai-Amra

GASSIFICAZIONE

di biomasse, rifiuti e imballaggi post-consumo

amra
analysis and monitoring of environmental risk

CONAI
Consorzio per il Recupero degli Imballaggi

Obiettivi del Progetto Conai-Amra

Uno dei principali obiettivi della gestione dei rifiuti è minimizzare l'impiego del conferimento a discarica.

Per diverse difficoltà tecnico-gestionali (composizione degli imballaggi, qualità della raccolta differenziata, aspetti tecnologici dei processi di selezione e riciclo) una percentuale non trascurabile del materiale da raccolta differenziata non è tecnicamente o economicamente riciclabile.

Da qui l'impegno di CONAI e di AMRA nella ricerca di una **soluzione tecnologica innovativa per recuperare materia e/o energia anche degli scarti dei processi di selezione e riciclo del materiale da raccolta differenziata, riducendo così il consumo di preziosi volumi di discarica**.

Obiettivi del Progetto Conai-Amra

- **acquisire informazioni sulla fattibilità tecnologica del processo di gassificazione di rifiuti**, attraverso sperimentazioni su un impianto di dimensioni tali da fornire informazioni direttamente utilizzabili in fase di progetto perché non influenzate dall'effetto scala;
- **verificare il comportamento alla gassificazione di una vasta gamma di combustibili** di interesse per Conai e per i suoi Consorzi di filiera;
- **valutare i principali parametri economici per applicazioni su piccola-media scala di un gassificatore** per produzione di energia elettrica e termica da imballaggi post-consumo.

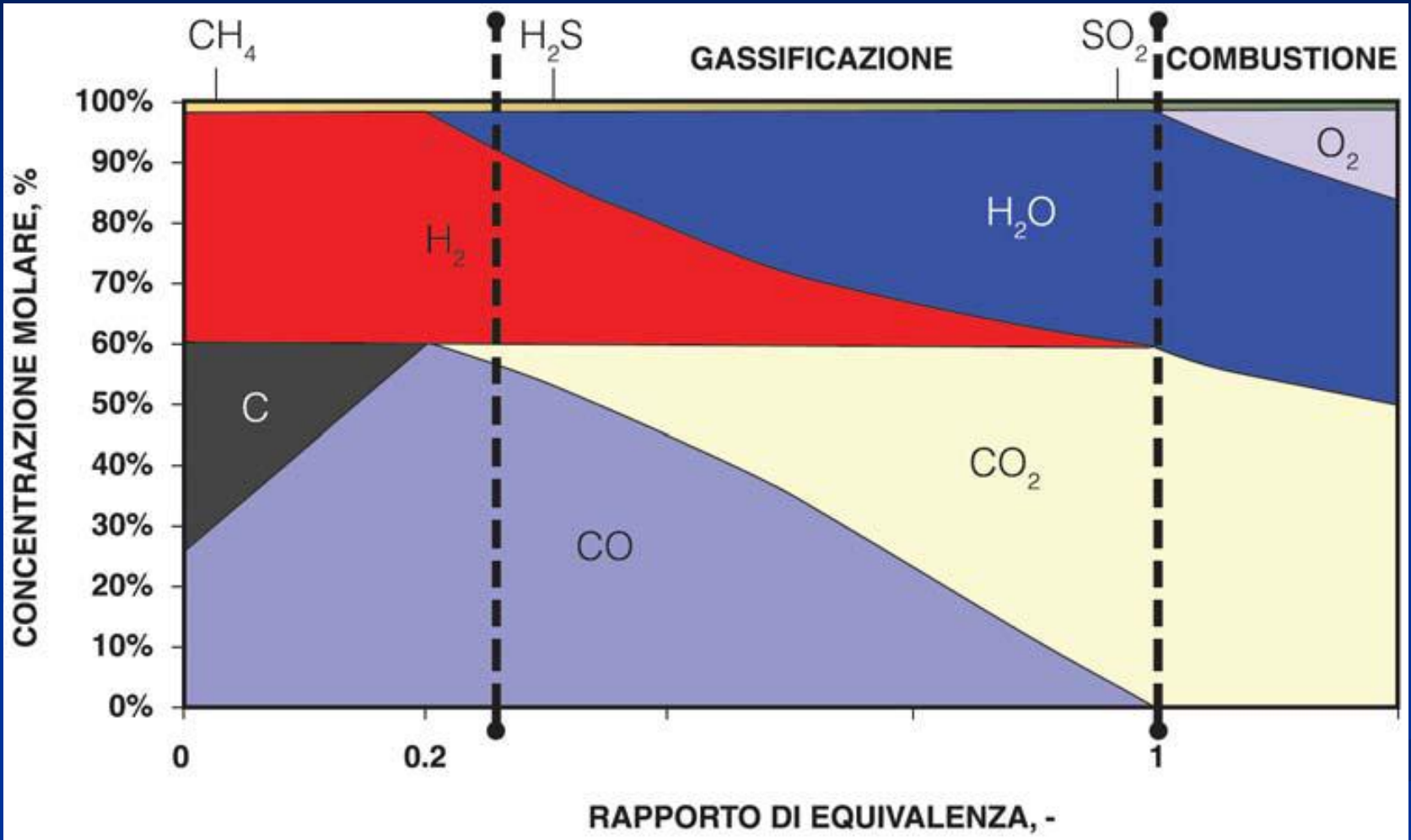
GASSIFICAZIONE PER

RECUPERO ENERGETICO

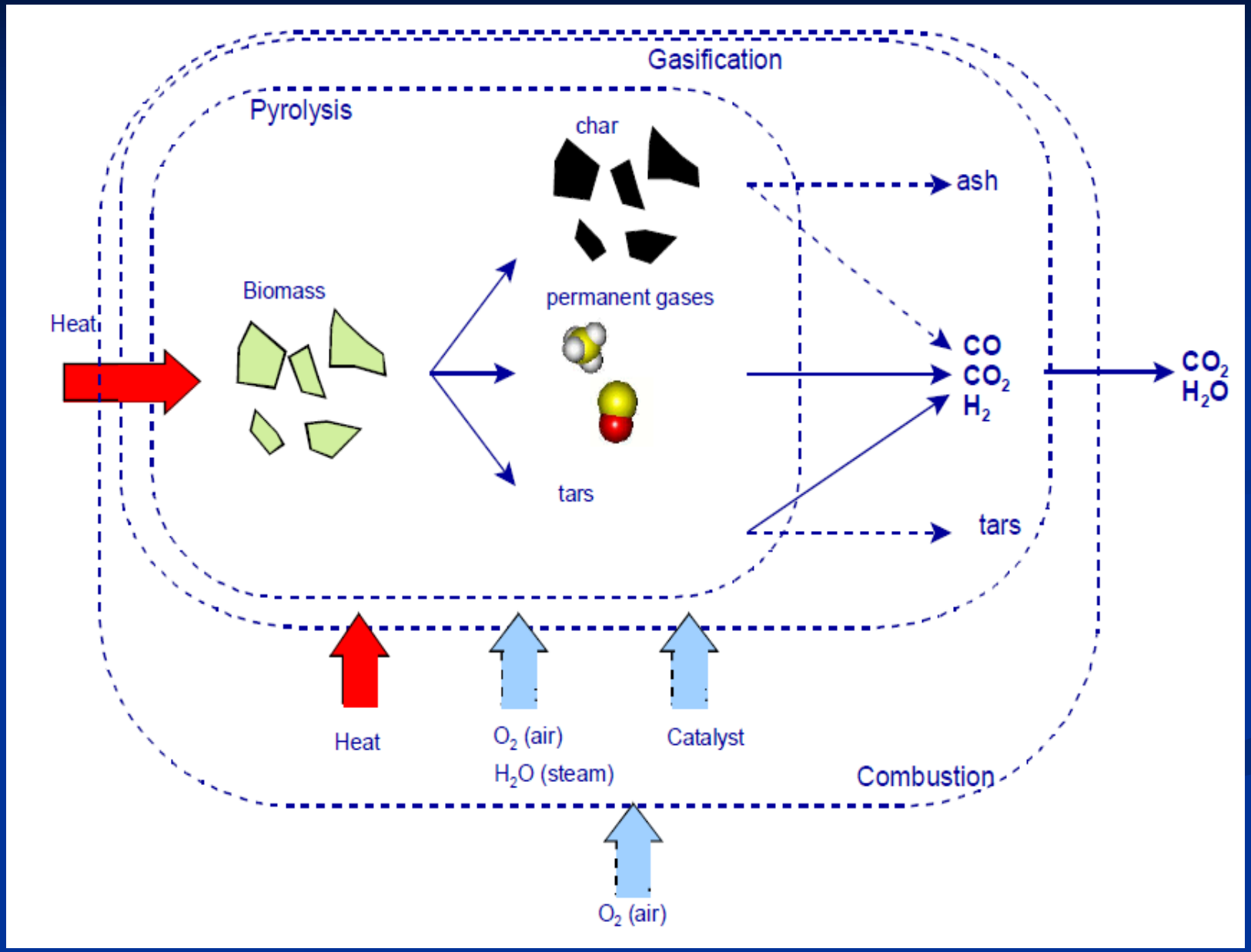
Processi di termovalorizzazione

1. **combustione**, in cui si realizza l'ossidazione totale e veloce della frazione organica dei rifiuti, in presenza di un adeguato eccesso di ossigeno. I prodotti finali sono completamente ossidati.
2. **gassificazione**, in cui avviene un'ossidazione incompleta della frazione organica dei rifiuti, in presenza di un difetto di ossigeno. I prodotti finali non sono completamente ossidati e posseggono pertanto un proprio potere calorifico utilizzabile in siti e tempi diversi.
3. **pirolisi**, in cui non ha luogo alcuna forma di ossidazione ma piuttosto una degradazione termica del materiale in assenza di ossigeno, attraverso l'apporto diretto o indiretto di calore. Il potere calorifico dei prodotti ottenuti è pertanto elevatissimo.

Processi di termovalorizzazione



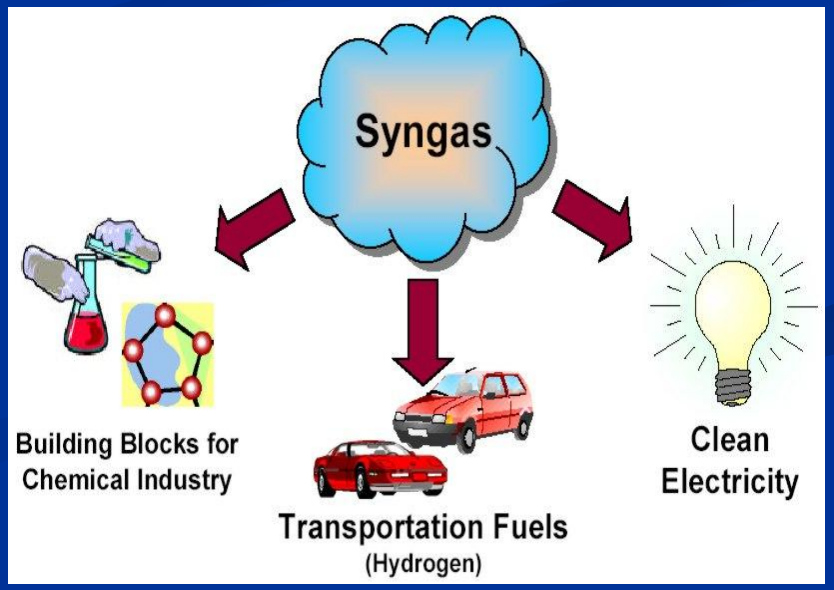
Processi di termovalorizzazione



Trattamenti termici di gassificazione

Il termine gassificazione comprende i processi di conversione di qualsiasi combustibile carbonioso in un prodotto gassoso (syngas), con un potere calorifico utilizzabile.

Si realizza una serie di reazioni tra materiali carboniosi ed uno o più reagenti contenenti ossigeno, a temperature generalmente > 800°C, per ottenere prodotti gassosi non completamente ossidati da utilizzare come fonte di energia, come combustibili per autotrazione oppure come sostanze di base per l'industria chimica.



Trattamenti termici di gassificazione

La **gassificazione** ha diversi vantaggi rispetto alla combustione tradizionale:

- la possibilità di maggiori efficienze di conversione dell'energia elettrica e quindi di una riduzione delle emissioni di anidride carbonica
- una limitata formazione di diossine , di NOx e SOx
- una drastica riduzione del volume dei gas di processo
- un ampio intervallo di prodotti immediatamente ottenibili dal syngas
- una quantità ridotta di rifiuti secondari

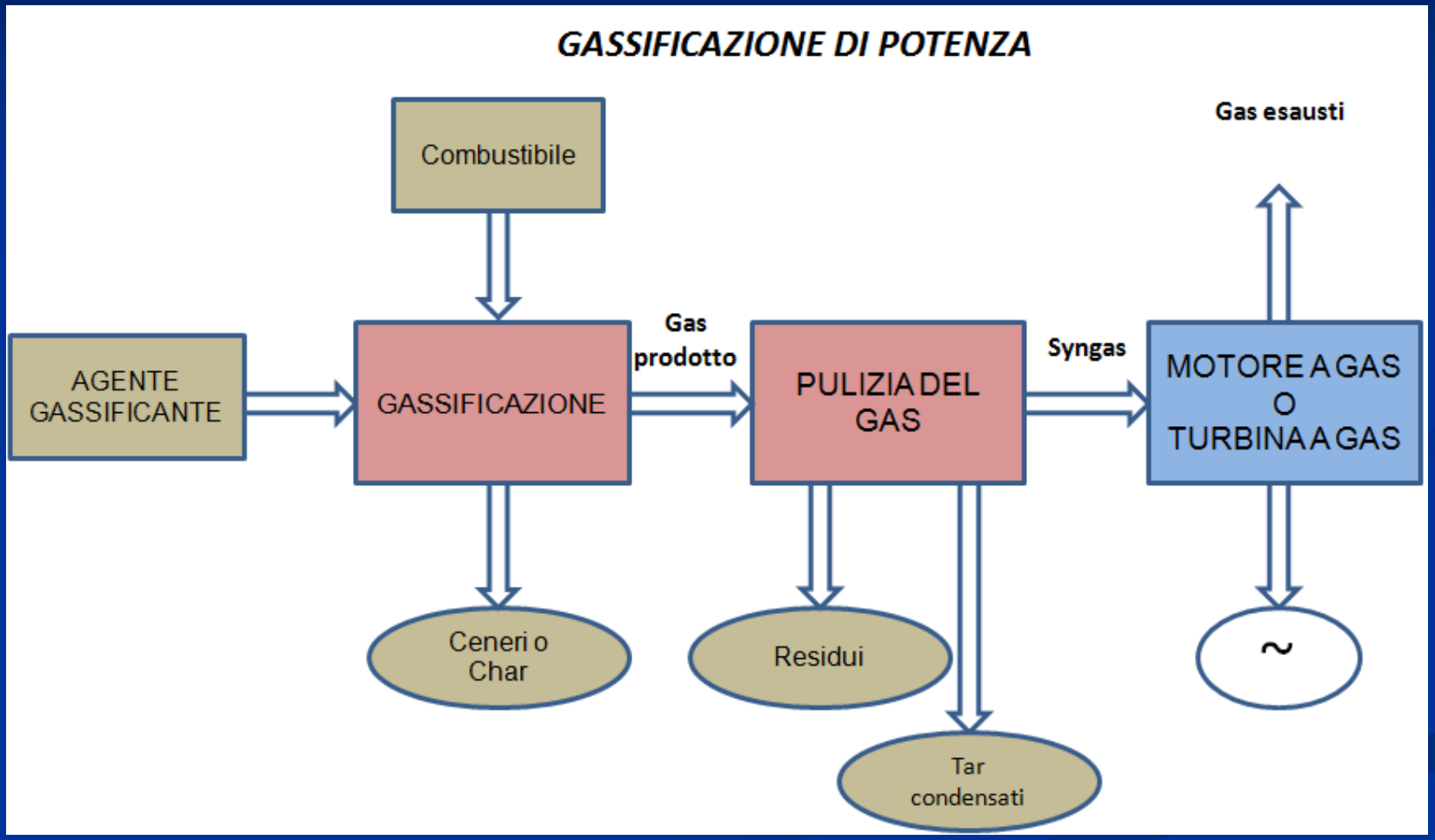
Configurazioni impiantistiche

I differenti possibili impieghi del syngas prodotto sono condizionati dalla sua qualità, che deve rispettare alcune caratteristiche per essere compatibile con ogni specifico utilizzo.

Al crescere del grado di pulizia sono possibili applicazioni a più alta efficienza di conversione in energia elettrica, fino a quelle per la produzione di combustibili per autotrazione e di prodotti di base per l'industria chimica.

Sono state valutate le prestazioni tecniche ed economiche delle due possibili configurazioni, in cui il gas è prima pulito e poi utilizzato (**gassificazione di potenza**) e di quelle in cui è prima bruciato e poi pulito (**gassificazione termica**).

Gassificazione di potenza



Gassificazione di potenza

Durante la gassificazione, tar, metalli pesanti, alogeni e composti alcalini vengono rilasciati nel gas e possono causare problemi ambientali e, soprattutto, operativi.

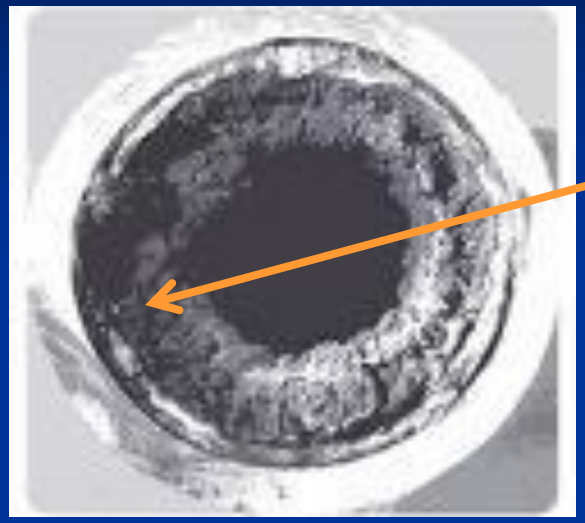
Poiché un syngas con bassi livelli di contaminanti ha più ampie ed interessanti possibilità di utilizzo, è economicamente ed ambientalmente utile affrontare i problemi connessi con la formazione e il rilascio di questi contaminanti.

Gassificazione di potenza

I tar sono una miscela di un'ampia gamma di idrocarburi condensabili, definibile come il materiale della corrente di prodotti che è condensabile nel gassificatore o nei dispositivi a valle o nel sistema di conversione in energia elettrica.

Il controllo del tenore di tar nel syngas mira ad evitare problemi che possono danneggiare le apparecchiature di processo e i dispositivi di conversione del syngas o creare problemi nel trattamento delle acque di scarico dai sistemi di lavaggio.

Controllo del tenore di tar



blocco, corrosione e riduzione dell'efficienza globale del processo

difficoltà nella gestione di miscele tar-acqua e contaminazione dei flussi di rifiuti

incrostazioni nelle caldaie e su altre superfici metalliche e refrattarie

Controllo del tenore di tar

Metodi

Primari

Per prevenire la formazione o convertire tar formati nel gassificatore

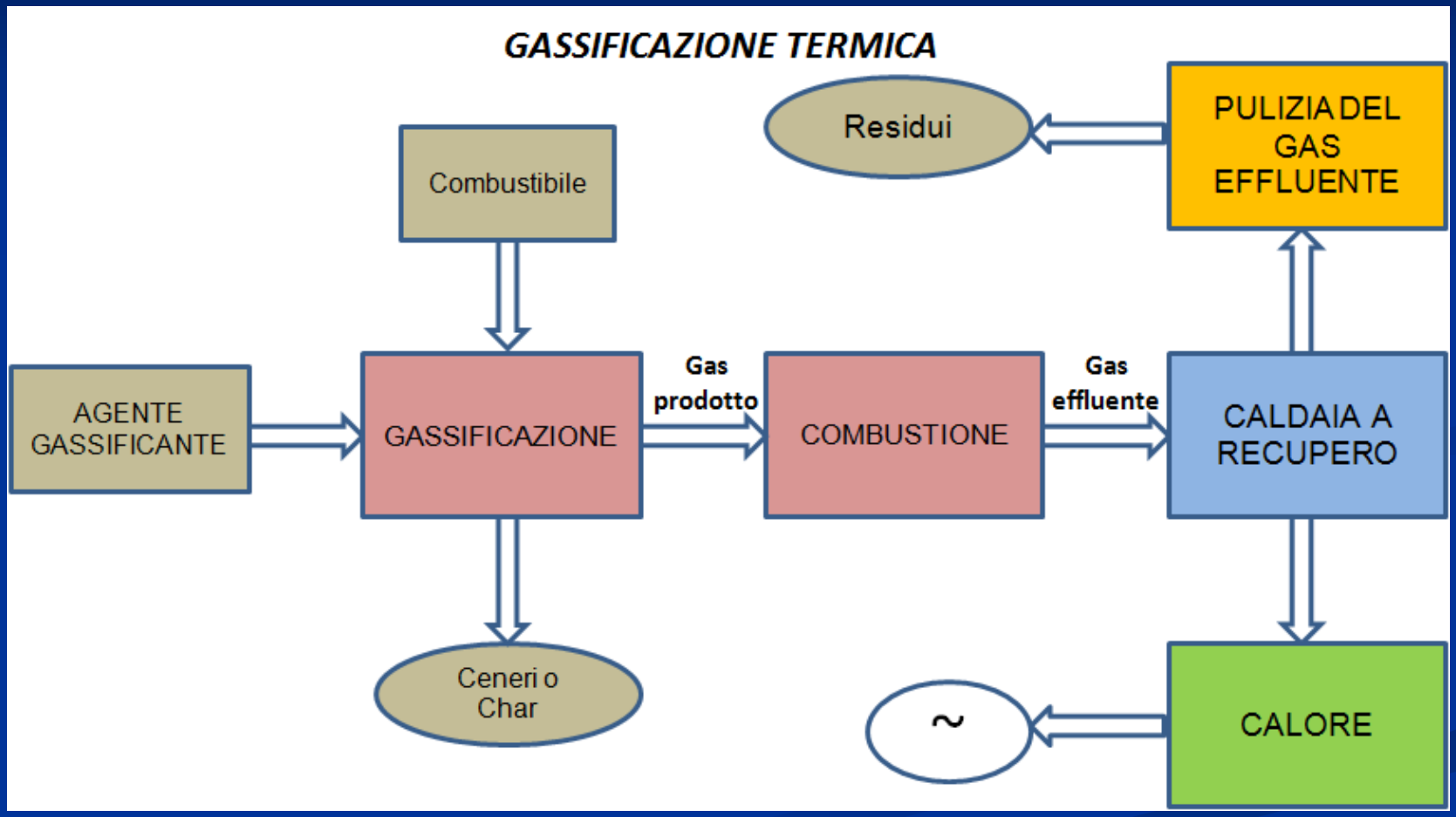
- Selezione delle condizioni operative ottimali (P, T, ER)
- Additivi del letto/catalizzatori
- Progetto del gassificatore

Secondari

Trattamenti chimici o fisici a valle del processo

- Cracking termico o catalitico
- Metodi meccanici: cicloni, filtri ceramici, a manica, a sabbia, scrubber

Gassificazione termica



Gassificazione termica

A confronto con la combustione diretta di un rifiuto solido, la combustione del syngas da gassificazione consente di ottenere una combustione più pulita ed efficiente grazie a:

- l'ottima miscelazione gas-gas di un ridotto ammontare di aria con il gas combustibile, che consente anche minori perdite termiche al camino
- la possibilità di rimozione di alcune impurità dal gas combustibile, resa vantaggiosa dal ridotto volume del gas prodotto rispetto a quello del gas effluente
- la continuità del processo e la facilità del suo controllo.

Gassificazione a letto fluido

I **reattori a letto fluido** sono tra le più interessanti tecnologie di gassificazione dei rifiuti per una serie di vantaggi:

- condizioni quasi isoterme in tutto il reattore
- elevati coefficienti di trasferimento di massa e di calore tra le fasi
- assenza di parti in movimento nelle zone calde e basse temperature di esercizio
- elevata flessibilità operativa
- possibilità di applicare il processo anche su scale relativamente piccole.

Il reattore *FluGas*

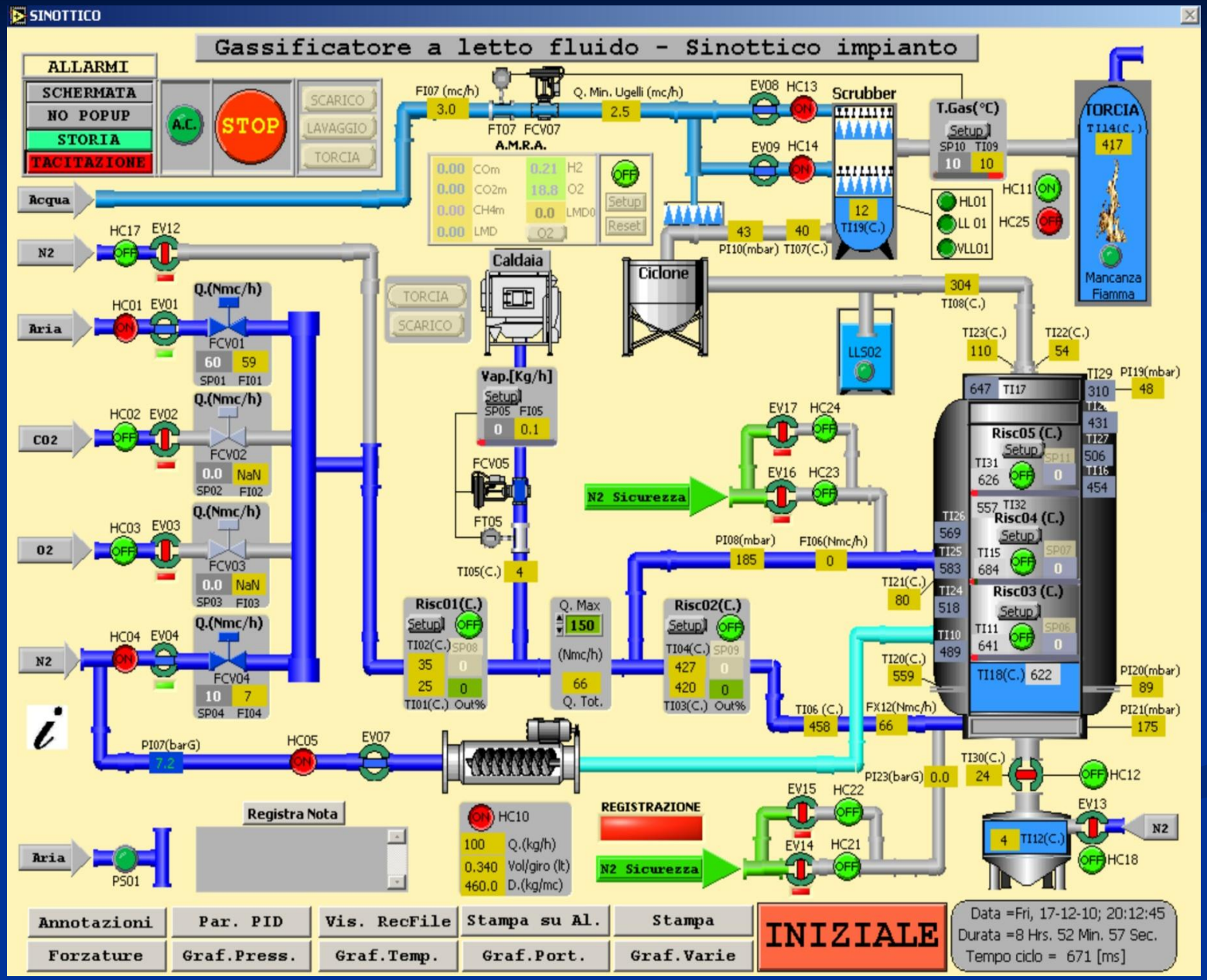
Il reattore *FluGas*

PARAMETRI GEOMETRICI	Diametro interno: 0.381m; altezza totale: 5.90m; altezza del reattore: 4.64m
CAPACITA' DI ALIMENTAZIONE	30-100 kg/h (dipende dal tipo di combustibile)
OUTPUT TERMICO	300-500kW (dipende dal tipo di combustibile)
AMMONTARE TIPICO DEL LETTO	135-215kg
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE	Coclea in-bed (raffreddata ad acqua) e over-bed (raffreddata ad aria)
AGENTE GASSIFICANTE	aria, ossigeno, vapore, anidride carbonica (soli o come miscela)
INTERVALLO OPERATIVO DI TEMPERATURA	750-900°C
INTERVALLO OPERATIVO DI VELOCITA'	0.4 – 1m/s
SISTEMI DI TRATTAMENTO DEL SYNGAS	ciclone, scrubber, torcia
SISTEMI DI SICUREZZA	Guardia idraulica, valvole di sicurezza, dischi di rottura, allarmi, linea di azoto per inertizzazione di sicurezza

Il reattore *FluGas*

Il reattore *FluGas*

Il reattore *FluGas*



ATTIVITÀ SPERIMENTALE

SU IMPIANTO PILOTA

I materiali impiegati

	PE	GS3	Neolite	Plasmix	d-RDF	PDF	RIL 1	RIL 2	RIL 3
C, %	85	84.4	68.1	79.5	56.8	53.9	45.3	57.4	50.2
H, %	13.8	14	10.2	13.1	8.3	7.7	5.6	7.3	7.0
N, %	0	0	0	0.2	0.5	0.5	0.5	0.7	2.3
S, %	0	0	0.1	0.1	0.6	0.1	0	0	0
O, % (per differenza)	0	0	14.3	4.5	15.7	26.3	38.4	26.4	25.9
Umidità, %	0.2	0.3	0.6	0.7	1.9	5.6	9	7	11.3
Ceneri, %	1	1.3	6.7	1.9	16.2	5.9	1.2	1.2	3.3
PCI, kJ/kg_{fuel}	45500	45500	32900	42000	26500	22700	14600	23300	20500
Temperatura di inizio devolatilizzaz., °C	250	280	220	290	260	200	260	220	250
Temperatura di devolatilizzazione,°C	410	380	410	400	400	300	375	375	380
Dimensioni (diametro - altezza, mm)	5 - 2	7 - 1	5 -10	irregolari	4 - 1.5	5	5 - 15	5 -10	5 - 15
Densità particella, kg/m^3	940	800	680	900	-	1000	990	3500	1040
Densità bulk, kg/m^3	570	460	340	310	260	380	495	725	560

La composizione delle ceneri

Elemento, mg/kg$_{ss}$	PE	GS3	Neolite	Plasmix	d-RDF	PDF	RIL 1	RIL 2	RIL 3
arsenico	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.35	0.21
alluminio	208	477	966	1043	4500	2620	150	142	903
antimonio	1.4	7	66.6	<0.1	9.6	2	2	0.62	98.6
cadmio	0.4	0.36	2	0.48	0.6	0.25	0.05	0.11	0.76
calcio	4612	3472	820	10069	25700	22875	1750	3382	15288
cobalto	0.3	0.51	1.4	1.1	1	0.7	0.17	0.26	1.03
cromo	6.8	24.3	100	10.2	7.7	6.1	0.95	2.23	5.99
ferro	28	111	488	305	880	140	290	428	622
magnesio	825	n.a.	n.a.	246	1225	n.a.	465	657	1321
manganese	<0.1	<0.25	19.1	6.44	29	7.1	15	63.4	39.4
mercurio	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	0.12	<0.1
nickel	0.31	1.41	159	1.1	82	6.7	0.35	1.52	3.8
piombo	33.3	312	871	33.8	410	82	1.21	4.44	35
potassio	375	542	1594	1483	550	2074	330	137	1483
rame	9	16	1333	17.3	105	18.7	1.5	<0.1	3.85
sodio	350	169	747	529	925	910	110	186	3461
stagno	3.2	9.9	21.5	16.8	60	7.1	90	41.3	50
tallio	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
vanadio	0.04	0.15	19	0.8	5.2	2	<0.1	0.2	61.2
cloruri (mg/kg$_{tq}$)	17	n.a.	10130	517	2060	2658	3650	n.a.	803

Caratteristiche dei materiali del letto

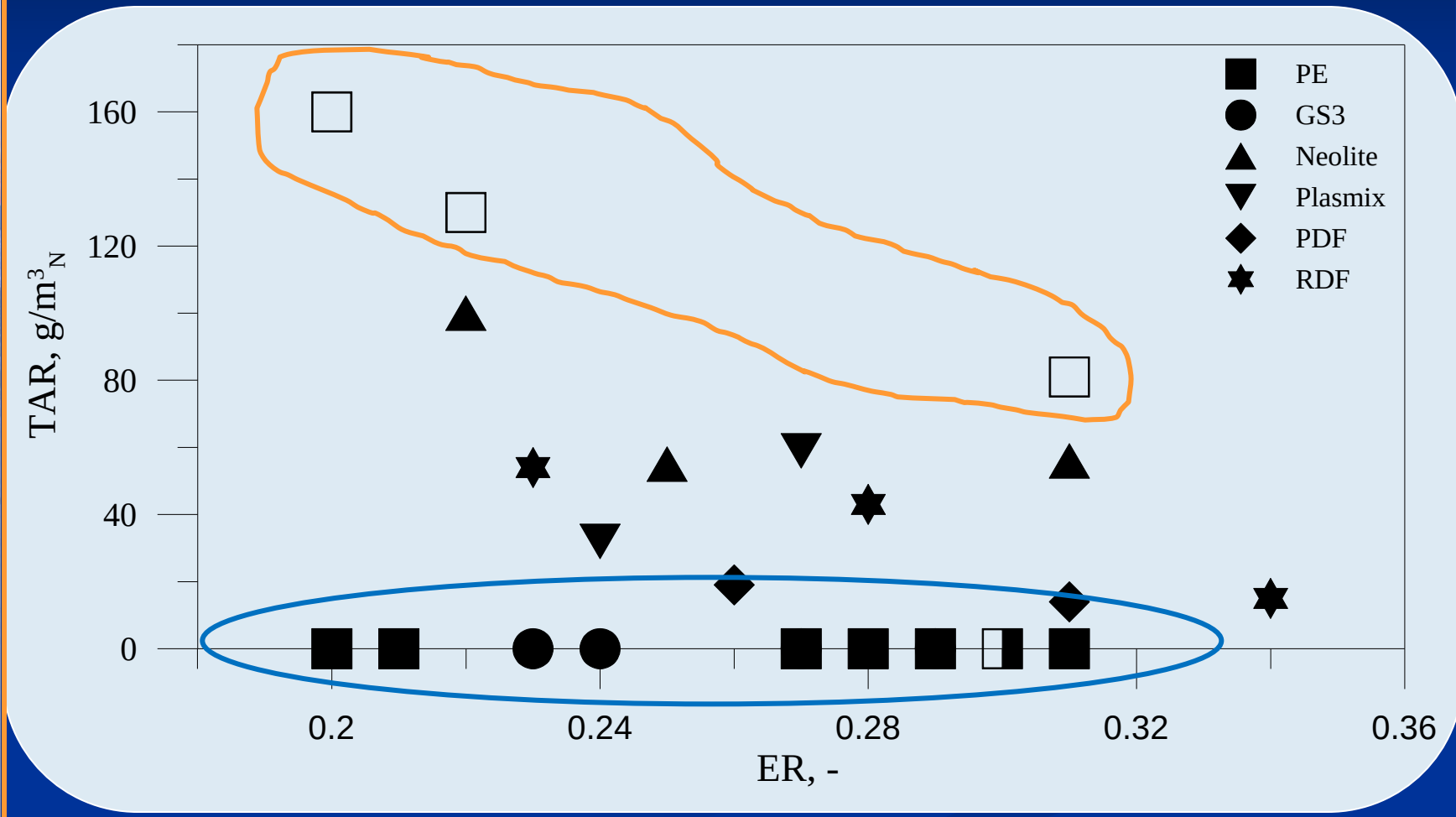
Materiale letto	Sabbia	Olivina	Dolomite
	quarzite	silicato di Fe e Mg	carbonato di Ca e Mg
Composizione Chimica, % su base massica			
SiO_2	96.25	39-42	<0.2
MgO	-	48-50	20-25
CaO	0.05	<0.4	30-32
Fe_2O_3	0.15	8-10.5	<0.7
K_2O	0.75	-	<0.1
TiO_2	0.50	-	-
Al_2O_3	2.30	0.8	<0.3
Cr_2O_3	-		-
Mg_3O_4	-		-
Na_2O	-	-	<0.3
LOI (perdita per ignizione), % su base massica	-	-	46-47
Intervallo granulometrico, mm	200 ÷ 400	200 ÷ 400	300-800
Diametro medio di Sauter, mm	205	298	360
Densità di particella, kg/m³	2600	2900	2900
Minima velocità fluidizzazione a 850°C, m/s	0.013	0.03	0.044
Velocità terminale a 850°C, m/s	1	2	2.8

Risultati con i rifiuti poliolefinici

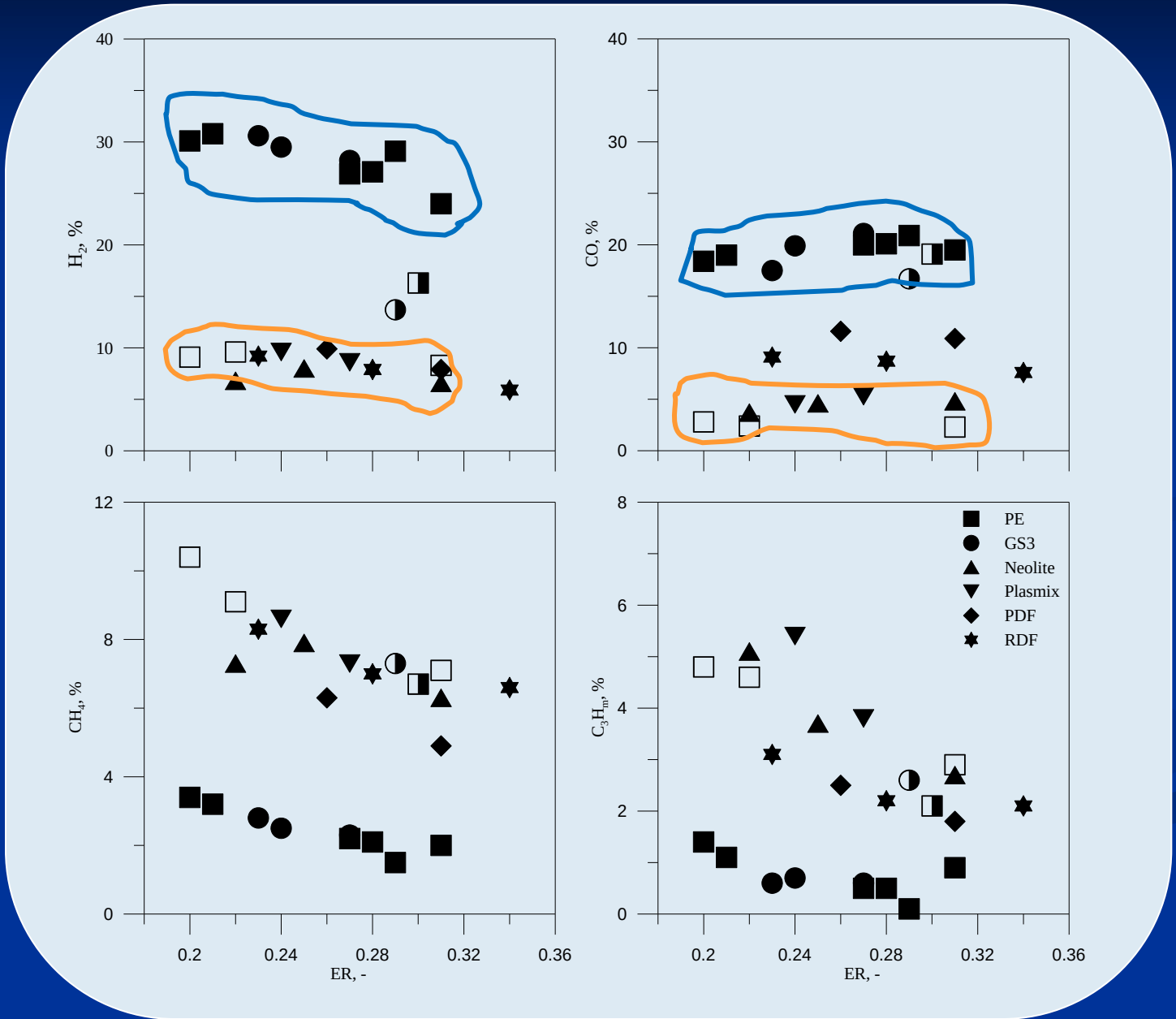
L'utilizzo di un letto di olivina induce un notevole miglioramento delle prestazioni del processo di gassificazione con aria per entrambi i rifiuti poliolefinici. Il syngas campionato dopo l'unità di trattamento è caratterizzato da una quasi totale assenza di tar e da un forte aumento delle concentrazioni di idrogeno e monossido di carbonio.

I bilanci di massa sulle specie atomiche indicano che l'olivina permette che una grande quantità di carbonio presente nel combustibile (70-87%) venga convertita in syngas insieme a tutto l'idrogeno del combustibile di partenza, con un notevole aumento delle concentrazioni di CO e H_2.

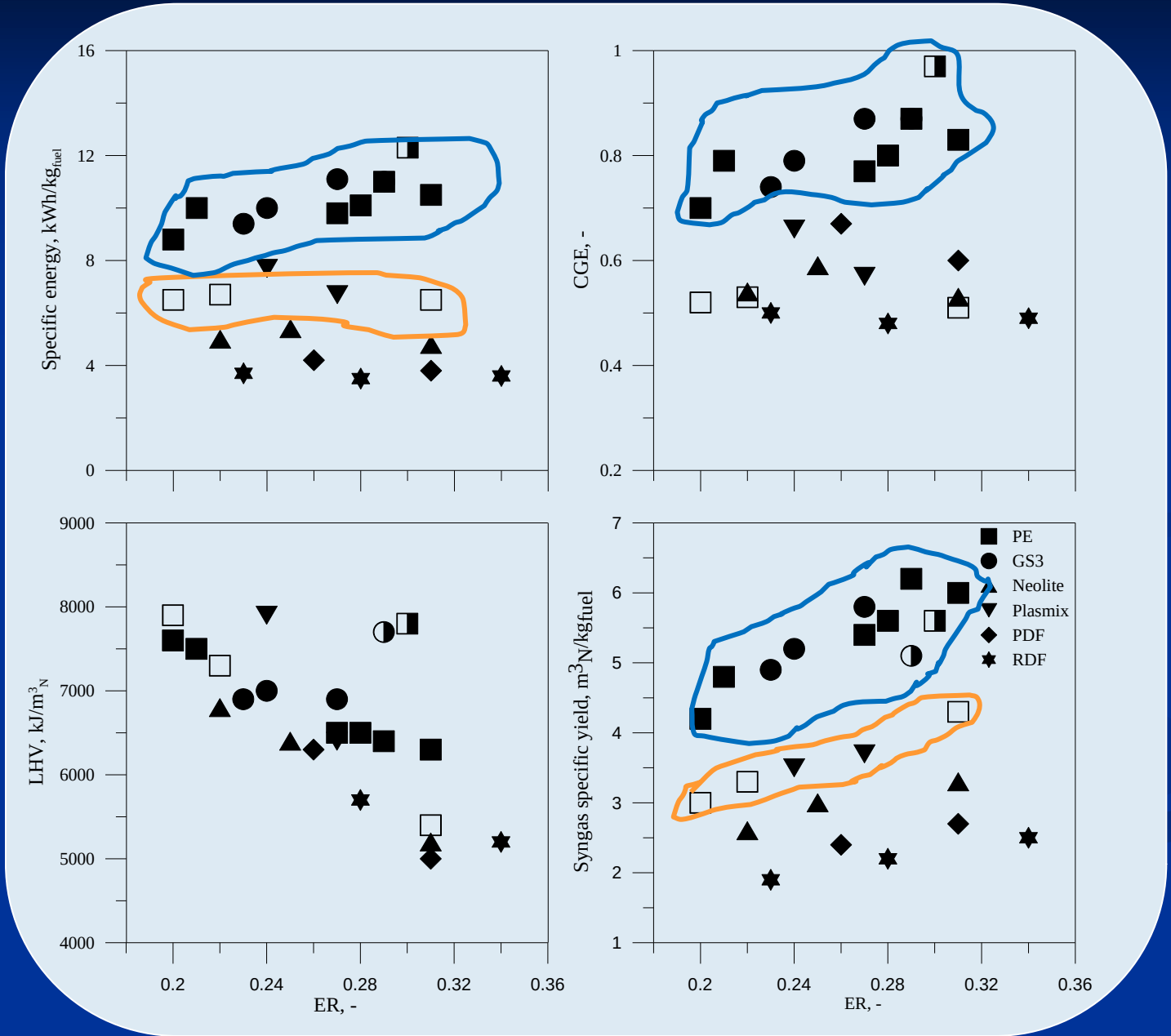
Risultati con i rifiuti poliolefinici



Risultati con i rifiuti poliolefinici



Risultati con i rifiuti poliolefinici



Risultati con i rifiuti poliolefinici

Il Mg e il Fe, largamente presenti nelle particelle di olivina, attivano le reazioni endotermiche di decomposizione dei frammenti di idrocarburi che sono i precursori primari della formazione del tar.

Il Mg migliora cataliticamente le reazioni di deidrogenazione e di isomerizzazione dei frammenti prodotti dal cracking termico:

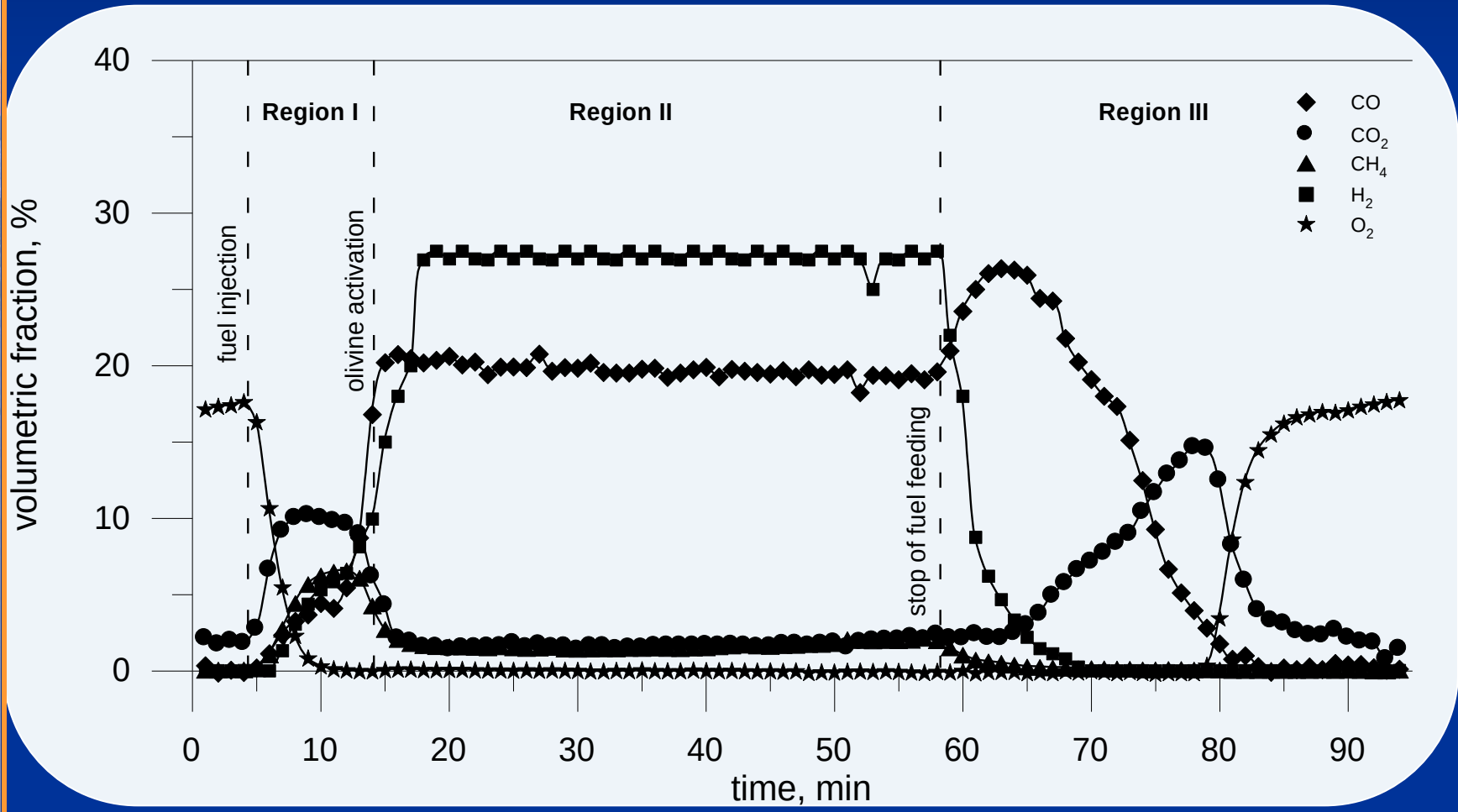
$$pC_xH_y \rightarrow qC_nH_m + rH_2$$

mentre il Fe assiste cataliticamente le reazioni di carbonizzazione:

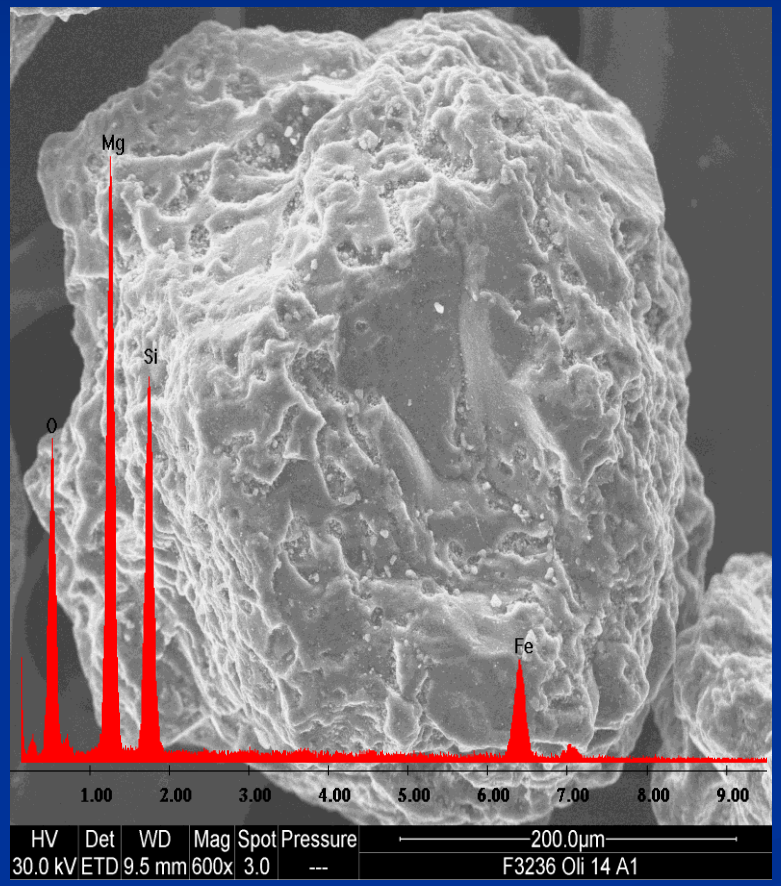
$$C_nH_m \rightarrow nC + m/2\ H_2$$

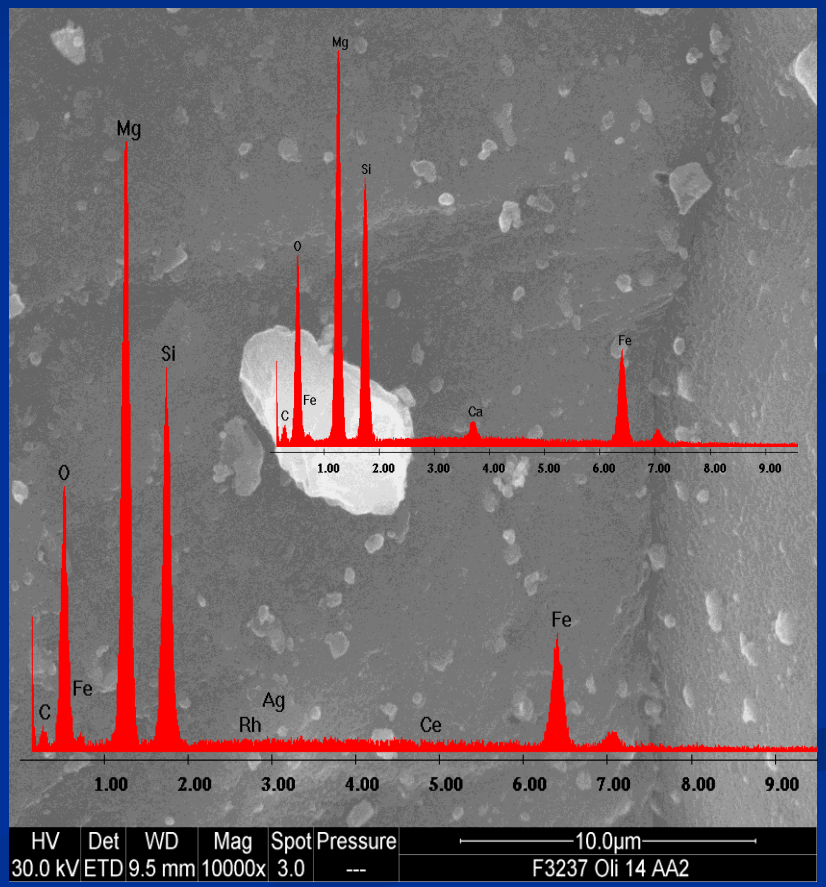
Risultati con i rifiuti poliolefinici

Il risultato finale delle reazioni in serie/parallelo sopra riportate è la produzione di coke e idrogeno molecolare.



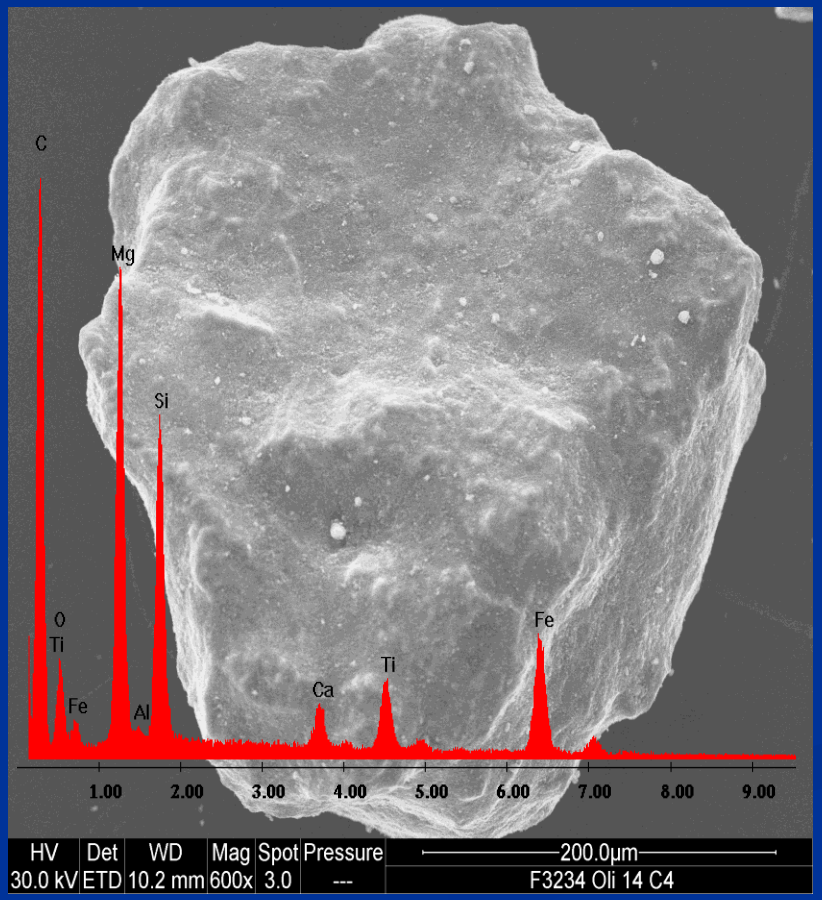
Risultati con i rifiuti poliolefinici (regione I)

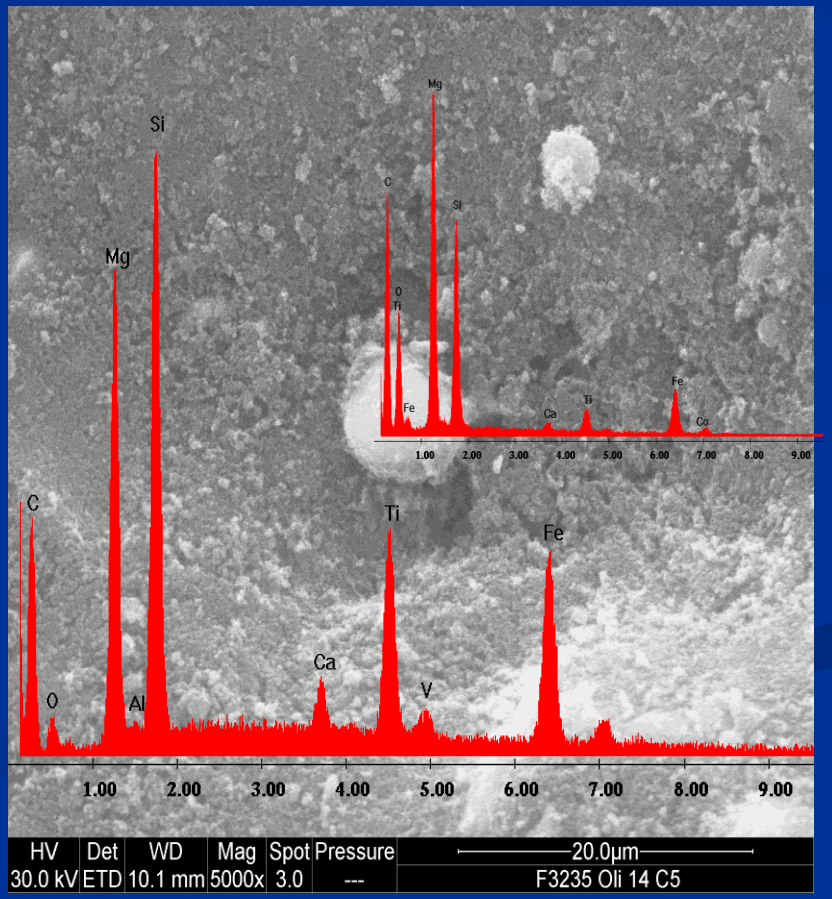




Risultati con i rifiuti poliolefinici (regione II)

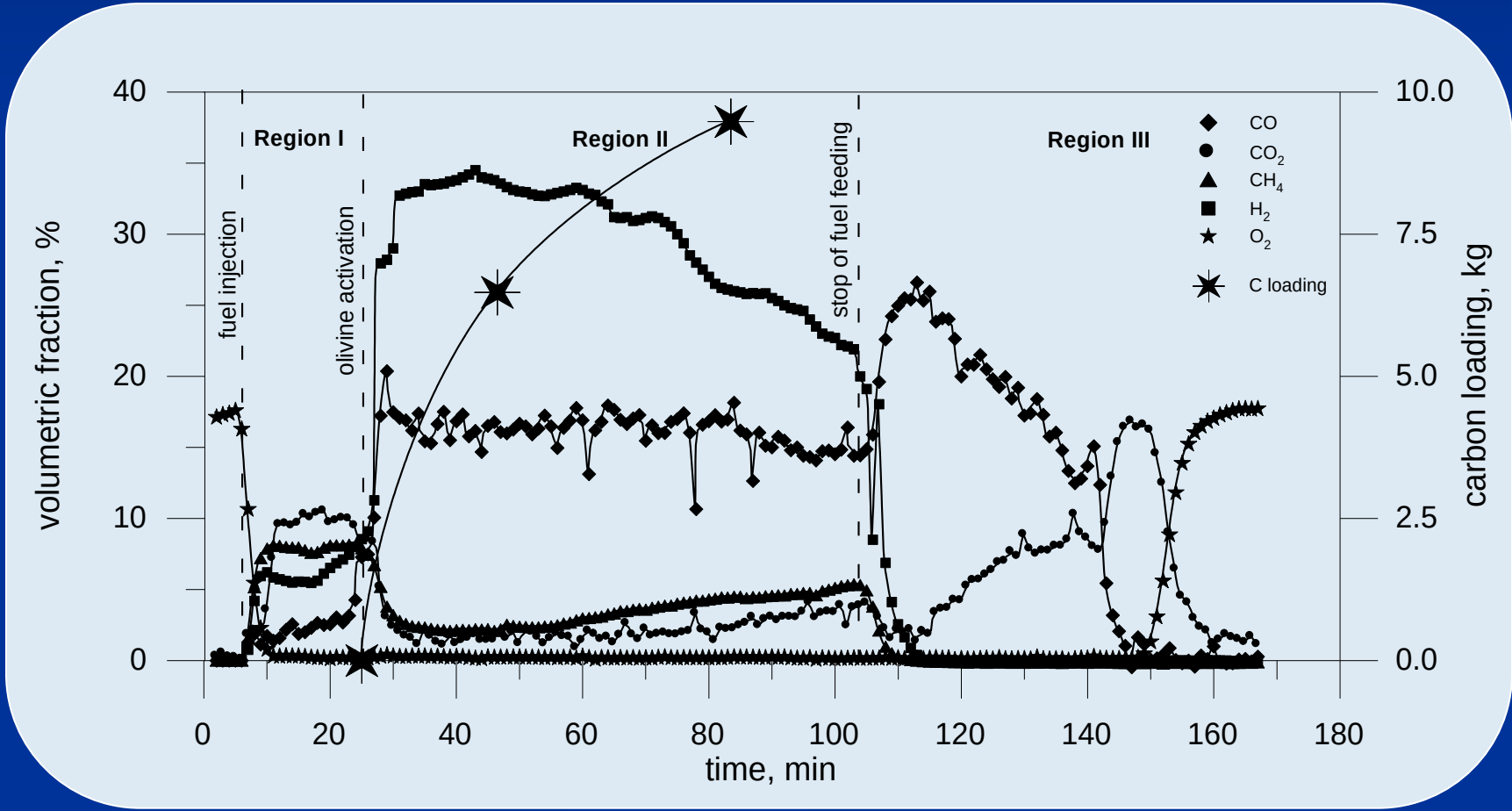
Il coke rimane sulla superficie esterna delle particelle di olivina producendo un effetto (reversibile) di mascheramento.





Risultati con i rifiuti poliolefinici

Lo strato di coke depositatosi viene in parte rimosso dall'abrasione meccanica tra le particelle del letto e in parte dalla successiva elutriazione fuori del reattore.

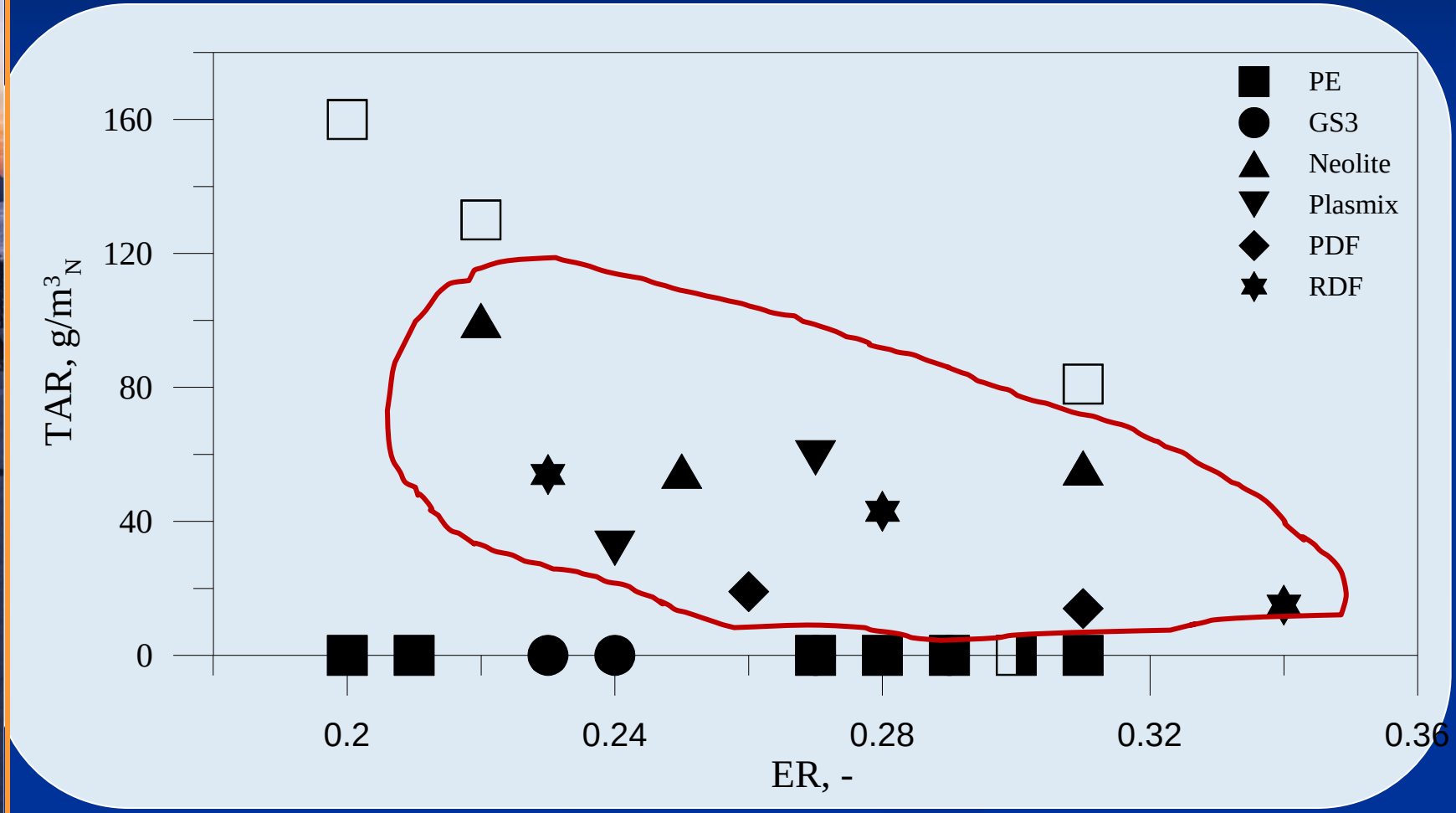


Risultati con i rifiuti di plastiche miste e i CDR

L'analisi dei risultati ottenuti dai test effettuati con un letto di olivina con altri combustibili derivati da rifiuti (agglomerati di materie plastiche miste, PDF e RDF) indica che:

- il tenore di tar nel syngas è più basso di quello ottenuto con le poliolefine in letto di sabbia quarzifera ma maggiore del valore praticamente nullo ottenuto con le plastiche poliolefiniche in un letto di olivina.

Risultati con i rifiuti di plastiche miste e i CDR



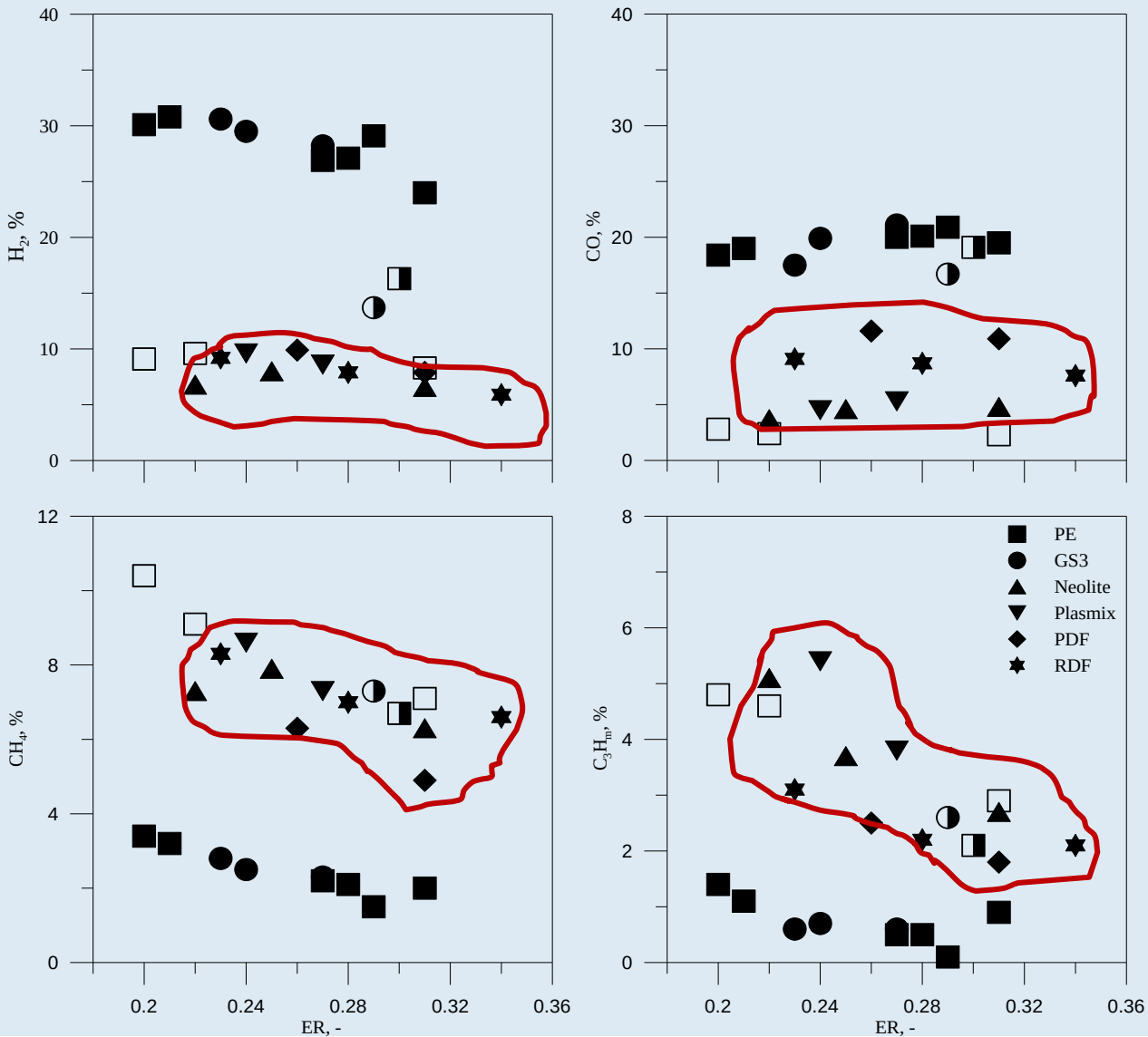
Risultati con i rifiuti di plastiche miste e i CDR

D'altra parte,

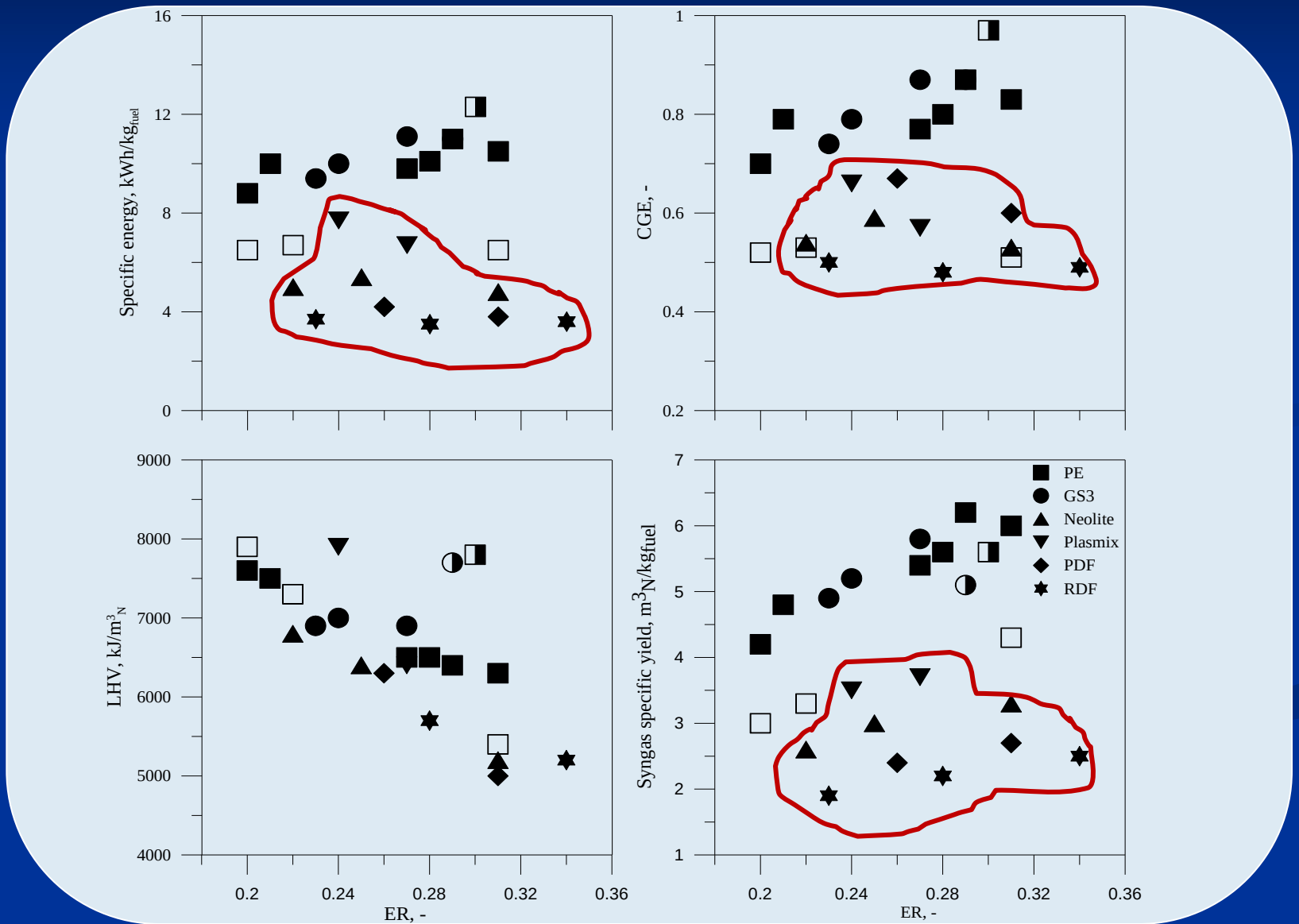
- il contenuto di idrogeno è simile a quello trovato con il PE e sabbia quarzifera, vale a dire che è tra il 7 e il 10%.
- le concentrazioni di CH_4 e C_3H_m sono simili o superiori a quelle ottenute con il PE e sabbia quarzifera.

In altre parole, il syngas ottenuto nei test con Neolite, Plasmix, PDF e RDF ha concentrazioni di H_2, CO e CO_2 simili a quelle misurate nelle prove con rifiuti poliolefinici con un letto di sabbia quarzifera. Esso contiene inoltre concentrazioni simili o più elevate di CH_4 e C_3H_m e un più basso (anche se non trascurabile) contenuto di tar, e un miglior rendimento energetico.

Risultati con i rifiuti di plastiche miste e i CDR



Risultati con i rifiuti di plastiche miste e i CDR



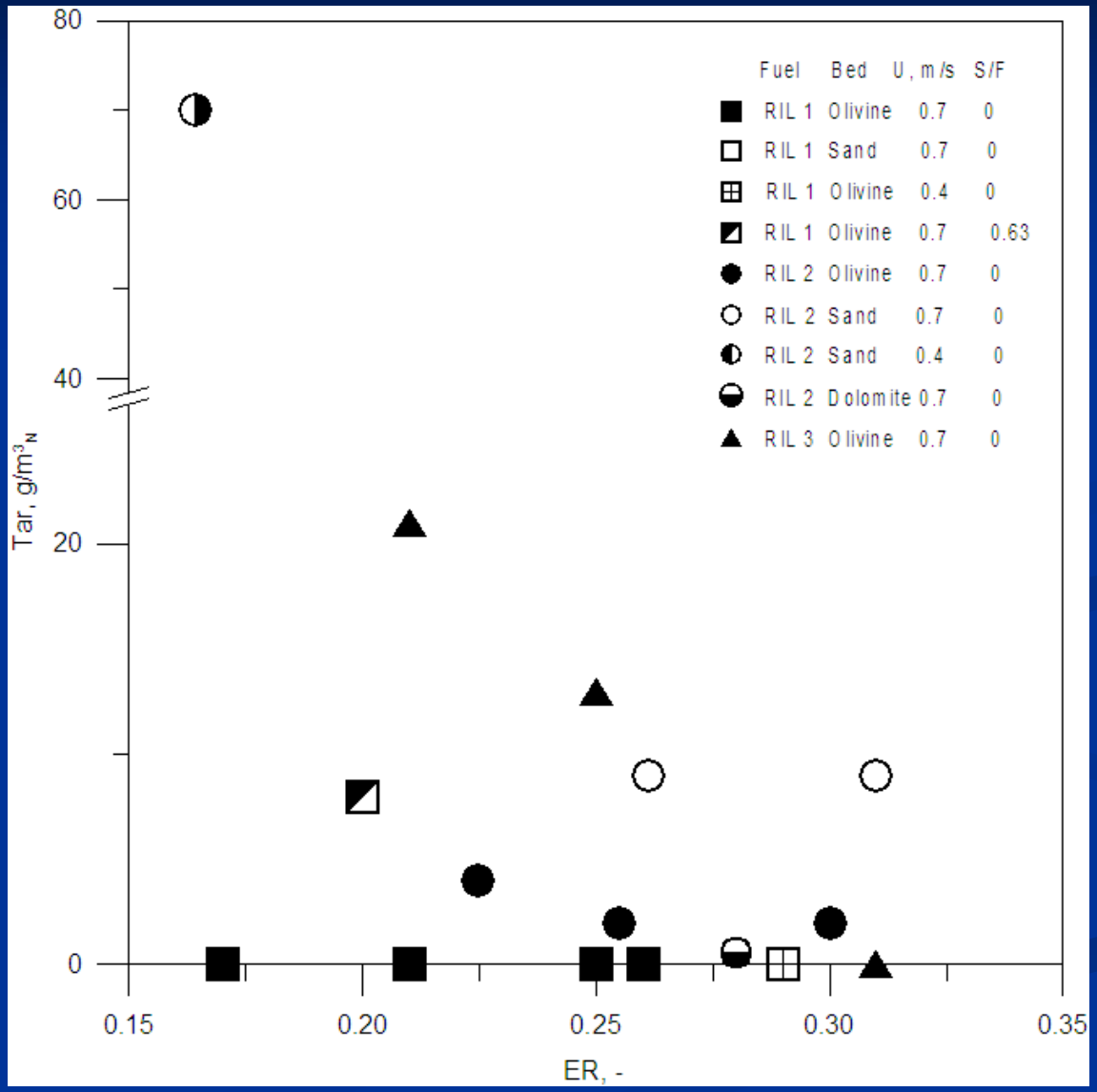
Risultati con i rifiuti di plastiche miste e i CDR

Con questi materiali, mentre l'azione catalitica determinata dal Mg, che è largamente presente all'interno dell'olivina (costituita di MgO per circa il 50%), è quasi completamente sviluppata, quella degli ossidi di ferro è inibita o fortemente limitata.

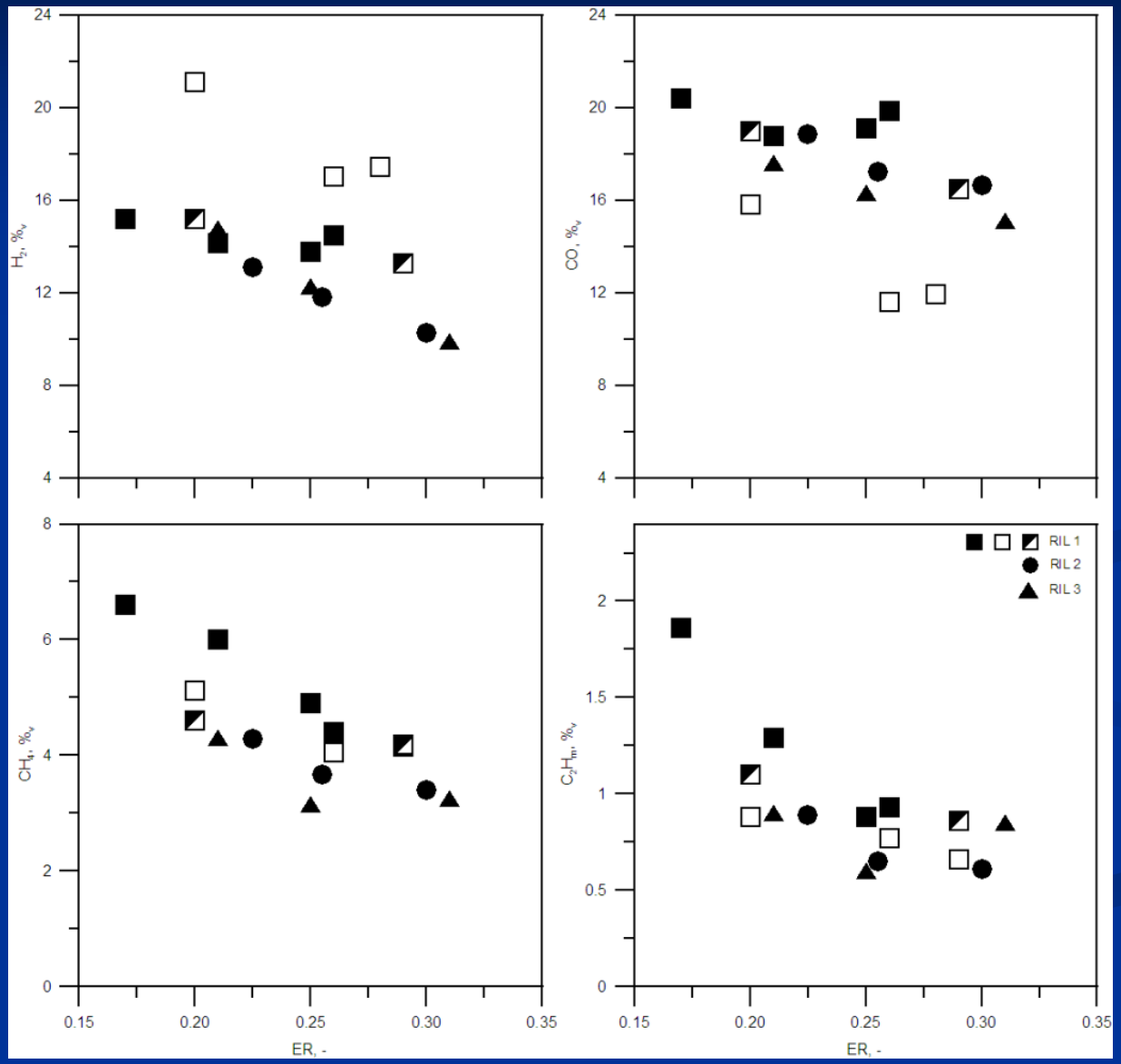
Questo effetto può essere dovuto:

- alla presenza nelle ceneri di questi materiali di frazioni elevate di metalli ferrosi e non ferrosi, che potrebbero agire come *competitors* del ferro delle particelle di olivina
- all'elevato contenuto di O_2 nei prodotti di partenza che potrebbe impedire la riduzione del ferro dell'olivina o potrebbe generare emissioni di CO che a sua volta, legandosi al ferro, andrebbe a generare tipi diversi di carbonili.

Risultati con le biomasse lignee



Risultati con le biomasse lignee



Risultati con le biomasse lignee

I risultati indicano che l'azione catalitica dell'olivina è solo parzialmente presente durante la gassificazione con aria di tutti questi combustibili. È probabile che il supporto per il cracking catalitico e l'isomerizzazione sia sempre attivo, in modo che i frammenti più pesanti vengano rotti formando un certo numero di idrocarburi insaturi con due o tre atomi di carbonio.

Al contrario, il miglioramento della deidrogenazione catalitica e della carbonizzazione determinato dai siti attivi di ferro è limitato, per cui il contenuto di idrogeno rimane basso e, per la biomassa da rifiuti, la formazione di tar è solo parzialmente ridotta.

Risultati del Progetto Amra-Conai

Materiali	Resa energetica, kWh/kg	CGE -	Caratteristiche del syngas prodotto				
			PCI, kJ/m^3_N	H_2, %	CO, %	CH_4, %	Tar, g/m^3_N
Poliolefine miste	11.0	0.93	6800	28.2	21.1	2.3	~ 0
Plastiche miste	7.7	0.69	7900	9.6	4.5	8.6	32
Imballaggi alimentari	4.2	0.60	6200	9.9	11.6	6.3	19
CDR-Q	3.5	0.47	5700	7.9	8.7	7.0	43
Biomassa naturale	3.8	0.87	6200	14.0	18.9	4.9	~ 0
Biomassa da scarti	3.7	0.66	5100	11.8	17.2	3.7	2.8

CGE = energia contenuta nel syngas rispetto all'energia del combustibile di partenza

Risultati del Progetto Amra-Conai

- **il processo di gassificazione è tecnicamente fattibile con tutti i materiali utilizzati**:
  - materiali dalla filiera del riciclo di diversi imballaggi plastici
  - combustibili derivati da rifiuti urbani (CDR), da imballaggi alimentari (PDF) e da scarti della lavorazione della carta da macero
  - biomasse lignee naturali e da rifiuto.
- **le biomasse lignee e gli scarti degli imballaggi plastici hanno mostrato le prestazioni tecnico-economiche più interessanti**, con particolare riferimento a impianti di piccola-media scala (da 0.5 a 6MWe).

VALUTAZIONI

TECNICO-ECONOMICHE

Obiettivo

- **valutare la fattibilità tecnica ed economica delle configurazioni di progetto più interessanti per applicazioni su piccola-media scala di un gassificatore alimentato con biomasse (100-600kWe) e con plastiche miste (2-6MWe) per produrre energia in cogenerazione.**

A questo scopo, **l'impianto Flugas è stato alimentato con una biomassa lignea fornita da Rilegno**, ottenuta come scarto di lavorazione di segheria **e con due differenti plastiche miste fornite da Corepla, ottenute come scarto del processo di selezione** di imballaggi plastici raccolti differenziatamente, dopo livelli di pretrattamento diversi.

I dati sono stati elaborati mediante bilanci di materia e di energia e analisi dei flussi di materia e delle sostanze, in modo da ottenere e comparare le differenti prestazioni e le soluzioni progettuali.

Valutazioni tecnico-economiche

Il modello economico utilizzato è basato su una stima dei principali parametri, quali costi d'investimento, costi operativi, tassazione e ricavi diretti dalla vendita dell'energia generata.

Tutti i valori monetari sono stati soggetti ad aggiustamenti del valore del denaro nel tempo, cioè i costi futuri e i ricavi sono stati scontati al loro valore presente basato su un tasso di sconto annuo del 5%, anche se nell'analisi di sensitività condotta sui principali parametri è stato considerato un intervallo di variazione fra il 2.5% e il 7%.

I modelli adottati per valutare i costi totali di impianto, i costi operativi e i ricavi utilizzano informazioni delle case costruttrici, parametri medi dell'industria e l'attuale schema di incentivi disponibile in Italia.

Dati di progetto (impianto per biomasse)

	biomassa
Analisi elementare, % su base massica	
C (min-max)	**45.9** (45.7-46.1)
H (min-max)	**5.63** (5.60-5.66)
N (min-max)	**0.33** (0.30-0.36)
S (min-max)	**0.01**
Umidità (min-max)	**7** (6.9-7.1)
Ceneri (min-max)	**1.3** (1.2-1.4)
O (per differenza)	**39.83**
Rapporto C:O	**1.15**
PCS, MJ/kg	18.600
PCI, MJ/kg	**15.900**

Produzione di energia da biomasse

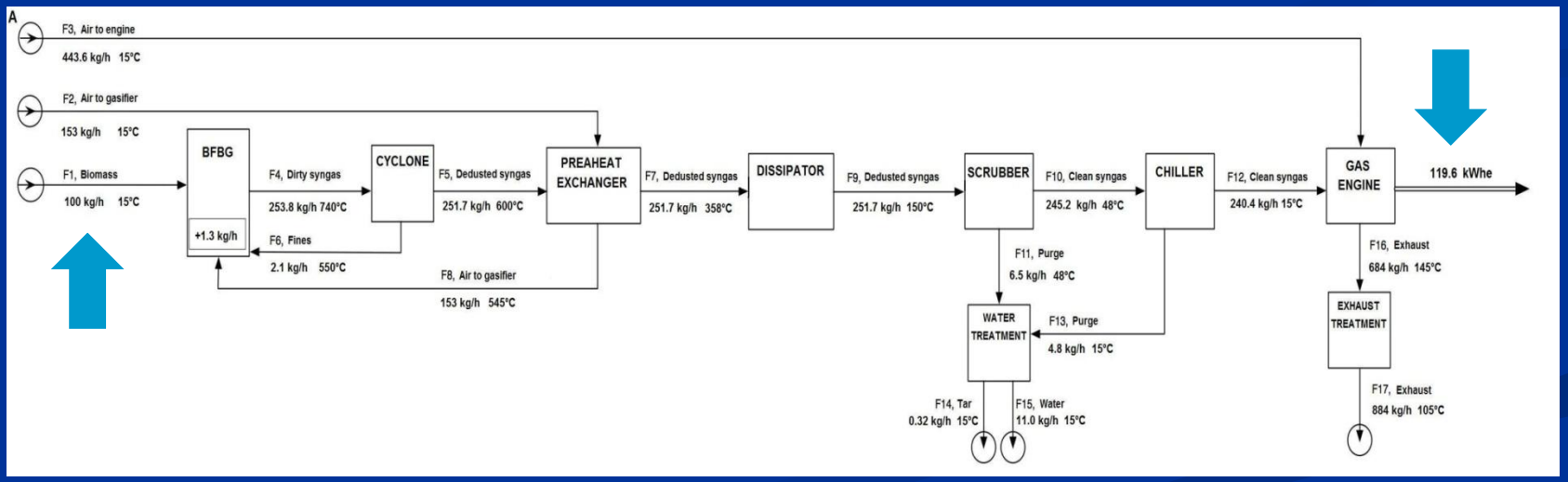
Apparecchiature di generazione di energia	*Efficienza elettrica netta dell'impianto*	*Principali vantaggi*	**Principali svantaggi**
Turbina a vapore	**10-20%**	Componenti della turbina isolati dai prodotti di combustione. Lunghi intervalli di manutenzione, elevata disponibilità. Elevato lavoro specifico.	Costoso. Bassa efficienza elettrica su scala ridotta. Carichi parziali comportano una decrescita dell'efficienza. Elevato ingombro dovuto al condensatore e alla caldaia a recupero.
Turbina a gas	**15-25%**	Efficienza elettrica elevata anche su scala ridotta. Assemblaggio compatto. Lunghi intervalli di manutenzione, elevata disponibilità. Ideale per impianti di cogenerazione per l'elevata temperatura dei gas effluenti.	I componenti della turbina sono esposti ai prodotti della combustione. Carichi parziali comportano una decrescita dell'efficienza. Relativamente costosa.
Turbina a gas a combustione esterna	**10-20%**	Componenti della turbina isolati dai prodotti di combustione. Lunghi intervalli di manutenzione, elevata disponibilità. Ideale per impianti di cogenerazione per l'elevata temperatura dei gas effluenti.	Costosa. Lo scambiatore di calore è esposto ad alte temperature. Carichi parziali comportano una decrescita dell'efficienza.
Motore a gas	**13-28%**	Alta efficienza elettrica anche su scala ridotta. Relativamente economico. Duraturo e affidabile. Effetti di carichi parziali influenzano solo in parte l'efficienza.	I componenti del motore sono esposti ai prodotti di combustione. Brevi e costosi intervalli di manutenzione, bassa disponibilità.

Configurazione con motore a gas

Sezione di gassificazione: reattore a letto fluido bollente e ciclone

Sezione di condizionamento e pulizia: scambiatori di calore, dissipatore, torre di lavaggio, chiller e demister

Sezione di generazione di elettricità: motore a gas e sezione di trattamento dei gas esausti

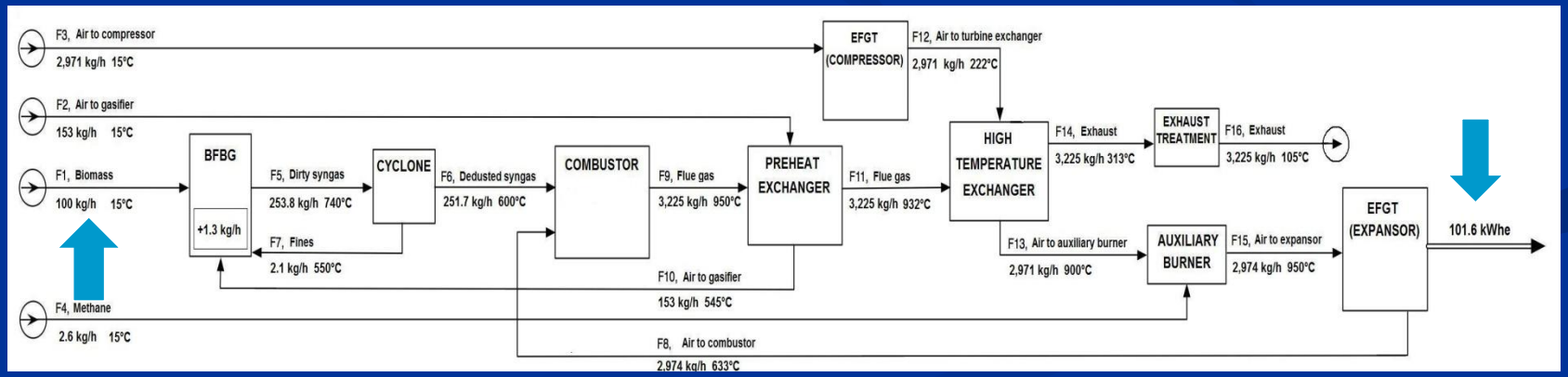


Configurazione con EFGT

Sezione di gassificazione: reattore a letto fluido bollente e ciclone

Sezione di combustione e recupero del calore: bruciatore per syngas, scambiatore di calore, scambiatore di calore ad alta temperatura, trattamento fumi.

Sezione di generazione di elettricità: turbina a gas a combustione esterna, bruciatore ausiliario.

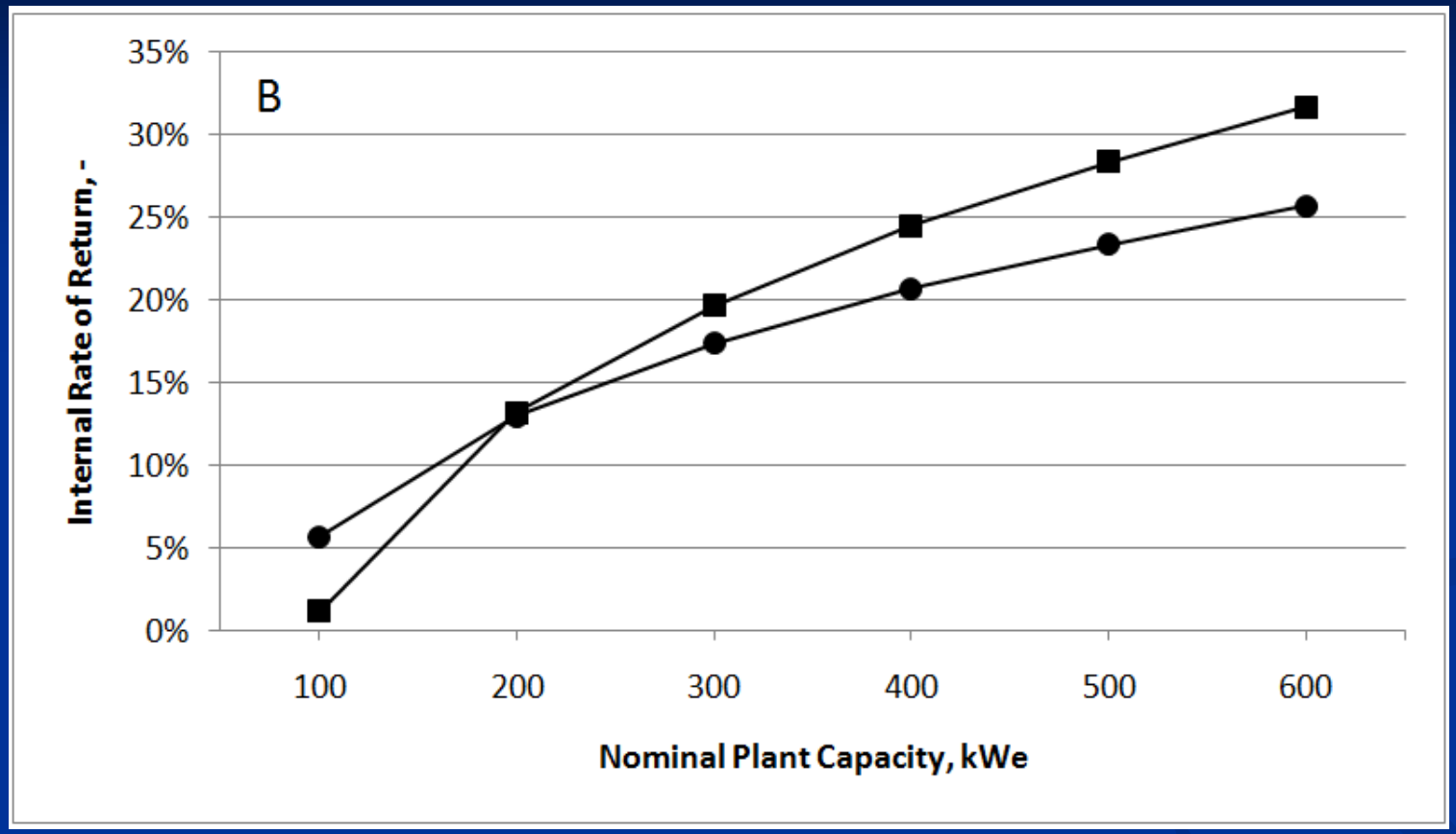


Confronto tecnico-economico

Sintesi delle prestazioni tecniche economiche di impianti di gassificazione per la produzione di energia da biomasse con riferimento ad una potenzialità nominale di 200kWe.

	Motore a gas	Turbina a gas a comb. esterna
Efficienza energetica complessiva, %	27.1	23.0
Tasso di conversione specifico della biomassa, $kWhe/kg_{fuel}$	1.20	1.02
Flussi di rifiuti, kg/kg_{fuel}	gas: 6.64 solido: - liquido: 0.11	gas: 32.25 solido: 0.01 liquido: -
Temperatura di uscita dei gas al camino, °C	145	313
Tasso Interno di Ritorno (IRR), %	13.2	13.0

Confronto tecnico-economico



Cerchi: turbina a gas a combustione esterna

Quadrati: motore a gas

Dati di progetto (impianto per plastiche)

Plastiche miste	SFN	SRA
Analisi elementare, % su base massica		
C	**65** (62.1-67.9)	**79.5** (75.9-83.1)
H (min-max)	**9.7** (9.5-9.9)	**13.1** (12.8-13.4)
N (min-max)	**0.5** (0.4-0.6)	**0.2** (0.15-0.25)
S (min-max)	**0.3** (0.28-0.32)	**0.1** (0.08-0.12)
Umidità (min-max)	**2.1** (1.8-2.4)	**0.7** (0.6 – 0.8)
Ceneri (min-max)	**3.2** (2.4-4.0)	**1.9** (1.4 – 2.4)
O (per differenza)	**19.2**	**4.5**
Rapporto C:O	**3.4**	**17.7**
PCS, MJ/kg	**34.6** (33.4-35.8)	**43.4** (41.8-45.0)
PCI, MJ/kg	**31.7** (30.4-33.0)	**40.2** (38.6-41.8)

Produzione di energia da plastiche

Apparecchiature di generazione di energia	*Efficienza elettrica netta dell'impianto*	*Principali vantaggi*	**Principali svantaggi**
Turbina a vapore	**15-24%**	Elevata efficienza elettrica. Componenti della turbina isolati dai prodotti di combustione. Lunghi intervalli di manutenzione, elevata disponibilità. Elevato lavoro specifico.	Costoso. Carichi parziali comportano una decrescita dell'efficienza. Elevato ingombro dovuto al condensatore e alla caldaia a recupero.
Turbina a gas	**20-30%**	Assemblaggio compatto. Lunghi intervalli di manutenzione, elevata disponibilità. Ideale per impianti di cogenerazione per l'elevata temperatura dei gas effluenti.	I componenti della turbina sono esposti ai prodotti della combustione. Carichi parziali comportano una decrescita dell'efficienza. Relativamente costosa.
Turbina a gas a combustione esterna	**15-20%**	Componenti della turbina isolati dai prodotti di combustione. Lunghi intervalii di manutenzione, elevata disponibilità. Ideale per impianti di cogenerazione per l'elevata temperatura dei gas effluenti.	Tecnologia non affidabile. Costosa. Lo scambiatore di calore è esposto ad alte temperature. Carichi parziali comportano una decrescita dell'efficienza.
Motore a gas	**20-30%**	Alta efficienza. Relativamente economico. Duraturo e affidabile. Effetti di carichi parziali influenzano solo in parte l'efficienza.	I componenti del motore sono esposti ai prodotti di combustione. Costosi intervalli di manutenzione, bassa disponibilità.

Produzione di energia

Per il range di capacità nominale di interesse (2-6MWe), per le plastiche miste considerate e per la qualità del syngas ottenibile da un gassificatore a letto fluido con aria, **la migliore soluzione per affidabilità tecnica e per sostenibilità economica è quella nella configurazione di gassificatore termico, dotato di turbina a vapore e caldaia come dispositivo di generazione energetica.**

Configurazione con turbina a vapore

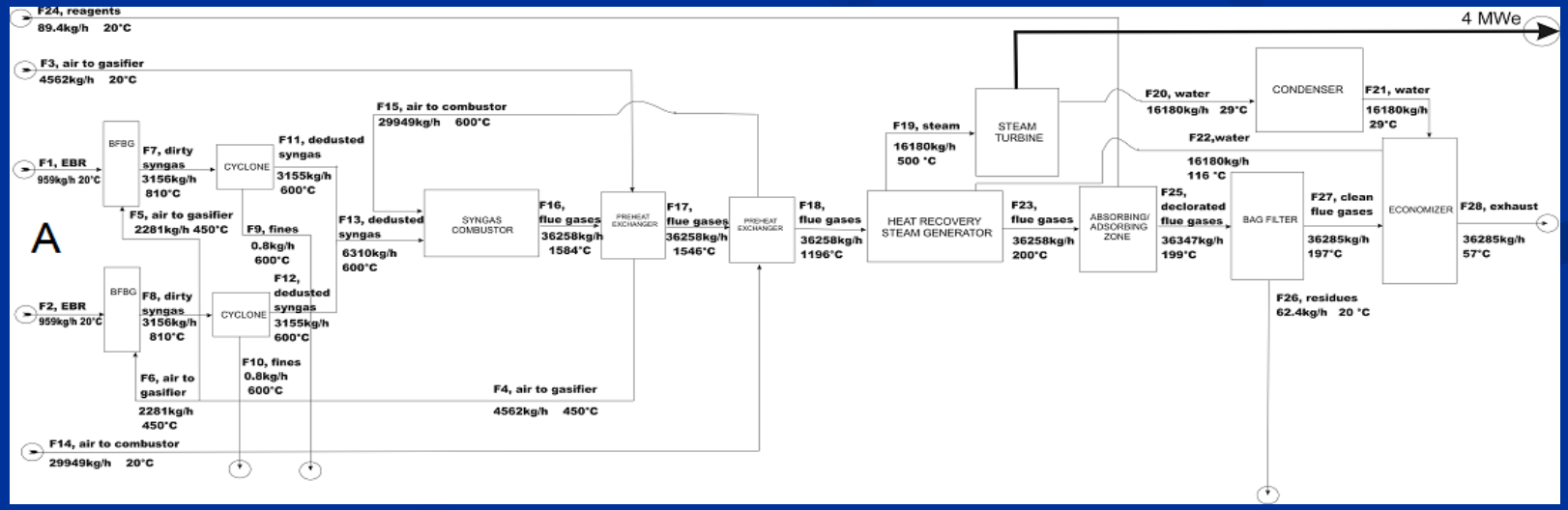
per il combustibile SFN

Sezione di pretrattamento: essiccatore termico, sistema di tritovagliatura, separatore aeraulico

Sezione di gassificazione: due BFBG + 2 cicloni

Sezione di combustione e recupero di calore: bruciatore per syngas, due preriscaldatori per aria di gassificazione, HRSG, reattori di assorbimento/adsorbimento, filtro a manica, sistema de-Nox

Sezione di generazione di elettricità: turbina a vapore e condensatore



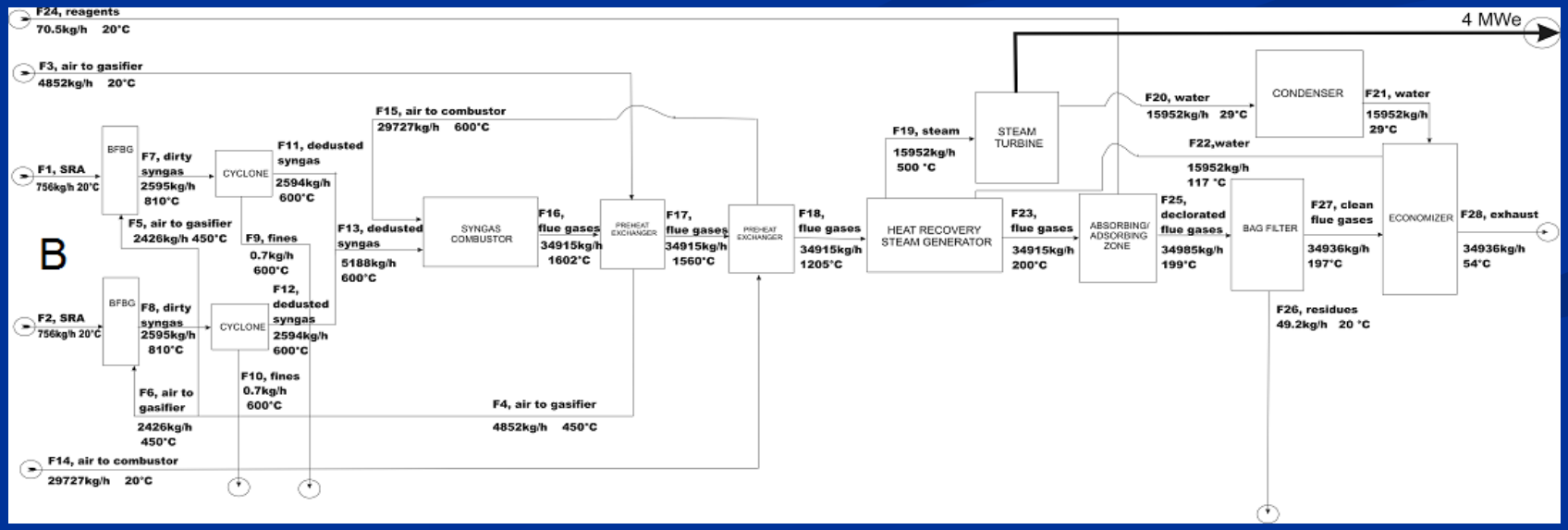
Configurazione con turbina a vapore

per combustibile SRA

Sezione di gassificazione: due BFBG + 2 cicloni

Sezione di combusiotne e recupero di calore: bruciatore per syngas, due preriscaldatori per aria di gassificazione, HRSG, reattori di assorbimento/adsorbimento, filtro a manica, sistema de-Nox

Sezione di generazione di elettricità: turbina a vapore e condensatore

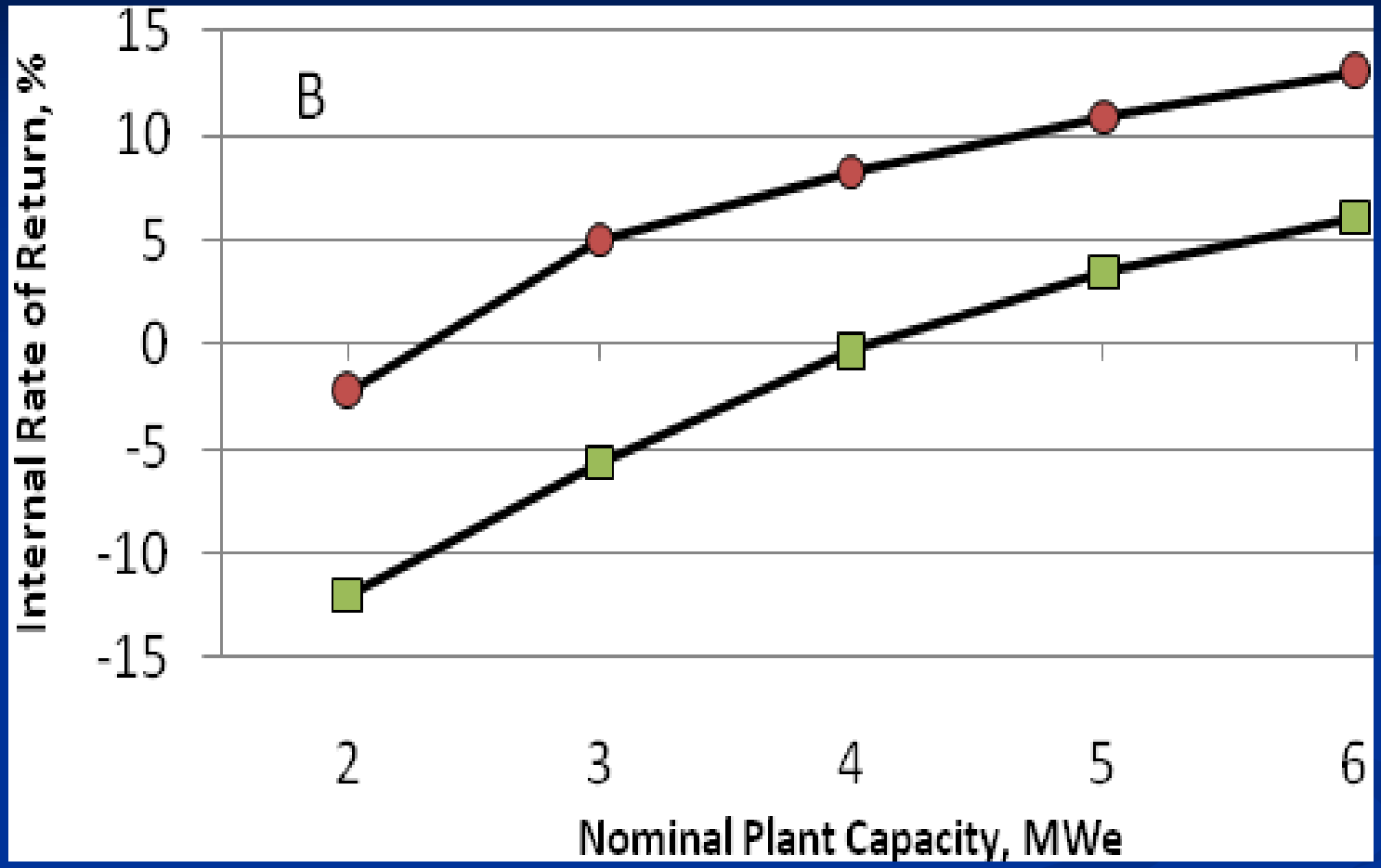


Confronto tecnico-economico

Sintesi delle prestazioni tecniche economiche di impianti di gassificazione per la produzione di energia da due diverse plastiche miste, riferita a una capacità nominale di 4MWe.

	SFN	SRA
Efficienza energetica complessiva, %	23.7	23.7
Tasso di conversione specifico delle plastiche, $kWhe/kg_{fuel}$	2.09	2.65
Flussi di rifiuti, kg/kg_{fuel}	gas: 18.9 solido: 0.44	gas: 23.1 solido: 0.25
Tasso Interno di Ritorno (IRR), %	8.3	no

Confronto tecnico-economico



Cerchi rossi: SFN

Quadrati verdi: SRA

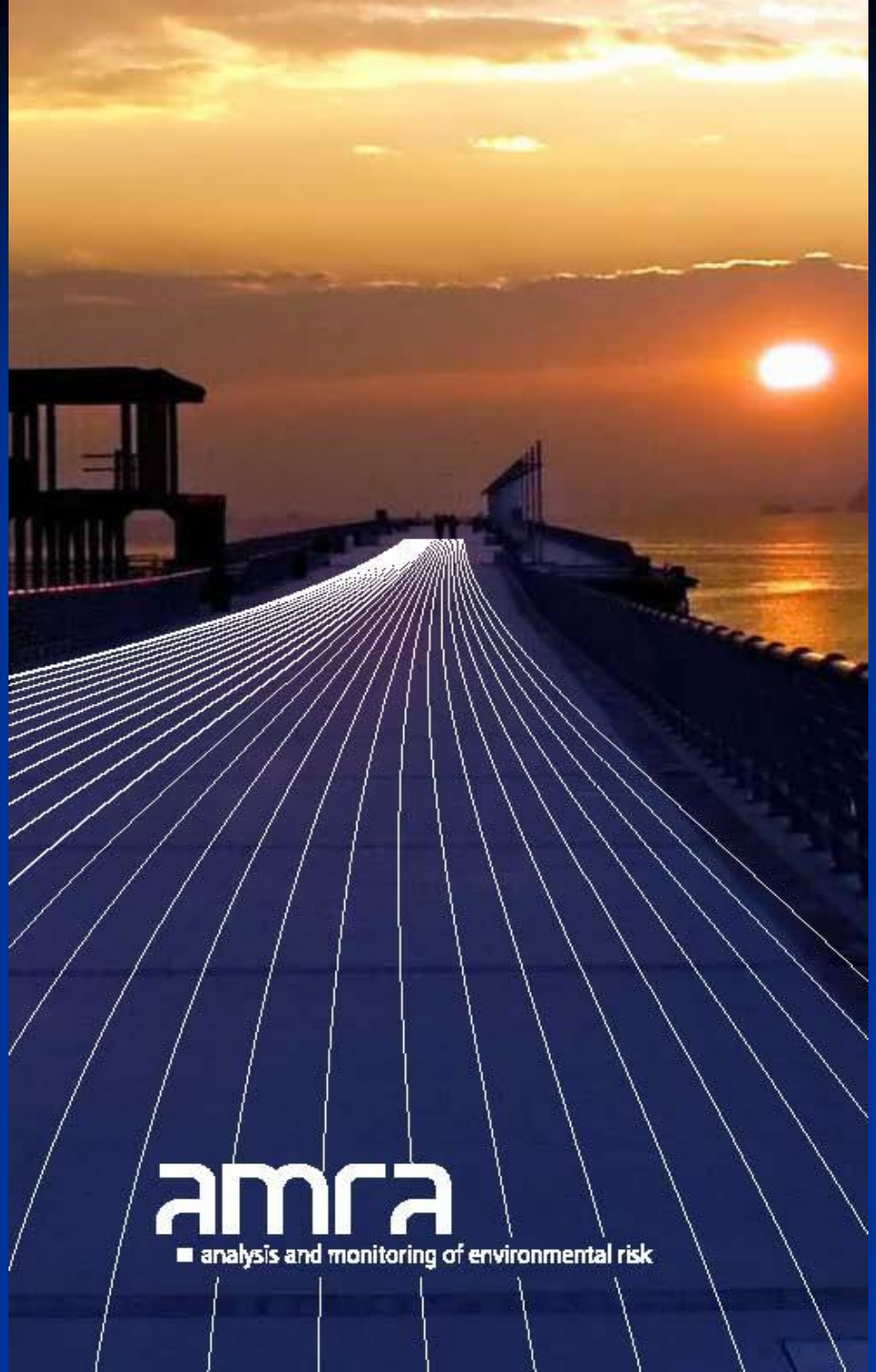
Conclusioni

- **Le potenzialità commerciali del processo di gassificazione sono rilevanti.**
- L'attività catalitica dell'olivina consente di ottenere, sia con biomasse lignee che con plastiche poliolefiniche, tenori molto elevati di idrogeno (dal 15 fino ad oltre il 30%), pur lavorando solo con aria come agente gassificante, e quindi in condizioni di notevole semplicità impiantistica e gestionale, economicamente attraenti. **Le potenzialità commerciali del processo potrebbero essere ampliate, attraverso la combinazione con sistemi di ulteriore finitura della pulizia, per consentire l'uso del syngas non solo in motori a combustione interna ma anche in turbine a gas o per applicazioni non energetiche.**

Conclusioni

- Il gassificatore FluGas è in grado di fornire dati per valutazioni affidabili sulla convenienza economica e la compatibilità ambientale della gassificazione in impianti commerciali di biomasse e imballaggi post consumo.

- Il gassificatore FluGas può costituire un supporto tecnico di grande valore per la progettazione e realizzazione di impianti di taglia maggiore, sia dimostrativi sia commerciali.



Il gruppo d lavoro di AMRA s.c.ar.l.:

Prof.ing. Umberto Arena
Prof.ing. Maria Laura Mastellone
Dr. Lucio Zaccariello
Dr. Fabrizio Di Gregorio
Dr. Donato Santoro

e lo staff di gestione dell'impianto.

www.amracenter.com