LUCIO ZACCARIELLO - CURRICULUM VITAE

Il Dott. Lucio Zaccariello, nato a Napoli il 30/05/1976, si è laureato nel 2005 in Scienze Ambientali e nel 2006 in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio presso la Facoltà di Scienze Ambientali della Seconda Università degli Studi di Napoli (SUN), discutendo rispettivamente tesi sperimentali dai titoli: *"Fenomeni di Interazione Fluido–Particella in Reattori a Letto Fluidizzato"* e *"Efflusso di Solidi da Reattori a Letto Fluidizzato"*.

Nel 2010 ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in "*Analisi dei Rischi, Sicurezza Industriale e Prevenzione nei luoghi di Lavoro"*, presso la SUN, discutendo una tesi sperimentale dal titolo: *"Tecniche di Pulizia di Syngas Ottenuto da Gassificazione a Letto Fluido di Rifiuti Solidi"*.

Nel 2010, a seguito di procedura di valutazione comparativa, risulta vincitore di un posto di Ricercatore Universitario per il settore scientifico disciplinare ING–IND/25 "Impianti Chimici" presso la Facoltà di Scienze del Farmaco per l'Ambiente e la Salute (già Facoltà di Scienze Ambientali) della SUN (D.R. n. 2853 del 17/12/2010). Il Dott. Zaccariello assume servizio presso la suddetta Facoltà il 27 dicembre 2010 e afferisce (D.R. n. 513 del 2/03/2011), successivamente, al Dipartimento di Scienze Ambientali (ora Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali, Biologiche e Farmaceutiche; DiSTABiF). Attualmente è ricercatore confermato presso il DiSTABiF.

A. ATTIVITÀ SCIENTIFICA SVOLTA NEL TRIENNIO DI CONFERMA

L'attività scientifica svolta dal Dott. Lucio Zaccariello si è focalizzata principalmente sullo studio delle problematiche connesse all'impiego dei reattori a letto fluido nell'impiantistica chimica. Sono stati studiati, in particolare, i principali aspetti legati alle prestazioni ottenibili dai combustori, gassificatori e pirolizzatori a letto fluido bollente alimentati con materiali diversi (dalle plastiche poliolefiniche alle biomasse, dai rifiuti plastici ai più importanti combustibili derivati da rifiuti) e in particolare quelli relativi alla pulizia del syngas dai contaminanti in esso contenuti che rappresentano il principale ostacolo tecnologico allo sviluppo del processo di gassificazione.

Tale attività di ricerca si è sviluppata principalmente nell'ambito di collaborazioni con Università ed Enti di ricerca italiani e stranieri, nonché con Aziende attive su problematiche energetiche ed ambientali. Si citano quelle con:

- Institute for Water Quality, Resources and Waste Management - Vienna University of Technology;
- Institute of Process Engineering and Power Plant Technology IVD - University of Stuttgart;
- Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli;
- Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica - Politecnico di Milano;
- Istituto di Ricerche sulla Combustione – CNR, Napoli;
- CONAI - Consorzio Nazionale degli Imballaggi;
- Ansaldo Energia spa;
- EcoEngineering Impianti srl;
- Amadori spa;
- AMRA scarl;
- Dalma Mangimi srl;
- E-Vento Acqua srl.

L'attività di ricerca, di seguito descritta schematicamente, è suddivisa in alcune tematiche fondamentali.

A1. GASSIFICAZIONE A LETTO FLUIDO DI POLIMERI PLASTICI

Il principale ostacolo tecnologico allo sviluppo dei processi di gassificazione di rifiuti è la pulizia del syngas dai contaminanti in esso contenuti sino a livelli compatibili con il suo specifico utilizzo.

Uno dei problemi principali che si incontrano nei sistemi di utilizzo del syngas è la condensazione dei tar con formazione di aerosol e in alcuni casi polimerizzazione di strutture più complesse che determinano danni nelle apparecchiature di processo ed in quelle per l'utilizzo finale del syngas.

Recenti studi sulla gassificazione a letto fluido delle biomasse hanno indicato che l'utilizzo di olivina naturale come materiale del letto può avere un ruolo nel controllo del contenuto di tar nel gas prodotto. Partendo da questi studi l'obiettivo dell'attività di ricerca è stato quello di comprendere il ruolo dell'olivina naturale come agente di decomposizione primaria del tar durante la gassificazione a letto fluido di scarti di polimeri poliolefinici derivati da imballaggi post-consumo.

Si è riscontrato che il magnesio e il ferro, entrambi largamente presenti nelle particelle di olivina, attivano le reazioni di decomposizione endotermica dei frammenti di idrocarburi che sono i primi precursori del tar. Il magnesio favorisce cataliticamente le reazioni di

deidrogenazione e di isomerizzazione dei frammenti di idrocarburi prodotti dal craking termico, mentre il ferro promuove le reazioni di deidrogenazione/carbonizzazione. Il risultato finale di queste reazioni in serie/parallelo è la drastica riduzione dei tar nel syngas prodotto e la crescita notevolissima della concentrazione di H_2 e CO. Sono stati anche individuati due distinti meccanismi di disattivazione del catalizzatore:

- per "mascheramento" della superficie dello stesso causata dal carbonio prodotto dalla reazione di carbonizzazione;
- per elutriazione dal reattore del ferro e del magnesio contenuti nelle particelle di olivina sotto forma di complessi Fe-C e Mg-C che si formano durante il processo di gassificazione.

In altri termini, il cracking dei catrami è così efficiente ed intenso da produrre una notevole quantità di carbonio solido che si deposita come uno strato sottile sulla superficie delle particelle di olivina, arrivando a determinarne la disattivazione. È stato proposto un algoritmo che permette di valutare la portata di olivina da rimuovere e quella fresca da aggiungere al reattore per mantenere condizioni di regime stazionario e una efficiente riduzione in-situ del tar durante il processo di gassificazione.

A2. GASSIFICAZIONE A LETTO FLUIDO DI COMBUSTIBILI DERIVATI DA RIFIUTI (CDR)

L'interesse crescente verso i diversi combustibili non-convenzionali, ha portato il Dott. Zaccariello ad occuparsi dell'utilizzo dei più diffusi di tali materiali (combustibili derivati da rifiuti urbani, agglomerati di plastiche miste e combustibili derivati da rifiuti di imballaggi) utilizzati in reattori a letto fluido per recuperarne energia e materia attraverso il processo di gassificazione.

Il reattore è stato esercito sotto diverse condizioni sperimentali per ottenere informazioni sul ruolo dei principali parametri operativi (rapporto di equivalenza e tipo di materiale del letto) sulle prestazioni del processo, e in particolare, sulla formazione e decomposizione dei tar.

L'analisi dei risultati delle prove con questi combustibili derivati da rifiuti indica che:

- Il contenuto di tar nel syngas è a metà strada tra i valori molto alti ottenuti con rifiuti poliolefinici in letti di sabbia quarzifera e quelli nulli ottenuti con i rifiuti poliolefinici in letti di olivina;
- Il contenuto di idrogeno è simile a quelli trovati con rifiuti poliolefinici in letti di sabbia quarzifera.

Se ne può dedurre che l'attività catalitica dell'olivina non è presente o lo è solo parzialmente durante la gassificazione con aria di questi combustibili. E' probabile che il supporto catalitico al cracking e all'isomerizzazione sia sempre attivo, in modo che i frammenti più pesanti siano spezzati e si formi un certo quantitativo di idrocarburi insaturi a due o tre atomi di carbonio. Al contrario, l'azione catalitica del ferro che favorisce le reazioni di deidrogenazione e di carbonizzazione è assente, così che il contenuto di idrogeno rimane basso e la formazione del tar non è inibita. Queste conclusioni sono confermate dai risultati delle analisi delle ceneri raccolte al ciclone: il ferro, che è ampiamente presente nei test con i rifiuti poliolefinici, è sostanzialmente assente nei test di gassificazione con le plastiche miste di varia origine. Queste evidenze sperimentali sono confermate indirettamente dall'assenza di carbonio sulla superficie delle particelle di olivina nelle prove con gli agglomerati di plastiche.

Questi dati supportano ulteriormente l'ipotesi che avvengono solo le reazioni che portano alla formazione di idrocarburi a basso peso molecolare mentre sono inibite quelle di aromatizzazione e di carbonizzazione. Una possibile spiegazione è che l'azione catalitica determinata dal magnesio è quasi completamente sviluppata. D'altro canto, l'azione catalitica dovuta al ferro, viene inibita o fortemente limitata. Questi effetti potrebbero essere dovuti alla presenza dei seguenti elementi nei combustibili:

- Metalli ferrosi e non ferrosi nelle ceneri che potrebbero agire come competitors del ferro delle particelle di olivina;
- Elementi come zolfo e cloro che potrebbero agire come veleni nei confronti dei siti attivi ferrosi;
- Elevato contenuto di ossigeno che potrebbe impedire la riduzione del ferro dell'olivina o può generare CO il quale, a sua volta, si lega al ferro formando diversi tipi di carbonili: in entrambi i casi, l'attività catalitica del ferro è inibita.

È possibile che uno o più di questi tre eventuali effetti inibenti possono determinare una completa o parziale disattivazione dell'olivina.

In definitiva l'attività catalitica dell'olivina è stata confermata con le diverse plastiche poliolefiniche utilizzate ma, sinora, non si sono invece trovate le condizioni per attivare la stessa azione catalitica con gli agglomerati di plastiche miste e dei diversi CDR. Tali materiali sono risultati comunque gassificabili con buone prestazioni, producendo un syngas di qualità utile ad applicazioni commerciali.

Le conoscenze acquisite nelle campagne sperimentali su indicate hanno consentito di svolgere studi riguardanti la valutazione delle prestazioni ambientali, energetiche ed

economiche per le applicazioni industriali, in diverse configurazioni impiantistiche, dei processi di gassificazione e combustione a letto fluido di rifiuti.

Gli studi in questo settore sono stati condotti nell'ambito di contratti e progetti finanziati dall'AMRA scarl, dal CONAI e dalla DALMA MANGIMI srl.

A partire dal 2008, nell'ambito dei progetti di ricerca europei CO.CA.CO.R.K. prima e FLEXGAS poi, Ansaldo Energia ha commissionato al Dipartimento di Scienze Ambientali una serie di test di co-gassificazione di diversi combustibili.

La formazione di composti carboniosi (presenti come particolato fine e tar) è strettamente correlata alla struttura e alla composizione del combustibile. In particolare, la gassificazione di alcuni combustibili produce una grande quantità di soot, mentre quello di altri genera una grande quantità di tar. Questo ha suggerito di esaminare la possibilità di alimentare nel reattore una combinazione di diversi combustibili poiché la possibile sinergia tra i loro prodotti intermedi può portare a migliorare le prestazioni del processo in termini di minori perdite di carbonio (fini carboniosi e tar), maggiore energia chimica del syngas e ridotti costi di investimento e di gestione della sezione di pulizia del syngas. A tal fine, è stata studiata sperimentalmente la fattibilità tecnica della co-gassificazione di carbone, legno e rifiuti plastici. Complessivamente, a partire da questi tre composti, sono state messe a punto sette diverse miscele impiegate nei test di gassificazione (progetto europeo CO.CA.CO.R.K.). I buoni risultati hanno incoraggiato a proseguire nella sperimentazione (progetto europeo FLEXGAS) perché alcune delle caratteristiche di un combustibile (ad es., l'elevato contenuto energetico delle plastiche) si combinavano bene con quelle degli altri (ad es., la bassa produzione di Idrocarburi Policiclici Aromatici della biomassa e del carbone). Al fine di trovare le migliori condizioni di esercizio per il processo di co-gassificazione di una miscela costituita dal 30% di plastica, 20% legno e 50% carbone sono stati eseguiti una serie di test sperimentali per valutare gli effetti dei principali parametri operativi (materiale del letto, agente gassificante, rapporto di equivalenza, etc.) sulle prestazioni del processo di gassificazione (progetto europeo FLEXGAS).

Lo studio del processo di co-gassificazione è proseguito grazie al supporto economico ottenuto nell'ambito dei Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN 2008 cod. 2008S22MJC_004). In tale occasione sono stati eseguiti una serie di test di co-gassificazione (utilizzando come combustibile la stessa miscela selezionata nel progetto FLEXGAS) per valutare l'effetto dell'utilizzo di aria arricchita in ossigeno come agente gassificante e il comportamento termochimico di questi tre composti in ambiente di gassificazione.

A3. GASSIFICAZIONE A LETTO FLUIDO DI BIOMASSE LIGNEE DI VARIA ORIGINE

Il Dott. Zaccariello nel 2008, utilizzando il reattore a letto fluido bollente in scala pre-pilota, nell'ambito della convenzione stipulata dal Dipartimento di Scienze Ambientali con Ansaldo Energia, ha iniziato lo studio della gassificazione di biomasse. Tale attività è proseguita nell'ambito della preparazione della tesi di Dottorato di Ricerca e di convenzioni con il CONAI, E-Vento Acqua e CHEMTEXT Italia con test effettuati con il reattore in scala pilota utilizzando pellet e cippato di legno di varia origine.

Le prestazioni dell'impianto pilota con questi materiali sono state in genere molto positive. I risultati migliori si sono ottenuti con pellet legno naturale: benché si tratti di un combustibile a basso potere calorifico se confrontato con quelli da imballaggi plastici e benché quindi l'energia specifica ottenibile dal syngas sia limitata, la biomassa naturale gassifica con buona efficienza e, soprattutto, producendo limitati ammontari tar. Si produce un syngas con buoni livelli di idrogeno e con discreti tenori di metano e di idrocarburi a due atomi di carbonio, che quindi risulta particolarmente adatto alla produzione di energia elettrica, ad esempio attraverso il suo impiego in motori endotermici.

Si osserva in particolare che, nelle prove con letto di olivina, la biomassa naturale fornisce valori discreti di CH_4 e C_2H_m, pur con bassi tenori di tar e senza che si verifichi mai una copertura, anche parziale, del materiale del letto con fini carboniosi. Questi dati suggerirebbero che con la biomassa l'olivina abbia principalmente un'azione catalitica nei confronti delle reazioni di cracking degli idrocarburi ad alto peso molecolare senza agire positivamente sulle reazioni di carbonizzazione.

I buoni risultati ottenuti nell'ambito della gassificazione di biomasse lignee hanno portato a finanziamenti da parte della società E-Vento Acqua, tramite EcoEngineering Impianti, per la progettazione di un reattore a letto fluido bollente a biomassa naturale da 1 MW elettrici. I risultati dei test di gassificazione, eseguiti dal Dott. Zaccariello durante la fase di start-up del gassificatore in scala commerciale di E-Vento Acqua (nell'ambito di convenzioni stipulate tra E-Vento Acqua e il DiSTABiF), saranno a breve termine pubblicati su una rivista internazionale di rilievo.

A4. GASSIFICAZIONE A LETTO FLUIDO DI BIOMASSE DI ORIGINE ANIMALE

Negli ultimi anni, l'intensa crescita della domanda dei prodotti zootecnici (carne, latte, uova, etc.) ha determinato un'espansione del mercato dell'industria alimentare. In particolare, il settore avicolo italiano, uno dei più grandi produttori di carne e di uova in

Europa, parallelamente all'aumento della richiesta di questi prodotti, ha visto aumentare la produzione dei residui zootecnici (pollina) e quindi la necessità di dover affrontare il problema di un adeguato smaltimento di questi rifiuti.

Il conferimento in discarica e lo spandimento sui campi della pollina sono state le soluzioni tradizionali di smaltimento e utilizzo fino all'inizio degli anni 2000. La necessità di un trattamento adeguato di agenti patogeni e dei metalli pesanti contenuti negli escrementi, nonché quella di evitare potenziali effetti di eutrofizzazione, hanno spinto la comunità europea a formulare norme ambientali più restrittive.

I processi di conversione biochimica (compostaggio e digestione anaerobica) e termochimica (combustione e gassificazione) sono stati recentemente identificati come possibili migliori opzioni di gestione dei residui zootecnici del settore avicolo.

Il Dott. Zaccariello, prendendo spunto dalla problematica succitata, ha eseguito una campagna sperimentale volta a determinare la fattibilità e le migliori condizioni di esercizio per lo smaltimento e il recupero di energia dalla gessificazione a letto fluido della pollina. I risultati hanno mostrato che il processo gassificazione della pollina è tecnicamente fattibile, anche se richiede una sua caratterizzazione preliminare accurata (principalmente, potere calorifico, umidità e ceneri), per evitare problemi operativi, principalmente dovuti alla formazione di ceneri bassofondenti e quindi di agglomerati nel letto del reattore, e per ottimizzare la conversione dell'energia del residuo zootecnico.

I buoni risultati ottenuti si sono concretizzati nella progettazione di un impianto di gassificazione a pollina da 200 MW elettrici per il Gruppo Amadori.

A5. PROGETTAZIONE DI IMPIANTI CONNESSA AELL'ATTIVITÀ DI RICERCA

L'attività sperimentale ha avuto inizio collaborando alla progettazione degli impianti in scala da laboratorio e pre-pilota della Facoltà di Scienze Ambientali e dell'impianto di gassificazione a letto fluido bollente in scala pilota "FluGas" dell'AMRA scarl.

Il Dott. Zaccariello ha collaborato alla progettazione di impianti per il recupero di materia ed energia da materiali diversi. L'attività di progettazione del Dott. Zaccariello è stata eseguita nell'ambito di convenzioni stipulate tra la SUN ed enti pubblici e privati. Di seguito si indicano i principali progetti a cui ha collaborato:

- Impianto di gassificazione a letto fluido bollente alimentato con cippato di legno naturale. L'impianto è stato realizzato per la produzione di 1MW di energia elettrica (mediante due motori endotermici) e per la produzione di energia termica per il

teleriscaldamento di edifici pubblici (Municipio, scuole, palestra, ospedale, etc.) ed abitazioni.

L'impianto è di proprietà della società Castiglione BioEnergie srl (controllata di E-Vento Acqua srl) ed è sito nel Comune di Castiglione dei Pepoli (Bologna).

Attualmente Il Dott. Zaccariello è il responsabile scientifico per lo sviluppo impiantistico e di processo dell'impianto di gassificazione.

- Impianto di digestione anaerobica della Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano (FORSU). L'impianto, in grado di trattare 40.000t/anno di FORSU, prevede la realizzazione di 14 moduli (1050m^3/modulo) e 8 biocelle per la maturazione del digestato (1050m^3/modulo), sistema di depurazione dell'aria per l'abbattimento delle sostanze odorigene, due motori endotermici per la produzione di energia elettrica dal biogas prodotto durante il processo di digestione anaerobica.

  Il progetto, in fase di assegnazione di gara, è stato realizzato in ordine alla Legge N° 1 del 24 gennaio 2011 che istituisce la figura dei Commissari Straordinari per espletare le gare per la realizzazione e la gestione di digestori anaerobici per il trattamento della FORSU della Regione Campania.

  L'impianto verrà realizzato nel Comune di Santa Maria Capua Vetere (Caserta).
- Impianto di gassificazione di pollina con recupero energetico di taglia pari a 200kWe da localizzarsi presso gli stabilimenti della AMADORI spa.
- Impianto di vetrificazione di rifiuti NORM e TENORM misti a rifiuti petrolchimici per la bonifica dei siti dismessi dell'ENI di Porto Torres.