

CURRICULUM VITAE ET STUDIORUM

Nome: **Salvatore Vaccaro**

Da novembre 2000 a tutt'oggi. Professore universitario di II fascia per il SSD ING-IND/27 (Chimica Industriale e Tecnologica) presso la Facoltà di ingegneria dell'Università di Salerno. In tale ruolo egli è docente dei corsi di "Gestione dei processi per l'Ambiente e la Sicurezza" e "Principi di Chimica Industriale" e del corso di "Sicurezza e Protezione Ambientale dei Processi Chimici" per il corso di laurea specialistica in Ingegneria Chimica ed Ingegneria Alimentare. In questo periodo egli è anche stato docente dei corsi di "Trattamento degli Effluenti" e di "Chimica Industriale Alimentare" per i corsi di laurea in Ingegneria Chimica e di laurea specialistica in Ingegneria Chimica ed in Ingegneria Alimentare.

Ottobre 1999. Docente supplente per l'A.A. 1999-00 del corso di "Chimica Industriale II" della Facoltà d'ingegneria dell'Università di Salerno e docente supplente del corso di "Laboratorio di Processi e Impianti Industriali Chimici" della Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università di Napoli "Federico II".

Da Novembre 1997 ad Ottobre 1999. Docente supplente del corso di "Processi di Trattamento di Effluenti Inquinanti" della Facoltà di ingegneria dell'Università di Salerno, sede di Avellino.

Da Novembre 1993 ad Ottobre 1999. Docente supplente del corso di "Laboratorio di Processi e Impianti Industriali Chimici" della Facoltà di Scienze dell'Università di Napoli "Federico II".

Da Novembre 1991 a Ottobre 1993. Docente supplente del corso di "Laboratorio di Operazioni Fondamentali della Chimica Industriale" della Facoltà di Scienze dell'Università di Napoli "Federico II".

da Luglio 1985 a Giugno 1986: Ha usufruito di una borsa di studio per Ricercatori universitari bandita da LASPAU-SIFP (Latin American Fellowship Program of American Universities - Southern Italy Fellowship Program) per svolgere attività di ricerche presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'IIT (Illinois Institute of Technology) - Chicago.

Il prof. Vaccaro non ha conseguito il titolo di dottore di ricerca perché il primo concorso nell'Università italiana per l'accesso al dottorato è stato bandito quando egli era già risultato vincitore del concorso a ricercatore universitario e, com'è noto, i ricercatori non possono partecipare ai corsi di dottorato.

Da Maggio 1984 a Ottobre 2000: Ricercatore universitario per il SSD I15C (Impianti Chimici) presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Napoli "Federico II".

da Luglio 1983 ad Aprile 1984: Ricercatore ENEA presso il Dipartimento FARE (Fonti Alternative e Risparmio Energetico).

da Marzo 1980 a Giugno 1983: Borsista ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile). Ha svolto ricerche sulla rimozione di fuliggine ed il recupero di calore dagli scarichi Diesel presso l'Istituto di Chimica Industriale e Impianti Chimici dell'Università di Napoli.

da Marzo 1980 a Settembre 1981: Ha prestato servizio militare di leva nella Marina Militare Italiana.

Gennaio 1980: Laureato in Ingegneria Chimica presso l'Università di Napoli con 110/110 e lode. Titolo della tesi: "Trattamento degli scarichi di un motore Diesel in letto fluido", svolta presso l'Istituto di Chimica Industriale e Impianti Chimici dell'Università di Napoli, sotto la supervisione del prof. Leopoldo Massimilla. Per il lavoro di tesi ha ricevuto un premio di studio dell'A.T.A.

Luglio 1974: Ha conseguito il Diploma di licenza liceale.

CURRICULUM DELL'ATTIVITÀ SCIENTIFICA.

Attività scientifica

Tutta l'attività è stata indirizzata, sia dal punto di vista della ricerca di base che della ricerca applicata, allo studio delle problematiche ingegneristiche di processi di rilevante interesse nel campo energetico ed in quello ambientale. In particolare, i principali temi sviluppati sono:

- a) DISPOSITIVI DI CONTATTO TRA PARTICELLE SOLIDE E GAS MEDIANTE GETTI SOMMERSI IN LETTI FLUIDIZZATI.
- b) TRATTAMENTO DI GAS CALDI CONTENENTI PARTICOLATI SOLIDI MEDIANTE FILTRI-SCAMBIATORI A LETTO FLUIDO.
- c) PROCESSI DI POST-COMBUSTIONE TERMICA E CATALITICA DI PARTICOLATI FULIGINOSI.
- d) STUDIO DELLA REATTIVITÀ DI CARBONI, DI BIOMASSE E DI LORO MISCELE.
- e) STUDIO DEI RISCHI DERIVANTI DA ATTIVITÀ INDUSTRIALI O CIVILI
- f) STUDIO DI MICROREATTORI CATALITICI STRUTTURATI PER LA GENERAZIONE DI IDROGENO.

Altri temi trattati, di minore rilevanza, sono stati:

- g) RECUPERO DI CALORE DA MATERIALE CERAMICO.
- h) STUDIO DELL'OSSIDAZIONE FOTOCATALITICA SELETTIVA DI CICLOESANO A BENZENE.

Descrizione delle attività relative ai vari temi.

Tema a) DISPOSITIVI DI CONTATTO TRA PARTICELLE SOLIDE E GAS MEDIANTE GETTI SOMMERSI IN LETTI FLUIDIZZATI.

Lo studio di questi dispositivi risulta fondamentale per la progettazione di sistemi di iniezione di gas e di linee di alimentazione pneumatica di solidi dispersi in letti di solido fluidizzato nonché per lo sviluppo di processi in letto fluido riguardanti reazioni chimiche eterogenee veloci. L'interesse per tale tipo di studio è stato determinato dalla domanda di speciali distributori per applicazioni energetiche quali combustione e gassificazione di carbone.

L'attività è stata volta alla realizzazione di esperienze utili alla comprensione dei meccanismi di scambio tra i getti ed il solido fluidizzato, alla modellazione matematica di questi ed alla risoluzione numerica delle equazioni che li governano. Le ricerche svolte hanno riguardato la formazione e la dispersione di getti turbolenti in letti di solido fluidizzato utilizzando dapprima apparecchiature da laboratorio con letti di geometria bidimensionale piana e con pareti trasparenti e, successivamente, impianti pre-pilota con letti di geometria cilindrica di 350 mm di diametro attrezzati con getti fino a 25 mm di diametro.

In tale contesto, mediante tecniche di indagine basate su misure di pressione statica e dinamica, sono state determinati i profili radiali ed assiali di velocità del gas nel getto e, mediante cinematografia rapida, i profili di velocità del solido granulare all'interno ed all'esterno del getto. Tali misure hanno permesso di valutare le frequenze di ricambio del solido nella zona del getto e le velocità di scambio di quantità di moto tra il getto ed il letto.

È stata poi messa a punto una tecnica sperimentale basata su misure simultanee della pressione relativa istantanea in più punti dell'apparecchiatura. Tale tecnica ha consentito di rilevare le frequenze

dominanti e le velocità di propagazione delle fluttuazioni di pressioni indotte dai getti nel mezzo. Un'approfondita analisi dei risultati sperimentali di propagazione e smorzamento dei segnali di pressione e l'effettuazione di alcune prove critiche hanno condotto al riconoscimento dei fenomeni in questione come onde dinamiche di grado di vuoto e delle fluttuazioni di pressione come fenomeni indotti dai primi.

Gli studi hanno comportato, oltre alle indagini sperimentali, complesse modellazioni teoriche in quanto solo in parte, ed in certe condizioni, le teorie dell'immissione di getti di gas in altri gas possono essere estese all'iniezione di gas in letti fluidi di particelle solide.

La tecnica sperimentale, basata su misure simultanee di pressione relativa in più punti dell'apparecchiatura, è stata estesa alla valutazione delle lunghezze di penetrazione di getti di varia sezione e velocità in letti di solidi diversi. Specificamente, oltre all'acquisizione simultanea dei segnali di pressione relativa sull'asse del getto e sulla parete dell'apparecchiatura, la tecnica prevede la loro elaborazione al fine di ottenere la distanza dall'ugello alla quale i disturbi attribuibili al getto diventano trascurabili rispetto ai disturbi generati dai fenomeni tipici del letto.

Le attività di ricerca nell'ambito di questo tema sono state svolte presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli e presso l'Istituto di Ricerche sulla Combustione del CNR di Napoli. Esse sono state prevalentemente finanziate dal Progetto Finalizzato Energetica 2.

Una parte dei risultati relativi a questo tema è stata incorporata nella progettazione di un combustore a letto fluido bollente realizzato presso la centrale ENEL di Livorno dall'ENEL-CRTN di Pisa.

Tema b) TRATTAMENTO DI GAS CALDI CONTENENTI PARTICOLATI SOLIDI MEDIANTE FILTRI-SCAMBIATORI A LETTO FLUIDO.

La ricerca ha tratto la sua origine dal problema dello sporco delle superfici di scambio di dispositivi convenzionali di recupero di calore dagli scarichi di motori Diesel impiegati per la cogenerazione di energia termica ed elettrica-o-meccanica. La soluzione al problema è stata individuata nell'impiego di un dispositivo di scambio termico a letto fluido che consente da un lato di eliminare lo sporco delle superfici di scambio termico e dall'altro di assolvere ad una seconda ma non meno importante funzione. Nella stessa apparecchiatura, infatti, sono simultaneamente realizzate la separazione fisica del nerofumo dai gas raffreddati ed il recupero di calore attraverso superfici di scambio. Sono state realizzate tre apparecchiature, i cui letti fluidi erano di sezioni 0,0177 m², 0,1 m² e 0,3 m². Esse sono state asservite a tre gruppi di cogenerazione mossi da motori Diesel di 5, 60 e 200 kW elettrici ed hanno consentito un recupero termico di 3, 40 e 130 kW termici, rispettivamente. Il filtro-scambiatore, con letto di 0,3 m² di sezione, ha le caratteristiche di un impianto dimostrativo ed è in servizio da circa 20 anni presso un'azienda tessile (Pettinatura Europa) del biellese. I risultati ottenuti in questo impianto sono tali da poter consentire di intraprendere con ragionevole fiducia il passaggio dalle scale di motori Diesel medio-piccole a quelle per grandi motori.

Differenti sperimentazioni sono state possibili alle tre scale di impianto su indicate. Gli studi svolti hanno riguardato i vari stadi controllanti il recupero di calore e la separazione del particolato fuliginoso: dall'iniezione in letti di sabbia dei gas di scarico contenenti nerofumo di dimensioni microniche e sub-microniche, alla sua deposizione sulle superfici di scambio e sulla sabbia, al distacco per abrasione di particelle carboniose di dimensioni sufficientemente grandi da poter essere separate dai gas mediante cicloni ad alta efficienza. Si è in particolare indagato sulle modalità d'interazione tra i getti di gas iniettato ed il letto fluido, sui meccanismi di cattura della fuliggine (per impatto, per intercettazione, per moto browniano), nonché sul ruolo esercitato nel consolidamento della fuliggine captata dalle fasi condensabili costituite dal gasolio e dai suoi prodotti di ossidazione parziale.

Un'adeguata formulazione dell'equazione dell'energia è stata necessaria per la progettazione e la messa a punto di un distributore a bracci con ugelli per l'immissione di gas sporchi nel letto fluido. Le sue prestazioni dovevano essere tali da garantire un flusso uniforme alla serie di ugelli, una velocità di scarico abbastanza alta da attivare la captazione per impatto, ma non tanto da erodere le pareti dell'apparecchiatura o i tubi di scambio termico e, infine, una temperatura di scarico sufficientemente elevata da evitare locali condensazioni ed ostruzioni. Utilizzando le conoscenze acquisite relativamente ai meccanismi di scambio ed alla fluidodinamica del sistema, è stato formulato un modello predittivo, valido in condizioni stazionarie, che consente di valutare l'efficienza di cattura del

particolato da parte del letto di solido fluidizzato. Il modello è derivato nell'ipotesi della fluidizzazione a due fasi solitamente accettata nella teoria dei reattori a letto fluido. Si è altresì elaborato un modello descrittivo del transitorio del carico di fuliggine nel letto a partire dalla condizione di solido non ricoperto. Tale modello è stato verificato utilizzando i dati sperimentali ottenuti con tre tipi di solido differenti per dimensioni, forme e densità delle particelle.

L'attività di ricerca relativa a questo tema è stata sviluppata presso l'Istituto Motori del CNR di Napoli, presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli e presso l'Istituto di Ricerche sulla Combustione del CNR di Napoli sotto la direzione del Prof. Leopoldo Massimilla. Le attività sono state finanziate con fondi provenienti dal Centro Ricerche FIAT, dalla legge speciale 183 di incentivo alla ricerca nel mezzogiorno tramite il progetto "Combustione ed Emissione nei Motori Diesel e Relativi Effetti sulla Salute" ed in particolare il sottoprogetto "Trattamento degli scarichi". Ulteriori finanziamenti sono stati forniti dall'ENEA tramite una convenzione con il Dipartimento di Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli il cui responsabile scientifico è stato il prof. Vaccaro.

La notevole conoscenza degli aspetti fondamentali e di alcune applicazioni dei letti fluidizzati, acquisita dal prof. Vaccaro attraverso le attività relative ai temi a) e b) sopra descritti, ha avuto significativi riconoscimenti e dal fatto che egli è da molti anni revisore ufficiale della rivista "*Powder Technology*".

Tema c) POST-COMBUSTIONE TERMICA E CATALITICA DI PARTICOLATO FULIGGINOSO *Post-combustione termica.*

L'indagine sul recupero di calore ed il disinquinamento dei gas di scarico di motori Diesel, già effettuata nell'ambito del precedente tema di ricerca, è stata sviluppata nella direzione del trattamento per post-combustione termica della fuliggine con successivo recupero del calore di motori Diesel di grande potenza. Specificamente, utilizzando le conoscenze disponibili sui fenomeni di scambio gassoso all'intorno ed all'interno di aggregati di particelle di nerofumo e, soprattutto, sulle cinetiche di combustione, sono stati progettati gli elementi essenziali di un post-combustore asservito ad una caldaia di recupero di calore dai fumi di scarico di due motori Diesel da 12,5 MW ciascuno, utilizzati nella centrale di Brescia Nord dell'Azienda dei Servizi Municipalizzati di Brescia (ASM) per la cogenerazione di energia termica ed elettrica. Il post-combustore ha eliminato le emissioni di particolati fuliginosi ed ha consentito di mantenere pulite le superfici di scambio della caldaia.

Il post-combustore è situato nel condotto di scarico del motore a monte della batteria di scambiatori. Esso utilizza come comburente i gas di scarico del motore e come combustibile metano iniettato all'ingresso dell'apparecchiatura. La post-combustione termica consente di eliminare i composti nocivi, di ripulire i gas di scarico dalle sostanze tendenti a formare depositi sulle superfici di scambio e, infine, di ampliare la risposta del sistema alla domanda di energia termica, che altrimenti sarebbe rigidamente fissata dalle prestazioni del motore.

L'attività di ricerca relativa a questo sottotema è stata sviluppata presso l'Istituto di Ricerche sulla Combustione del CNR di Napoli. Le ricerche sono state finanziate dalla ex ASM (ora incorporata in A2A) di Brescia.

Post-combustione catalitica.

L'indagine sul disinquinamento dei gas di scarico di motori Diesel è stata sviluppata anche nella direzione del trattamento dei gas per post-combustione catalitica delle sostanze carboniose presenti in essi. Tale soluzione risulta particolarmente indicata nel caso di motori Diesel per autotrazione di potenza medio-piccola. La post-combustione catalitica è stata anche studiata in vista della sua applicazione per l'abbattimento parziale o totale delle ceneri presenti negli scarichi di centrali elettriche ad olio combustibile. Queste ultime, infatti, al contrario di quelle generate dalla combustione di carbone risultano ricche di carbonio (fino all'80% in peso).

Il lavoro di ricerca nell'ambito di questo tema è stato dapprima indirizzato alla preparazione di vari catalizzatori su supporto di allumina i quali si differenziano l'uno dall'altro per la composizione e per i trattamenti termici a cui sono sottoposti. L'attività dei catalizzatori è stata rilevata attraverso analisi termogravimetriche e calorimetriche di campioni ottenuti mescolando fuliggine, proveniente da processi di combustione in fiamme e/o in motori Diesel, al catalizzatore supportato. Si è così giunti alla formulazione ed alla brevettazione di un catalizzatore per l'ossidazione della fuliggine, che è in

grado di abbassare di circa 300°C la temperatura di ignizione e di combustione della stessa. La specificità di tale catalizzatore, a base di composti di rame, vanadio e potassio, trae origine dalla sua capacità di essere attivo direttamente nei riguardi della matrice carboniosa della fuliggine al contrario di altri catalizzatori, proposti in letteratura, che, mutuati dalle applicazioni nel campo dei motori a benzina, sono a base di metalli nobili ed esplicano la loro azione essenzialmente verso gli idrocarburi presenti nei gas o adsorbiti sulla fuliggine.

Dopo la selezione del catalizzatore, la ricerca è stata orientata da un lato alla sua caratterizzazione per l'individuazione dei composti attivi ai fini dell'ossidazione e dall'altro allo studio della cinetica di combustione catalitica del particolato carbonioso. La struttura del catalizzatore è stata esaminata mediante analisi diffrattometriche ai raggi X, FTIR e spettrofotometriche in assorbimento ed emissione che hanno consentito di individuare alcune fasi responsabili dell'attività catalitica. La cinetica di ossidazione del particolato in presenza di catalizzatore è stata definita mediante prove di reazione condotte in un microreattore differenziale in flusso inserito in un forno termostato. Si è così valutata la dipendenza della velocità di reazione dai parametri rilevanti (concentrazione di ossigeno nei gas; temperatura di reazione; rapporto di massa catalizzatore/fuliggine). Tali risultati, accoppiati a quelli di prove di desorbimento a temperatura programmata che hanno fornito l'estensione della superficie attiva ai fini della reazione, hanno condotto alla formulazione di un modello cinetico utile per la progettazione di dispositivi di filtrazione e post-combustione della fuliggine. Il modello si differenzia nei casi di valori bassi del rapporto di massa fuliggine/catalizzatore, quando il modello risulta semplice non prevedendo segregazione della fuliggine, e di valori alti del suddetto rapporto, quando sono evidenti effetti di segregazione di parte della fuliggine. In questo caso il modello prevede un ingresso differenziato delle varie porzioni di materiale carbonioso inizialmente segregato alla zona di reazione e, conseguentemente, consente di valutare il contributo di ciascuna frazione alla conversione globale.

L'attività di ricerca si è ulteriormente sviluppata mediante la preparazione di filtri ceramici catalitici e la verifica delle loro prestazioni nel trattamento dello scarico di sistemi di combustione quali motore diesel su banco prova (presso l'Istituto Motori del CNR, Napoli) e bruciatore a gasolio. Per quanto riguarda quest'ultimo, è stato realizzato e messo a punto un impianto sperimentale in cui un bruciatore a gasolio è impiegato per generare la corrente di scarico da trattare. Questa è inviata al filtro catalitico che opera in condizioni controllate di temperatura e di portata. I sistemi in questione hanno consentito di verificare le prestazioni di vari filtri differenti per tipo di supporto e per le modalità di preparazione. Inoltre, le prove condotte in condizioni più prossime a quelle di utilizzo reale del filtro catalitico hanno permesso di evidenziare il ruolo notevole svolto durante il processo di ossidazione della fuliggine da sostanze presenti nei fumi in concentrazioni non elevate quali ossidi d'azoto, ossidi di zolfo e vapore acqueo.

L'attività di ricerca relativa a questo sottotema è stata iniziata presso il Dipartimento di Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli ed è proseguita presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica e Alimentare (DICA) dell'Università di Salerno. Le ricerche sono state finanziate con fondi MURST, con fondi di contratti con l'ENEL-CRTN e con fondi del progetto finalizzato PFT2 del CNR.

Tema d) STUDIO DELLA REATTIVITÀ DI CARBONI, DI BIOMASSE E DI LORO MISCELE.

Questo tema è incentrato sullo studio di alcuni aspetti della combustione di carbone. Per un paese come l'Italia in cui nessuno dei combustibili fossili è presente in misura significativa, l'impiego di tale combustibile può essere una alternativa economica e strategica all'uso degli altri combustibili fossili. Tuttavia, come noto, la sua combustione presenta difficoltà superiori e genera un carico di inquinanti decisamente maggiore per cui la ricerca aiuta a rendere meno gravosi tali svantaggi.

L'attività di ricerca si è sviluppata secondo tre sottotemi ovvero: lo studio della reattività di carboni e di loro miscele, quello della reattività di miscele di carboni e biomasse e quello della reattività di ceneri generate dalla combustione di carbone in correnti di gas ricchi di CO₂.

Studio della reattività di carboni e di loro miscele.

Il lavoro di ricerca nell'ambito di questo sottotema è stato indirizzato allo studio della reattività di differenti carboni e di loro miscele in vista dell'utilizzo di carboni di basso pregio insieme a quelli di elevata qualità ai fini di una riduzione dei costi di produzione di energia elettrica. È stata studiata la reattività verso l'ossigeno di alcuni carboni, tal quali o precedentemente devolatilizzati, e sia da soli che miscelati tra loro. Dei carboni tal quali o parzialmente ossidati e delle ceneri è stata anche

esaminata la struttura mediante analisi diffrattometriche ai raggi X e FTIR. Prove di desorbimento a temperatura programmata di ossidi di carbonio dai campioni di carbone in corrente di inerte che hanno fornito l'estensione della superficie attiva ai fini della reazione. Nell'insieme i risultati hanno mostrato che anche quando intimamente miscelati i singoli carboni si comportano come se bruciassero da soli essendo i profili di combustione ed alcune caratteristiche strutturali delle miscele combinazioni lineari di quelli dei singoli carboni costituenti la miscela.

L'attività di ricerca è proseguita con lo studio della combustione di due carboni, prima e dopo demineralizzazione, e di loro frazioni arricchite in vitrinite ed inertinite, rispettivamente, al fine di chiarire il ruolo delle eterogeneità nel comportamento dei carboni durante la combustione. I risultati hanno permesso di stabilire che l'interazione inertinite-minerali, che si verifica durante la combustione, potrebbe essere la causa della perdita di reattività che si rileva negli ultimi stadi di combustione del carbone devolatilizzato.

L'attività di ricerca relativa a questo sottotema è stata svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica e Alimentare dell'Università di Salerno. Le ricerche sono state finanziate con fondi CEE nell'ambito del progetto JOULE III.

Studio della reattività di carboni, di biomasse e di loro miscele.

L'attività di ricerca connessa a tale sottotema ha riguardato la caratterizzazione chimico-fisica di carboni, di biomasse e di loro miscele sia subito dopo la preparazione che dopo parziale ossidazione, e lo studio del loro comportamento durante la combustione. L'obiettivo era la ricerca di eventuali legami tra modificazioni strutturali e/o chimico-fisiche, occorrenti durante la combustione di detti materiali, e la cinetica di reazione durante tale fase. Tale studio riveste particolare importanza in vista dell'utilizzazione delle biomasse quali combustibili ausiliari in centrali termiche alimentate a polverino di carbone, al fine di ridurre, a parità di potenza erogata, le emissioni nette di CO₂ in atmosfera.

Particolare cura è stata posta nell'ottenimento di campioni devolatilizzati a partire da quelli freschi. Specificamente, essendo il carbone e le biomasse materiali ad alto grado di eterogeneità, che grossolanamente possiamo classificare in parte volatile e non volatile, la cinetica globale del processo di combustione è principalmente determinata dalla velocità di combustione di quest'ultima. A loro volta le caratteristiche chimico-fisiche della parte non volatile sono dipendenti dalle temperature e dalle velocità di riscaldamento durante la fase di pirolisi (o di allontanamento dei volatili). Per rendere tale operazione, quando condotta in laboratorio, quanto più prossima a quella condotta negli impianti industriali, è stata progettata e realizzata una specifica apparecchiatura in grado di riscaldare i campioni di combustibili fino a temperature di 1800-2000 K con velocità di riscaldamento fino a 10⁴ K/s..

L'attività di ricerca è proseguita con lo studio della cinetica di combustione dei carboni, delle biomasse e di loro miscele dopo devolatilizzazione, al fine di individuare il ruolo delle eventuali interazioni tra minerali e matrice carboniosa devolatilizzata nel comportamento delle miscele carboni-biomasse durante la combustione. I risultati hanno permesso di stabilire che un'interazione matrice-minerali esiste e che essa può risultare, a seconda dei materiali coinvolti, in un aumento o in una diminuzione della velocità di combustione rispetto a quella dei singoli componenti la miscela. In particolare, la riduzione della velocità di reazione, talora riscontrata, potrebbe essere la causa della perdita di reattività che si rileva negli ultimi stadi di combustione del carbone devolatilizzato.

L'attività di ricerca relativa a questo sottotema è stata svolta presso il DICA dell'Università di Salerno sotto la direzione del Prof. Paolo Ciambelli e presso il Dipartimento di Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli. Le ricerche sono state finanziate con fondi UE nell'ambito del progetto JOULE IV.

Studio della reattività di ceneri generate dalla combustione di carbone in correnti di gas ricche di CO₂.

È stato svolto un lavoro sperimentale per la valutazione della reattività di ceneri provenienti dalla combustione in ossigeno di due differenti carboni in atmosfera ricca di CO₂ ottenuta riciclando parte dei gas di scarico. Tale attività si innestava in un progetto di ricerca teso allo studio della possibilità di utilizzare combustori convenzionali di polverino di carbone in aria come combustori in ossigeno tramite riciclo di parte della corrente di scarico che risultava così ricca in CO₂. L'obiettivo finale era

quello di rendere economicamente conveniente l'abbattimento della CO₂ a valle della combustione. L'attività in oggetto ha dimostrato che condizioni di reazione inusuali (per quanto riguarda la temperatura e la composizione dei gas) non alterano la reattività delle ceneri dei carboni provati. Infatti, anche in atmosfera ricca di CO₂, così come per la combustione in aria, il parametro che più influenza la reattività è la distribuzione granulometrica delle ceneri.

L'attività sperimentale relativa a questo tema è stata svolta in parte presso il Dipartimento di Chimica dell'Università "Federico II" di Napoli ed in parte presso il centro ricerche della Mitsui Babcock Energy Limited sita a Renfrew (Scozia). Le ricerche sono state finanziate con fondi della Comunità Europea nell'ambito del progetto JOULE II.

Tema e) RISCHI DERIVANTI DA ATTIVITÀ INDUSTRIALI

L'attività di ricerca connessa a tale tema può essere suddivisa in due rami. Uno ha riguardato lo sviluppo di un modello matematico utile alla previsione degli scenari accidentali derivanti da incidenti in cui sono coinvolti serbatoi contenenti gas liquefatti a temperatura ambiente ed a pressioni superiori a quelle di saturazione. L'altro ha riguardato dapprima l'analisi, tramite un modello di calcolo basato su CFD, del rischio associato al trasporto di merci pericolose su strade e ferrovie ed in particolare al rischio derivante da incidente in galleria. Successivamente, tale ramo ha anche riguardato lo studio della propagazione di incendi boschivi.

Per quanto riguarda il primo ramo lo studio ha previsto l'individuazione degli scenari accidentali possibili in cui un serbatoio contenente gas liquefatto può essere coinvolto quali: incendio di una pozza di combustibile, getto di fuoco che lo investe e completa immersione dello stesso in un incendio. In funzione degli scenari menzionati e delle variabili operative del sistema (tipo di gas, grado di riempimento, spessore della lamiera, presenza o meno di fori accidentali, presenza o meno di valvole di sicurezza e presenza o meno di uno strato di coibente) i risultati del modello di calcolo hanno consentito di individuare le possibili evoluzioni: esplosione di vapore espandente di liquido bollente (BLEVE), fuoriuscita catastrofica del contenuto del serbatoio (CLOC) o, semplicemente, formazione di una perdita con fuoriuscita non catastrofica del contenuto. È importante sottolineare che anche in quest'ultimo caso la pericolosità dell'accadimento non è trascurabile a causa della formazione di una sfera di fuoco di svariate decine di metri di diametro. Tale studio riveste particolare rilevanza in vista della previsione del rischio e dei danni derivanti dall'esplosione di serbatoi in pressione, e delle misure da intraprendere per evitare il fenomeno di BLEVE o mitigarne gli effetti. Particolare cura è stata posta alla modellazione del fenomeno di ebollizione del liquido tramite i meccanismi di ebollizione per nucleazione omogenea e di ebollizione a film, nella presenza o meno di uno strato di materiale coibente e nella presenza di eventuali valvole di sicurezza.

Per quanto riguarda il secondo ramo lo studio ha previsto l'impiego di vari codici di calcolo (AIR, JASMINE, CFIX) per la previsione delle conseguenze di incidenti stradali o ferroviari in cui possono essere coinvolti mezzi di trasporto di merci "pericolose" e non. In particolare, lo studio si è concentrato sull'analisi delle conseguenze di incidenti che possono dar luogo ad incendi confinati, ovvero in galleria. Per un dato scenario accidentale (quantità e qualità del carico, velocità di fuoriuscita della sostanza etc.), sono state valutate le possibilità di evacuazione e di soccorso sicuro delle persone coinvolte nell'incidente o semplicemente presenti in galleria, in funzione della presenza e dell'efficacia di misure di sicurezza quali ventilazione naturale, ventilazione forzata longitudinale o trasversale e sistemi di "spinklers" dispensatori di nebbie.

Lo studio della propagazione di incendi boschivi ha riguardato l'applicazione di modelli termo fluidodinamici alla descrizione ed alla predizione del comportamento di incendi in aree aperte e, specificamente, di incendi boschivi. L'obiettivo è stato di determinare l'effetto di alcune variabili chiave sulle modalità e velocità di propagazione dell'incendio. In particolare, sono state analizzate l'influenza della presenza e della velocità del vento, delle caratteristiche del combustibile vegetale, del tipo di innesco e della sua posizione rispetto al dominio di propagazione, e della conformazione del terreno sul quale l'incendio propaga, fino a considerare casi limite come la propagazione in canyons. Lo studio è stato anche spinto alla predizione delle caratteristiche di propagazione di incendi su grandi aree con geometrie complesse anche con l'applicazione di specifici software di conversione di dati altimetrici, liberamente disponibili, in dati di input al programma in modo da avviare all'uso di software basati sul sistema GIS che renderebbero particolarmente lento ed oneroso il calcolo.

L'attività di ricerca relativa a questo tema è stata svolta presso il DICA dell'Università di Salerno. Le ricerche sono state finanziate con fondi CUGRE nell'ambito del progetto di prevenzione grandi rischi della Regione Campania e con fondi FARB di cui il prof. Vaccaro è stato responsabile scientifico.

Tema f) STUDIO DI MICROREATTORI CATALITICI STRUTTURATI PER LA GENERAZIONE DI IDROGENO.

Lo studio di questi sistemi risulta fondamentale per la progettazione di dispositivi in scala ridotta per la produzione decentrata di idrogeno da utilizzare in celle a combustibile per la generazione remota di elettricità. Esso si inserisce anche nell'ambito delle ricerche relative all'intensificazione di processi industriali tendenti alla realizzazione di processi in cui le dimensioni e la geometria del reattore consentono di ottenere elevate velocità di trasporto di materia e di energia contribuendo così fortemente al contenimento delle dimensioni del reattore con notevole risparmio dei costi d'investimento e di esercizio.

L'attività relativa a questo tema ha riguardato lo studio del processo di produzione in piccola scala di idrogeno da idrocarburi leggeri tramite catalizzatori strutturati e reattore termicamente integrato per la realizzazione separata ma simultanea dello steam reforming degli idrocarburi e della loro ossidazione totale. In particolare, l'attività ha previsto: 1) l'individuazione di catalizzatori per lo steam reforming di metano con elevata attività, con elevata stabilità termica rispetto ai fenomeni di sinterizzazione e con elevata resistenza alla disattivazione da coking; 2) la preparazione di catalizzatori strutturati per la simultanea ma separata occorrenza delle reazioni citate; 3) la progettazione e la costruzione di un reattore da laboratorio termicamente integrato per lo studio di dette reazioni; 4) la modellazione fisico-matematica del reattore suddetto.

L'attività è stata volta alla progettazione e realizzazione di un reattore da laboratorio con geometria a canali alterni di reforming e combustione. I canali di ampiezza millimetrica sono separati da lamine metalliche amovibili sulle cui facce opposte sono depositati i catalizzatori per lo steam reforming e la combustione, rispettivamente. Il volume del reattore è di complessivi 3 cm^3 per il reforming di 1 g/s di CH_4 . Le esperienze condotte con tale reattore saranno utili alla comprensione del ruolo giocato sul sistema reagente complessivo dallo scambio termico tra i catalizzatori di reforming e di combustione e dello scambio di materia tra i gas nei canali e gli strati di catalizzatori.

L'attività ha anche riguardato la modellazione fisico matematica bidimensionale e tridimensionale del sistema reagente in oggetto. Il modello è basato sulle equazioni di bilancio di materia, di energia e di quantità di moto applicate separatamente ai domini gassosi (canali), solido (lamina metallica) e solido poroso (strati catalitici) e risolte tramite il metodo agli elementi finiti. I risultati del modello sono stati utili alla progettazione del reattore da laboratorio ed hanno consentito di stabilire l'influenza di parametri geometrici ed operativi sulle prestazioni del reattore. L'attività è proseguita con la verifica funzionale del reattore tramite prove tendenti a dimostrare la fattibilità del processo proposto, a valutarne il comportamento dinamico allo start-up o in corrispondenza di variazioni delle portate o delle concentrazioni di alimentazione (lato reazione di combustione) ed ad ottimizzare le portate in funzione del carico catalitico sulle facce della lamina ed alla sua distribuzione.

L'attività di ricerca relativa a questo tema è stata svolta presso il DICA dell'Università di Salerno sotto la responsabilità scientifica del prof. Vaccaro. Le ricerche sono state finanziate con fondi FARB e con fondi PRIN relativi agli anni 2004 e 2006.

Tema g) RECUPERO DI CALORE DA MATERIALE CERAMICO.

È stato svolto un lavoro sperimentale per la validazione di un dispositivo specificamente progettato per il recupero di calore da piastrelle ceramiche provenienti dai forni di cottura. L'analisi dei risultati sperimentali e l'esperienza acquisita hanno portato alla formulazione di un modello matematico valido per la progettazione del dispositivo suddetto.

L'attività sperimentale relativa a questo tema è stata svolta presso la ditta ELIOS CERAMICA sita a Solignano di Castelvetro (MO). Le ricerche sono state finanziate con fondi ENEA.

Tema h) STUDIO DELL'OSSIDAZIONE FOTOCATALITICA SELETTIVA DI CICLOESANO A BENZENE.

È stato svolto un lavoro sperimentale per lo studio della possibilità di ottenere in condizioni operative blande la conversione di cicloesano a benzene in presenza di un catalizzatore a base di molibdeno supportato su ossido di titanio. Sebbene le conversioni del reagente e le rese nel prodotto desiderato siano risultate modeste, la sperimentazione ha dimostrato la fattibilità del processo. La reazione è stata condotta in un reattore fotocatalitico a letto fluido il cui impiego è risultato necessario per mitigare la relativamente rapida disattivazione del catalizzatore.

Attività didattica.

Il prof. VACCARO nel periodo trascorso presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Salerno ha svolto attività didattica per i seguenti insegnamenti:

A.A. 2014-15 *Processi sostenibili della Chimica Industriale* per il corso laurea magistrale in Ingegneria Chimica nel quale egli tratta i problemi della sicurezza dei processi legati alla reattività chimica della sostanze.

A.A. da 2000-01 a 2014-15 – *Chimica Industriale* modulo: *Principi di Chimica Industriale* per il corso di laurea in Ingegneria Chimica. In esso egli traccia il percorso che porta dalle reazioni chimiche allo sviluppo ed allo sfruttamento industriale dei corrispondenti processi con cenni su l'economia dei processi, la catalisi, la sicurezza e l'energia.

A.A. da 2007-08 a 2012-13 *Gestione dei processi per l'Ambiente e la Sicurezza* per il corso di laurea in Ingegneria Chimica. In questo egli ha proposto la normativa italiana vigente relativamente alla sicurezza ed alla salute dei lavoratori ed i modelli OHSAS 18001 ed ISPELS di sistemi di gestione della sicurezza nell'industria.

A.A. da 2000-01 a 2014-15 - *Sicurezza e Protezione Ambientale dei Processi Chimici* per i corsi di laurea specialistica/magistrale in Ingegneria Chimica ed Ingegneria Alimentare e per il corso di laurea in Ingegneria Civile per l'Ambiente ed il Territorio. In tale corso egli propone le metodologie più avanzate a livello internazionale di analisi della sicurezza e valutazione del rischio per l'industria chimica.

A.A. da 2000-01 a 2006-07 - *Trattamento degli Effluenti e Chimica Industriale Alimentare* per i corsi di laurea in Ingegneria Chimica e di laurea specialistica in Ingegneria Chimica ed in Ingegneria Alimentare. Nel primo egli ha trattato i più importanti processi di separazione di inquinanti da effluenti industriali gassosi. Nel secondo egli ha analizzato tramite le metodologie tipiche dell'ingegneria chimica alcuni processi significativi dell'industria alimentare.

Nel periodo trascorso presso la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. dell'Università "Federico II" di Napoli in qualità di ricercatore universitario ha regolarmente svolto le esercitazioni numeriche dei corsi di *Impianti Industriali Chimici con Elementi di Disegno I* e *Impianti Industriali Chimici con Elementi di Disegno II*, e relativamente all'A.A. 1984-85 del corso di *Esercitazioni di Chimica Industriale I* per il corso di laurea in Chimica Industriale.

Per quanto riguarda il corso di *Impianti Industriali Chimici con Elementi di Disegno II* ha svolto le esercitazioni mostrando l'impostazione e le procedure di risoluzione di esercizi di reattoristica chimica dai casi più semplici fino ad quelli che comportano l'impostazione di equazioni di bilancio differenziali a più variabili. Le esercitazioni svolte nell'ambito del corso di *Impianti Industriali Chimici con Elementi di Disegno I* hanno riguardato l'impostazione e lo svolgimento di esempi numerici di applicazioni della teoria dei processi di separazione e dei processi di trasporto. Infine, nel contesto del corso di *Esercitazioni di Chimica Industriale I* ha presentato esercizi numerici centrati essenzialmente sulle procedure di formulazione di bilanci macroscopici di materia e di energia.

Il prof. Vaccaro ha partecipato alle commissioni di esami di profitto dei corsi di *Impianti Industriali Chimici con Elementi di Disegno I e II*, *Esercitazioni di Chimica Industriale I*, *Chimica Industriale I* e *Chimica Industriale II*. Egli ha, inoltre, seguito diversi studenti di Chimica Industriale nelle ricerche attinenti alla preparazione della tesi di cui è stato correlatore insieme al prof. Paolo Ciambelli.

Dall' A.A. 1988-89 al 1999-00 ha tenuto lezioni in qualità di docente a copertura didattica integrativa nell'ambito della Scuola di Specializzazione in Ingegneria Sanitaria ed Ambientale presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli. Tali lezioni hanno riguardato le tecniche di rimozione della fuliggine dagli scarichi di motori Diesel in impianti fissi e mobili.

Negli A.A. 1991-92 e 1992-93 al predetto è stato conferito l'affidamento per supplenza retribuita del corso di *Laboratorio di Operazioni Fondamentali della Chimica Industriale* per il corso di laurea in Chimica Industriale. In tale corso il prof. Vaccaro ha reso operativi ed utilizzato gli impianti didattici disponibili presso il Dipartimento di Chimica integrando con prove pratiche i fondamenti ricevuti dagli allievi nel corso di *Industriali Chimici con Elementi di Disegno I*. Il contenuto del corso ha anche riguardato la descrizione ed i principi di funzionamento dei principali strumenti per la misura della portata e della pressione dei fluidi e della temperatura. Infine, sono state descritte le principali tecniche di separazione di particolato solido da correnti gassose e sono state ricavate le equazioni che governano il funzionamento delle apparecchiature preposte a tale compito.

Negli A.A. 1993-94, 1994-95, 1995-96, 1996-97, 1997-98, 1998-99, 1999-00 e 2000-01 al predetto è stato conferito l'affidamento per supplenza retribuita del corso di *Laboratorio di Processi e Impianti Industriali Chimici* per il corso di laurea in Chimica Industriale. Il contenuto di questo corso si è arricchito, rispetto a quello di *Laboratorio di Operazioni Fondamentali della Chimica Industriale*, di prove pratiche di laboratorio che riguardano la distillazione continua e discontinua di miscele binarie in una colonna a piatti la realizzazione al calcolatore di diagrammi di flusso di impianti mediante l'uso di "software" specificamente realizzato presso l'Università di Oxford. In tale corso, inoltre, sono stati forniti agli studenti gli elementi di base del controllo dei processi.

Negli A.A. 1997-98 e 1998-99 al predetto è stato conferito l'affidamento per supplenza retribuita del corso di *Processi di trattamento di effluenti inquinanti* per il corso di diploma universitario in "Ingegneria dell'Ambiente e delle Risorse" della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Salerno presso la sede di Avellino. Il corso ha riguardato lo studio dei processi di separazione dei principali inquinanti gassosi e/o solidi da correnti gassose. Partendo dalla descrizione dei più comuni inquinanti solidi e gassosi, si è passati alla classificazione degli stessi in base alla loro pericolosità ed alle fonti di emissione per poi pervenire all'approfondimento dei principali processi di rimozione di detti inquinanti da effluenti atmosferici o da correnti di processo.

Nell'A.A. 1999-00 al prof. Vaccaro è stato conferito dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università degli studi di Salerno l'affidamento per supplenza retribuita del corso di *Chimica Industriale II* per il corso di diploma universitario in Ingegneria Chimica.

Il prof. Vaccaro negli A.A. 1990-91, 1991-92, 1992-93, 1995-96, 1996-97 e 1998-99 è stato docente della scuola di specializzazione in Ingegneria Sanitaria e Ambientale della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli.

Nel periodo precedente l'assunzione come ricercatore universitario (avvenuta il 2/5/1984) il prof. Vaccaro ha svolto attività didattica presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli seguendo diversi studenti di Ingegneria Chimica nelle ricerche attinenti alla preparazione della tesi di cui è stato correlatore insieme al prof. Leopoldo Massimilla.

Altre attività

Attività di revisione per conto di enti erogatori di fondi per progetti di ricerca.

Il prof. Vaccaro ha svolto attività di revisione dell'attività di ricerca svolta da alcune aziende relativamente a contratti tra il CNR e tali aziende nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica 2. Egli è inserito nell'albo esperti del MIUR, della provincia autonoma di Trento, della regione Piemonte, della regione Marche e del Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) ex Ministero delle Attività Produttive (MIAP). In tale ruolo egli ha svolto attività di revisore di numerosi (circa 100) progetti di ricerca finanziati dal MIUR e di ricerca e sviluppo finanziati dal MSE, dalla regione Piemonte dalla regione Veneto e dalla provincia autonoma di Trento.

Attività di revisione per conto di riviste scientifiche

Il prof. Vaccaro ha svolto e svolge attività di revisore di articoli scientifici per conto delle riviste *Powder Technology*, *Chemical Engineering Science*, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, e *Canadian Journal of Chemical Engineering*. Egli è anche revisore di articoli presentati per i simposi internazionali del *Combustion Institute*. In questo ruolo, egli ha revisionato lavori riguardanti svariati argomenti: getti gassosi in letti fluidizzati, scambio termico tra letti fluidizzati e superfici di scambio, fenomeni legati alla propagazione di onde nei letti fluidizzati, adsorbimento su solidi porosi, combustione catalitica di fuliggine, combustione di miscele di carbone e biomasse, controllo degli NOx allo scarico di sistemi di combustione.

Attività di responsabile di contratti di ricerca

Il prof. Vaccaro è stato o è responsabile scientifico di contratti di ricerca (ENEA, MIUR; UE tramite Dipartimento di Ingegneria Chimica dell'Università di Salerno. Egli ha inoltre collaborato attivamente a tutti i contratti di ricerca nei quali è stato coinvolto: nell'ambito del PFE2 e del PFT2 del CNR; nell'ambito del sottoprogetto "Trattamento degli scarichi" del progetto "Combustione ed Emissione nei Motori Diesel e Relativi Effetti sulla Salute" finanziato con la legge speciale 183 di incentivo alla ricerca nel mezzogiorno; nell'ambito di convenzioni con l'ENEL-CRTN di Pisa; nell'ambito di progetti finanziati dalla Comunità Europea.

Attività organizzative

Il prof. Vaccaro è stato Direttore vicario del Dipartimento di Ingegneria Chimica e Alimentare (DICA) dell'Università di Salerno dal febbraio 2007 all'ottobre 2008 (Direttore il prof. E. Reverchon) e dal novembre 2008 al dicembre 2010 (Direttore la prof. L. Incarnato) ed è stato membro della giunta di Dipartimento dal 2007 al 2008. Il prof. Vaccaro è stato dal 2008 al 2010 responsabile del servizio di protezione e prevenzione del DICA ed dal gennaio 2011 ad agosto 2015 responsabile del servizio di protezione e prevenzione del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIIN).

Il prof. Vaccaro è dal gennaio 2013 a tutt'oggi membro del Senato Accademico dell'Università di Salerno e dal luglio 2014 membro del collegio di disciplina dell'Università di Salerno.

Il prof. Vaccaro dal 2003 ha ricoperto per 6 anni il ruolo di autovalutatore e di presidente della commissione di autovalutazione per il corso di laurea in ingegneria chimica dell'Università di Salerno nell'ambito di un processo di applicazione di un modello di qualità al corso di studi suddetto. Il corso di studi in questo periodo ha ottenuto la certificazione di qualità.

Il prof. Vaccaro da 11 anni è membro aggiunto (per le discipline di ingegneria chimica) della commissione esami di stato per l'abilitazione alla professione di ingegnere. Il prof. Vaccaro è stato dal 2010 al 2013 coordinatore per la facoltà di Ingegneria dell'Università di Salerno delle attività di tutorato in itinere degli studenti.

Il prof. Vaccaro è stato nel biennio 2003-2004 segretario dell'associazione GRICU (GRUPPO DI INGEGNERIA CHIMICA DELL'UNIVERSITÀ) dei "ricercatori" ingegneri chimici dell'Università.