

## ALLEGATO A

### UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

Procedura di selezione per la chiamata a professore di I fascia da ricoprire ai sensi dell'art. 24, comma 6, della Legge n. 240/2010 per il settore concorsuale 09/D3 - Impianti e Processi Industriali Chimici , (settore scientifico-disciplinare ING-IND/25 - Impianti Chimici) presso il Dipartimento di Chimica, Codice concorso 4669

[Carlo Pirola]  
CURRICULUM VITAE

(N.B. IL CURRICULUM NON DEVE ECCEDERE LE 30 PAGINE E DEVE CONTENERE TUTTI GLI ELEMENTI UTILI ALLA VALUTAZIONE DEI TITOLI SOTTOPOSTI AL GIUDIZIO DELLA COMMISSIONE)

### INFORMAZIONI PERSONALI (NON INSERIRE INDIRIZZO PRIVATO E TELEFONO FISSO O CELLULARE)

COGNOME	PIROLA
NOME	CARLO
DATA DI NASCITA	[ 26, 08, 1974 ]

## TITOLI

### TITOLO DI STUDIO

(indicare la Laurea conseguita inserendo titolo, Ateneo, data di conseguimento, ecc.)

Laurea in Chimica Industriale a pieni voti, Università degli Studi di Milano, 17 marzo 2000.

**TITOLO DI DOTTORE DI RICERCA O EQUIVALENTI, OVVERO, PER I SETTORI INTERESSATI, DEL DIPLOMA DI SPECIALIZZAZIONE MEDICA O EQUIVALENTE, CONSEGUITO IN ITALIA O ALL'ESTERO**  
(inserire titolo, ente, data di conseguimento, ecc.)

Dottorato di Ricerca in Chimica Industriale, Università degli Studi di Milano, 10 dicembre 2008.

### ALTRI TITOLI CONSEGUITI

(inserire titolo, ente, data di conseguimento, ecc.)

Titolo di "LCA (Life Cycle Assessment) expert" , rilasciato dalla Soc. Quotasette (dr.ssa Anna Bortoluzzi) a seguito della presentazione "Early stage LCA of a lab scale plant for the production of oxygen-enriched air. Comparison between economic and environmental assessment" durante il convegno "Life Cycle Assessment (LCA) e sviluppo delle figure professionali: esperienze aziendali a confronto", Milano, 1 dicembre 2016.

## ATTIVITÀ DIDATTICA

### INSEGNAMENTI E MODULI

(inserire anno accademico, corso laurea, numero di ore frontali, eventuale CFU)

#### Insegnamenti Universitari, Università degli Studi di Milano

1. AA 2011-2012 e 2012-2013, Corso di Laurea in Chimica Applicata e Ambientale, 24 ore frontali, 3 CFU, insegnamento “Elementi di processi e impianti chimici”, SSD ING-IND/25. Argomenti trattati: lettura di un Flowsheet industriale, equilibrio liquido-vapore, colonne di rettifica, colonne di assorbimento, reattori ideali (batch, PFR, CSTR) e catalitici.
2. AA 2011-2012, Corso di Laurea magistrale in Chimica Industriale, 24 ore frontali, 3 CFU, insegnamento “Processi catalitici”, SSD CHIM/02. Argomenti trattati: Lettura di un Flowsheet industriale, reattori ideali e catalitici, modelli cinetici per reazioni catalitiche con procedure di regressione dei parametri.
3. Dall’anno accademico AA 2013-2014 ad oggi, Corso di Laurea magistrale in Industrial Chemistry, 48 ore frontali, 6 CFU, insegnamento “Industrial Processes and scale up”, SSD CHIM/04, in lingua inglese. Argomenti trattati: teoria del passaggio di scala negli impianti e processi chimici, utilità e caratteristiche degli impianti pilota e mock up, definizione di un modello a partire da dati sperimentali, regressione dei parametri, approccio gerarchico per la definizione di un flow-sheet di processo, utilizzo della simulazione di processo steady-state, dinamica e computational fluid dynamics per lo sviluppo del passaggio di scala, discussione case-studies reali (hydrodesulfurization e steam cracking process dell’Institute Francaise du Petrol, tecnologia EST di ENI, Impianto di poliammidi Radici Group), esercitazioni complesse in impianto virtuale immersivo di Crude Distillation Unit [did\_4] [did\_5].
4. Dall’anno accademico 2011-2012 ad oggi, Corso di Laurea triennale in Chimica Industriale, 16 ore di lezioni frontali e 64 ore di laboratorio, 6 CFU, insegnamento “Laboratorio di impianti chimici”, SSD ING-IND/25. Argomenti trattati: a) misura della tensione di vapore di un liquido puro a diverse temperature [did\_3]; b) studio dell’equilibrio liquido-vapore di miscele binarie non ideali [did\_3]; c) conduzione di una colonna di assorbimento con riempimento strutturato (corpi Sulzer) e non strutturato (anelli Rashig) alta 1 metro. Verifica del bilancio di massa della colonna e calcolo dei coefficienti globali di trasporto [did\_2]; d) Conduzione di una colonna di rettifica a 15 piatti operante a riflusso finito e infinito. Verifica del bilancio materiale e termico, calcolo dell’efficienza dei piatti [did\_1] [did\_3]; e) Visita e esercitazioni in un impianto virtuale immersivo di Crude Distillation Unit [did\_4] [did\_5]. Tutte le esperienze prevedono anche la loro simulazione tramite software PRO II (Simulation Science) [did\_2] [did\_3]. Il testo [did\_6] è il riferimento didattico per la teoria di questo corso. In questo libro, edito nel 2016 da Hoepli, sono contenuti tutti gli argomenti teorici di base di questo corso oltre che numerosi approfondimenti e esercizi numerici.

#### *Riferimenti per pubblicazioni didattiche:*

- [did\_1] C. Pirola, *Comparison between experimental and simulated data of a distillation column: evaluation of mass-heat balances and trays efficiency*, *Computer Aided Chemical Engineering* 38 (2016) 1557-1562, DOI 10.1016/B978-0-444-63428-3.50264-2
- [did\_2] C. Pirola, “*Experimental and Simulated Operation of Absorption Column for the Removal of VOC from Air*”, *Chem. Eng. Transactions* 74 (2019) 817, DOI 10.3303/CET1974137
- [did\_3] C. Pirola “*Learning distillation by a combined experimental and simulation approach in a three steps laboratory: Vapor pressure, vapor-liquid equilibria and distillation column*”, *Education for Chemical Engineers*, 28 (2019) 54-65, DOI 10.1016/j.ece.2019.05.003
- [did\_4] C. Pirola, C. Peretti, F. Galli, “*Immersive virtual crude distillation unit learning experience: The EYE4EDU project*”, *Computer Chemical Engineering* 140 (2020) 106973. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.106973
- [did\_5] C. Pirola, *Active learning in distance education of crude distillation unit by virtual immersive laboratory: the eye4edu project*, *Chemical Engineering Transactions* 86 (2021) 1363-1368.
- [did\_6] V. Ragaini, C. Pirola, “*Processi di Separazione nell’Industria Chimica*”, Hoepli, ISBN 978-88-203-7493-8, 520 pagine, 2016, prima edizione.

#### Insegnamenti e attività per corsi di Dottorato di Ricerca

1. AA 2012-2013, 4 ore, dottorato di ricerca in Chimica Industriale, Università di Milano, Insegnamento "Catalytic Processes in Biorefinery".
2. AA 2015-2016 (5 ore), 2016-2017 (5 ore), 2017-2018 (10 ore), 2018-2019 (10 ore), 2019-2020 (3 ore), 2020-2021 (3 ore), dottorato di ricerca in Chimica Industriale, Università di Milano, insegnamento "Literature and library research in Industrial Chemistry".
3. Dall'anno 2013: Relatore di 3 tesi di dottorato di ricerca in Chimica Industriale, Università di Milano.
4. Dall'anno 2013 ad oggi: Membro del Collegio Docenti del Corso di Dottorato Chimica Industriale.
5. Dall'anno 2020, in corso: Co-supervisor della tesi di dottorato in Chemical Engineering "Novel metallosilicate catalyst design for Fischer Tropsch process" della studentessa Nazmiye Tugce Eran presso il Polytechnique of Montreal (Canada).

#### Insegnamenti di codocenza, Università degli Studi di Milano

AA 2014-2015 e 2015-2016, Corso di Laurea in Chimica Industriale, 48 ore, Laboratorio di Chimica Fisica, SSD CHIM/02.

#### Insegnamenti per attività di orientamento, Università degli Studi di Milano

Dal 2013 ad oggi, Responsabile e docente della Summer School "Marinella Ferrari" per studenti della scuola secondaria con un ciclo di lezioni e attività sulle energie rinnovabili. Ogni edizione, annuale, ha avuto la durata di 20 ore distribuite in 3 giornate di lavoro nel mese di giugno.

#### Insegnamenti per docenti della scuola secondaria, Università degli Studi di Milano

1. AA 2013-2014, Percorsi Abilitanti speciali (PAS), classe A013 "Chimica e Tecnologie Chimiche", 16 ore, insegnamento "Chimica Fisica e sua Didattica".
2. AA 2014-2015, percorso Tirocinio Formativo Attivo (TFA), Didattica e laboratorio della Chimica, 12 ore, insegnamento "Fondamenti di processi e impianti chimici".

#### Seminari e corsi per altre università o enti

1. Anno 2017 e 2018: Lezione "CO<sub>2</sub> to liquid fuels: hydrogenation processes" tenuta durante la Summer School Internazionale "Carbon capture, utilization and storage (CCS) technologies", organizzata da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), Sotacarbo SpA (Sustainable energy Research Center), Università di Cagliari (Department of Mechanical Engineering, Chemistry and Materials), IEA CCC (International Energy Agency Clean Coal Center) e CO<sub>2</sub>GeoNet (The European Network of Excellence on the Geological Storage of CO<sub>2</sub>). Sede del Corso: Sotacarbo Research Center of Carbonia (CA).
2. Anno 2020: Incarico di insegnamento ricevuto dalla Polytechnic University of Tomsk (Russia) all'interno del corso "post graduate advanced educational program: Process Operations Management" con titolo "Gas separation and Purification". Il corso ha avuto una durata complessiva di 16 ore e si è articolato nelle seguenti lezioni "Introduction to simulation science for chemical plants and liquid vapour equilibria for ideal and not-ideal mixtures" (4 h), "Thermodynamic and kinetic reactors" (3 h), "Crude distillation unit: basic theory and process description" (4 h), "Introduction to Eyesim software and virtual exercise in the virtual crude distillation unit" (3 h), "regression of the parameters of different thermodynamic models" (2 h) ed è stato rivolto a 16 studenti russi già laureati, in un ambito di collaborazione tra la Polytechnic University of Tomsk e la Sibur Company. Sede del corso: Politecnico di Milano. Compenso ricevuto: 150 euro/h.

#### Insegnamenti extra-universitari

1. Anni 2017, 2018, 2019, 2020, 2021: Incarichi di insegnamento per i corsi "Strumenti di Controllo negli Impianti Chimici" (40 ore) e "Fenomeni di trasporto (40 ore) affidati dall'istituzione "Fondazione Istituto Tecnico Superiore per le nuove Tecnologie della Vita", autorizzata dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e dalla Regione Lombardia per i percorsi denominati "Tecnico superiore delle produzioni biotecnologiche industriali", "Tecnico superiori delle produzioni chimico industriali" e "Tecnico superiore per le applicazioni industriali della gomma e del PTFE",

realizzati con il sostegno della Unione Europea, Fondo Sociale Europeo. Compenso ricevuto: 60 euro/ora.

2. Anno 2016: Incarico di insegnamento per il corso “Impianti Chimici e Reattori Chimici” per la formazione del personale presso la Ditta “Aliancys” di Filago (BG), commissionato dalla Fondazione Istituto Tecnico Superiore per le Nuove Tecnologie della Vita nelle giornate 12, 13, 14, 15 dicembre 2016 per un totale di 32 ore. Compenso ricevuto: 60 euro/ora.

## **ATTIVITÀ DI DIDATTICA INTEGRATIVA E DI SERVIZIO AGLI STUDENTI**

### **ATTIVITÀ DI RELATORE DI ELABORATI DI LAUREA, DI TESI DI LAUREA MAGISTRALE, DI TESI DI DOTTORATO E DI TESI DI SPECIALIZZAZIONE**

*(inserire anno accademico, ateneo, corso laurea, ecc.)*

Si inseriscono tre tabelle con l'elenco dei titoli delle tesi di Laurea Triennale in Chimica Industriale, tesi di Laurea Magistrale in Industrial Chemistry e Tesi di Dottorato in Chimica Industriale di cui il candidato è stato Relatore. Si segnala inoltre che il candidato ha ricoperto il ruolo di correlatore per 32 tesi di Laurea Triennale in Chimica Industriale e per 17 tesi di Laurea Magistrale in Industrial Chemistry. Carlo Pirola è stato inoltre correlatore di 3 tesi di Laurea in Ingegneria Chimica presso il Politecnico di Milano.

#### **Elenco tesi di Laurea Triennali in Chimica Industriale con Relatore Carlo Pirola**

#	AA	Titolo
1	2011-2012	Studio dell'equilibrio liquido vapore delle miscele binarie del sistema dimetiladipato-dimetilglutarato-dimetilsuccinato
2	2012-2013	Determinazione dell'efficienza dei piatti di una colonna di rettifica operante in sistema trifasico tramite dati sperimentali e di simulazione
3	2012-2013	Deacidificazione di olio grezzo di palma in reattore batch con catalisi eterogenea
4	2012-2013	Utilizzo di catalizzatori bimetallici a base di cobalto e rutenio sintetizzati con ultrasuoni ad alta potenza nella sintesi di Fischer-Tropsch
5	2012-2013	Catalizzatori con struttura idrotalcitica a base di cobalto per la sintesi di Fischer-Tropsch
6	2012-2013	Innovativa deacidificazione di oli vegetali tramite esterificazione in un sistema (monofase liquido)/solido
7	2013-2014	Deacidificazione di oli vegetali tramite esterificazione in catalisi eterogenea: studio dell'effetto dell'acqua prodotta dalla reazione
8	2013-2014	Produzione di biodiesel tramite transesterificazione di oli vegetali a diversi contenuti di acqua e FFA
9	2013-2014	Catalizzatori a base di Co e Fe preparati con metodo "spray pyrolysis" per la sintesi di Fischer-Tropsch.
10	2013-2014	Produzione di aria arricchita tramite degassaggio di acqua per intensificazione di processo
11	2013-2014	Utilizzo di catalizzatori a base di cobalto preparati tramite metal vapor synthesis per la reazione di Fischer-Tropsch.
12	2013-2014	Produzione di biometano da biogas tramite lavaggio con acqua in una colonna di assorbimento.
13	2013-2014	Utilizzo di un reattore PBR per la deacidificazione di oli vegetali tramite esterificazione in catalisi eterogenea
14	2013-2014	Determinazione degli idrocarburi leggeri disciolti negli idrocarburi pesanti prodotti da un reattore Fischer-Tropsch
15	2013-2014	Attivazione di un catalizzatore 'flame spray pyrolysis' Co/SiO <sub>2</sub> per la sintesi di Fischer-Tropsch
16	2014-2015	Catalizzatori a base di ossidi di calcio e stronzio supportati per la transesterificazione di oli vegetali a biodiesel
17	2014-2015	Messa a punto dell'apparato sperimentale per studiare la transesterificazione di olio di girasole a biodiesel in catalisi eterogenea
18	2014-2015	Messa a punto di un impianto sperimentale per lo studio della distillazione di biodiesel
19	2014-2015	Produzione di aria arricchita in ossigeno da degassaggio di acqua: influenza delle variabili operative
20	2014-2015	Degradazione fotocatalitica dell'etanolo tramite biossido di titanio
21	2014-2015	Sviluppo di un metodo sostenibile di estrazione di polioidrossialcanoati da fanghi di trattamento acque
22	2014-2015	Preparazione e utilizzo di catalizzatori a base di cobalto supportato su silice per la sintesi di Fischer-Tropsch

23	2014-2015	Influenza di diversi solventi nella reazione di transesterificazione di oli vegetali per la produzione di biodiesel
24	2015-2016	Confronto tra catalizzatori a base di co preparati tramite flame spray pyrolysis o ultrasuoni per la sintesi di Fischer-Tropsch
25	2015-2016	Messa a punto di un apparato in continuo per il degasaggio da acqua di aria arricchita in ossigeno
26	2015-2016	Messa a punto analitica e reattoristica per l'idrogenazione di acido muconico ad acido adipico.
27	2017-2018	Prove sperimentali e studio di simulazione per la distillazione discontinua di una miscela multicomponente
28	2017-2018	Esercizio di un reattore PBR per la produzione in continuo di biodiesel
29	2017-2018	Studio di catalizzatori a base di ferro supportato su silice preparati con ultrasuoni per la sintesi di Fischer-Tropsch
30	2017-2018	Degradazione di farmaci in ambiente acquoso in presenza di supporti ceramici fotocatalitici a base di TiO <sub>2</sub> micrometrico
31	2017-2018	Studio di catalizzatori a base di cobalto supportato su carboni attivi per la reazione di Fischer-Tropsch
32	2017-2018	Estrazione di aria arricchita in ossigeno da acqua dolce o salata
33	2017-2018	Studio dell'idrogenazione dell'acido muconico ad acido adipico, catalizzata da sistemi a base di platino supportato.
34	2017-2018	Upgrading del biogas a biometano tramite colonne di assorbimento a bassa pressione: studio della fase di degasaggio.
35	2017-2018	Studio dell'idrogenazione catalitica di acido muconico ad acido adipico
36	2017-2018	Svolgimento della reazione di idrogenazione dell'acido muconico ad acido adipico in reattore batch
37	2018-2019	Produzione di metanolo da syngas promossa da catalizzatori CZA
38	2018-2019	Messa a punto di un apparato sperimentale per la conduzione di reazioni fuggitive in reattori semi-batch
39	2018-2019	Idrogenazione di acido muconico ad acido adipico con diverse tipologie di catalizzatori eterogenei
40	2018-2019	Nuovo metodo sperimentale per la quantificazione dei gas disciolti in un mezzo viscoso
41	2018-2019	Conversione del biosyngas in metanolo tramite impianto in continuo e studio del catalizzatore CZA
42	2019-2020	Sintesi di acido adipico con catalizzatori eterogenei
43	2019-2020	Confronto di metodi classici e alternativi per lo studio di equilibrio liquido vapore
44	2019-2020	Selezioni di solventi green alternativi al percloroetilene per il recupero di bitumi
45	2019-2020	Piping and instrumentation diagram di un impianto di produzione di urea granulare
46	2019-2020	Studio equilibrio liquido-vapore di miscela bicomponente
47	2019-2020	Studio di solventi green alternativi al percloroetilene per recupero di bitumi
48	2019-2020	Purificazione di aria da VOC'S attraverso torri di assorbimento.
49	2019-2020	Studio e caratterizzazione di nuovi catalizzatori CZA per la produzione di metanolo da CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub>
50	2019-2020	Messa a punto della sintesi dell'acido o-fosforico con il 2-etilesanolo per reattori industriali
51	2020-2021	Messa a punto di un metodo analitico per il controllo della distribuzione municipale di gas naturale
52	2020-2021	Sintesi e test di catalizzatori a base di Cu, Zn e Al per la sintesi di metanolo da biosyngas
53	2020-2021	Ottimizzazione di un metodo analitico gascromatografico per una miscela di gas naturale
54	2020-2021	Valutazione degli equilibri solido vapore dei BTX negli impianti di gas naturale liquefatto
55	2020-2021	Idrogenazione catalitica della CO <sub>2</sub> tramite sintesi di Fischer-Tropsch
56	2020-2021	Idrogenazione della CO <sub>2</sub> : la reazione di Sabatier
57	2020-2021	Studio di catalizzatori eterogenei per la sintesi di metanolo da gas di sintesi con CO <sub>2</sub>

58	2020-2021	Studio dell'equilibrio liquido vapore di miscele non ideali e valutazione della consistenza termodinamica dei dati raccolti
59	2020-2021	Analisi dell'ELV della miscela eptano-toluene per il dimensionamento di colonne di distillazione con differenti modelli termodinamici
60	2020-2021	Recupero dell'acqua uscente dai vapori di una caldaia a metano tramite polimeri super adsorbenti
61	2020-2021	Studio di uno scambiatore di calore in un impianto LNG (Liquefied Natural Gas)
62	2020-2021	Valutazione dell'utilizzo di aria arricchita in ossigeno in processi industriali
63	2020-2021	Analisi ELV della miscela Acqua - Etil acetato per design di colonna di rettifica
64	2020-2021	Adsorbimento di VOC su carboni attivi: Studio Modellistico e Sperimentale
65	2020-2021	Studio e ottimizzazione di un processo pressure-swing distillation per la separazione di metanolo e tetraidrofurano

#### Elenco tesi di Laurea Magistrali in Industrial Chemistry con Relatore Carlo Pirola

#	AA	Titolo
1	2011-2012	Studio dell' equilibrio liquido-vapore e liquido-liquido-vapore di miscele non ideali di interesse industriale. Dati sperimentali e loro simulazione.
2	2012-2013	Catalizzatori a base di Fe o Co per la sintesi di Fischer-Tropsch: risultati sperimentali e relativa modellizzazione
3	2012-2013	Deacidificazione di oli vegetali tramite catalisi eterogenea in un reattore tubolare operante sotto pressione
4	2012-2013	Purificazione, distillazione ed epossidazione di biodiesel per la produzione di bioplastificanti
5	2012-2013	Studio dell'equilibrio liquido vapore di diverse tipologie di biodiesel e biodiesel epossidati
6	2013-2014	Conversione di oli vegetali in biodiesel tramite transesterificazione con metanolo in catalisi eterogenea
7	2013-2014	Use of not refined oil as raw material and glycerol valorization in biodiesel production process
8	2013-2014	Catalizzatori a base di cobalto preparati con il metodo flame spray pyrolysis per il processo Fischer-Tropsch
9	2013-2014	Nuovi catalizzatori a base di cobalto preparati con ultrasuoni o tramite 'flame spray pyrolysis' per la sintesi di Fischer-Tropsch
10	2014-2015	Transesterificazione di oli vegetali tramite catalisi eterogenea in una miscela liquida monofasica: effetto del solvente
11	2014-2015	Characterization and sustainable extraction methods of PHA from biomass produced in wastewater treatments plants
12	2014-2015	Equilibrio liquido vapore e separazione per distillazione della miscela cicloesano-cicloesanone
13	2014-2015	Produzione di aria arricchita in ossigeno tramite degasaggio di acqua in condizioni statiche e in flusso continuo
14	2015-2016	Deacidificazione di oli vegetali in catalisi eterogenea tramite utilizzo di un reattore a letto fisso
15	2015-2016	Enriched air production by water desorption in a continuous bench-scale plant: experimental and simulation validation with economical/lca analysis
16	2015-2016	CO <sub>2</sub> photoreduction at high pressure to both gas and liquid products over titanium dioxide based catalysts
17	2015-2016	Study of ultrasound assisted synthesis and new biomass derived support for iron and cobalt based catalysts active in Fischer-Tropsch reaction
18	2015-2016	Oxygen-enriched air production by fresh and salt water desorption in a continuous plant
19	2016-2017	Purificazione del biometano da CO <sub>2</sub> tramite colonna di assorbimento con step intermedio di degasaggio
20	2016-2017	Bio-adipic acid production by heterogeneous catalyzed hydrogenation reaction
21	2016-2017	Feasibility study and optimization of separation by batch distillation from industrial mixture to 1-methyl-3-pyrrolidinol
22	2016-2017	Conversion of biosyngas to methanol: set up of a continuous plant and study of CZA catalytic systems
23	2016-2017	Set-up of a reactive distillation apparatus for glycerol valorization via acetylation reaction
24	2016-2017	Development of a semi batch recycle reactor (SBRR) for the selective synthesis of triethylenetetramine
25	2016-2017	Vapor-liquid equilibrium and batch distillation optimization tests of binary and multicomponent mixtures

26	2018-2019	Semi-batch reactors applications for low selectivity and runaway reactions
27	2018-2019	Hydrogenation of muconic acid to adipic acid with noble metal
28	2018-2019	Set-up and optimization of a bench-scale plant for methanol synthesis using CZA catalyst
29	2019-2020	Removal of ethyl acetate from air by physical absorption column with water
30	2019-2020	Study of vapour liquid equilibria of binary mixtures by ebulliometric and head space chromatographic methods
31	2020-2021	Simulation of a new extractive distillation column for terephthalic acid production process
32	2020-2021	Methanol synthesis over CZA catalyst doped with Ca, Sr and Mg oxides
33	2020-2021	Runaway reactions: innovative control criterions for industrial applications
34	2020-2021	Impact analysis and experimental test of CO <sub>2</sub> hydrogenation by heterogeneously catalyzed processes
35	2020-2021	Pd/cu bimetallic heterogeneous catalysts for muconic acid hydrogenation
36	2020-2021	Analysis and improvement of ELV data consistency for a solid design of distillation columns
37	2020-2021	Purification of air from VOCs by adsorption process on activated carbons: experimental and modelling study
38	2020-2021	Study and development of a chemical degradation methodology for polystyrene (PS) and polyethylene terephthalate (PET) microplastics in aqueous environment

#### Elenco Tesi di Dottorato in Chimica Industriale con Relatore Carlo Pirola

#	AA	Titolo
1	2013-2015	Reduction of the carbon footprint of fuels and petrochemicals starting from vegetable oils
2	2015-2017	Synthesis, characterization and rig tests of supported Fe and Co-based nanostructured catalysts active in the thermochemical BTL/CTL/GTL-FT processes
3	2017-2019	New adipic acid production process starting from hydrolyzed lignin and cellulose, experimental and modelling study

#### ATTIVITÀ DI TUTORATO DEGLI STUDENTI DI CORSI DI LAUREA E DI LAUREA MAGISTRALE E DI TUTORATO DI DOTTORANDI DI RICERCA

AA 2012-2013; 2013-2014; 2014-2014: attività di tutoraggio per 17 studenti del Corso di Laurea in Chimica Industriale con incontri periodici (ogni 3-4 mesi) e reperibilità continua via mail e appuntamenti singoli.

#### ATTIVITÀ DI TERZA MISSIONE

Al fine di diffondere cultura, conoscenze e trasferire i risultati della ricerca al di fuori del contesto accademico, cercando di contribuire alla crescita sociale e all'indirizzo culturale del territorio, il Candidato ha svolto le seguenti attività:

1. Dal 2017 ad oggi: responsabile e coordinatore della Commissione Orientamento della Facoltà di Scienze e Tecnologie dell'Università degli Studi di Milano per l'organizzazione di grandi eventi quali open day di Facoltà, open day di Ateneo e Job Fair di Ateneo.
2. Dal 2013 ad oggi, Responsabile e docente della Summer School "Marinella Ferrari" per studenti della scuola secondaria con un ciclo di lezioni e attività sulle energie rinnovabili.
3. Autore delle seguenti pubblicazioni divulgative:
  - Intervista a Carlo Pirola "Il biodiesel alternativo", rivista "Hi-Tech Ambiente" numero 3, anno 2011.
  - "Are Conversion, selectivity and yield terms unambiguously defined in chemical and chemical engineering technology?", rivista "La Chimica e l'Industria", numero di marzo, anno 2013.
  - "Eye4edu: la realtà virtuale immersiva nell'impianto chimico", rivista "ICP, rivista dell'industria chimica, numero di ottobre, anno 2020.
  - "Nuovi processi fotocatalitici per purificare acqua e aria", rivista "ICP, rivista dell'industria chimica, numero di giugno, anno 2021".

## **ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA**

Si riportano i principali passaggi svolti dal Candidato Pirola Carlo durante il suo percorso Accademico.

- Anno 2000: Laurea in Chimica Industriale, Università degli Studi di Milano;
- Anno 2001: Assunzione nel ruolo di Tecnico categoria D1 presso il Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Milano;
- Anno 2005: Entrata in congedo per motivi di studio per potere seguire il Corso di Dottorato in Chimica Industriale (XXI Ciclo), Università degli Studi di Milano;
- Anno 2008: Conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Chimica Industriale e ripresa del servizio come tecnico di ruolo;
- Anno 2011: Partecipazione alla procedura valutativa comparativa e inquadramento come ricercatore universitario per il settore scientifico-disciplinare ING-IND/25 (Impianti Chimici) presso il Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Milano;
- Anno 2012: Abilitazione Scientifica Nazionale alle funzioni di Professore universitario di seconda fascia nel settore Concorsuale 09/D3 - Impianti e Processi Industriali Chimici;
- Anno 2016: Partecipazione alla procedura valutativa comparativa e inquadramento come Professore Associato universitario nel settore Concorsuale 09/D3 - Impianti e Processi Industriali Chimici, settore scientifico-disciplinare ING-IND/25 (Impianti Chimici) presso il Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Milano;
- Anno 2021: Abilitazione Scientifica Nazionale alle funzioni di Professore universitario di prima fascia nel settore Concorsuale 09/D3 - Impianti e Processi Industriali Chimici.

## **PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE**

*(per ciascuna pubblicazione indicare: nomi degli autori, titolo completo, casa editrice, data e luogo di pubblicazione, codice ISBN, ISSN, DOI o altro equivalente)*

I principali indici bibliometrici di Carlo Pirola sono di seguito riportati (Fonte Scopus Database, Orcid ID 0000-0002-7013-5424, 15 giugno 2021):

- Documents: 156
- Citations: 2770, by 1236 documents
- h-index: 30
- Co-Authors: 201

Seguendo le indicazioni fornite nel bando della presente procedura di valutazione, vengono proposte 20 pubblicazioni, selezionate e allegate in una cartella elettronica al presente CV. Tali pubblicazioni, sotto elencate, sono state selezionate principalmente in base alle tematiche trattate e al maggior contributo del candidato rispetto i coautori delle stesse, oltre che per la maggior parte alla recente data di pubblicazione.

- 1) C. Pirola, C.L. Bianchi, D. Boffito, G. Carvoli, V. Ragaini (2010). Vegetable Oil Deacidification by Amberlyst : Study of the Catalyst Lifetime and a Suitable Reactor Configuration. INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, vol. 49, p. 4601-4606, ISSN: 0888-5885, doi: 10.1021/ie901980c. Citations: 13
- 2) C. Pirola, F. Galli, F. Manenti, M. Corbetta, C.L. Bianchi (2014). Simulation and related experimental validation of acetic acid/water distillation using p-xylene as entrainer. INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, vol. 53, p. 18063-18070, ISSN: 0888-5885, doi: 10.1021/ie502758v. Citations: 14
- 3) F. Manenti, C. Pirola (2014). Process intensification using energy-free highly enriched air : Application to seawater desalination plants. CHEMICAL ENGINEERING AND PROCESSING, vol. 79, p. 40-47, ISSN: 0255-2701, doi: 10.1016/j.ccep.2014.03.008. Citations: 6
- 4) F. Manenti, A. R. Leon Garzon, Z. Ravaghi Ardebili, C. Pirola (2014). Systematic staging design applied to the fixed-bed reactor series for methanol and one-step methanol/dimethyl ether synthesis. APPLIED THERMAL ENGINEERING, vol. 70, p. 1228-1237, ISSN: 1359-4311, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.04.011. Citations: 30



- 5) C. Pirola, F. Galli, M. Corbetta, F. Manenti (2015). Robust kinetic modeling of heterogeneously catalyzed free fatty acids esterification in monophasic liquid/solid packed bed reactor : rival model discrimination. *CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY*, vol. 17, p. 1139-1147, ISSN: 1618-954X, doi: 10.1007/s10098-015-0925-x. Citations: 4
- 6) M. Corbetta, C. Pirola, F. Galli, F. Manenti (2016). Robust optimization of the heteroextractive distillation column for the purification of water/acetic acid mixtures using p-xylene as entrainer. *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*, vol. 95, p. 161-169, ISSN: 0098-1354, doi: 10.1016/j.compchemeng.2016.09.015. Citations: 5
- 7) F. Manenti, F. Adani, F. Rossi, G. Bozzano, C. Pirola (2016). First principles-models and sensitivity analysis for the lignocellulosic biomass-to-methanol conversion process. *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*, vol. 84, p. 558-567, ISSN: 0098-1354, doi: 10.1016/j.compchemeng.2015.05.01. Citations: 12
- 8) F. Galli, A. Comazzi, D. Previtali, F. Manenti, G. Bozzano, C.L.M. Bianchi, C. Pirola (2017). Production of oxygen-enriched air via desorption from water : experimental data, simulations and economic assessment. *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*, vol. 102, p. 11-16, ISSN: 0098-1354, doi: 10.1016/j.compchemeng.2016.07.031. Citations: 8
- 9) S. Capelli, A. Rosengart, A. Villa, A. Citterio, A. Di Michele, C. Bianchi, L. Prati, C. Pirola (2017). Bio-adipic acid production by catalysed hydrogenation of muconic acid in mild operating conditions. *APPLIED CATALYSIS. B, ENVIRONMENTAL*, vol. 218, p. 220-229, ISSN: 0926-3373, doi: 10.1016/j.apcatb.2017.06.060. Citations: 8
- 10) C. Pirola, M. Galimberti, A. Comazzi, G. Bozzano, M. Hillestad, F. Manenti (2017). Integrated reactor staging and plant optimization of a Biomass-To-Liquid technology. *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*, vol. 106, p. 719-729, ISSN: 0098-1354, doi: 10.1016/j.compchemeng.2017.03.028. Citations: 2
- 11) D. C. Boffito, F. Galli, C. Pirola, G. S. Patience (2017). CaO and isopropanol transesterify and crack triglycerides to isopropyl esters and green diesel. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, vol. 139, p. 71-78, ISSN: 0196-8904, doi: 10.1016/j.enconman.2017.02.008. Citations: 12
- 12) F. Galli, D. Previtali, G. Bozzano, C. L. Bianchi, F. Manenti, C. Pirola (2018). Production and application of O<sub>2</sub> enriched air produced by fresh and salt water desorption in chemical plants. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, vol. 217, p. 621-628, ISSN: 0301-4797, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.03.133. Citations: 6
- 13) F. Galli, C. Pirola, D. Previtali, F. Manenti, C.L.M. Bianchi (2018). Eco design LCA of an innovative lab scale plant for the production of oxygen-enriched air : comparison between economic and environmental assessment. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, vol. 171, p. 147-152, ISSN: 0959-6526, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.268. Citations: 21
- 14) C. Pirola (2019). Learning distillation by a combined experimental and simulation approach in a three steps laboratory : Vapor pressure, vapor-liquid equilibria and distillation column. *EDUCATION FOR CHEMICAL ENGINEERS*, vol. 28, p. 54-65, ISSN: 1749-7728, doi: 10.1016/j.ece.2019.05.003. Citations: 4
- 15) J. De Tommaso, F. Rossi, N. Morandi, C. Pirola, G. S. Patience, F. Galli (2020). Experimental Methods in Chemical Engineering: Process Simulation. *THE CANADIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING*, Vol. 98, p. 2301-2320, ISSN: 1939-019X, doi: 10.1002/cjce.23857. Citations: 2
- 16) Pirola, Carlo, Peretti, Cristina, Galli, Federico (2020). Immersive Virtual Crude Distillation Unit learning experience : the EYE4EDU Project. *COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING*, vol. 140, p. 1-11, ISSN: 0098-1354, doi: 10.1016/j.compchemeng.2020.106973. Citations: 1
- 17) Pirola, Carlo, Di Michele, Alessandro (2020). Nonlinear desorption activation energy from TPD curves : analysis of the influence of initial values for the regression procedure. *CANADIAN JOURNAL OF*

- 18) D. Previtali, M. Longhi, F. Galli, A. Di Michele, F. Manenti, M. Signoretto, F. Menegazzo, C. Pirola (2020). Low pressure conversion of CO<sub>2</sub> to methanol over Cu/Zn/Al catalysts. The effect of Mg, Ca and Sr as basic promoters. FUEL, Vol. 274, p. 117804, ISSN: 0016-2361, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117804. Citations: 8
- 19) D. Meroni, M. Jiménez-Salcedo, E. Falletta, B. M. Bresolin, C. F. Kait, D. C. Boffito, C. L. Bianchi, C. Pirola (2020). Sonophotocatalytic degradation of sodium diclofenac using low power ultrasound and micro sized TiO<sub>2</sub>. ULTRASONIC SONOCHEMISTRY, Vol. 67, p. 105123, ISSN: 1350-4177, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105123. Citations: 7
- 20) C. Pirola, M. Mattia (2021). Purification of air from volatile organic compounds by countercurrent liquid gas mass transfer absorption process. INTERNATIONAL JOURNAL OF THERMOFLUIDS, Vol. 9, p. 100060, ISSN: 2666-2027, doi: 10.1016/j.ijft.2020.100060. Citations: 0

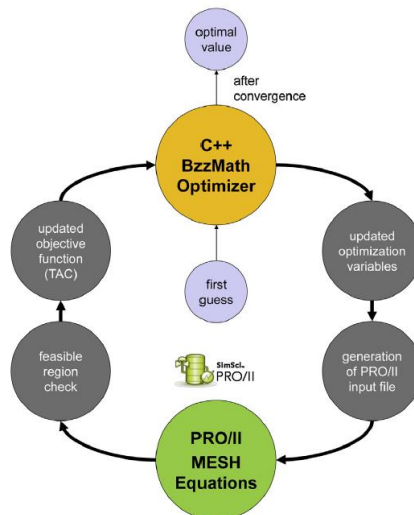
Descrizione delle principali linee di ricerca, in cui si inseriscono le 20 pubblicazioni selezionate:

Le ricerche scientifiche su cui lavora Carlo Pirola sono comprese nelle tre principali tematiche dei processi di separazione, della ottimizzazione di processo tramite modellazione e simulazione e della catalisi eterogenea in reattori continui e batch. Nel seguito verranno brevemente descritti i più recenti studi condotti all'interno di queste tre linee di ricerche principali con riferimenti specifici alle 20 pubblicazioni selezionate per la presente procedura di valutazione. I riferimenti verranno citati con un numero tra parentesi quadre [numero] per richiamare i prodotti come da numerazione dell'elenco sopra riportato.

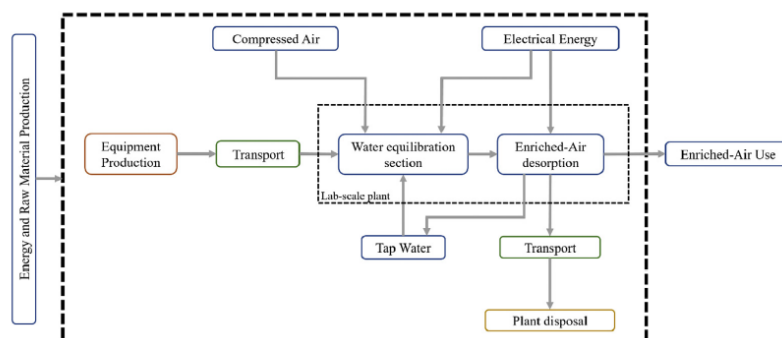
- **Processi di separazione:**

I processi di separazione presi in considerazione si inseriscono nel settore delle “mass transfer operations”, ovvero riguardano gli equilibri tra fasi fluide (principalmente liquido-vapore e liquido-liquido-vapore), le separazioni tramite distillazioni batch e colonne di rettifica continue, le separazioni tramite colonne di assorbimento e una nuova particolare tecnologia per la produzione di aria arricchita in ossigeno da degasaggio di acqua.

La prima tematica affrontata ha riguardato la difficile separazione della miscela acqua-acido acetico, di grande interesse industriale. La soluzione proposta prevede una separazione tramite processo di distillazione estrattiva-azeotropica con l'utilizzo di p-xilene come solvente estrattore. La scelta di questo particolare estrattore è stata fatta in riferimento al processo produttivo dell'acido tereftalico, che avviene tramite ossidazione catalitica del p-xilene usando acido acetico come solvente. I vantaggi usando questo estrattore all'interno dello stesso processo sono connessi all'utilizzo di p-xilene sia come reagente per il reattore del tereftalico sia come estrattore per la successiva separazione dell'acido acetico (solvente di reazione) dall'acqua (coprodotto di reazione). L'utilizzo di p-xilene come estrattore al posto di quelli comunemente utilizzati (acetato di etile per esempio) eviterebbe inoltre importanti problematiche di purificazione nelle correnti di riciclo. Per lo studio di questa tecnica di separazione sono stati considerati gli equilibri di fase (liquido-vapore e liquido-liquido-vapore) delle miscele binarie e ternarie presenti in questo sistema, partendo da dati sperimentali di letteratura. Si è visto che una corretta interpretazione termodinamica può essere ottenuta utilizzando il modello UNIFAC con dipendenza dei parametri dalla temperatura per il calcolo dei coefficienti di attività, e usando la correlazione di Hayden-O'Connell per tenere conto dell'associazione dell'acido acetico in fase vapore. Sono stati inoltre prodotti dati sperimentali con una colonna di rettifica a 15 piatti, variando diverse condizioni operative. Tutte le prove svolte sono state simulate correttamente con il sistema termodinamico proposto, stimando l'efficienza globale dei piatti della colonna pari a 0.55. Ulteriori ricerche hanno individuato un approccio termodinamico migliorato, basato sull'utilizzo del modello UNIQUAC per il calcolo dei coefficienti di attività in fase liquida dopo averne regredito in modo robusto i parametri [2]. La configurazione di colonna è stata quindi ottimizzata economicamente applicando il metodo di Guthrie per il calcolo dei costi capitali e operativi e applicando quindi una procedura di ottimizzazione dei principali 7 parametri operativi di impianto (portata di entrainer, rapporto di riflusso, piatto di entrata dell'entrainer, numero di piatti di colonna, piatto di entrata dell'alimentazione, temperatura dell'alimentazione, temperatura dell'entrainer) [6], seguendo l'algoritmo risolutivo riportato nella seguente figura.



Il secondo studio presentato ha avuto l'obiettivo di valutare una nuova tecnologia per la produzione di aria arricchita in ossigeno. L'aria atmosferica contiene oltre all'ossigeno altri gas inerti, il cui il principale è l'azoto. La presenza di questi inerti limita la cinetica delle reazioni di ossidazione e richiede necessariamente la costruzione di impianti di dimensioni maggiori. L'aria arricchita in ossigeno con percentuali fino al 35% è una miscela utilizzata per ossidazioni gas-liquido, nei processi di combustione, oltre che come gas per immersioni subacquee e ossigenoterapia. La produzione di aria arricchita avviene industrialmente con processi di adsorbimento, membrane polimeriche o distillazione criogenica. Una nuova tecnologia proposta e brevettata dal Candidato e dal Prof. Flavio Manenti del Politecnico di Milano nel 2014 prevede l'ottenimento di aria arricchita da degassaggio di acqua precedentemente equilibrata con l'aria atmosferica, grazie al differente coefficiente di Henry in acqua di azoto e ossigeno. Sulla base di questo principio sono state condotte prove sperimentali sia in configurazione batch che continua, andando a quantificare e ottimizzare le condizioni sperimentali di temperatura e pressione più convenienti per questo processo sia in termini di composizione che di quantità dell'aria arricchita prodotta. La ricerca si è condotta nelle seguenti fasi, con le relative pubblicazioni di riferimento: 1) prima validazione sperimentale della tecnologia, con una colonna a riempimento Sulzer, e case study di applicazione per la desalinizzazione dell'acqua di mare tramite distillazione multi effetto presso l'isola di Pantelleria [3]; 2) validazione sperimentale di dettaglio con produzione di aria arricchita in continuo e analisi economica della tecnologia [8]; 3) proposta di un impianto di produzione con un serbatoio preliminare di equilibrio con aria atmosferica sotto pressione, per aumentare la produttività, e ottimizzazione economica dei parametri di impianto oltre che la analisi termodinamica e di processo con utilizzo di acqua salata [12]; 4) analisi di Life Cycle Assessment (LCA) della tecnologia con confronto dell'ottimizzazione economica e di impatto ambientale [13]. Si riporta a titolo di esempio lo schema del "system boundaries" del progetto LCA.



Un terzo argomento nel campo delle separazioni è rappresentato dallo studio di purificazione dell'aria da Volatile Organic Compounds (VOC) tramite lavaggio fisico con acqua in colonne di assorbimento in controcorrente. In questo studio sono state condotte prove sperimentali con una colonna alta 1 metro con riempimento strutturato Sulzer Mellapak sia con acqua in continuo che in configurazione di riciclo per massimizzarne l'efficienza. Le prove sono state quindi analizzate con simulazione tramite software di processo per validazione dei risultati con un opportuno approccio termodinamico [20]. Il successivo recupero

del VOC e nuovo utilizzo di acqua di lavaggio, oltre che nuovi sviluppi di ricerca come l'utilizzo di altri liquidi di lavaggio o di miscele di VOC sono attualmente in corso.

Nella tematica delle separazioni rientra anche la ricerca condotta in ambito didattico sulla messa a punto di esercitazioni dedicate a processi quali la misura della tensione di vapore di un composto a diverse temperature, lo studio dell'equilibrio liquido-vapore di miscele non ideali e alla loro separazione in una colonna di distillazione in continuo multistadio. Tutte le esercitazioni sperimentali in queste postazioni sono affiancate da elaborazioni sulla relativa teoria di base utilizzando equazioni classiche e sulla simulazione di processo delle stesse esperienze, con particolare attenzione alla verifica dei modelli termodinamici necessari per la corretta riproduzione dei risultati sperimentali [14].

La tematica delle separazioni rientra inoltre nella successiva dedicata alla simulazione di processo. Tutti gli studi svolti vengono infatti condotti con il doppio approccio sperimentale e simulativo. Inoltre, il progetto didattico Eye4edu [16] descritto in seguito, è dedicato a un impianto industriale interamente dedicato al campo delle separazioni, ovvero la Crude Distillation Unit.

#### - **Ottimizzazione di processo tramite modellazione e simulazione**

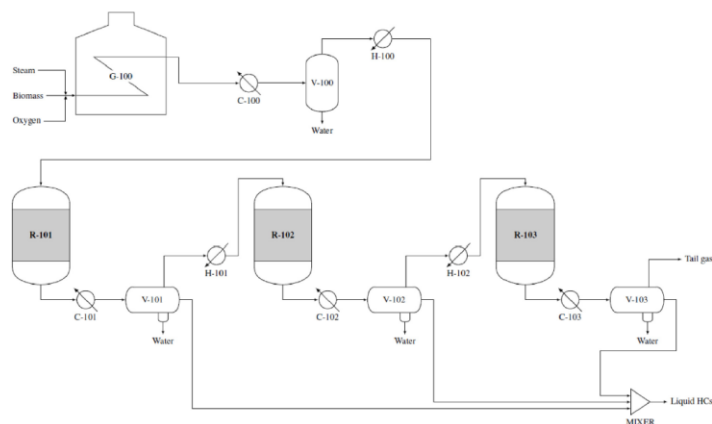
Il candidato si è occupato in questa linea di ricerca di ottimizzazione e sviluppo di singole operazioni unitarie o processi chimici tramite analisi di dati basata su modellizzazione matematica, a volte abbinata con la simulazione di processo. I principali processi presi in esame con questo approccio rientrano nel campo della green chemistry per lo sviluppo di processi sostenibili per la produzione di combustibili e materiali a partire da risorse rinnovabili quali biomasse. In questo ambito le pubblicazioni selezionate consistono in due lavori dedicati allo studio della sintesi di metanolo [4, 7] e un lavoro nel campo del processo Biomass-To-liquid (BTL) tramite reazione di Fischer-Tropsch [10]. Per quanto riguarda il reattore del metanolo, il primo studio del 2014 [4] è stato dedicato allo studio specifico della serie di reattori a letto fisso in cui viene prodotto questo composto, ponendo attenzione ai sistemi di raffreddamento della tecnologia Lurgi. Le nuove configurazioni proposte consentono di aumentare resa, risparmio di energia e guadagno complessivo della tecnologia, come desumibile dalla tabella seguente presa dall'articolo originale.

**Table 3**  
Comparison of the traditional process; the process optimization and the energy process optimization.

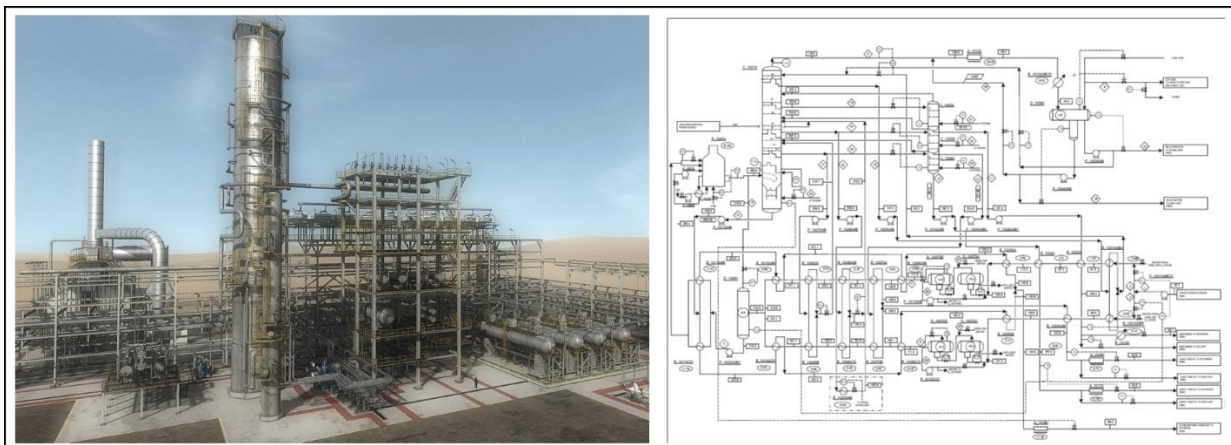
		Traditional	Process optimization	Energy process optimization
Length ratio	—	0.7/0.3	0.547/0.463	0.527/0.473
Shell side temperature	K	524	520.09	520.02
Carbon conversion	—	0.2149	0.2914	0.2977
Methanol mole fraction	—	0.063922	0.067703	0.06782
Energy from Steam	GJ/y	190,295	193,683	193,736
Total revenue	€/y	45,844,440	47,529,778	47,580,869

La pubblicazione successiva del 2016 [7] prende in considerazione il processo di bioraffineria da biomassa a metanolo analizzando l'effetto di diversi parametri operativi quali il tipo di biomassa, la dimensione della particella da gassificare, l'umidità del feedstock e il tempo di residenza, per procedere quindi all'ottimizzazione di processo tramite recupero di energia e calore dai residui lignocellulosici.

Come noto, un approccio parallelo alla sintesi del metanolo nel passaggio da biomassa a idrocarburi utili è rappresentato da un adattamento della sintesi di Fischer-Tropsch. La pubblicazione [10] del 2017 affronta questo argomento proponendo uno studio che, partendo da dati sperimentali su scala di laboratorio prodotti dal gruppo di ricerca coordinato dal Candidato, utilizza un modello cinetico regredendone in modo non lineare i parametri cinetici. Con il modello così definito si propone quindi una simulazione e ottimizzazione di un impianto BTL dove la biomassa viene gassificata con ossigeno e vapore e il syngas prodotto alimenta un reattore multi-tubulare a letto fisso Fisher-Tropsch. Vengono quindi confrontate tre possibili configurazioni impiantistiche (un esempio in figura) valutandone i tempi di ritorno dell'investimento iniziale.



La modellazione matematica è stata, in molti studi e pubblicazioni, utilizzata in modo complementare e sinergico con la simulazione di processo [2, 3, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 20]. Carlo Pirola si è dedicato intensamente negli ultimi 10 anni circa al campo della simulazione di processo, sia per finalità di ricerca che didattiche, sviluppando una forte collaborazione con la Società AVEVA (<https://www.aveva.com/en/>) produttrice di software quali PRO II, Dynsim, Eyesim. Questa collaborazione è testimoniata da tutte le pubblicazioni sopra citate e, in particolare, dalla pubblicazione [16] e da interventi a congressi internazionali (ICHEAP 2021, Napoli virtual; Congresso Nazionale SCI 2021) a nome comune. La simulazione di processo rientra quindi sostanzialmente in quasi tutti i lavori del Candidato. In questo paragrafo dedicato alla descrizione di articoli e studi principalmente incentrati alla modellizzazione matematica o a studi di simulazione si vuole porre l'attenzione alle pubblicazioni [15] e [16]. Il primo articolo è una review dedicata a una approfondita disamina dei software di simulazione di processo, con l'analisi delle loro caratteristiche, potenzialità, limitazioni, principi di funzionamento e applicazioni svolta in collaborazione con un gruppo di ricerca del Polytechnique du Montreal (Canada) [15]. Il secondo articolo presenta un progetto didattico innovativo, nominato Eye4edu, [16] in cui si propone agli studenti l'utilizzo della realtà virtuale applicata a un impianto di Crude Distillation Unit per potere visitare l'impianto e potere svolgere diverse missioni o operazioni all'interno di esso. Il software si basa sull'azione combinata della simulazione dinamica di impianto effettuata con Dynsim e della rappresentazione virtuale delle strutture impiantistiche ottenuta con un secondo software denominato Eyesim. Quest'ultimo software, sempre prodotto da Aveva, è nato con fini di Operator Training per la preparazione del personale destinato a lavorare in impianto. L'idea di adattare e ottimizzare il software per fini didattici è nata da una proposta del Candidato ad Aveva che ha portato alla stesura di un progetto tutt'ora in corso e in sviluppo. La presentazione del software, la descrizione delle attività, i risultati raccolti e le opinioni degli studenti sono riportati nella pubblicazione [16]. A partire da settembre 2021 inizierà un progetto finanziato dopo selezione tra molte proposte, denominato VIRTICHEM, in collaborazione con le Università di Praga e Parigi per la mobilità di studenti tra Milano e queste sedi per lezioni preparatorie e esercitazioni virtuali basate su Eye4edu. Il Candidato è proponente e Principal Investigator del progetto. Si riporta a titolo esemplificativo nella seguente figura una overview dell'impianto virtuale di Crude Distillation Unit insieme al PFD dello stesso impianto utilizzato nel progetto.

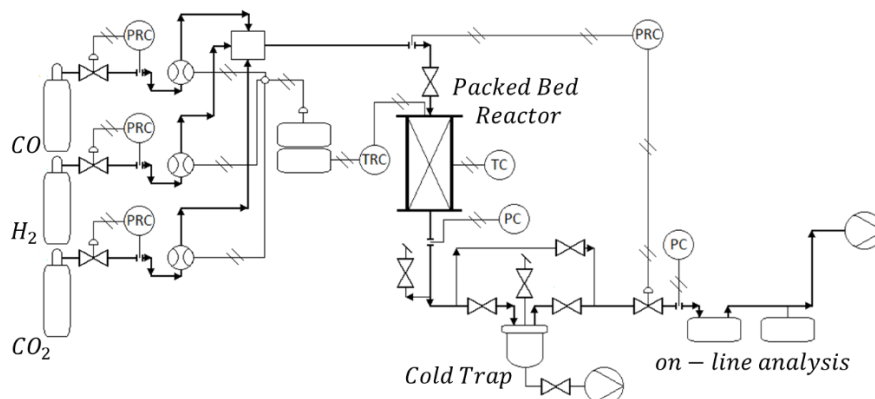


### - *Catalisi eterogenea in reattori continui e batch*

Lo studio di reazioni promosse da catalizzatori eterogenei in sistemi gas-solido o liquido-solido in reattori batch o continui rappresenta un ulteriore e importante campo di lavoro per Carlo Pirola. Le linee affrontate sono state la produzione di biodiesel e green diesel da oli vegetali, la sintesi di Fischer-Tropsch e metanolo da gas di sintesi, la produzione di acido adipico tramite idrogenazione di acido muconico, la purificazione fotocatalitica di aria e acqua da inquinanti di diverso tipo. Queste tematiche sono state studiate sperimentalmente, con il fine di ottenere dati in scala da laboratorio utili per la definizione di un modello idoneo per la rappresentazione dei fenomeni chimico-fisici coinvolti e il suo utilizzo per le fasi di sviluppo e progettazione seguenti.

La produzione di biodiesel a partire da trigliceridi rappresenta una soluzione tecnologica per la produzione di carburanti non troppo distante nel mercato attuale rispetto le larghe produzioni da fonti fossili. Pur con varie oscillazioni negli anni, il biodiesel è infatti uno dei prodotti sostenibili più utilizzati, anche per alcune norme legislative. La sua produzione tramite reazione di transesterificazione con alcoli (principalmente metanolo) deve essere preceduta da trattamenti di deacidificazione degli oli se si parte da materie prime di seconda generazione. Le pubblicazioni [1] e [5] si sono occupate di questa reazione preliminare utilizzando resine a scambio ionico come catalizzatori solidi acidi. Nel primo lavoro si sono utilizzati un reattore batch per studiare la resistenza meccanica e chimica del catalizzatore, svolgendo 90 prove consecutive da 6 ore cadauna, e un reattore a letto impaccato a riciclo per valutare l'influenza dell'equilibrio liquido-liquido della miscela reagente sulla resa di reazione [1]. Nel successivo studio [5] sono stati raccolti dati sperimentali in un reattore in continuo in acciaio e gli stessi dati sono stati la base di confronto per due diversi modelli cinetici di tipo pseudomomogeneo o di tipo adsorbimento Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson (LHHW), quest'ultimo risultato più idoneo per la corretta rappresentazione del sistema. La alta non idealità del sistema in fase liquida è stata considerata con il modello UNIQUAC. Un ulteriore avanzamento in questa tematica è rappresentata dalla possibile transesterificazione dei trigliceridi con isopropanolo, e ossido di calcio come catalizzatore, al fine di ottenere un biodiesel costituito da esteri isopropilici con proprietà più adatte ai climi particolarmente freddi. La problematica di questa sintesi è rappresentata da una cinetica di reazione molto più lenta rispetto la stessa utilizzando il metanolo. Per sopperire a questa limitazione si è utilizzato un reattore fluidizzato con atomizzazione dell'olio di partenza e temperature di 450°C. Il sistema è stato ottimizzato al fine di ottenere la maggior resa di idrocarburi di interessi con la minor formazione di coke [11].

La conversione di gas di sintesi ( $\text{CO}/\text{H}_2$ ) in idrocarburi utili tramite la sintesi di Fischer-Tropsch o la sintesi di metanolo è stato un importante campo di ricerca per il Candidato a partire dal suo dottorato di ricerca, dedicato a questa tematica per lo sviluppo di nuovi catalizzatori supportati a base di ferro, potassio e rame. La ricerca è stata condotta tramite la messa a punto dell'impianto continuo bench-scale rappresentato nella seguente figura, la sintesi e caratterizzazione di catalizzatori tradizionali e innovativi (per esempio prodotti con ausilio di ultrasuoni o tramite tecnica Flame-Spray-Pyrolisis), la produzione di dati sperimentali utilizzando diversi parametri operativi dopo verifica di lavoro in regime chimico e non diffusivo, l'interpretazione dei dati tramite opportuno modello cinetico e regressione dei parametri necessari. Delle diverse pubblicazioni avute nel corso degli anni in questo campo, viene proposta per la presente procedura di valutazione la più recente, del 2020 [18], dedicata allo studio di nuovi catalizzatori di tipo CZA ( $\text{Cu}/\text{Zn}/\text{Al}$ ) con utilizzo di Mg, Ca e Sr come promotori basici per la sintesi di metanolo, oltre che quella già presentata precedentemente [10] con cui a partire dai dati sperimentali raccolti si è definito un opportuno modello cinetico e quindi proposta l'ottimizzazione dell'interno impianto BTL tramite reazione di Fischer-Tropsch.



Una differente reazione di idrogenazione, sempre promossa tramite catalisi eterogenea, riguarda la conversione di acido muconico ad acido adipico. Tramite questa reazione è possibile individuare un processo produttivo alternativo e molto più sostenibile da un punto di vista ambientale dell'acido adipico, importante monomero industriale alla base della produzione delle poliammidi. In questo processo è possibile partire da biomassa per ottenere tramite processi fermentativi l'acido muconico che, per idrogenazione, viene successivamente trasformato ad acido adipico. La reazione di idrogenazione è complessa per la possibilità di avere molti sottoprodotti e quindi richiede attivazione catalitica efficiente e selettiva. A questa tematica è stato dedicato un dottorato di ricerca, con Carlo Pirola come Relatore, che ha portato a diverse pubblicazioni e comunicazione a congressi. Nel lavoro di ricerca sono stati messi a punto metodi analitici e impianto sperimentale per le prove con reattore batch, ottimizzati i parametri di prova per evitare limitazioni diffusive, testati diversi catalizzatori a base di metalli supportati su carbone, individuati i principali meccanismi di reazione e quindi definito il possibile modello cinetico. La pubblicazione proposta [9] contiene i risultati principali di questa ricerca.

La fotocatalisi è una particolare area della catalisi in cui l'attivazione della particella solida avviene tramite sorgente luminosa di opportuna energia, e quindi lunghezza d'onda. La ricerca scientifica in questo campo è in aumento esponenziale negli ultimi anni, in particolare per la sua applicazione alla depurazione da inquinanti dell'aria e dell'acqua. Carlo Pirola segue queste ricerche da numerosi anni, con numerose pubblicazioni dedicate. Lo sviluppo di nuovi reattori fotocatalitici, nuovi catalizzatori e la modellizzazione cinetica dei dati sperimentali sono i principali argomenti considerati in questo ambito. L'articolo proposto [19] per la presente valutazione comparativa è l'esempio più recente di studio pubblicato in questo settore da parte del Candidato, come autore di riferimento. Nello specifico in questo lavoro viene considerata la purificazione dell'acqua da un farmaco (diclofenac, principio attivo di alcuni farmaci che si trova nelle acque reflue di molte città) utilizzando fotocatalisi abbinata a ultrasuoni in due diverse soluzioni reattoristiche. Dai dati sperimentali ottenuti usando acqua distillata o da rete idrica si sono calcolate le costanti cinetiche per diversi assetti sperimentali per una prima valutazione dei consumi energetici richiesti per l'abbattimento dell'inquinante.

Nelle varie ricerche condotte sulla catalisi eterogenea da parte del Candidato, una parte di lavoro molto importante per la corretta interpretazione dei risultati è la caratterizzazione dei vari catalizzatori, ovvero lo studio delle proprietà chimico e fisiche degli stessi. Solitamente questa parte di lavoro è stata utilizzata come strumento per la piena comprensione dei fenomeni attivi sulle superficie catalitiche. Nel caso della pubblicazione [17] si è voluto approfondire un aspetto tipicamente modellistico per una tecnica di caratterizzazione specifica, ovvero la Temperature Programmed Desorption (TPD). In dettaglio, questa tecnica consiste nel fare fluire un gas reagente a contatto con un campione di catalizzatore in una fase di adsorbimento gas-solido e quindi in una fase successiva si procede ad aumentare la temperatura del reattore per quantificare il desorbimento in funzione della temperatura. Le informazioni che si possono così ottenere riguardano il numero e la tipologia di siti attivi, ovvero interagenti con il gas reattivo, presenti sulla superficie del materiale. Dall'analisi di questi dati è possibile ottenere, tramite equazione di Polanyi-Wigner, importanti parametri quali l'energia di attivazione del desorbimento. Per questa analisi è necessario svolgere una regressione di fitting rispetto i punti sperimentali che si è dimostrata potere essere fortemente dipendente dai valori parametrici di inizio calcolo. Nell'articolo si analizza in dettaglio questa dipendenza e si propongono soluzioni numeriche per riuscire a individuare i corretti valori dell'energia di attivazione e del fattore pre-esponenziale analizzando catalizzatori a base di Pt e Co utili per reazioni di idrogenazione di gas di sintesi.

L'elenco completo delle pubblicazioni a rivista del Candidato è riportato nell'ultima parte del presente documento per una visione complessiva della produttività e delle tematiche trattate.

## **PROGETTI FINANZIATI PUBBLICI E PRIVATI**

- Carlo Pirola ha ottenuto come Responsabile Scientifico e Principal Investigator finanziamenti pubblici e privati per un totale di 272.200 euro, come di seguito dettagliato. A questa cifra vanno aggiunti circa 50.000 euro di attività conto terzi.

***Responsabilità scientifica per progetti di ricerca internazionali e nazionali, ammessi al finanziamento sulla base di bandi competitivi che prevedano la revisione tra pari***

Anno 2015: Principal Investigator del progetto "SUSustainable Extraction processes of PHA from bacterial cell mater produced in waste water plant treatments", bando Azione A del Dipartimento di Chimica per il Piano



di Sostegno alla Ricerca - 2015/2017 - Linea 2. Finanziamento: 6.600 euro, approvato dopo selezione tra altri progetti presentati.

Anno 2018: Principal Investigator del progetto "Enriched Air POWERed Chemical Plants and Combustion Engines: EAPOWER", bando: linea AZIONE A per il Piano Sostegno alla Ricerca 2018 dell'Università degli Studi di Milano, - Linea 2. Finanziamento: 2.200 euro, approvato dopo selezione tra altri progetti presentati.

Anno 2021: Principal Investigator del progetto "VIRTCHEM project: The VIRtual Immersive Education for CHEMistry and Chemical Engineering", bando "4eu+ Educational Project Proposal" della 4eu+ European University Alliance. Il progetto è stato presentato in collaborazione con la Charles University di Praga e con la Sorbonne University di Parigi. Finanziamento: 42.900 euro, approvato dopo selezione tra altri progetti presentati.

***Responsabilit  di studi e ricerche scientifiche affidati da qualificate istituzioni pubbliche o private:***

Anno 2012: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dal Consorzio Interuniversitario Nazionale Per La Scienza E Tecnologia Dei Materiali (INSTM) di Firenze, "Studio degli equilibri liquido vapore dei principali componenti di biodiesel provenienti da olio di soia e verifica della loro possibile separazione tramite colonna di rettifica". Corrispettivo: 38.500 euro, Societ  FITT S.p.a.

Anno 2015: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dal Consorzio Interuniversitario Nazionale Per La Scienza E Tecnologia Dei Materiali (INSTM) di Firenze "Caratterizzazione del fluido Ciclopentano (C5) in particolari condizioni di temperatura e pressione, al fine di valutarne il comportamento all'interno di un ciclo termodinamico". Corrispettivo: 12.000 euro, societ  Nuovo Pignone.

Anno 2015: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dal Consorzio Interuniversitario Nazionale Per La Scienza E Tecnologia Dei Materiali (INSTM) di Firenze "Prove caratterizzazione C5 e contaminate". Corrispettivo: 25.000 euro, societ  Nuovo Pignone.

Anno 2017: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Universit  degli Studi di Milano, "Studio di fattibilit  e ottimizzazione della separazione mediante distillazione discontinua da miscela industriale a 1-metil-3 pirrolidinolo". Corrispettivo: 15.000 euro, Societ  AMSA (Anonima Materie Sintetiche e Affini S.p.A.).

Anno 2017: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Universit  degli Studi di Milano, "Prove di caratterizzazione e soluzioni di impianto per miscele liquide". Corrispettivo: 8.000 euro, societ  COIM S.p.A.

Anno 2017: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Universit  degli Studi di Milano, "Prove di solubilizzazione degli asfalti con solventi green". Corrispettivo: 10.000 euro, Societ  IDEA-RE.

Anno 2017: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Universit  degli Studi di Milano, "Prove di degassaggio e soluzioni di impianto per miscele liquide". Corrispettivo: 8.000 euro, societ  COIM S.p.A.

Anno 2018: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Universit  degli Studi di Milano, "Studio e analisi di solventi green per il riciclo di bitume". Corrispettivo: 12.500 euro+IVA, societ  IDEA-RE

Anno 2018: Consulente per una perizia per la societ  PPG Industries Italia S.r.l., richiesta tramite lo studio legale Palmer-Legal di Milano (Avvocato Micheli Marco), sulla tematica "Consulenza tecnica avente a oggetto la composizione chimica della miscela denominata Nitro Thinner e le tecniche di estrazione delle sostanze toluene e acetone dalla medesima miscela con valutazione del grado di difficolt  dell'operazione e della economicit  della stessa alla stregua dell'art. 70, comma 1, DPR 309/190". Corrispettivo: 2.000 euro.

Anno 2018: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dal Consorzio Interuniversitario Nazionale Per La Scienza E Tecnologia Dei Materiali (INSTM) di Firenze, "Analisi di letteratura equazioni di stato per sistema refrigerante e solubilit  di aromatici in metano liquido". Corrispettivo: 3.500 euro, societ  Nuovo Pignone Tecnologie.



Anno 2019: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Università degli Studi di Milano, "Messa a punto di una procedura di sintesi per la produzione di Phosphoric acid, 2-ethylhexyl ester CAS 12645-31-7". Corrispettivo: 14.000 euro, società ITERCHIMICA.

Anno 2019: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Università degli Studi di Milano, "Messa a punto di un sistema di analisi gascromatografico per l'analisi di una miscela di gas naturale". Corrispettivo: 14.000 euro, società REGAS.

Anno 2020: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dall'Università degli Studi di Milano, "Studio della stabilità delle molecole odoranti del gas naturale a contatto con diversi materiali di impianto". Corrispettivo: 16.000 euro, società REGAS.

Anno 2021: Responsabile del contratto di ricerca commissionata, gestito dal Consorzio Interuniversitario Nazionale Per La Scienza E Tecnologia Dei Materiali (INSTM) di Firenze "Thermal stability characterization of cyclopentane in long endurance test". Corrispettivo: 42.000 euro, società Nuovo Pignone.

- Inoltre, il candidato è stato membro del gruppo di ricerca finanziato per i seguenti progetti : 1) Anni 2002-2004 "VOC oxydation using electric discharges and catalytic bed", CRAFT project. Ente finanziatore: Unione Europea. 2) Anni 2010-2014: "Studio di fattibilità per la produzione di Biocarburante da semi oleosi di essenze agricole e da sottoprodotti". Ente Finanziatore: Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. 3) Anni 2015-2018 EU LIFE project "A novel manufacturing process for photocatalytically activate ceramic tiles by digital printing". Ente finanziatore: Comunità Europea. 4) 2020, in corso fino al 2024: Project no. 1381 "Water decontamination by sunlight-driven floating photocatalytic systems (SUNFLOAT)". Ente finanziatore: Velux Stiftung (Svizzera).

#### **ORGANIZZAZIONE, DIREZIONE E COORDINAMENTO DI CENTRI O GRUPPI DI RICERCA NAZIONALI E INTERNAZIONALI O PARTECIPAZIONE AGLI STESSI**

*(per ciascuna voce inserire anno, ruolo, gruppo di ricerca, ecc.)*

- Il Candidato lavora e coordina un gruppo di ricerca all'interno del Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano le cui principali linee di studio riguardano studi cinetici in reattori continui e discontinui di tipo omogeneo o catalitico, fotocatalisi per la depurazione dell'acqua e dell'aria, processi di separazione (equilibri tra fasi fluide, colonne di distillazione/rettifica, colonne di assorbimento), simulazione e ottimizzazione di processo. Questo gruppo è mediamente costituito da 1 o 2 dottorandi, circa 6 tesisti magistrali e 8 tirocinanti triennali.

Le principali collaborazioni del Candidato interne al Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano sono con la Prof. Claudia Bianchi (CHIM/04), la Prof.ssa Ilenia Rossetti (ING-IND/25), la Prof. Ermelinda Falletta (CHIM/04), la Prof. Laura Prati (CHIM/03), il Prof. Alberto Villa (CHIM/03) e la Prof.ssa Mariangela Longhi (CHIM/02).

Carlo Pirola inoltre collabora con diversi gruppi di ricerca sia in Italia che all'estero. Oltre alla collaborazione descritta nel punto seguente nel gruppo SuPER (Sustainable Process Engineering Research) con il Prof. Flavio Manenti del Politecnico di Milano (ING-IND/25), altre importanti collaborazioni sono ancora con la Prof.ssa Giulia Bozzano (ING-IND/24), il Prof. Simone Colombo (ING-IND/25) e il Prof. Renato Rota (ING-IND/24) del Politecnico di Milano, con la Prof.ssa Sabrina Copelli (ING-IND/24) dell'Università degli Studi dell'Insubria, con la Prof. G. Spigno (ING-IND/25) e il Prof. Andrea Bassani (ING-IND/25) dell'Università Cattolica di Piacenza, con il Prof. G. Maschio (ING-IND/25) e la Prof. Chiara Vianello (ING-IND/25) dell'Università degli Studi di Padova, con il Prof. Bruno Fabiano (ING-IND/25) dell'Università di Genova, con il Prof. Luca Montorsi (ING-IND/09) e Prof. Carlo Alberto Rinaldini (ING-IND/08) dell'Università di Modena e Reggio Emilia, con il Prof. David Bolzonella (ING-IND/25) dell'Università di Verona, con il Prof. Francesco Fatone (ING-IND/25) dell'Università Politecnica delle Marche, con il Prof. Mauro Majone (ING-IND/25) dell'Università di Roma La Sapienza, con la Prof. Michela Signoretto (CHIM/04) dell'Università Cà Foscari di Venezia, con la Prof.ssa Giuseppina Cerrato (CHIM/03) dell'Università di Torino, con la Prof.ssa Linda Barelli (ING-IND/08), la Prof.ssa Morena Nocchetti (CHIM/03) e il Prof. Alessandro di Michele (CHIM/07) l'Università di Perugia e con Dr. Franco Biasioli dell'Istituto Edmund Mach di San Michele all'Adige.

- Dall'anno 2014 ad oggi: Fondazione e direzione, insieme al Collega Prof. Flavio Manenti del Politecnico di Milano, del gruppo SuPER (Sustainable Process Engineering Research, <http://super.chem.polimi.it/>). Questo gruppo di ricerca si basa su una strettissima collaborazione su diverse linee di ricerca tra i gruppi di Chimica Industriale (Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Milano) e di Ingegneria Chimica (Dipartimento di Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica, Politecnico di Milano). Dalla sua fondazione questo gruppo ha portato alla pubblicazione di 57 articoli congiunti su riviste internazionali.
- Le principali collaborazioni estere sono con il Polytechnique di Montreal (Prof. Gregory Patience e Prof.ssa Daria Boffito), con l'Università di Atene (Prof. Christos Argiris), con il Department of Chemistry at The University of Illinois (Prof. Kenneth Suslick), con la Cardiff University (Prof. Alberto Roldan e Prof. Nikolaos Dimitratos, ora trasferitosi all'Università di Bologna), con l'Université de Sorbonne, Parigi (Prof.ri Jerome Pulpytel, Gaillaume Laugel, Claude Jolival) e con la Charles University di Praga (Prof. Petr Smejkal e Ludek Mika).
- Anno 2017: periodo presso il Polytechnique di Montreal per lo sviluppo di diverse tematiche di collaborazione.
- Membro del GRICU (Gruppo di Ingegneria Chimica dell'Università) e dell'AIDIC (Associazione Italiana di Ingegneria Chimica).

#### **ATTIVITÀ QUALI LA DIREZIONE O LA PARTECIPAZIONE A COMITATI EDITORIALI DI RIVISTE SCIENTIFICHE** (per ciascuna voce inserire anno, ruolo, rivista scientifica, ecc.)

Anno 2018: Guest Editor per la rivista Applied Sciences (MPDI, ISSN 2076-3417) for the Special Issue "Advances in Methanol Production from Biomass".

Dall'anno 2019: Guest Editor per la rivista Catalysts (MDPI, ISSN 2073-4344) for the Special Issue "Transition Metal Catalysis".

Dall'anno 2020: Guest Editor per la rivista "International Journal of Thermofluids" (Elsevier, ISSN: 2666-2027) per la Special Issue "Energy Efficiency in Industrial Processes and Systems".

Dall'anno 2020: Membro dell'Editorial Board della rivista "Journal of Chemical Engineering Research Updates" (Avanti Publishers, ISSN 2409-983X).

Dall'anno: Guest Editor per la rivista Catalysts (MDPI, ISSN 2073-4344) for the Special Issue "Air and Water Purification Processes Through Photocatalysis: Scale up Perspectives".

#### **TITOLARITÀ DI BREVETTI**

(per ciascun brevetto, inserire autori, titolo, tipologia, numero brevetto, ecc.)

Anno 2014: Autore del brevetto: C. Pirola, F. Manenti, "Nuovo processo di arricchimento aria" Brevetto depositato in Italia, numero LO2013A000002. Data di deposito: 04/04/2013, data di pubblicazione 05/10/2014. N. ITLO20130002 del 05/10/2014; N. WO2014161713 del 09/10/2014. Enti proponenti: Università degli Studi di Milano, Politecnico di Milano.

Anno 2017: Autore del brevetto: C. Pirola, F. Manenti, C. L. Bianchi "Concentrated solar catalytic reactor", Domanda di brevetto Italiana N°102017000001505 depositata in data 09-01-2017. Enti proponenti: Politecnico di Milano, Università degli Studi di Milano.

Anno 2020: Autore del brevetto: C. Pirola, F. Manenti, F. Maestri, S. Copelli "Metodo e dispositivo per determinare una distanza percorsa da una dispersione di fluido biologico tra un punto di emissione e un punto di atterraggio" Brevetto depositato in Italia, numero 102020000025027. Data di deposito: 22/10/2020. Enti proponenti: Università degli Studi di Milano, Politecnico di Milano, Università degli Studi dell'Insubria.

Anno 2020: Invito, dopo selezione, alla partecipazione del programma "Seed4Innovation" promosso da Fondazione UNIMI e le Società Deloitte, Bugnion, Novartis e Lamberti per ottenere fondi e supporto nel trasferimento tecnologico del brevetto "Metodo e dispositivo per determinare una distanza percorsa da una

dispersione di fluido biologico tra un punto di emissione e un punto di atterraggio” Brevetto depositato in Italia, numero 10202000025027.

#### **PREMI E RICONOSCIMENTI NAZIONALI E INTERNAZIONALI PER ATTIVITÀ DI RICERCA**

*(inserire premio, data, ente organizzatore, ecc.)*

Anno 2009: Correlatore della tesi di laurea magistrale in Chimica Industriale “Optimal conditions for the pre-treatment and use of a high loaded Fe-based catalyst for the synthesis of Fischer Tropsch” risultata vincitrice del premio per la miglior tesi dell’anno nelle Scienze Chimiche di Federchimica-Assogastecnici.

Anno 2013: Riconoscimento "Key Scientific Articles" dell'articolo "D. C. Boffito, C. Pirola, F. Galli, A. Di Michele, C. L. Bianchi "Free Fatty Acids esterification of waste cooking oil and its mixtures with Rapeseed oil and diesel", Fuel, 108 (2013) 612-619" sul prestigioso sito internazionale "Renewable Energy global Innovations": <http://reginnovations.org/key-scientific-articles/free-fatty-acids-esterification-of-waste-cooking-oil-and-its-mixtures-with-rapeseed-oil-and-diesel/>

Anno 2013: Relatore della tesi di laurea magistrale in Chimica Industriale “Study of the liquid vapor and liquid liquid vapor equilibria of high non ideal mixtures of industrial interest: experimental data and simulation” risultata vincitrice del Premio “Fausto Radici” per la miglior tesi di Chimica Industriale dell’anno.

Anno 2019: Relatore della tesi di laurea magistrale in Chimica Industriale “Sintesi di acido adipico con catalizzatori eterogenei”, risultata vincitrice del Premio “Italo Martina” per la miglior tesi di Chimica Industriale dell’anno.

#### **PARTECIPAZIONE IN QUALITÀ DI RELATORE A CONGRESSI E CONVEGNI DI INTERESSE INTERNAZIONALE**

*(inserire titolo congresso/convegno, data, ecc.)*

Relatore di circa 200 interventi a congressi nazionali o internazionali dal 2001 ad oggi. In particolare, si segnala in modo molto riassuntivo per ragioni di spazio, la partecipazione negli anni più recenti ai seguenti congressi, a parere del Candidato di fondamentale importanza per la partecipazione alle attività della Comunità Scientifica impegnata nel Settore Concorsuale 09/D3, Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/25. In tutti i Congressi elencati il Candidato ha partecipato fisicamente (ovvero non solo come autore di lavori ma presenziando la conferenza) con presentazioni orali o poster come indicato e, in alcuni casi, ricoprendo il ruolo di Chair.

Anno 2012: Congresso GRICU “Ingegneria Chimica: dalla nanoscala alla macroscale”, Montesilvano (PE), presentazione poster.

Anno 2014: Congresso International Conference on BioMas, Firenze. Presentazione orale e Chair.

Anno 2015: Congresso ICHEAP (International Conference on Chemical & Process Engineering”, Milano, presentazione orale.

Anno 2015: Congresso “SimSci Process Engineering Forum”, su invito, Roma (RO). Presentazione Orale.

Anno 2016: Congresso GRICU “Gli orizzonti 2020 dell’Ingegneria Chimica”, Anacapri (NA), presentazione poster.

Anno 2015: Congresso ESCAPE (European Symposium on Computer Aided Process Engineering), Copenhagen, Danimarca, presentazione poster.

Anno 2016: Congresso ESCAPE (European Symposium on Computer Aided Process Engineering), Portoroz, Slovenia, presentazione orale.

Anno 2017: Congresso SDEWES (Conference on Sustainable Development of Energy, Water, And Environment Systems): Dubrovnik, Croazia, presentazione orale.

Anno 2017: Congresso SDEWES (Conference on Sustainable Development of Energy, Water, And Environment Systems): Palermo (PA), presentazione orale.

Anno 2017: Congresso ICHEAP (International Conference on Chemical & Process Engineering”, Milano, presentazione poster.

Anno 2018: Congresso CISAP (International Conference on Safety & Environment in Process & Power Industry), Milano (MI). Presentazione orale e Chair.

Anno 2019: Congresso GRICU "Il contributo dell'Ingegneria Chimica Italiana alla sostenibilità globale", Palermo-Mondello, presentazione orale.

Anno 2019: Congresso ICHEAP (International Conference on Chemical & Process Engineering", Bologna, presentazione orale e Chair.

Anno 2021: Congresso ICHEAP (International Conference on Chemical & Process Engineering", Napoli (Virtual Edition), Presentazione orale e Chair.

Dall'anno 2012: Partecipazione a quasi tutte le assemblee GRICU.

Chairperson di sessioni in congressi internazionali quali "International Congress on Chemical and Process Engineering, Bologna, 2019" (Sessione Separation Technology and Transfer); "International Conference on Safety & Environment in Process and Power Industry, Milano, 2018" (Sessione Combustion Safety), "International Congress on Chemical and Process Engineering, Milano, 2018" (Sessione Reaction engineering); "International Conference on BioMas, Firenze, 2014" (Sessione "Innovative processes from waste"), "International Congress on Chemical and Process Engineering, Napoli (virtuale), 2021" (Sessione Environment, Safety, Energy, Quality).

Anno 2002: Membro del Comitato Organizzatore del Congresso Internazionale "8th Conference of the European Society of Sonochemistry", svoltosi a Villasimius (CA).

Anno 2015: Membro del Comitato Organizzatore del Convegno del Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano dal titolo "Incontro con l'Università, il CNR e l'industria", svoltosi a Milano.

Anno 2016: Membro del Comitato Organizzatore del Workshop "Life Cycle Assessment (LCA) e sviluppo delle figure professionali: esperienza aziendali a confronto", svoltosi a Milano.

Anno 2017: Keynote Lecture "Production and Application of O<sub>2</sub> enriched air produced by water desorption in chemical plants", su invito da parte del Comitato Organizzatore del Congresso "SDEWES (Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems", svoltasi a Dubrovnik (Croazia).

Anno 2018: Presentazione Orale "Production and Application of O<sub>2</sub> enriched air produced by water desorption in chemical plants", su invito da parte del Comitato Organizzatore del Congresso "SDEWES (Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems", svoltasi a Palermo (PA).

Anno 2018: Membro del Comitato Organizzatore del Convegno del Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano dal titolo "Incontro con l'Università, il CNR e l'industria", svoltosi a Milano.

Anno 2019: Membro del Comitato Scientifico del Congresso "International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE19)", Wroclaw (Poland), <http://www.asee.pwr.edu.pl/>.

Anno 2019, 2020, 2021: Membro dello Scientific Advisory board della 14<sup>a</sup>, 15<sup>a</sup> e 16<sup>a</sup> Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment System (SDEWES).

## **ATTIVITA' DI VALUTAZIONE**

Anno 2014: Membro della Commissione per l'esame finale di dottorato in "Industrial Chemistry and Chemical Engineering" presso il Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano. Titolo della tesi "Surface modification of carbon based materials by fluorine containing reagents", XXVI ciclo.

Anno 2015: Valutatore del Bando "Joint Projects 2015" dell'Università degli Studi di Verona.

Anno 2018: Membro della Commissione per il Bando di selezione per il conferimento di assegni di ricerca presso il Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano, Area 09, Ingegneria Industriale e dell'informazione, Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/25 - Impianti Chimici. Titolo della ricerca: "Sviluppo di DLL per simulazioni di processo, regressione parametrica per miscele complesse".

Anno 2019: Valutatore del progetto proposal SF191-CHE-570 "The Development of a Continuously Stirred Process for the Removal of Hydrogen Sulfide from Natural Gas using Graphitic Catalysts", per la King Fahd University of Petroleum and minerals (Dhahran, Saudi Arabia).

Anno 2019: Membro della Commissione Giudicatrice della procedura di selezione per la copertura di n. 1 posto di ricercatore tipo b) per il Dipartimento di Biotecnologie settore concorsuale 09/D3 Impianti e processi industriali chimici, settore scientifico-disciplinare ING-IND/25 Impianti Chimici, Università di Verona.

Anno 2019: Membro della Commissione per il Bando di selezione per il conferimento di assegni di ricerca presso il Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano, Area 09, Ingegneria Industriale e dell'informazione, Settore Scientifico Disciplinare ING-IND/25 - Impianti Chimici. Titolo della ricerca: "Trattamento termico di residui solidi mediante processo di Gasiforming".

Anno 2020: valutatore del project proposal No. 21-01850S "Advanced materials for artificial photosynthesis", per la Czech Science Foundation.

Anno 2021: valutatore del progetto del Programma per Giovani Ricercatori "Rita Levi Montalcini" (D.M. n. 928 del 23/12/2020, pubblicato su GU Serie Generale n. 38 del 15/02/2021), bando del Ministero dall'Università e della Ricerca" per il reclutamento di giovani ricercatori a tempo determinato ai sensi dell'art. 24, comma 3, lettera b) della Legge 240/2010.

Anno 2021: Valutatore designato dal Collegio dei Docenti del Corso di Dottorato in Biotecnologie (33 ciclo) della tesi di dottorato "Scale-up of innovative and Sustainable via-Nitrite biological Processes for Resource Recovery in Existing Wastewater Treatment Plants".

Controrelatore per le Lauree in Ingegneria Chimica presso il Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" del Politecnico di Milano per le seguenti sessioni di Laurea: settembre 2015, dicembre 2015, luglio 2016, settembre 2016, dicembre 2016, settembre 2017, dicembre 2017, marzo 2018, luglio 2018, dicembre 2020.

Attività di referaggio per molte riviste indicizzate internazionali, tra cui: Industrial & Engineering Chemistry Research; Chemical Engineering Journal; Chemical Engineering Science; Journal of Industrial and Engineering Chemistry; Water Science and technology; J. Hazardous Materials; Advances in Materials Sciences and Engineering; Energy Conversion and Management; Chemical Engineering and Processing: Process Intensification; Journal of cleaner production; Catalysis Today; International Journal of Hydrogen Energy; Energy & Fuels; Chemical Engineering & Technology; ACS Catalysis; Fuel; Catalysis Science & Technology; Chemical Engineering Research and Design; Ultrasonics Sonochemistry; Applied Catalysis A and B.

### **ATTIVITÀ GESTIONALI, ORGANIZZATIVE E DI SERVIZIO**

**INCARICHI DI GESTIONE E AD IMPEGNI ASSUNTI IN ORGANI COLLEGIALI E COMMISSIONI, PRESSO RILEVANTI ENTI PUBBLICI E PRIVATI E ORGANIZZAZIONI SCIENTIFICHE E CULTURALI, OVVERO PRESSO L'ATENEO O ALTRI ATENEI**

Incarichi attualmente in corso:

- Dall'anno 2014: Membro della Commissione Orientamento del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano e Coordinatore della Summer School annuale per gli studenti delle scuole secondarie;
- Dall'anno 2017: Membro della Commissione Didattica del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano;
- Dall'anno 2017: Presidente della Commissione orientamento della Facoltà di Scienze e Tecnologie dell'Università degli Studi di Milano;
- Dall'anno 2018: Membro della Commissione Sicurezza del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano;
- Dall'anno 2019: Componente del Comitato di Indirizzo del COSP (Centro Orientamento allo Studio e alle Professioni) dell'Università degli Studi di Milano;

- Dall'anno 2020: Presidente della Commissione di Accesso alla Laurea Magistrale in Industrial Chemistry dell'Università degli Studi di Milano;
- Dall'anno 2020: Presidente della Commissione Contratti e Conto Terzi del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano;
- Dall'anno 2021: Membro della Commissione Internazionalizzazione del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano;

Incarichi svolti in precedenza:

- Triennio 2017-2019: Membro eletto del Consiglio Direttivo della Sezione Lombardia della Società Chimica Italiana.
- Dal 2012 al 2016: Membro della Commissione Strumenti e Gas Tecnici del Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Milano;

## **ELENCO COMPLESSIVO DELLE PUBBLICAZIONI DI CARLO PIROLA**

Si riporta l'elenco completo delle pubblicazioni indicizzate di Carlo Pirola, come risulta dalla consultazione dei Database Scopus (<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=15122274700>). All'elenco si aggiungono 4 pubblicazioni, evidenziate con \*, su riviste al momento non indicizzate.

[1] V. Ragaini, C. L. Bianchi, E. Selli, C. Pirola, "Sono-Photocatalytic elimination degradation of 2-chlorophenol in water: kinetic and energetic comparison with other techniques", *Ultrasonics Sonochemistry* 8 (2001) 251-258.

[2] A. Gervasini, V. Ragaini, C. Pirola, "Destruction of carbon tetrachloride in the presence of hydrogen-supplying compounds with ionisation and catalytic oxidation", *Applied Catalysis B: Environmental* 38 (2002) 17-28.

[3] C. L. Bianchi, V. Ragaini, C. Pirola, G. Carvoli, "A new method to clean industrial water from acetic acid via esterification", *Applied Catalysis B: Environmental* 40 (2003) 93-99.

[4] M. Mrowetz, C. Pirola, E. Selli, "Degradation of Organic water pollutants through sonophotocatalysis in the presence of TiO<sub>2</sub>", *Ultrasonics Sonochemistry* 10 (2003) 247-254.

[5] A. Gervasini, C. Pirola, S. Zilio, V. Ragaini, "Destruction of carbon tetrachloride in the presence of hydrogen-supplying compounds with ionisation and catalytic oxidation. Part 2: Methane as hydrogen font", *Applied Catalysis B: Environmental* 47 (2004) 257-267.

[6] V. Ragaini, C. Pirola, A. Elli, "Separation of some light monocarboxylic acids from water in binary solutions in a reverse osmosis pilot plant", *Desalination* 171 (2004) 21-32.

[7] E. Selli, C. L. Bianchi, C. Pirola, M. Bertelli, "Degradation of methyl tert-butyl ether in water: effects of the combined use of sonolysis and photocatalysis", *Ultrasonic Sonochemistry* 12 (2005) 395-400.

[8] V. Ragaini, C. L. Bianchi, C. Pirola, G. Carvoli, "Increasing the value of dilute acetic acid streams through esterification. Part I: Experimental analysis of the reaction zone", *Applied Catalysis B: Environmental* 64 (2006) 66-71.

[9] C. L. Bianchi, C. Pirola, V. Ragaini, E. Selli, "Mechanism and efficiency of atrazine degradation under combined oxidation processes", *Applied Catalysis B: Environmental* 64 (1-2) (2006) 131-138.

[10] C. L. Bianchi, V. Ragaini, C. Pirola, "Choosing the best diluent for a fixed catalytic bed: the case of CO Hydrogenation", *Catalysis Communications* 7 (2006) 669-672.

[11] S. Ardizzone, C. L. Bianchi, G. Cappelletti, C. Pirola, V. Ragaini, "The role of synthetic procedure on the photoactivity of nanocrystalline TiO<sub>2</sub>", 2006 NSTI Nanotechnology Conference and Trade Show, NSTI Nanotech 2006 Technical Proceeding.

[12] V. Ragaini, C. Guaita, C. Pirola, "The beneficial influence of ultrasound in the polymerization of  $\epsilon$ -caprolactam to polyamide-6 (Nylon 6). Part I: Primary experimental results", *Ultrasonics Sonochemistry* 14 (2007) 680-688.

[13] V. Ragaini, C. Pirola, G. Rocco, C. Guaita, "The beneficial influence of ultrasound in the polymerization of  $\epsilon$ -caprolactam to polyamide-6 (Nylon 6). Part II: Additional experiment to understand the "pre-sonication effect", *Ultrasonics Sonochemistry* 14 (2007) 689-694.

- [14] V. Ragaini, C. L. Bianchi, C. Pirola, "Kinetic of esterification of diluted acetic acid with pure 2-ethyl-1-hexanol", *Chemical Engineering Journal* 131 (2007) 257-262.
- [15] S. Ardizzone, C. L. Bianchi, G. Cappelletti, S. Gialanella, C. Pirola, V. Ragaini, "Tailored Anatase/Brookite Nanocrystalline TiO<sub>2</sub>. The Optimal Particle Features for Liquid and Gas-Phase Photocatalytic Reactions", *The Journal of Physical Chemistry C* 111 (2007) 13222-13231.
- [16] E. Selli, C. L. Bianchi, C. Pirola, G. Cappelletti, V. Ragaini, "Efficiency of 1,4-dichlorobenzene degradation in water under photolysis, photocatalysis on TiO<sub>2</sub> and sonolysis", *Journal of Hazardous Materials* 153 (2008) 1136-1141.
- [17] C. L. Bianchi, S. Ardizzone, C. Pirola, A. Naldoni, G. Cappelletti, "Photocatalytic degradation of toluene in the gas phase. Relationship between the surface species and the catalyst features", *Environmental Science & Technology* 42 (17) (2008) 6671-6676.
- [18] C. Pirola, C. L. Bianchi, A. Di Michele, S. Vitali, V. Ragaini, "Fischer-Tropsch and Water Gas Shift chemical regimes on supported iron based catalysts at high metal loading", *Catalysis Communications* 10 (2009) 823-827.
- [19] G. Cappelletti, S. Ardizzone, C. L. Bianchi, S. Gialanella, A. Naldoni, C. Pirola, V. Ragaini, "Photodegradation of pollutants in air: enhanced properties of nano-TiO<sub>2</sub> prepared by ultrasound", *Nanoscale Research Letters* 4 (2009) 97-105.
- [20] C. L. Bianchi, G. Cappelletti, S. Ardizzone, S. Gialanella, A. Naldoni, C. Oliva, C. Pirola, "N-doped TiO<sub>2</sub> from TiCl<sub>3</sub> for photodegradation of air pollutants", *Catalysis Today* 144, 1-2 (2009) 31-36.
- [21] C. Pirola, C. L. Bianchi, A. Di Michele, P. Diodati, S. Vitali, V. Ragaini, "High loading Fe-supported Fischer-Tropsch catalysts: optimization of the catalyst performance", *Catalysis Letters* 131, 1-2 (2009) 294-304.
- [22] A. Naldoni, C. L. Bianchi, S. Ardizzone, G. Cappelletti, L. Ciceri, A. Schibuola, C. Pirola, M. Pappini, "Photocatalysis for the degradation of ionic surfactants in water: The case of DPC", *Materials Research Society Symposium Proceeding* 1171 (2009) 77-83.
- [23] C. Pirola, C. L. Bianchi, A. Di Michele, P. Diodati, D. C. Boffito, V. Ragaini, "Ultrasound and microwave assisted synthesis of high loading Fe-supported Fischer Tropsch catalysts" *Ultrasonics Sonochemistry* 17 (2010) 610-616.
- [24] C. L. Bianchi, D. C. Boffito, C. Pirola, V. Ragaini, "Low temperature de-acidification process of animal fat as a pre-step to biodiesel production", *Catalysis Letters* 134 (2010) 179-183.
- [25] C. Pirola, C. L. Bianchi, D. C. Boffito, G. Carvoli, V. Ragaini, "Vegetable oils de-acidification by Amberlyst: study of catalyst lifetime and a suitable reactor configuration", *Industrial & Engineering Chemistry Research* 49, 10 (2010) 4601-4606.
- [26] C. L. Bianchi, C. Pirola, D. C. Boffito, M. Bastianini, S. Gatto, "Co-Zn-Al based hydrotalcites as catalysts for Fischer-Tropsch process", *DGMK Tagungsbericht* 3 (2012) 157-161.
- [27] D. C. Boffito, S. Mansi, C. Pirola, D. Barnabè, R. Bucchi, "High efficiency esterification and transesterification of alternative feedstock for biodiesel production", *DGMK Tagungsbericht* 3 (2012) 211-216.
- [28] G. Cappelletti, F. Spadavecchia, S. Ardizzone, I. Biraghi, C.L. Bianchi, C. Pirola, "Bisphenol A endocrine disruptor complete degradation using TiO<sub>2</sub> photocatalysis with ozone", *Environmental Chemistry Letters*, 10 (2012) 55-60.
- [29] C. Pirola, D. C. Boffito, S. Vitali, C. L. Bianchi, "Photocatalytic coating for building industry: study of 1 year of activity in the NO<sub>x</sub> degradation", *Journal of Coatings Technology and Research* 9 (2012) 453-458.
- [30] C. L. Bianchi, C. Pirola, E. Selli, S. Biella, "Photocatalytic NO<sub>x</sub> abatement: the role of the material supporting the TiO<sub>2</sub> active layer", *Journal of Hazardous Materials* 211-212 (2012) 203-207.
- [31] V. Ragaini, C. Pirola, S. Borrelli, C. Ferrari, I. Longo, "Simultaneous ultrasound and microwave new reactor: detailed description and energetic considerations", *Ultrasonics Sonochemistry* 19 (2012) 872-876.
- [32] D. C. Boffito, C. Pirola, C. L. Bianchi, "Heterogeneous catalysis for free fatty acids esterification reaction as a first step towards biodiesel production", *Chemistry Today* 30, 1 (2012) 42-46.
- [33] C. L. Bianchi, C. Pirola, S. Gatto, S. Nucci, A. Minguzzi, G. Cerrato, S. Biella, V. Capucci, "New surface properties in porcelain gres tiles with a look to human and environmental safety", *Advances in Materials Science and Engineering*, (2012), Article ID 970182.
- [34] V. Ragaini, C. Pirola, S. Vitali, G. Bonura, C. Cannilla, F. Frusteri, "Stability of metallic ruthenium in Ru-Co supported silica catalysts", *Catalysis Letters* 12 (2012) 1452-1460.

- [35] A. Naldoni, C. L. Bianchi, C. Pirola, K. S. Suslick, "Porous TiO<sub>2</sub> microspheres with tunable properties for photocatalytic air purification", *Ultrasonics Sonochemistry* 20 (2013) 445-451.
- [36] C. L. Bianchi, C. Pirola, S. Gatto, S. Vitali, M. Scavini, "Micro-TiO<sub>2</sub> as a starting material for new photocatalytic tiles", *Cement and Concrete Composites* 36 (2013) 116-120.
- [37] D. C. Boffito, V. Crocella, C. Pirola, B. Neppolian, G. Cerrato, M. Ashokkumar, C. L. Bianchi, "Ultrasonic enhancement of the acidity, surface area and free fatty acids esterification catalytic activity of sulphated ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> systems", *Journal of Catalysis* 297 (2013) 17-26.
- [38] D. C. Boffito, C. Pirola, F. Galli, A. Di Michele, C. L. Bianchi, "Free Fatty Acids esterification of waster cooking oil and its mixtures with Rapeseed oil and diesel", *Fuel* 108 (2013) 612-619.
- [39] C. Pirola, C. L. Bianchi, S. Gatto, S. Ardizzone, G. Cappelletti, "Pressurized photo-reactor for the degradation of the scarcely biodegradable DPC cationic surfactant in water", *Chemical Engineering Journal* 225 (2013) 416-422.
- [40] D. C. Boffito, S. Mansi, J. M. Leveque, C. Pirola, C.L. Bianchi, G. Patience, "Ultra-fast biodiesel production using ultrasound in batch and continuous reactors", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 1 11 (2013) 1432-1439 .
- [41] C. Pirola, F. Galli, C. L. Bianchi, G. Carvoli, "Heterogeneous distillation of the system water-acetic acid- p-xylene: study of its phase equilibria, micro-pilot column experimental results and computer simulation", *Chemical Engineering Transaction* 32 (2013) 1897-1902.
- [42] D. C. Boffito, C. Pirola, C. L. Bianchi, S. Morandi, M. Ashollumar, "Sulfated inorganic oxides for methyl esters production: Traditional and ultrasound-assisted techniques", *Producing Fuels and Fine Chemicals Using Nanomaterials* (2013) 137-162.
- [43] C. L. Bianchi, C. Pirola, V. Crocellà, P. Cerrato, A. Di Michele, A. Naldoni, V. Capucci, "Photocatalytic degradation of acetone, acetaldehyde and toluene in gas-phase: comparison between nano and micro-sized TiO<sub>2</sub>", *Applied Catalysis B: Environmental*, 146 (2014) 123-130.
- [44] M. Sansotera., F. Persico, C. Pirola, W. Navarrini, A. Di Michele, C. L. Bianchi, "Decomposition of perfluorooctanoic acid photocatalyzed by titanium dioxide: chemical modification of the catalyst surface induced by fluoride ions", *Applied Catalysis B: Environmental* 148-149 (2014) 29-35.
- [45] A. Di Fronzo, C. Pirola, A. Comazzi, C. L. Bianchi, A. Di Michele, R. Vivani, M. Nocchetti, M. Bastianini, D. C. Boffito, F. Galli, "Co-based Hydrotalcites as new catalysts for the Fischer-Tropsch process", *Fuel* 119 (2014) 62-69.
- [46] D. C. Boffito, F. Galli, C. Pirola, C. L. Bianchi, G. S. Patience, "Ultrasonic free fatty esterification in tobacco and canola oil", *Ultrasonics Sonochemistry* 21 (2014) 1969-1975.
- [47] F. Manenti, C. Pirola, "Process Intensification Using Energy-free Highly-enriched Air. Application to Seawater Desalination Plants", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 79 (2014) 40-47.
- [48] F. Manenti, A. R. Leon-Garzon, Z. Ravaghi-Ardebili, C. Pirola, "Systematic staging design applied to the fixed-bed reactor series for methanol and one-step methanol/dimethyl ether synthesis", *Applied Thermal Engineering* 70 (2014) 1228-1237.
- [49] F. Manenti, A. Leon, Z. Ravaghi-Ardebili, C. Pirola, "Assessing thermal energy storage technologies of concentrating solar plants for the direct coupling with chemical processes. The case of solar-driven biomass gasification", *Energy* 75 (2014) 45-52.
- [50] C. Pirola, M. Scavini, F. Galli, S. Vitali, A. Comazzi, F. Manenti, P. Ghigna, "Fischer-Tropsch synthesis: EXAFS study of Ru and Pt bimetallic Co based catalysts", *Fuel* 132 (2014) 62-70.
- [51] C. Pirola, F. Galli, C. L. Bianchi, D. C. Boffito, A. Comazzi, F. Manenti, "Vegetable oils de-acidification by methanol heterogeneously catalyzed esterification in (monophasic liquid)/solid batch and continuous reactors", *Energy & Fuels* 28 (2014) 5236-5240.
- [52] I. Rossetti, A. Villa, C. Pirola, L. Prati, G. Ramis, "A novel high-pressure photoreactor for CO<sub>2</sub> photoconversion to fuels", *RSC Advances* 4 55 (2014) 28883-28885.
- [53] F. Manenti, M. Corbetta, C. Pirola, M. V. Tsodikov, A. V. Chistyakov, "Aromatization of Propane: Techno-Economic Analysis by Multi-Scale "Kinetics-to-Process" Simulation", *Computer and Chemical Engineering*, 71 (2014) 457-466.



- [54] C. Pirola., F. Galli, F. Manenti, M. Corbetta, C. L. Bianchi, "Simulation and related experimental validation of the acetic acid / water distillation using p-xylene as entrainer", *Industrial Engineering Chemistry Research* 53 (2014) 18063-18070.
- [55] Z. Ravaghi-Ardebili, F. Manenti, C. Pirola, F. Soares, M. corbetta, S. Pierucci, E. Ranzi, "Influence of the effective Parameters on H<sub>2</sub>:CO ratio of syngas at low-temperature gasification", *Chemical Engineering Transaction* 37 (2014) 253-258.
- [56] C. Pirola, F. Manenti, F. Galli, C. L. Bianchi, D. C. Boffito, M. Corbetta, "Heterogeneously catalyzed free fatty acid esterification in (monophasic liquid)/solid Packed Bed Reactors (PBR)", *Chemical Engineering Transaction* 37 (2014) 553-558.
- [57] C. Pirola, F. Galli, A. Comazzi, F. Manenti, C.L. Bianchi, "Preservation of carotenes in the deacidification of crude palm oil", *RCS Advances* 4 87 (2014) 46922-46925.
- [58] C. Pirola, A. Di Fronzo, F. Galli, C. L. Bianchi, A. Comazzi, F. Manenti, "Biogas conversion by Fischer-Tropsch synthesis: experimental results and multi-scale simulation of a PBR with high Fe loaded supported catalysis", *Chemical Engineering Transaction* 37 (2014) 595-600.
- [59] F. Galli, S. Nucci, C. Pirola, C. L. Bianchi, "Epoxy methyl soyate as bio-plasticizer: two different preparation strategies", *Chemical Engineering Transaction* 37 (2014) 601-606.
- [60] F. Galli, M. Corbetta, C. Pirola, F. Manenti, "Robust Kinetic Modelling of Heterogeneously Catalyzed Free Fatty Acids Esterification in (Monophasic Liquid)/Solid Packed-Bed Reactor: Rival Model Discrimination", *Chemical Engineering Transaction* 39 (2014) 979-984.
- [61] F. Galli, M. Corbetta, C. Pirola, F. Manenti, "Kinetic modelling of heterogeneously catalyzed free fatty acids esterification in (monophasic liquid)/solid in different reactor configurations", 21<sup>st</sup> International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2014 and 17<sup>th</sup> Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation PRES 2014, published acta (2014).
- [62] M. Corbetta, F. Manenti, F. Soares, Z. Ravaghi-Ardebili, E. Ranzi, C. Pirola, G. Buzzi-Ferraris, S. Pierucci, "Mathematical Modelling of Coal and Biomass Gasification: Comparison on the Syngas H<sub>2</sub>/CO Ratio under Different Operating Conditions", *Computer Aided Chemical Engineering* 22 (2014) 1669-1674.
- [63] C. L. Bianchi, C. Pirola, F. Galli, G. Cerrato, S. Morandi, V. Capucci, "Pigmentary TiO<sub>2</sub>: a challenge for its use as photocatalyst in NO<sub>x</sub> air purification", *Chemical Engineering Journal* 261 (2015) 76-82.
- [64] S. Gatto, M. Sansotera, F. Persico, M. Gola, C. Pirola, W. Panzeri, W. Navarrini, C. L. Bianchi, "Surface fluorination on TiO<sub>2</sub> catalyst induced by photodegradation of perfluorooctanoic acid", *Catalysis Today* 241 (2015) 8-14.
- [65] Zohreh Ravaghi-Ardebili, F. Manenti, M. Corbetta, C. Pirola, E. Ranzi, "Biomass gasification using low-temperature solar-driven steam supply", *Renewable Energy* 74 (2015) 671-680.
- [66] M. Stucchi, P. Cerrato, S. Morandi, C. Pirola, C. Argiris, P. M. Sakkas, S. Vitali, "Surface Decoration of Commercial Micro-sized TiO<sub>2</sub> by means of High Energy Ultrasound: a Way to Enhance its Photocatalytic Activity Under Visible Light", *Applied Catalysis B: Environmental* 178 (2015) 124-132.
- [67] C. Pirola, F. Galli, M. Corbetta, F. Manenti, "Robust kinetic modeling of the free fatty acid esterification using methanol and Amberlyst 46 resin as catalyst", *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17 5 (2015) 1139-1147.
- [68] M. Corbetta, A. Bassani, F. Manenti, C. Pirola, E. Maggio, A. Pettinau, P. Deiana, S. Pierucci, E. Ranzi, "Multiscale Kinetic Modeling and Experimental Investigation of Syngas Production from Coal Gasification in Updraft Gasifiers", *Energy&fuel* 29 6 (2015) 3972-3984.
- [69] C. L. Bianchi, C. Pirola, F. Galli, M. Stucchi, S. Morandi, G. Cerrato, V. Capucci, "Nano or micro-TiO<sub>2</sub> for the photodegradation of ethanol: experimental data and kinetic modelling", *RCS Advances* 5 66 (2015) 53419-53425.
- [70] V. Oldani, C. L. Bianchi, C. Pirola, "Surface properties and anti-fouling assessment of coatings obtained from perfluoropolyethers and ceramic oxides nanopowders deposited on stainless steel", *Journal of Fluorine Chemistry* 180 1 (2015) 7-14.
- [71] F. Manenti, F. Rossi, S. Copelli, A. Colombo, C. Pirola, "Online Model-based Optimization and Control for the Combined Optimal Operation and Runaway Prediction & Prevention in (Fed-)Batch Systems", *Chemical Engineering Science* 138 (2015) 760-771.

- [72] I. Rossetti, A. Villa, M. Compagnoni, L. Prati, G. Ramis, C. Pirola, C.L. Bianchi, W. Wang, D. Wang, "CO<sub>2</sub> photoconversion to fuels under high pressure: effect of TiO<sub>2</sub> phase and of unconventional reaction conditions", *Catalysis Science & Technology* 5 (2015) 4481-4487.
- [73] M. Sansotera, F. Persico, V. Rizzi, W. Panzeri, C. Pirola, C. L. Bianchi, A. Mele, W. Navarrini, "The effect of oxygen in the photocatalytic oxidation pathways of perfluorooctanoic acid", *Journal Fluorine Chemistry* 179 (2015) 159-168.
- [74] F. Galli, L. Bonfanti, S. Capelli, F. Manenti, C. L. Bianchi, G. S. Patience, C. Pirola, "Heterogeneous oil transesterification in a single-phase liquid mixture using a co-solvent", *Energy Technology* 3 12 (2015) 1170-1173.
- [75]\* C. Pirola, F. Galli, C. L. Bianchi, F. Manenti, "Biogas to Biomethane Upgrading by Water Absorption Column at Low Pressure and Temperature", *Technology* 03 (2015) 99.
- [76]\* G. Cerrato, C. L. Bianchi, S. Morandi, C. Pirola, M. Stucchi, M. V. Diamanti, M. P. Pedferri, V. Capucci, "The Role of the Nano/Microstructure in the Case of the Photodegradation of Two Model VOC Pollutants Using Commercial TiO<sub>2</sub>", *Energy and Environment Focus* 3, 4 (2015) 226-231.
- [77]\* A. Di Michele, P. Sassi, A. Comazzi, F. Galli, C. Pirola, C..L. Bianchi, "Co- and Co(Ru)-based catalysts for Fischer-Tropsch synthesis prepared by high power ultrasound", *Materials Focus* 4, 4 (2015) 295-301.
- [78] F. Rossi, E. M. Speelmanns, T. Barz, C. Pirola, G. Wozny, F. Manenti, "Enthalpy as Internal Energy in Plug Flow Reactor Models: a Long-Lasting Assumption Defeated and its Effects on Models Predictions in Dynamic Regime", *Chemical Engineering Transactions* 43 (2015) 1537-1542
- [79] D. C. Boffito, F. Galli, P. R. Martinez, C. Pirola. C. L. Bianchi, G. S. Patience, "Transesterification of triglycerides in a new ultrasonic-assisted mixed device", *Chemical Engineering Transaction* 43 (2015) 427-432
- [80] D. Papasidero, M. Corbetta, S. Pierucci, C. Pirola, F. Manenti, "Studying oven technology towards the energy consumption optimization for the baking process", *Chemical Engineering Transaction* 45 (2015) 481-486
- [81] F. Rossi, M. Corbetta, D. Geraci, C. Pirola, F. Manenti, "First-Principles Non-Equilibrium Dynamic Modelling of Agitated Thin-Film Evaporators", *Chemical Engineering Transactions* 43 (2015) 1429-1435.
- [82] C. Pirola, F. Galli, F. Manenti, C. L. Bianchi, "Biogas Upgrading by Physical Water Washing in a Micro-Pilot Absorption Column Conducted at Low Temperature and Pressure", *Chemical Engineering Transactions* 43 (2015) 1207-1213.
- [83] A. Comazzi, C. Pirola, A. Di Michele, I. Rossetti, C. L. Bianchi, "Flame spray pyrolysis synthesized Co and Co/Ru based catalysts for the thermochemical GTL - Fischer Tropsch process", *DGMK Tagungsbericht* 2 (2015) 197-204.
- [84] A. Iulianelli, C. Pirola, A. Comazzi, F. Galli, F. Manenti, A. Basile, "Water gas shift membrane reactors", *Membrane Reactors for Energy Applications and Basic Chemical Production* (2015) 3-29.
- [85] V. Oldani, C. L. Bianchi, S. Biella, C. Pirola, G. Cattaneo, "Perfluoropolyethers coatings design for fouling reduction on heat transfer stainless steel surfaces", *Heat Transfer Engineering* 37 2 (2016) 210-219.
- [86] C. L. Bianchi, C. Pirola, F. Galli, S. Vitali, A. Minguzzi, M. Stucchi, F. Manenti, V. Capucci, "NO<sub>x</sub> degradation in a continuous large-scale reactor using full-size industrial photocatalytic tiles", *Catalysis Science & Technology* 6 (2016) 2261-2267.
- [87] C. Trevisanut, S. M. Jazayeri, S. Bonkane, C. Neagoe, A. Mohamadalizadeh, D. C. Boffito, C. L. Bianchi, C. Pirola, C. Giorgio Visconti, L. Lietti, N. Abatzoglou, L. Frost, J. Lerou, W. Green, G. S. Patience, "Micro-Syngas Technology options for GtL", *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 94 4 (2016) 613-622.
- [88] F. Rossi, I. M. Mujtab, C. Pirola, F. Manenti, "A Robust Sustainable Optimization & Control Strategy (RSOCS) for (fed-)batch processes towards the low-cost reduction of utilities consumption", *Journal of Cleaner Production* 111 (2016) 181-192.
- [89] A. Comazzi, C. Pirola, M. Longhi, F. Galli, C. L. Bianchi, F. Manenti, "High loaded Fe supported catalyst for the thermochemical BTL-FT process: experimental results and modeling" *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 94 (2016) 696-702.
- [90] F. Manenti, F. Rossi, G. Bozzano, C. Pirola, "First-principles models and sensitivity analysis for the lignocellulosic biomass-to-methanol conversion process", *Computers and Chemical Engineering* 84 (2016) 558-567.
- [91] M. Stucchi, C. L. Bianchi, C. Pirola, G. Cerrato, S. Morandi, C. Argirusis, G. Sourkouni, A. Naldoni, V. Capucci, "Copper NPs decorated titania: a novel synthesis by high energy US with a study of the photocatalytic activity under visible light", *Ultrasonics Sonochemistry* 31 (2016) 295-301.

- [92] A. Comazzi, C. Pirola, A. Di Michele, M. Compagnoni, F. Galli, I. Rossetti, F. Manenti, C. L. Bianchi, "Flame Spray Pyrolysis as fine preparation technique for stable Co and Co/Ru based catalysts for FT process", *Applied Catalysis A: General* 520 (2016) 92-98.
- [93] V. Oldani, G. Sergi, C. Pirola, C. L. Bianchi, "Use of a sol-gel hybrid coating composed by a fluoropolymer and silica for the mitigation of mineral fouling in heat exchangers", *Applied Thermal Engineering* 106 (2016) 427-431.
- [94] V. Oldani, G. Sergi, C. Pirola, B. Sacchi, C. L. Bianchi, "Sol-gel hybrid coatings containing silica and a perfluoropolyether derivative with high resistance and anti-fouling properties in liquid media", *Journal of Fluorine Chemistry* 188 (2016) 43-49.
- [95] A. Bassani, C. Pirola, E. Maggio, A. Pettinau, C. Frau, G. Bozzano, S. Pierucci, E. Ranzi, F. Manenti, "Acid Gas to Syngas (AG2S™) technology applied to solid fuel gasification: cutting H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> emissions by improving syngas production", *Applied Energy* 184 (2016) 1284-1291.
- [96] C. Pirola, M. Corbetta, F. Galli, F. Manenti, "Robust Optimization of the Heteroextractive Distillation Column for the Purification of Water/Acetic Acid Mixtures Using p-Xylene as Entrainer", *Computers and Chemical Engineering* 95 (2016) 161-169.
- [97] A. F. Amaral, A. S. Santini, G. Bozzano, C. Pirola, F. Manenti, "Revamping of the Mantova Chemical District as Short-chain Lignocellulosic Biorefinery", *Chemical Engineering Transactions* 50 (2016) 43-49.
- [98] C. L. Bianchi, M. Stucchi, C. Pirola, M. Lanza, G. Cerrato, L. Cappellin, F. Biasioli, V. Capucci, "TiO<sub>2</sub> photocatalysis for the abatement of ubiquitous indoor pollutants: study of simultaneous degradation of aldehydes", *Trends in Photochemistry and Photobiology* 17 (2016).
- [99] A. Comazzi, N. Livraghi, C. Pirola, F. Demartin, K. S. Suslick, "Ultrasonic synthesis and bench scale experimental tests of Fe-based catalysts for the Fischer-Tropsch reaction", *DGMK Tagungsbericht* 3 (2016) 83-90.
- [100] C. Pirola, "Comparison between Experimental and Simulated Data of a Distillation Column: Evaluation of Mass-Heat Balances and Trays Efficiency", *Computer Aided Chemical Engineering* 38 (2016) 1557-1562.
- [101] A. Comazzi, F. Galli, M. Galimberti, F. Manenti, C. L. Bianchi, C. Pirola, "Bio-syngas Conversion by FT Synthesis with High Loaded Fe-based Catalysts: Kinetic Parameters Regression", *Computer Aided Chemical Engineering* 38 (2016) 589-594.
- [102] A. Comazzi, C. Pirola, M. Longhi, C. L. Bianchi, K. S. Suslick, "Fe-based Heterogeneous Catalysts for the Fischer-Tropsch Reaction: Sonochemical Synthesis and Bench-Scale Experimental Tests", *Ultrasonics Sonochemistry* 34 (2017) 774-780.
- [103] F. Galli, M. Compagnoni, D. Vitali, C. Pirola, C. L. Bianchi, A. Villa, L. Prati, I. Rossetti, "CO<sub>2</sub> Photoreduction at High Pressure to both Gas and Liquid Products over Titanium Dioxide", *Applied Catalysis B: Environmental* 200 (2017) 386-391.
- [104] C. L. Bianchi, B. Sacchi, C. Pirola, F. Demartin, G. Cerrato, S. Morandi, V. Capucci, "Aspirin and Paracetamol Removal using a Commercial Micro-Sized TiO<sub>2</sub> Catalyst in Deionized and Tap Water", *Environmental Science and Pollution Research* (2017) 24:12646-12654.
- [105] D. C. Boffito, F. Galli, C. Pirola, G. S. Patience, "CaO and isopropanol transesterify and crack triglycerides to isopropyl esters and green diesel", *Energy Conversion and Management* 139 (2017) 71-78.
- [106] C. Pirola, M. Galimberti, A. Comazzi, G. Bozzano, M. Hillestad, F. Manenti, "Integrated Reactor Staging and Plant Optimization of a Biomass-To-Liquid Technology", *Computers and Chemical Engineering* 106 (2017) 719-729.
- [107] C. L. Bianchi, B. Sacchi, S. Capelli, C. Pirola, G. Cerrato, S. Morandi, V. Capucci, "Micro-sized TiO<sub>2</sub> as photoactive catalyst coated on industrial porcelain grès tiles to photodegrade drugs in water", *Environmental Science and Pollution Research* (2017) 1-6.
- [108] R. Lahti, D. Bergna, H. Romar, T. Hu, A. Comazzi, C. Pirola, C. L. Bianchi, U. Lassi, "Characterization of cobalt catalysts on biomass-derived carbon supports", *Topics In Catalysis* (2017) 1-14.
- [109] A. Bassani, G. Bozzano, C. Pirola, E. Ranzi, S. Pierucci, F. Manenti, "Low Impact Methanol Production from Sulfur Rich Coal Gasification", *Energy Procedia* 105 (2017) 4519-4524.
- [110] G. Bozzano, C. Pirola, C. Italiano, A. Vita, F. Manenti, "Biogas: a Possible New Pathway to Methanol?", *Computer Aided Chemical Engineering* 40 (2017) 523-528.

- [111] A. Bassani, C. Pirola, G. Bozzano, E. Ranzi, F. Manenti, "Technical Feasibility of AG2S™ Process Revamping", *Computer Aided Chemical Engineering* 40 (2017) 385-390.
- [112] A. F. Amaral, G. Bozzano, C. Pirola, F. Manenti, "Biomass to X: Gasification and Pyrolysis Integrated", *Computer Aided Chemical Engineering* 40 (2017) 1837-1842.
- [113] F. Galli, F. Maestri, C. Pirola, "Catalysis for the water gas shift reaction: materials, kinetic and process analysis", *Current Topics in Catalysis*, 13 (2017) 43 - 55.
- [114] F. Galli, A. Comazzi, D. Previtali, F. Manenti, G. Bozzano, C. L. Bianchi, C. Pirola, "Production of oxygen-enriched air via desorption from water: Experimental data, simulations and economic assessment", *Computers and Chemical Engineering* 102 (2017) 11-16.
- [115] F. Galli, D. Previtali, S. Casagrande, C. Pirola, F. Manenti, D. C. Boffito, "Simulation of the Water-Acetic Acid Separation via Distillation Using Different Entrainers: an Economic Comparison", *Chemical Engineering Transactions*, 57 (2017) 1159-1165.
- [116] A. Rosengart, S. Capelli, C. Pirola, A. Citterio, C. L. Bianchi, L. Prati, A. Villa, "Renewable Adipic Acid From the Hydrogenation of Trans,Trans-Muconic Acid: Selection of a Three Phases Kinetic Model", *Chemical Engineering Transactions*, 57 (2017) 931-937.
- [117] A. F. Amaral, G. Bozzano, C. Pirola, A. G. Goryunov, A. V. Chistyakov, F. Manenti, "Self-Sustainable Bio-methanol & Bio-char Coproduction from 2nd Generation Biomass Gasification", *Chemical Engineering Transactions*, 57 (2017) 1045-1051.
- [118] C. L. Bianchi, M. Stucchi, C. Pirola, G. Cerrato, S. Morandi, B. Sacchi, S. Vitali, A. Di Michele, V. Capucci, "Micro-sized TiO<sub>2</sub> catalyst in powder form and as coating on porcelain grès tile for the photodegradation of phenol as model pollutant for water phase", *Advanced Materials Science* 2 (2) (2017) 1-6.
- [119] S. Capelli, A. Rosengart, A. Villa, A. Citterio, A. Di Michele, C. L. Bianchi, L. Prati, C. Pirola, "Bio-adipic acid production by catalysed hydrogenation of muconic acid in mild operating conditions", *Applied Catalysis B: Environmental* 218 (2017) 220-229.
- [120] M. Stucchi, F. Galli, C. L. Bianchi, C. Pirola, D. C. Boffito, F. Biasioli, V. Capucci, "Simultaneous photodegradation of VOC mixture by TiO<sub>2</sub> powders", *Chemosphere* 193 (2018) 198-206.
- [121] M. Sansotera, S. Talaemashhadi, C. Gambarotti, C. Pirola, M. Longhi, M. Ortenzi, W. Navarrini, C. L. Bianchi, "Comparison of Branched and Linear Perfluoropolyether Chains Functionalization on Hydrophobic, Morphological and Conductive Properties of Multi-Walled Carbon Nanotubes", *Nanomaterials* 8 (2018) 176.
- [122] F. Galli, C. Pirola, D. Previtali, F. Manenti, C. L. Bianchi, "Eco design LCA of an innovative lab scale plant for the production of oxygen-enriched air. Comparison between economic and environmental assessment", *Journal of Cleaner Production* 171 (2018) 147-152.
- [123] F. Galli, D. Previtali, G. Bozzano, C. L. Bianchi, F. Manenti, C. Pirola, "Production and application of O<sub>2</sub> enriched air produced by fresh and salt water desorption in chemical plants", *Journal of Environmental Management* 217 (2018) 621-628.
- [124] F. Maestri, C. Pirola, F. Sacco, R. Rota, "Selective synthesis of polyamines in multipurpose plants", *Chemical Engineering Science* 186 (2018) 219-227.
- [125] P. Louyot, C. Neagoe, F. Galli, C. Pirola, G. S. Patience, D. C. Boffito, "Ultrasound-assisted impregnation for high temperature Fischer-Tropsch catalysts", *Ultrasonics Sonochemistry* 48 (2018) 523-231.
- [126] E. Bahadori, A. Tripodi, A. Villa, C. Pirola, L. Prati, G. Ramis, I. Rossetti, "High Pressure Photoreduction of CO<sub>2</sub>: Effect of Catalyst Formulation, Hole Scavenger Addition and Operating Conditions", *Catalysts* 8 (2018) 430.
- [127] A. Bassani, G. Bozzano, C. Pirola, C. Frau, A. Pettinau, E. Maggio, E. Ranzi, F. Manenti, "Sulfur Rich Coal Gasification and Low Impact Methanol Production", *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* 6 (1) (2018) 210-226.
- [128] C. Pirola, F. Galli, G. S. Patience, "Experimental Methods in Chemical Engineering: Temperature Programmed Reduction-TPR", *Canadian Journal of Chemical Engineering* 96 (11) (2018) 2317-2320.

- [129] F. Galli, C. Pirola, D. Previtali, F. Manenti, C. L. Bianchi, "Eco design LCA of an innovative lab scale plant for the production of oxygen-enriched air. Comparison between economic and environmental assessment", *Journal of Cleaner Production* 171 (2018) 147-152.
- [130] F. Manenti, M. Milani, L. Montorsi, F. Paltrinieri, C. Pirola, C. A. Rinaldini, "Performance and Exhaust Emissions Analysis of a Diesel Engine Using Oxygen-Enriched Air", *SAE Technical Paper* 2018-01-1785, 2018.
- [131] A. Bassani, D. Previtali, C. Pirola, G. Bozzano, I. S. Nadezhdin, A. G. Goryunov, F. Manenti, "H<sub>2</sub>S in Geothermal Power Plants: from Waste to Additional Resource for Energy and Environment", *Chemical Engineering Transactions* 70 (2018) 127.
- [132] D. Previtali, A. Vita, A. Bassani, C. Italiano, A. F. Amaral, C. Pirola, L. Pino, A. Palella, F. Manenti, "Methanol Synthesis: a Distributed Production Concept Based on Biogas Plants", *Chemical Engineering Transactions* 65 (2018) 409-415.
- [133] C. Bianchi, B. Sacchi, S. Capelli, C. Pirola, G. Cerrato, S. Morandi, V. Capucci, "Micro-sized TiO<sub>2</sub> as photoactive catalyst coated on industrial porcelain grès tiles to photodegrade drugs in water", *Environmental Science and Pollution Research* 25 (2018) 20348-20353.
- [134] A. Bassani, D. Previtali, C. Pirola, A. G. Goryunov, F. Manenti, "H<sub>2</sub>S in geothermal power plants: from waste to additional resource for energy and environment", 23<sup>rd</sup> International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2018 and 21<sup>st</sup> Conference on Process Integration, Modelling and Optimization PRES 2018, Published Acta (2018).
- [135] C. Pirola, G. Bozzano, F. Manenti, "Fossil or Renewable Sources for Methanol Production?", *Methanol: Science and Engineering* (2018) 53-93.
- [136] E. Bahadori, A. tripodi, A. Villa, C. Pirola, L. Prati, G. Ramis, N. Dimitratos, D. Wang, I. Rossetti, "High pressure CO<sub>2</sub> photoreduction using Au/TiO<sub>2</sub>: unravelling the effect of co-catalysts and of titania polymorphs", *Catalysis Science & Technology* 9 (2019) 2253-2265.
- [137] G. Bozzano, D. Previtali, S. Zanfini, S. Colombo, F. Manenti, C. Pirola, "Analysis of a Possible Application of a New Process for Oxygen Enriched Air Production", *Chemical Engineering Transactions* 74 (2019) 565-571.
- [138] C. Pirola, "Experimental and Simulated Operation of Absorption Column for the Removal of VOC from Air", *Chemical Engineering Transactions* 74 (2019) 817-823.
- [139] C. Vianello, F. Manenti, C. Pirola, B. Fabiano, S. Colombo, G. Maschio, "Hybrid Risk-based LCA: An Innovative Holistic Approach to Improve the Acid Gas to Syngas (AG2S) process", *Chemical Engineering Transactions* 75 (2019) 751-757.
- [140] C. Pirola "Learning distillation by a combined experimental and simulation approach in a three steps laboratory: Vapor pressure, vapor-liquid equilibria and distillation column", *Education for Chemical Engineers* 28 (2019) 54-65.
- [141] S. Capelli, D. Motta, C. Evangelisti, N. Dimitratos, L. Prati, C. Pirola, A. Villa, "Bio Adipic Acid Production from Sodium Muconate and Muconic Acid: A Comparison of two Systems", *ChemCatChem*. 11 (2019) 1-11.
- [142] C. L. Bianchi, G. Cerrato, C. Pirola, F. Galli, V. Capucci, "Photocatalytic porcelain grès large slabs digitally coated with AgNPs-TiO<sub>2</sub>", *Environmental Science and Pollution Research* 26 (2019) 1-7.
- [143] G. Cerrato, C. L. Bianchi, F. Galli, C. Pirola, S. Morandi, V. Capucci, "Micro-TiO<sub>2</sub> coated glass surfaces safely abate drugs in surface water", *Journal of Hazardous Materials* 363 (2019) 328-334.
- [144] A. R. Leon-Garzon, G. Dotelli, M. Tommasini, C. L. Bianchi, C. Pirola, A. Villa, A. Lucotti, B. Sacchi, L. Barbieri, "Experimental Characterization of Polymer Surfaces Subject to Corona Discharges in Controlled Atmospheres" *Polymers*, 11 (10) (2019) 1646.
- [145] C. Pirola, C. A. Rinaldini, F. Galli, F. Manenti, M. Milani, L. Montorsi, M. A. Sayegh, J. Danielwwicz, H. Jouhara, B. Kazmierczak, M. Kutylowska, K. Piekarska, "Combustion analysis of a light duty diesel engine using oxygen-enriched and humidified combustion air", *Applied Energy Symposium Es3 Web of Conference* 116 (2019) 00061.
- [146] S. Capelli, D. Motta, C. Evangelisti, N. Dimitratos, L. Prati, C. Pirola, A. Villa, "Effect of carbon support, capping agent amount, and PD NPS size for bio-adipic acid production from muconic acid and sodium muconate", *Nanomaterials* 10 (3) (2020) 505.
- [147] A. Bassani, D. Previtali, C. Pirola, G. Bozzano, S. Colombo, F. Manenti, "Mitigating carbon dioxide impact of industrial steam methane reformers by acid gas to syngas technology: Technical and environmental feasibility", *Journal of Sustainable Development Energy, Water and Environment Systems* 8 (1) (2020) 71-87.

- [148] C. Pirola, A. Di Michele, "Nonlinear desorption activation energy from TPD curves: Analysis of the influence of initial values for the regression procedure", *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 98 (5) (2020) 1115-1123.
- [149] A. Furtado, D. Previtali, A. Italiano, C. Palella, L. Pino, A. Vita, G. Bozzano, C. Pirola, F. Manenti, "Biogas beyond CHP: The HPC (heat, power & chemicals) process", *Energy* 203 (2020) 117820.
- [150] A. Rosengart, C. Pirola, S. Capelli, "Hydrogenation of trans,trans-muconic acid to bio-adipic acid: Mechanism identification and kinetic modelling", *Processes* 8 (8) (2020) 929.
- [151] C. Pirola, F. Galli, C. A. Rinaldini, F. Manenti, M. Milano, L. Montorsi, "Effects of humidified enriched air on combustion and emissions of a diesel engine", *Renewable Energy* 155 (2020) 569-577.
- [152] D. Previtali, M. Longhi, F. Galli, A. Di Michele, F. Manenti, M. Signoretti, F. Menegazzo, C. Pirola, "Low pressure conversion of CO<sub>2</sub> to methanol over Cu/Zn/Al catalysts. The effect of Mg, Ca and Sr as basic promoters", *Fuel* 274 (2020) 117804.
- [153] C. Pirola, C. Peretti, F. Galli, "Immersive virtual crude distillation unit learning experience: The EYE4EDU project", *Computer & Chemical Engineering* 140 (2020) 106973.
- [154] D. Meroni, M. Jiménez-Salcedo, E. Falletta, B. Bresolin, C. F. Kait, D. C. Boffito, C. L. Bianchi, C. Pirola, "Sonophotocatalytic degradation of sodium diclofenac using low power ultrasound and micro sized TiO<sub>2</sub>", *Ultrasonics Sonochemistry* 67 (2020) 105123.
- [155] J. De Tommaso, F. Rossi, N. Morandi, C. Pirola, G. S. Patience, F. Galli, "Experimental methods in chemical engineering: Process simulation", *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 98 (11) (2020) 2301-2320.
- [156] C. Pirola, M. Mattia, "Purification of air from volatile organic compounds by countercurrent liquid gas mass transfer absorption process", *International Journal of Thermofluids* 9 (2021) 100060.
- [157]\* C. Pirola, "Basic economic analysis for sonochemical processes", *Journal of Chemical Engineering Research Updates*, 7 (2020) 1-5.
- [158] M. Milani, L. Montorsi, G. Storch, M. Venturelli, C. Pirola, E. Falletta, U. Desideri, L. Ferrari, J. Yan, "Development of an experimental test rig for the pyrolysis of plastic residues and waste tires", *Applied Energy Symposium, Es3 Web of Conferences* 238 (2021) 01013.
- [159] M. G. Alalm, R. Djellabi, D. Meroni, C. Pirola, C. L. Bianchi, D. C. Boffito, "Toward scaling-up photocatalytic process for multiphase environmental applications", *Catalysts* 11 (5) (2021) 562.
- [160] C. Pirola, "Active Learning in Distance Education of Crude Distillation Unit by Virtual Immersive Laboratory: the Eye4edu Project", *Chemical Engineering Transactions* 86 (2021) 1363-1368.

Data

24 giugno 2021

Luogo

Milano