

## Impianti per la produzione dei farmaci Drug manufacturing plants

<b>Docente</b>	Prof. ing. Umberto Arena
<b>Anno</b>	4° anno
<b>Corso di studi</b>	Laurea magistrale in Farmacia
<b>Tipologia</b>	Fondamentale
<b>Crediti</b>	5 (3: didattica frontale, 2: esercitazioni)
<b>SSD</b>	ING-IND/25 - Impianti e processi chimici
<b>Anno Accademico</b>	2017/18
<b>Periodo didattico</b>	Secondo semestre
<b>Propedeuticità</b>	Chimica generale e inorganica; Chimica fisica
<b>Frequenza</b>	Obbligatoria
<b>Descrizione dei metodi di accertamento</b>	<b>Prova scritta con esercitazioni numeriche e domande di teoria</b>
<b>Sede</b>	Polo Scientifico, Via Vivaldi 43 – Caserta
<b>Orario di ricevimento</b>	Su appuntamento tramite posta elettronica (umberto.arena@unicampania.it)
<b>Organizzazione della didattica</b>	Lezioni frontali, esercitazioni numeriche

**Obiettivi formativi** Lo studente è introdotto agli aspetti fondamentali per il dimensionamento di impianti di produzione dei farmaci. Dopo brevi richiami su metodi di calcolo e sul significato delle principali variabili di interesse nell'industria di processo, lo studente acquisirà gli strumenti per effettuare bilanci di materia e di energia su processi diversi, in presenza o meno di reazione, in reattori continui, semicontinui o discontinui, in regime stazionario e in stato transitorio. Partendo dall'equazioni generali di bilancio sarà in grado di affrontare problemi calcolativi che simulano le principali condizioni di funzionamento dei processi di maggiore interesse, e di comprendere l'impiego di parametri in uso nella pratica industriale.

The course aims to provide a general framework about the principles of the industrial production of different kinds of drugs. A specific attention will be given to the fundamental tools to develop material and energy balances on manufacturing processes. The course will cover design aspects of continuous, batch and semi-continuous reactors, mainly with reference to steady state operations.

**Prerequisiti** Conoscenze e abilità fornite dai corsi di Chimica generale ed inorganica e di Chimica Fisica

Knowledges and skills provided by the courses of General and Inorganic Chemistry and of Physical Chemistry

**Contenuti del corso** Elementi fondamentali dei bilanci di materia ed energia di processi chimici, partendo dalle equazioni generali di bilancio fino allo sviluppo di esempi calcolativi per processi di complessità crescente, con particolare attenzione agli aspetti di utilità per impianti di produzione di farmaci diversi.

Elementary principles of chemical processes, starting from the general equation of

---

material and energy balances for non-reactive and reactive processes, with a particular focus on case studies related to drug manufacturing plants.

## Programma

- 1. Introduzione ai calcoli di bilancio.** Conversioni di unità di misura. Calcoli numerici e stime. Omogeneità dimensionale. Variabili di processo: massa e volume; portata; composizione chimica; pressione; temperatura. Classificazione dei processi: discontinui, continui e semicontinui.
- 2. Bilanci di materia per impianti di produzione dei farmaci.** L'equazione generale di bilancio; bilanci su processi continui in stato stazionario; bilanci su processi discontinui; bilanci su processi semicontinui. Calcoli di bilanci di materia sulle specie molecolari ed atomiche. Calcoli di bilanci di materia per processi con singole unità: diagrammi di flusso; basi di calcolo; analisi dei gradi di libertà; bilanciamento di un processo; procedura generale di calcolo. Calcoli di bilanci di materia per processi con unità multiple: procedura generale; riciclo e bypass; spurgo. Stechiometria delle reazioni chimiche: rapporto stechiometrico; reagenti limitanti ed in eccesso; conversione frazionaria ed estensione della reazione; equilibrio chimico; reazioni multiple, resa e selettività; reazioni di combustione (aria teorica ed eccesso d'aria; combustione di combustibili di composizione incognita). Sistemi a singola fase: densità di solidi e liquidi; gas ideali (equazione di stato; miscele di gas ideali); equazione di stato per gas non-ideali.
- 3. Bilanci di energia per impianti di produzione dei farmaci.** Forme di energia e prima legge della termodinamica; energia cinetica e potenziale; bilanci di energia su sistemi chiusi; bilanci di energia su sistemi aperti in stato stazionario (lavoro all'albero; proprietà specifiche ed entalpia); tabelle di dati termodinamici (stato di riferimento; proprietà di stato; tabelle del vapore). Procedure di bilancio di energia: bilancio di energia per processi a uno o più componenti. Bilanci di energia per processi non reattivi: cammini di processi ipotetici; cambi di pressione a temperatura costante; cambi di temperatura (calore sensibile e calori specifici); operazioni con cambio di fase (calori latenti). Bilanci di energia per processi reattivi: calori di reazione; calori di formazione; calori di combustione; procedura generale di calcolo; combustibili e combustione.
- 4. Casi studio.** Analisi di un impianto di produzione di farmaci di largo consumo (cenni).

## Testi consigliati e bibliografia

### Testi consigliati:

R.M. Felder e R.W. Rousseau (2000) Elementary Principles of Chemical Processes, J. Wiley

Dispense e materiale didattico distribuito a lezione

### Testi da consultare:

D.W. Green e R.H. Perry (2007) Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8th edition. Mc Graw Hill

## Breve curriculum docente

Umberto Arena, ingegnere chimico e dottore di ricerca in ingegneria chimica, è professore ordinario di Impianti Chimici.

### ATTIVITÀ DIDATTICA IN ITALIA E ALL'ESTERO

E' titolare dei corsi di "Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti", di "Impianti di produzione dei farmaci" e di "Impianti di trattamento dei rifiuti solidi" nel Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio e di "Impianti per l'industria farmaceutica" nel Corso di Laurea in Farmacia. Ha insegnato presso le

Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino, dell'Università di Perugia e dell'Università "Federico II" di Napoli.

Ha svolto attività didattica all'estero, come visiting professor alla School of Mechanical Engineering della Tongji University di Shanghai (ottobre-novembre 2016) e tenendo lezioni presso Università straniere (come l'Universidad de Sevilla, nell'aprile 2015, la Tongji University di Shanghai, nell'ottobre 2015) o nell'ambito di scuole internazionali (come la Fecundus Summer School, Madrid, giugno 2012, la Winter School of The Energy from Biomass and Waste Symposium, Venezia, novembre 2012, la Waste Engineering Summer School, Albi, Francia, maggio 2016; il Course on Waste Management and Conversion, Universidad de Sevilla, marzo 2015 e novembre 2017) e facendo parte di Commissioni per il titolo di Ph.D. o di Eng.D. (presso: la Technical Univ. of Chalmers di Goteborg-Svezia per il titolo di Ph.D. in Chemical Engineering, nel 2012; la Univ. of Surrey di Guildford, Regno Unito, per il titolo di Eng.D. in Sustainable Engineering, nel 2013; la Technical Univ. of Wien per il titolo di Ph.D. in Energy Process, nel 2014; la North-West University-Sud Africa per il titolo di Ph.D. in Chemical Engineering, nel 2015; la Aalto University di Aalto, Finlandia, per il titolo di Ph.D. in Chemical Technology nel 2016).

#### ATTIVITÀ SCIENTIFICA NELLA COMUNITA' INTERNAZIONALE

E' Editor-in-Chief della rivista Waste Management (Elsevier) dal gennaio 2018, essendone già stato Associate Editor dal 2012 al 2017, curando come Guest Editor anche alcuni numeri speciali. E' membro del Management Board dell'IWWG-International Waste Working Group, di cui è anche uno dei componenti dello Scientific Advisory Panel nonché il coordinatore internazionale del Task Group on Thermal Treatments.

E' stato chairman di alcune conferenze internazionali, quali Fluidization XI (Ischia, 2004); 21st Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion (Napoli, 2011); LCA and other Assessment Tool for Waste Management and Resource Optimization (Cetraro, Italy, 2016 e Copenhagen, Danimarca, 2018).

E' revisore di numerose riviste scientifiche internazionali, tra le quali: Waste Management, Waste Management&Res., Fuel, Fuel Proc. Tech., J. of Industrial Ecology, Process Safety and Environmental Protection, Chem. Eng. Sci., The Chem. Eng. J., Canadian J. of Chem. Eng., Combustion Sci. and Tech., Polymer Degradation & Stability, Powder Tech., J. of Loss Prevention in the Process Ind., prevalentemente su tematiche di impiantistica ambientale e di sistemi di gestione di rifiuti.

Ha svolto attività di referee di progetti di ricerca internazionali, per conto di diverse Istituzioni, quali: Ministry of Science, Technology & Space del Governo Israeliano; Università Franco-Italiana (bandi progetto Galileo); FWO-Research Foundation-Flanders (i progetti SBO-strategic basic research); SNSF-Swiss National Science Foundation.

#### ATTIVITÀ DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO VERSO ENTI E SOCIETA'

E' membro di comitati nazionali e responsabile scientifico di convenzioni universitarie con diversi enti e società su temi della gestione rifiuti, dei trattamenti ambientali e dell'industria di processo. Tra gli altri ha collaborato o collabora con Fater, Conai, Sagit-Unilever, Sotacarbo, Chemtex, Cira, EcoBat, Asia.biz, Enitecnologie, Agip Carbone, Enichem Anic, Ansaldo Energia, Politecnico di Torino-DiSTA, Enea-Dipartimento Ambiente.

Ha partecipato alla redazione del Rapporto 2012-2013 "Ciclo dei rifiuti: governare insieme. Economia, ambiente, territorio", preparato da Italia Decide, Associazione di Ricerca a-partisan per la qualità delle politiche pubbliche, di cui Carlo Azeglio Ciampi è Presidente Onorario.

E' esperto in tema di impianti industriali per la Regione Lombardia (DGR 16 ottobre 2015- n. X/4192) per l'esame e la valutazione di progetti innovativi e sperimentali per il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, a partire dall'ottobre 2015 (B.U.

Reg.Lombardia, S. O. n. 43, del 22-10-2015).

E' stato membro del Consiglio Scientifico di COMIECO, Consorzio Nazionale per il Recupero e Riciclo degli Imballaggi a base Cellulosica.

E' stato responsabile scientifico di convenzioni universitarie con diversi Enti Locali e con il Commissariato di Governo per l'Emergenza Rifiuti in Campania sulla pianificazione dei sistemi di gestione rifiuti e su problematiche di impiantistica per il trattamento e lo smaltimento di rifiuti. Ha elaborato la parte impiantistica del Piano di Smaltimento Rifiuti della Regione Campania (1996-1997), l'analisi del ciclo di vita delle opzioni di smaltimento rifiuti in Campania (2001-2002). Ha preparato il Piano di Smaltimento dei Rifiuti Speciali della Regione Campania (2008), il Piano Provinciale di Gestione dei Rifiuti della Provincia di Caserta (2009); il Piano di Gestione dei Rifiuti Urbani della Regione Campania (2011); il Piano di Gestione dei Rifiuti Urbani della Regione Molise (2012 e 2015).

#### ATTIVITÀ DI RICERCA SPERIMENTALE

Partecipa o ha partecipato a diversi programmi internazionali di ricerca con Università ed enti di ricerca italiani e stranieri, quali Tongij UNiversity of Shanghai (Cina); Technical University of Vienna (Austria), Universidad de Sevilla (Spagna), Technical University of Hamburg-Harburg (Germania), Technical University of Halifax (Nova Scotia, Canada), Centre for Renewable Energies, Athens (Grecia); Ciemat, Madrid (Spagna); Centre for Environment and Sustainability della University of Surrey, Guildford (Gran Bretagna).

L'attività di ricerca del prof. Arena è principalmente rivolta allo studio di aspetti fondamentali ed applicativi dell'industria energetica ed ambientale e dell'ecologia industriale, focalizzandosi su:

- Le nuove tecnologie di recupero di materia e di energia da combustibili alternativi, di cui indaga gli aspetti impiantistici e di processo e le implicazioni per l'ambiente, con particolare riferimento ai processi di gassificazione o pirolisi in reattori a letto fluido.
- Gli aspetti gestionali, tecnologici, economici ed ambientali di processi produttivi e di servizi (con particolare attenzione ai sistemi di gestione di rifiuti) attraverso l'ausilio di strumenti innovativi. quali il Life Cycle Assessment (LCA) e la Substance Flow Analysis (SFA).
- Gli aspetti della sostenibilità in campo edilizio, per quantificare i carichi ambientali collegabili a materiali e componenti e gli impatti ambientali, economici e sociali che a tali carichi sono connessi.
- Le problematiche di rischio di incidenti rilevanti nell'industria e le conseguenti tecniche di prevenzione e mitigazione.

#### ATTIVITÀ DI PUBBLICAZIONE DI ARTICOLI O LIBRI SCIENTIFICI

(tra i quali: Waste Management, Waste Management&Research, Resource Conservation and Recycling; Journal of Industrial Ecology, Journal of Cleaner Production, Int. J. of Life Cycle Assessment; Fuel, Combustion Science and Technology, Fuel Processing Technology, Combustion and Flame; Chemical Engineering Sciences, The Chemical Engineer Journal, Ind.&Eng.Chem.Res., AIChE Journal, Canadian Journal of Chemical Engineers, Japanese J. of Chemical Engineering, Polymer Degradation & Stability, Powder Technology ; Journal of Loss Prevention in the Process Industries) e in atti di congressi internazionali con comitato di revisione internazionale.

I suoi principali dati bibliometrici sono (da fonte Scopus al 31 aprile 2018): articoli JCR: 89; articoli con meno di 4 autori: 78; articoli come primo nome o corresponding author: 65; citazioni totali: 2041 in 1482 documenti; h index: 24.

Ha anche scritto capitoli su libri internazionali, tra i quali: il capitolo "Gas Mixing" nel libro Circulating Fluidized Beds curato da J. Grace, A. Avidan e T. Knowlton, Chapman

& Hall; il capitolo "Fluidized Bed Pyrolysis of Plastic Wastes" nel libro Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics, curato da J. Scheirs e W. Kaminsky, J. Wiley&Sons Ltd; il capitolo "Fluidized Bed Gasification" nel libro Fluidized-bed technologies for near-zero emission combustion and gasification, curato da F. Scala, Woodhead Publishing Ltd.