UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Sustainable Chemistry

2627-1-F7503Q031

Obiettivi

Obiettivi
Il corso fornisce le conoscenze e le basi metodologiche per conoscere e comprendere i principi che definiscono la chimica sostenibile e/o 'verde' in tutti gli aspetti legati a questo argomento. Il corso presenta i concetti di base, ovvero i 12 principi della chimica verde, e le loro manifestazioni nel mondo reale, sotto forma di regolamenti europei come il REACH e sotto forma di processi e pratiche moderne nella ricerca e sviluppo, nonché nella produzione all'interno delle aree che si basano su o comprendono trasformazioni chimiche. L'impatto della sostenibilità sui processi chimici e sulla produzione viene discusso introducendo e applicando parametri di sostenibilità come l'economia atomica o l'impronta di carbonio. La quantificazione di tali parametri e la stima del loro impatto economico sulla lavorazione chimica vengono effettuate sotto forma di valutazioni pratiche del ciclo di vita applicando strumenti di simulazione standard utilizzati nell'area.

Conoscenza e capacità
Al termine del corso lo studente dovrà dimostrare di aver acquisito una buona conoscenza:
• I principali parametri da valutare per definire un processo a basso impatto ambientale.
• Le corrette definizioni di chimica 'verde', green chemistry.
• I principali indicatori di sostenibilità ambientale;
• I fondamenti della reattività ambientale dei composti chimici.
• Le connessioni tra processi sostenibili e/o verdi e l'economia circolare.
• Le sfide scientifiche connesse al passaggio da un'economia basata sul petrolio a una bioeconomia.
• La differenza tra processi sostenibili, processi verdi e processi che sono sia sostenibili che verdi.
• Quadri legislativi europei legati ai settori della chimica sostenibile.
• I fondamenti dell'analisi del ciclo di vita, compresi gli aspetti di sostenibilità.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate
Al termine del corso lo studente dovrà dimostrare di essere in grado di:
• applicare i concetti di chimica 'verde' appresi nel corso che costituiscono la base dello sviluppo sostenibile secondo l'agenda ONU 2030.
• giudicare se un processo si qualifica come 'verde' e/o sostenibile.

• descrivere i mezzi di lavorazione sostenibile.
• comprendere l'impatto di concetti come lab-on-a-chip e organismi modello per la sostenibilità.
• calcolare alcuni dei principali indicatori di sostenibilità ambientale.
• calcolare i flussi di massa ed energia nell'analisi del ciclo di vita di un prodotto o processo e stimare l'impatto della sostenibilità su di essi.

Autonomia di giudizio
Al termine del corso lo studente dovrà dimostrare di essere in grado di:
• applicare le conoscenze acquisite in vari contesti.
• trasferire i concetti e gli approcci introdotti in un determinato contesto in ambiti connessi.
• elaborare i concetti di lavorazione sostenibile e green discussi nel corso.
• analizzare le fasi della vita di un prodotto o di un processo.
• valutare criticamente i risultati ottenuti dall'applicazione dei modelli.
• individuare possibili interventi per ridurre gli impatti.

Abilità comunicative
Al termine del corso lo studente dovrà dimostrare di essere in grado di:
• analizzare un problema di chimica in modo chiaro e conciso.
• spiegare oralmente con un linguaggio adeguato gli obiettivi, le modalità e i risultati delle elaborazioni effettuate.

Capacità di apprendere
Alla fine del corso lo studente dovrebbe essere in grado di applicare le conoscenze acquisite a contesti differenti da quelli presentati durante il corso, e di comprendere come gli argomenti inerenti alla sostenibilità sono trattati nella letteratura scientifica e affrontati nel mondo produttivo.

Contenuti sintetici

Contenuti sintetici
• I concetti di chimica verde e chimica sostenibile, i loro punti in comune e le loro differenze.
• Il concetto di bioraffineria per la produzione di materie prime sostenibili.
• Uso responsabile e sostenibile di risorse non rinnovabili come i metalli, aspetti del riciclo nell'ambito di un'economia circolare.
• La reattività dei composti chimici nell'ambiente.
• Processi sostenibili per la produzione di materiali standard, prodotti chimici per piattaforme e materiali performanti.
• Processi sostenibili nel campo della chimica per la produzione di prodotti della chimica fine.
• Sostenibilità nel campo dei nanomateriali.
• Aspetti normativi come REACH, riguardanti la sostenibilità e il controllo della produzione chimica e lo sfruttamento e l'uso di singole sostanze chimiche e miscele.
• Aspetti sull'energia sostenibile.
• Indicatori di sostenibilità, strumenti per misurare la sostenibilità.
• Analisi del ciclo di vita quale indicatore di sostenibilità ambientale.

Programma esteso

Programma dettagliato
• Evoluzione della sostenibilità nelle sintesi industriali sulla base di esempi selezionati.
• Evoluzione dei concetti di chimica verde e chimica sostenibile.
• Punti comuni e differenze tra chimica verde e chimica sostenibile.

• Descrizione delle principali risorse rinnovabili idonee a sostituire il petrolio come principale fonte di materia prima per l'industria chimica con particolare riferimento alla struttura dei materiali lignocellulosici.
• Il concetto di bioraffineria con esempi e applicazioni in Italia e in Europa, anche alla luce della economia circolare.
• Sintesi di prodotti chimici da fonti rinnovabili con processi sostenibili.
• Concetti sostenibili e/o 'verdi' per l'esecuzione di reazioni chimiche, ad esempio la chimica a flusso.
• Processi sostenibili nei campi correlati alla chimica: dispositivi point-of-care, organ-on-a-chip, organismi modello.
• Sintesi e vantaggi di nanomateriali sostenibili e aspetti normativi associati.
• Sintesi di nuovi materiali biodegradabili e non biodegradabili a partire da fonti rinnovabili con processi sostenibili.
• Riciclo, downcycling e upcycling come strumenti per l'economia circolare.
• L'integrazione dei processi sostenibili all'interno dell'economia circolare e la loro costruzione.
• Descrizione delle sfide legate al riciclo e al riutilizzo di vari materiali, anche metalli preziosi, concetto di urban mining.
• Attività minerarie sostenibili.
• Distribuzione di elementi in vari ambienti utilizzando cicli (antro)biogeochimici.
• Reattività dei composti nell'atmosfera e conseguenze per l'ambiente, la salute e il patrimonio culturale.
• Reattività dei composti nell'acqua, comprese le acque superficiali e gli oceani.
• Tempo di vita ed emivita dei composti nell'ambiente.
• Strumenti normativi, in particolare REACH, per implementare la sostenibilità e la compatibilità ambientale nei contesti socio-economici e nella legislazione.
• Indicatori di sostenibilità: Indice di sviluppo umano, Indice di benessere economico sostenibile.
• Indicatori di sostenibilità ambientale: analisi energetica, impronta ecologica.
• Analisi del ciclo di vita: storia, obiettivi.
• Fasi di un'analisi LCA: definizione degli obiettivi e del campo di applicazione, inventario (dati primari, secondari e terziari, allocazione), valutazione d'impatto (categorie di impatto midpoint ed endpoint, classificazione, caratterizzazione, normalizzazione, ponderazione), interpretazione.
• Casi studio.

Prerequisiti

Prerequisiti
• Conoscenze di base di chimica organica ed inorganica.
• Nozioni di base di termodinamica.

Modalità didattica

Modalità didattica
• 7 CFU di lezioni teoriche in aula (56 ore) Didattica erogativa. Per le modalità didattiche dettagliate delle lezioni in aula vedere i syllabi dei moduli.
• 1 CFU di lezioni in aula (8 ore) Didattica interattiva in aula, per elaborare e discutere casi di studio. Per le modalità didattiche dettagliate delle lezioni in aula vedere i syllabi dei moduli.
• 4 CFU di esercitazioni (40 ore) Didattica interattiva in laboratorio informatico sui metodi di calcolo e i software più utilizzati nell'ambito dell'analisi LCA.
Per la modalità didattica dettagliata delle esercitazioni vedere il syllabus del modulo *Lca e Indicatori di Sostenibilità*.

Materiale didattico

Materiale didattico
• M. Aresta, A. Dibenedetto, F. Dumeignil
Biorefineries – An introduction
De Gruyter
• P.T. Anastas
Green Chemistry - Theory and Practice
Oxfod University Press
• B. Marchesini, M. Monari
Il regolamento REACH
Maggioli Editore
• copia delle slide
• appunti mostrati durante le lezioni e materiale aggiuntivo su argomenti selezionati, ovvero articoli scientifici, resi disponibili sul sito e-learning del corso.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

I semestre (ottobre - gennaio)

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame finale consiste in un'unica prova orale al termine del corso, con votazione compresa tra 18-30/30, che prevede la discussione di vari argomenti trattati nel corso, con enfasi anche sulle connessioni tra concetti e processi, tale da giungere ad una valutazione critica del lavoro dal punto di vista della sostenibilità nella chimica nel suo complesso.

Data la natura sperimentale dell'esperienza pratica utilizzando diversi strumenti di LCA, il modulo di esercitazioni prevede una prova scritta in itinere che, in caso di esito positivo, sostituisce nell'esame finale la parte relativa all'analisi LCA. *N.B.*: Questa prova scritta rimane valida per l'intero anno accademico in cui è stato svolto il corso. Nel caso in cui lo studente non sostenga la prova scritta in itinere oppure opti per sostenere l'esame in un altro anno accademico, la parte dell'analisi LCA rientra nel programma dell'esame orale.

Il punteggio finale sarà compreso tra 18/30 e 30/30 e lode, sulla base della valutazione complessiva, tenendo conto dei seguenti criteri:

1. conoscenza concettuale e capacità di comprensione
2. capacità di applicare conoscenza e comprensione
3. capacità comunicative e argomentative
4. capacità di apprendimento, di autovalutazione e di autoregolazione

Votazione < 18
Conoscenza e Comprensione: Lo studente identifica solo parzialmente le caratteristiche dei concetti. Le connessioni tra i concetti risultano frammentarie e scarsamente supportate da conoscenze teoriche.
Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Lo studente individua solo alcuni elementi rilevanti in un fenomeno, senza riuscire a integrarli in un'analisi organica.
Capacità comunicative e argomentative: Nella prova orale lo studente elabora un'argomentazione essenziale, priva di articolazione logica e caratterizzata da numerose imprecisioni espositive.
Capacità di apprendimento, di autovalutazione e di autoregolazione: Lo studente riesce a ricostruire solo alcuni aspetti del proprio percorso di apprendimento e sviluppo professionale.

Votazione 18-22
Conoscenza e Comprensione: Lo studente riconosce e restituisce la maggior parte delle caratteristiche concettuali e riesce a fornirne una spiegazione relativamente coerente, sebbene con qualche imprecisione. I riferimenti teorici sono presenti ma non sempre in modo rigoroso.
Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Lo studente è in grado di riconoscere un numero significativo di elementi e di fornire una spiegazione parziale, pur evidenziando alcune lacune nell'analisi.
Capacità comunicative e argomentative: Nella prova orale lo studente costruisce un'argomentazione di base, dotata di una struttura minima ma con alcune imprecisioni.
Capacità di apprendimento, di autovalutazione e di autoregolazione: Lo studente dimostra una consapevolezza di base del proprio percorso di apprendimento, riuscendo a tracciare collegamenti essenziali tra le esperienze formative, sebbene con alcune imprecisioni.

Votazione 23-27
Conoscenza e Comprensione: Lo studente dimostra una comprensione approfondita delle caratteristiche concettuali. Nella prova orale le spiegazioni risultano ben articolate e supportate da un uso adeguato dei riferimenti teorici.
Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Lo studente individua con precisione gli elementi essenziali di un fenomeno. L'applicazione delle conoscenze avviene con un rigore metodologico non sempre solido.
Capacità comunicative e argomentative: Nella prova orale lo studente sviluppa un'argomentazione coerente e ben organizzata, dimostrando una buona padronanza del linguaggio e una struttura logico-argomentativa solida. La comunicazione risulta chiara ed efficace.
Capacità di apprendimento, di autovalutazione e di autoregolazione: Lo studente analizza il proprio percorso di apprendimento in modo chiaro e strutturato, mettendo in evidenza relazioni significative tra le diverse tappe evolutive e dimostrando una buona capacità di riflessione critica.

Votazione 28-30
Conoscenza e Comprensione: Lo studente evidenzia una padronanza completa dei concetti, articolando connessioni complesse e fornendo spiegazioni esaustive. I riferimenti teorici sono utilizzati con pertinenza e rigore.
Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Lo studente evidenzia una capacità avanzata di analisi di un fenomeno, individuando e interpretando in modo esaustivo tutti gli elementi salienti. L'applicazione delle conoscenze avviene con rigore metodologico, supportato da un'argomentazione solida e articolata.
Capacità comunicative e argomentative: Nella prova orale lo studente elabora un'argomentazione solida e articolata, con un impianto logico rigoroso e un elevato livello di coerenza testuale. Il discorso è fluido e ben strutturato.
Capacità di apprendimento, di autovalutazione e di autoregolazione: Lo studente evidenzia una capacità avanzata di autoriflessione, elaborando un'analisi articolata e approfondita del proprio percorso di apprendimento e sviluppo professionale. Le connessioni tra esperienze formative e concetti teorici risultano chiare, coerenti e rigorose.

Orario di ricevimento

Sempre, preferibilmente previo appuntamento per telefono o e-mail.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | CONSUMO E PRODUZIONE RESPONSABILI