



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Chimica dell'Atmosfera

2627-2-F7503Q020

Obiettivi

Obiettivi

Lo studente acquisisce conoscenze sulla composizione chimica dell'atmosfera, i suoi cambiamenti, la reattività in fase gassosa, particolata (e mutua interazione) sia naturale che in aree antropizzate, in ambienti outdoor e indoor. Lo studente acquisisce conoscenze inerenti l'impatto della qualità dell'aria sulla:

- salute ed ecosistemi
- clima
- beni culturali
- sistemi elettronici

Conoscenze e capacità di comprensione (Descrittore di Dublino 1)

Al termine del corso lo studente conosce:

Le principali reazioni dei composti presenti nel comparto atmosfera, le reazioni radicaliche.

I processi di formazione e rimozione di Ozono stratosferico e troposferico

I processi di formazione, evoluzione, deposizione e la composizione chimica del particolato atmosferico (PM_x)

L'interazione tra fase gassosa e particolata

I processi di trasporto e reattività dei composti chimici in atmosfera

Gli effetti degli inquinanti atmosferici sul clima, i manufatti elettronici e i beni culturali

I processi che regolano le concentrazioni ambientali degli inquinanti atmosferici in ambienti indoor/outdoor e le loro relazioni e l'effetto sulla salute umana

Inoltre lo studente acquisisce, ripassa e rafforza a supporto conoscenze inerenti:

- le influenze ambientali atmosferiche sulla biologia degli organismi viventi e sull'uomo, specialmente in merito a esposizione, dose-risposta) i meccanismi molecolari e cellulari dell'azione tossica degli inquinanti atmosferici, i principi per la valutazione del rischio e le linee di ricerca di frontiera (micro e nanoplastiche)
- ripartizioni tra i diversi comparti ambientali e i meccanismi di accumulo, trasporto e trasformazione dei

composti chimici tra le matrici ambientali

- norme e le procedure per la previsione e i criteri di valutazione dei diversi impatti di inquinanti atmosferici sull'ambiente (in termini di utilizzo in Valutazione di Impatto Ambientale - VIA, Valutazione Ambientale Strategica - VAS, Autorizzazione Integrata Ambientale - AIA), gli strumenti per la gestione dei rapporti con il pubblico nelle valutazioni ambientali preventive; norme più importanti inerenti il Diritto ambientale (europee e nazionali) inerenti la chimica dell'atmosfera
- l'effetto economico dell'inquinamento atmosferico legato al concetto di esternalità (negative), beni pubblici, valutazione monetaria di inquinamento
- l'analisi del ciclo di vita (LCA) che coinvolgono gli inquinanti in atmosfera in una ottica di sostenibilità ambientale
- l'inquadramento degli inquinanti atmosferici tra i drivers climatici e i loro impatti sui sistemi naturali e antropizzati nonché i meccanismi di retroazione inerenti i composti atmosferici nel sistema Terra; i processi atmosferici e le leggi fisiche che li regolano, l'importanza delle misure di adattamento e mitigazione
- l'utilizzo di alcune tecniche di analisi multivariata al servizio della chimica dell'atmosfera
- la differenza tra equilibrio e stato stazionario e i loro domini di applicazione nelle scienze dell'atmosfera
- conoscere le potenzialità del telerilevamento per la stima dei componenti chimici in atmosfera
- padroneggiare i collegamenti interdisciplinari tra le tre aree scientifiche

Conoscenza e capacità di comprensione applicate (Descrittore di Dublino 2)

Al termine del corso lo studente è in grado di:

- Calcolare il tempo di vita ed emivita dei composti presenti in atmosfera e predirne la loro reattività, determinare quali inquinanti atmosferici antropogenici siano composti organici persistenti e tossici, individuare composti con potenziale impatto su altri comparti ambientali e sull'uomo e sugli ecosistemi in una ottica di one health e di individuare strategie di controllo degli inquinanti in atmosfera
- Determinare le concentrazioni di ozono troposferico
- Determinare, le concentrazioni e le sorgenti di PM_x
- Determinare gli inquinanti atmosferici target suscettibili di attenzione in una Valutazione di Impatto Ambientale
- Determinare i flussi di massa e energia associati all'inquinamento atmosferico e ai processi di trasporto in atmosfera
- Saper ricorrere alla regolazione giuridica nella protezione (presente e futura) dell'atmosfera, e stimolare il pensiero critico nell'individuazione dei problemi e nell'elaborazione delle soluzioni ad essi connesse
- Saper analizzare criticamente l'evoluzione della chimica dell'atmosfera in risposta alle politiche energetiche e ambientali in evoluzione a livello nazionale e sovra-nazionale
- Saper valutare la necessità di un approccio multivariato per l'analisi dei dati atmosferici e valutare l'informazione enucleabile da essi
- Valutare l'evoluzione spazio-temporale di una specie chimica in atmosfera ricorrendo all'equilibrio e/o alla stabilità degli stati stazionari in condizioni di non equilibrio
- Comprendere gli aspetti chimico-fisici legati al cambiamento climatico e leggere criticamente le interazioni tra i vari ambienti e il cambiamento climatico con particolare attenzione all'atmosfera
- Saper accedere alle risorse del telerilevamento per la stima di inquinanti in atmosfera
- Saper valutare l'interconnessione tra meteorologia e concentrazione di inquinanti
- Saper effettuare connessioni logiche tra gli argomenti della Chimica dell'Atmosfera e quelli delle scienze ambientali

Autonomia di giudizio (Descrittore di Dublino 3)

Al termine del corso lo studente è in grado di:

- Individuare quali composti chimici presenti in atmosfera possono avere impatto sull'ambiente e sull'uomo.
- Individuare le strategie per il controllo degli inquinanti atmosferici
- Esaminare le grandezze chimiche e fisiche dell'atmosfera, valutare le concentrazioni degli inquinanti atmosferici, applicare un metodo scientifico adeguato all'interpretazione dei dati
- Definire i processi di trasporto in atmosfera
- Valutare l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla salute, l'ecosistema, il clima, i beni culturali e i

manufatti antropici ad alto contenuto tecnologico

- Scegliere autonomamente l'approccio metodologico, tecnologico o modellistico più idoneo alla valutazione e soluzione dei problemi inerenti la chimica dell'atmosfera
- Capacità di inserire la chimica dell'atmosfera in un panorama di conoscenze interdisciplinari (chimica, biologia, geologia, ecologia, fisica, diritto, economia) per affrontare i problemi ambientali complessi e il rapporto uomo-ambiente nel comparto atmosferico
- Capacità di analizzare criticamente la letteratura scientifica e i documenti tecnico-normativi
- Capacità di formulare un giudizio autonomo su politiche, piani e programmi in ambito atmosferico (giuridico, economico, energetico) anche in chiave di sostenibilità e di Agenda ONU 2030
- Capacità di elaborare in autonomia il progetto e la metodologia della prova finale, valutando criticamente i risultati ottenuti e integrandoli con la letteratura scientifica

Abilità comunicative (Descrittore di Dublino 4)

Al termine del corso lo studente è in grado di:

- Saper esporre in modo chiaro e sintetico e con proprietà di linguaggio, le principali reazioni chimiche dei composti antropogenici e naturali ed i processi di trasporto nel comparto atmosfera
- Saper esporre in modo chiaro e sintetico e con proprietà di linguaggio, i principali effetti dell'inquinamento atmosferico sull'uomo, l'ambiente, il clima i beni culturali e i manufatti elettronici
- Capacità di comunicazione scientifica in lingua inglese a livello B2, sia in forma orale che scritta, in contesti tecnico-scientifici
- Capacità di interagire e collaborare con parti terze

Capacità di apprendere (Descrittore di Dublino 5)

Al termine del corso lo studente è in grado di:

- Saper applicare le conoscenze acquisite della chimica dell'atmosfera per determinare le concentrazioni di ozono troposferico dei PM_x. Comprendere gli argomenti presenti nella letteratura scientifica della chimica dell'atmosfera sia passate che presente. Saper applicare le conoscenze acquisite in nuovi ambiti, differenti da quelli affrontati durante il corso integrandoli in maniera autonoma con altre fonti conoscitive
- Consultare la letteratura scientifica internazionale (anche in inglese), banche dati e report tecnici di centri di ricerca, enti territoriali, governi e organizzazioni internazionali
- Lavorare sia in gruppo che in modo autonomo, utilizzando il metodo scientifico come strumento di lavoro

Capacità di effettuare misure e comprendere il dato

Gli studenti tramite attività di laboratorio condurranno misure con strumentazione scientifica all'avanguardia inerente la composizione chimica dell'atmosfera, campionamento di PM, emissioni da camino, misure climatiche, interazione con l'umidità ambiente e igroscopicità delle particelle

Contenuti sintetici

Il corso di Chimica dell'Atmosfera si propone di fornire agli studenti una solida formazione teorica e pratica sulla composizione e sulla reattività chimica della nostra atmosfera, analizzando le dinamiche che governano la fase gassosa e quella particolata, sia in contesti naturali sia all'interno di aree fortemente antropizzate, con uno sguardo esteso tanto agli ambienti outdoor quanto a quelli indoor. Al centro del percorso didattico vi è lo studio approfondito degli impatti che la qualità dell'aria esercita su comparti cruciali quali la salute umana e la stabilità degli ecosistemi, il cambiamento climatico globale, la conservazione del patrimonio dei beni culturali e l'integrità dei sistemi elettronici e tecnologici.

Dal punto di vista delle conoscenze, il percorso porta lo studente a padroneggiare le principali reazioni dei composti atmosferici, ponendo un accento specifico sulle complesse reazioni radicaliche e sui meccanismi biochimici che regolano la formazione e la distruzione dell'ozono, sia nella stratosfera che nella troposfera. Grande

attenzione viene dedicata al particolato atmosferico, esaminandone la composizione chimica, i processi di formazione, l'evoluzione temporale e spaziale, nonché le dinamiche di deposizione e le mutue interazioni che avvengono costantemente tra la fase gassosa e quella solida o liquida del particolato atmosferico. Queste nozioni vengono ulteriormente arricchite e rafforzate attraverso una prospettiva interdisciplinare spingendosi fino alle più recenti linee di ricerca scientifica che studiano l'emergere di contaminanti globali come le micro e le nanoplastiche in atmosfera.

Il corso fornisce gli strumenti conoscitivi e metodologici di laboratorio per l'analisi chimica e la misura dei composti che regolano e determinano la qualità dell'aria sia in ambiti remoti che antropizzati ed i loro effetti sull'ambiente e sull'uomo assieme ad una capacità di lettura critica del dato.

Programma esteso

Il programma dettagliato viene qui riportato a punti considerando che integra nozione di basi con gli ultimi avanzamenti nella letteratura scientifica:

- Composizione chimica dell'atmosfera: macrocostituenti e loro trend temporale in un'ottica di cambiamento climatico
- Legame tra inquinamento atmosferico, termodinamica ed economia
- Classi di composti atmosferici. Contaminanti primari, loro inventario; contaminanti secondari, loro formazione e trasformazione
- Normativa Italiana ed Europea in materia di qualità dell'aria dal presente al futuro in outdoor e indoor
- Equilibrio e Stato Stazionario
- Specie reattive ossigenate generate fotochimicamente; radicali in atmosfera. Il potere ossidante della atmosfera. Reattività radicalica: iniezione, propagazione, terminazione
- Ozono in Stratosfera. Le reazioni chimiche nella stratosfera. Contaminazione da composti organici gassosi, CFC e composti organo alogenati. HCFC e regolamentazione. HFC e regolamentazione. Nuove e inattese di CFC. Potenziale di deplezione dell'ozono. Il ruolo delle Polar Stratospheric Clouds (PSC).
- Ozono in Troposfera. Effetti locali ed effetti globali della reattività chimica in troposfera. Stato Stazionario dell'Ozono e NOx. Effetto dei composti organici volatili (VOC), temperatura, irraggiamento sullo stato stazionario dell'ozono. Isoplete dell'ozono. Effetto sull'uomo e l'ambiente. Ozono e urban regeneration, il ruolo delle green cities. Trend dell'ozono, dal passato al futuro. Ozono e transizione energetica e veicolare. Ozono e l'esperimento non voluto del COVID. Ozono ed esempi in valutazione di impatto ambientale. Potenziale di formazione dell'ozono e utilizzo nelle politiche decisionali
- Reattività in fase gassosa dei VOC: alcani, alcheni, alchini, aromatici, NOx, NOy, composti dello zolfo (SO2 e DMS). Tipi di prodotti di formazione e variazione della tensione di vapore come ponte verso la fase particolata. Formazione di intermedi cancerogeni, formazione di gas serra durante la reattività atmosferica.
- Aerosol e particolato atmosferico, similitudini e differenze
- Evoluzione del particolato in atmosfera: nucleazione, coagulazione, condensazione, evaporazione, deposizione, attivazione igroscopica (interazione con l'umidità atmosferica) e formazione delle nubi. Origine primaria e secondaria, antropica e naturale. Particolato combustivo, desertico, da spray marino e bioaerosol in atmosfera. Composizione chimica delle particelle dalla loro emissione primaria seguendo tutta l'evoluzione in atmosfera. Equilibrio termodinamico con la fase gassosa. Reattività eterogena in fase particolata liquida. Le particelle come vettori di composti persistenti e come reattori chimici. Definizione di PM10, PM2.5 e PM1. Differenze tra le normative tecniche Americane ed Europee Effetti degli inquinanti atmosferici sull'ambiente, sui beni culturali e sulla salute dell'uomo.
- Meteorologia e inquinamento atmosferico: interconnessioni, stato di rimescolamento, profili verticali e reattività atmosferica (gas e particolato) lungo la verticale e durante i trasporti a lungo raggio
- Effetti della chimica atmosferica sul clima: forcing radiativo, proprietà ottiche dell'aerosol, effetti diretti e indiretti, raffreddamento vs riscaldamento, redistribuzione dell'energia ed effetti sulla circolazione a scala regionale e continentale. Applicazioni del remote sensing alla chimica dell'atmosfera e forcing climatico degli aerosol

- Effetti della chimica dell'atmosfera sull'uomo. Dalla concentrazione, alla dose fino alla risposta e al calcolo degli anni di vita persi e/o vissuti con disabilità su base epidemiologica
- Effetti della composizione chimica dell'atmosfera sui beni culturali: casi di studio d'eccezione tra cui l' "Ultima Cena" di Leonardo da Vinci, il "Quarto Stato" di Pellizza da Volpedo
- Effetti della composizione chimica dell'atmosfera sui Data Center e sul consumo energetico. Legame con la resilienza elettronica agli agenti atmosferici e alla corrosione indotta
- Metodologie di misura della fase gassosa e particolata: teoria e pratica in laboratorio e normativa di riferimento associata
- Misure indoor e outdoor degli inquinanti atmosferici nella pratica di laboratorio
- Campionamento e analisi della composizione chimica del particolato atmosferico in laboratorio
- Analisi dei dati raccolti in laboratorio, database nazionali e internazionali, accesso ed elaborazione dati
- Modellistica dell'igroscopicità dell'aerosol all'equilibrio termodinamico in laboratorio

Prerequisiti

Come prerequisiti è necessario conoscere e/o ripassare:

- chimica dell'ambiente
- chimica organica
- chimica inorganica

Modalità didattica

- Lezioni frontali, 4 cfu - 32 ore, di didattica erogativa in presenza ma con possibilità di streaming e videoregistrazione
- Laboratorio, 2 cfu - 20 ore, in presenza didattica interattiva

Il corso sarà erogato in inglese se richiesto dagli studenti stranieri incoming

Materiale didattico

Il materiale didattico dell'insegnamento sarà disponibile sulla piattaforma e-learning. Le slide ufficiali del corso saranno in Inglese.

Testo suggerito:

Seinfeld, John H. ; Pandis, Spyros N., Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change (3rd Edition). John Wiley edition

Periodo di erogazione dell'insegnamento

primo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene con esame orale

L'esame consiste nella valutazione delle conoscenze acquisite dallo studente nell'ambito della chimica dell'atmosfera, con particolare attenzione ai composti organici volatili, O₃ stratosferico e troposferico, il Particolato Atmosferico, formazione ed evoluzione.

Gli effetti degli inquinanti atmosferici sull'ambiente, clima, uomo, beni culturali e manufatti antropici.

Nella prova orale, lo studente verrà valutato sulla base dei seguenti criteri: 1) conoscenza e capacità di comprensione ; 2) collegamento dei diversi concetti; 3) autonomia di ragionamento; 4) capacità nell'utilizzo del linguaggio scientifico

Voto in trentesimi 18-30/30 e lode

Orario di ricevimento

Il Prof. Luca Ferrero riceve gli studenti previo appuntamento via e-learning o per mail a luca.ferrero@unimib.it

Sustainable Development Goals

SALUTE E BENESSERE | CITTÀ E COMUNITÀ SOSTENIBILI | LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO
