# Fisica dell’atmosfera

## Prof. Giacomo Alessandro Gerosa

***OBIETTIVO DEL CORSO E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI***

Comprendere la struttura e la composizione dell'atmosfera terrestre nonché dei processi di cui è sede. Conoscere i principali metodi di indagine e gli strumenti utilizzati dalla ricerca meteorologica. Fornire le conoscenze atmosferiche rilevanti per varie applicazioni di fisica ambientale, tra le quali: la gestione della qualità dell'aria, le indagini ecologiche, gli studi di impatto ambientale di impianti e infrastrutture, la valutazione delle risorse energetiche rinnovabili e l’assistenza alla gestione degli impianti per il loro utilizzo, la gestione delle risorse idriche, la pianificazione dell'attività turistica, la protezione civile, la valutazione dei possibili effetti delle scelte locali sui cambiamenti climatici globali.

Al termine dell’insegnamento, lo studente conoscerà la struttura e la composizione dell’atmosfera, anche dal punto di vista evolutivo, nonché la sua dinamica, la termodinamica atmosferica e i fenomeni circolatori.

Lo studente sarà in grado di spiegare i principali fenomeni atmosferici e meteorologici. Sarà in grado di leggere le carte bariche, i sondaggi verticali e gli output dei modelli e, sulla loro base, sarà in grado di fare delle previsioni. Saprà individuare la presenza di inquinamento atmosferico e dare indicazioni per la sua mitigazione. Saprà inoltre spiegare la distribuzione globale dei climi e la loro relazione con la presenza di determinati ecosistemi terrestri e marini.

***PROGRAMMA DEL CORSO***

1. Caratteristiche dell'atmosfera

Introduzione. Massa dell’atmosfera, densità, pressione, temperatura. Scale spazio-temporali dei fenomeni atmosferici.

Composizione dell’atmosfera terrestre. Componenti principali e caratteristiche. Elementi minoritari e gas traccia. Gas climalteranti. Aerosol.

Origine dell'atmosfera terrestre. Atmosfera primaria e secondaria. Transizione ad una atmosfera ossidante.

Riscaldamento globale. Clima dell'Olocene e scenari futuri.

Struttura verticale dell'atmosfera terrestre. Caratteristiche di troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera, esosfera con ionosfera e magnetosfera.

2. Termodinamica dell'atmosfera

Equazione di stato per aria secca e umida. Temperatura virtuale. Equazione idrostatica. Geopotenziale. Equazione ipsometrica. Primo principio della termodinamica applicato all’atmosfera, calori specifici, entalpia. Processi adiabatici in atmosfera: *dry adiabatic lapse rate*, equazione di Poisson e temperatura potenziale. Carte pseudoadiabatiche.

Termodinamica dell'aria umida. Misura del vapore acqueo e grandezze igrometriche. Evaporazione, condensazione e tensione di vapor saturo. Temperatura di rugiada e livello di condensazione per sollevamento (LCL). Calori latenti, *lapse rate* adiabatico saturo. Favonio.

Stabilità. Accelerazione di *buoyancy* e *gravity waves*. Diagrammi termodinamici, interpretazione e applicazioni. Instabilità condizionale e convettiva. Inversioni. Altezza di rimescolamento e PBL. Secondo principio della termodinamica applicato all’atmosfera, entropia. Equazione di Clausius-Clapeyron, diagramma delle fasi. Formazione e classificazione delle nubi, precipitazione.

3. Trasferimento radiativo

Spettro elettromagnetico. Leggi fisiche della radiazione: Planck, Stefan-Boltzmann, Wien, Kirchhoff.

Costante solare. Temperatura di emissione di un pianeta. Bilancio radiativo globale. Radiazione solare incidente e parametri orbitali. Declinazione solare e flusso radiativo totale. Albedo. Radiazione terrestre. Radiazione netta. Forzante radiativa e trasporto di energia verso i poli.

Trasferimento radiativo in atmosfera. Diffusione: *scattering* di Rayleigh e di Mie, *scattering* non selettivo. Assorbimento: transizioni rotazionali, vibrazionali, elettroniche ed energia traslazionale delle molecole.

Equazioni di trasferimento radiativo. Equazione di Lambert-Beer. Tasso di assorbimento e tasso di riscaldamento radiativo. Equazione di Schwarzschild.

Modelli di equilibrio radiativo ed effetto serra. Equilibrio radiativo-convettivo e gradiente verticale termico. Ruolo delle nubi.

4. Dinamica atmosferica

Definizioni e richiami, approccio euleriano e lagrangiano. Cinematica del flusso orizzontale: proprietà, vorticità e divergenza, deformazione.

Forze reali: forza di gradiente di pressione, gravità rivisitata, attrito. Sistemi di riferimento non inerziale e forze apparenti: forza di Coriolis, forza centrifuga. Equazioni del moto e analisi di scala.

Dinamica del flusso orizzontale. Equilibrio geostrofico: vento geostrofico e ageostrofico, effetto dell’attrito e circolazione ciclonica e anticiclonica. Vento di gradiente e ciclostrofico. Atmosfera barotropica e baroclina, vento termico.

Dinamica del flusso verticale. Pressione come coordinata verticale. Equazione di continuità come equazione del moto verticale. Velocità verticale al suolo ed equazione di Margules’. Equilibrio idrostatico.

Equazione di conservazione dell’energia termodinamica.

Il set delle equazioni primitive. Strategie di simulazione numerica e predittività deterministica dei modelli atmosferici.

5. Circolazione globale

Modello di circolazione a tre celle. Instabilità baroclinica. Alisei e zona di convergenza intertropicale (ITCZ). Monsoni. Modello di Palmen. Fasce climatiche.

Ciclogenesi extratropicale e sistemi frontali. Fronti caldi e fronti freddi. Cicloni tropicali. Circolazione locale. Brezze. Interpretazione delle carte meteorologiche.

Convezione profonda extratropicale: temporali a singola cella, multicella, supercella. Tornado. Convezione profonda intertropicale: uragani.

6. Strumentazione per indagini atmosferiche

Cenni ai sensori meteorologici, sensori rapidi, palloni. Strumenti per il telerilevamento di parametri meteorologici: *SODAR*, *LIDAR*, *DOASS*, satelliti meteorologici.

***BIBLIOGRAFIA***

Wallace J.M. & Hobbs P.V., *Atmospheric Science*, Academic Press, New York, 2006.

Holton J.R., *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Third Edition, Academic Press, San Diego, 1992.

Diapositive proiettate a lezione.

Ulteriore materiale informativo fornito a lezione.

***DIDATTICA DEL CORSO***

Lezioni in aula, seminari.

***METODO E CRITERI DI VALUTAZIONE***

L'insegnamento prevede un esame orale volto ad accertare il grado di assimilazione dei concetti, dei risultati e delle procedure illustrate nell'insegnamento, tramite esposizione e discussione di alcuni punti del programma, non escludendo richiami a prerequisiti o collegamenti fra parti dello stesso.

Allo studente verrà richiesto di iniziare con l’esposizione e la discussione di un argomento a sua scelta. Seguiranno tre domande su argomenti che non sono stati oggetto dell’esposizione a scelta.

Durante l'interrogazione potrà essere chiesto di interpretare schemi o mappe relative ai fenomeni illustrati nel corso.

La valutazione della prova orale terrà conto della correttezza dei concetti illustrati, del loro rigore logico e metodologico, e della efficacia e correttezza espositiva, valorizzando l'assimilazione dei concetti e la loro rielaborazione personale da parte del candidato.

Nella formulazione del voto finale il 40% del punteggio verrà assegnato all’esposizione e alla discussione dell’argomento a scelta (fino a 12/30). Alle successive tre domande verrà attribuito il 20% del punteggio ciascuna (fino a 6/30). La lode verrà attribuita in base all’efficacia e alla sicurezza espositiva.

***AVVERTENZE E PREREQUISITI***

Il corso non richiede alcun prerequisito da parte degli studenti. Il corso è propedeutico (anche se non in maniera vincolante) ai successivi corsi dell'indirizzo di fisica ambientale, in particolare all’esame di Micrometeorologia.

Covid-19

Nel caso in cui la situazione sanitaria relativa alla pandemia di Covid-19 non dovesse consentire la didattica in presenza, sarà garantita l’erogazione a distanza dell’insegnamento con modalità che verranno comunicate in tempo utile agli studenti.

*Orario e luogo di ricevimento degli studenti*

Il docente riceve in Dipartimento di Matematica e Fisica a Brescia su appuntamento ([giacomo.gerosa@unicatt.it](mailto:giacomo.gerosa@unicatt.it)).