UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Dynamics of Planetary Interiors

2627-1-F7402Q050

Obiettivi

Il corso introduce lo studio della struttura, composizione, evoluzione e dinamica degli interni planetari, con particolare riferimento ai corpi del Sistema Solare. Saranno affrontati i principali processi che governano l'evoluzione interna dei pianeti, tra cui accrezione, differenziazione, formazione del nucleo, convezione del mantello, trasferimento di calore, transizioni di fase, dinamica del nucleo e generazione dei campi magnetici.
Particolare attenzione sarà dedicata alle relazioni tra composizione chimica, mineralogia ad alte pressioni e temperature, proprietà fisico-chimiche dei materiali e struttura interna dei pianeti. Una parte del corso sarà inoltre dedicata ai metodi sperimentali e analitici utilizzati per studiare materiali in condizioni estreme, incluse tecniche ad alta pressione e temperatura, spettroscopie, diffrazione a raggi X e misure presso grandi sorgenti di luce di sincrotrone.
Il corso mira anche a sviluppare competenze di analisi critica, interpretazione di dati sperimentali e modellistici, e comunicazione scientifica, anche attraverso seminari in lingua inglese. Il percorso formativo potrà concludersi con una visita didattica a una grande sorgente di luce di sincrotrone.

Conoscenze e capacità di comprensione
Al termine del corso lo studente conoscerà i principali processi che controllano la struttura e l'evoluzione degli interni planetari, e comprenderà le relazioni tra composizione chimica, mineralogia, condizioni di pressione-temperatura e proprietà fisico-chimiche dei materiali profondi.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate
Al termine del corso lo studente sarà in grado di applicare le conoscenze acquisite all'analisi e interpretazione di dati sperimentali, geochimici, geofisici e modellistici relativi agli interni planetari. Saprà inoltre collegare transizioni di fase, equazioni di stato, densità, proprietà elastiche e flussi di calore alla struttura ed evoluzione dei pianeti.

Autonomia di giudizio
Al termine del corso lo studente sarà in grado di valutare criticamente modelli teorici, risultati sperimentali e interpretazioni geofisiche riguardanti gli interni planetari. Sarà inoltre capace di selezionare gli approcci sperimentali, analitici o modellistici più appropriati per affrontare semplici quesiti scientifici sulla composizione e dinamica interna dei pianeti.

Abilità comunicative
Al termine del corso lo studente avrà acquisito un linguaggio tecnico adeguato alla descrizione dei processi fisici, chimici e mineralogici degli interni planetari. Le attività seminariali in lingua inglese contribuiranno allo sviluppo della capacità di presentare e discutere articoli scientifici in modo chiaro e sintetico.

Capacità di apprendere
Al termine del corso lo studente avrà acquisito un metodo di apprendimento autonomo e critico per approfondire tematiche di geologia, geofisica, geochimica, mineralogia e scienze planetarie, con competenze trasferibili anche alla ricerca sui materiali, alle tecnologie spaziali e all'analisi di dati sperimentali e modellistici.

Contenuti sintetici

Il corso introduce i principali processi che controllano la struttura, composizione ed evoluzione degli interni planetari, a partire dalla formazione del Sistema Solare, dall'accrezione e dalla differenziazione dei corpi planetari.

Saranno trattati gli interni dei pianeti terrestri, della Luna e dei pianeti giganti, con attenzione a transizioni di fase, convezione del mantello, evoluzione termica, dinamica del nucleo, generazione dei campi magnetici e ruolo degli elementi volatili.

La parte finale del corso sarà dedicata ai metodi sperimentali e analitici utilizzati per studiare i materiali planetari in condizioni estreme, inclusi accenni a tecniche ad alta pressione e temperatura, diffrazione, spettroscopie e misure presso grandi sorgenti di luce di sincrotrone.

Programma esteso

Lezioni frontali (4 CFU, 28 ore)

1. Fondamenti per lo studio degli interni planetari
   1.1. Basi di cosmogeochimica e abbondanza degli elementi nel Sistema Solare
   1.2. Meteoriti e ricostruzione della storia primordiale del Sistema Solare
   1.3. Classificazione delle meteoriti e vincoli sulla composizione dei corpi planetari
   1.4. Formazione del Sistema Solare: accrezione, riscaldamento radiogenico e differenziazione
   1.5. Oceani di magma, segregazione del nucleo e formazione degli involucri planetari
   1.6. Principi generali di evoluzione termica dei corpi planetari

2. Pianeti terrestri
   2.1. La Terra profonda: struttura interna, PREM, crosta, mantello e nucleo
   2.2. Transizioni di fase nel mantello terrestre: olivina, wadsleyite, ringwoodite, bridgmanite e ferropericlase
   2.3. Discontinuità sismiche, zona di transizione, limite nucleo-mantello e regione D?
   2.4. Flusso di calore, convezione del mantello ed evoluzione termica della Terra
   2.5. Cicli profondi di acqua, carbonio e zolfo; volatili nel mantello e nel nucleo
   2.6. Reazioni al confine nucleo-mantello e interazione tra reservoir profondi
   2.7. La Luna: formazione, differenziazione, struttura interna ed evoluzione termica
   2.8. Marte: vincoli sismologici dalla missione InSight, struttura interna, mineralogia del mantello, nucleo e flusso di calore
   2.9. Mercurio e Venere: densità, momento d'inerzia, vincoli gravitazionali, stato del nucleo e dinamo

3. Pianeti giganti
   3.1. Composizione chimica dei pianeti giganti e vincoli dalla formazione del Sistema Solare

3.2. Equazioni di stato di miscele H-He e materiali leggeri in condizioni estreme
3.3. Metallizzazione dell'idrogeno e implicazioni per la struttura interna
3.4. Piogge di elio, separazione di fase e struttura interna di Giove e Saturno
3.5. Possibili piogge di diamanti nei pianeti giganti ghiacciati
3.6. Differenziazione e composizione di Giove, Saturno, Urano e Nettuno
3.7. Strati ricchi in acqua, ammoniaca e metano in Urano e Nettuno
3.8. Conduttività, dinamo planetarie e campi magnetici non assiali

4. Tecniche sperimentali per lo studio delle profondità planetarie
   4.1. Celle a incudine di diamante e generazione di alte pressioni statiche
   4.2. Riscaldamento laser e misure in situ ad alta pressione e temperatura
   4.3. Diffrazione a raggi X e spettroscopie in condizioni estreme
   4.4. Compressione dinamica: laser-shock, cannone a gas ed equazioni di stato
   4.5. Grandi sorgenti: sincrotroni, laser a elettroni liberi e infrastrutture sperimentali avanzate
   4.6. Tecniche analitiche in condizioni ambientali e non ambientali applicate ai materiali planetari

Esercitazioni (1 CFU, 12 ore)

Le esercitazioni prevedono attività seminariali e pratiche.

Gli studenti prepareranno e presenteranno in lingua inglese brevi seminari scientifici basati su articoli selezionati dal docente e coerenti con i contenuti del corso. L'attività ha l'obiettivo di sviluppare la capacità di leggere criticamente la letteratura scientifica, sintetizzare risultati complessi e comunicarli efficacemente.

Sono inoltre previste esercitazioni pratiche con software per l'analisi e la visualizzazione di dati derivanti da tecniche sperimentali applicate allo studio degli interni planetari. Tra i software e gli strumenti utilizzabili potranno essere inclusi GSAS-II, SYNCMoss, Origin o programmi equivalenti per l'analisi di dati di diffrazione, spettroscopia e proprietà fisico-chimiche dei materiali.

Laboratori (1 CFU, 12 ore)

Le attività di laboratorio saranno dedicate all'introduzione e all'utilizzo partecipato di metodi sperimentali e tecniche analitiche impiegate nello studio dei materiali planetari in condizioni estreme.

Le attività potranno includere:
- introduzione all'utilizzo della cella a incudine di diamante;
- tecniche Raman e spettroscopiche applicate a materiali geologici e planetari;
- analisi di dati sperimentali raccolti in condizioni ambientali e non ambientali;
- discussione di esperimenti ad alta pressione e alta temperatura;
- visita didattica a una grande sorgente di luce di sincrotrone, ad esempio Grenoble, per osservare direttamente esperimenti e tecniche avanzate applicate allo studio dei materiali planetari.

Prerequisiti

Non sono previste propedeuticità obbligatorie. È tuttavia consigliata una conoscenza di base di mineralogia, petrologia, geochimica e geofisica.

Si raccomanda di seguire il corso in abbinamento ad altri insegnamenti a carattere minero-petrografico, geochimico e geofisico, quali Metodi Strumentali di Indagine Mineralogica, Petrogenesi degli Ambienti Geodinamici, Geocronologia e Archeometria, Mineralogia Industriale e Ambientale e insegnamenti affini di geofisica.

Il corso è inoltre fortemente complementare all'insegnamento Planetary Surface Dynamics, dedicato agli aspetti legati ad atmosfere, processi superficiali, geomorfologia planetaria, tettonica superficiale, crateri da impatto, telerilevamento e studio delle superfici dei corpi planetari.

Modalità didattica

Il corso è erogato in lingua inglese e prevede:

28 ore di didattica frontale, 4 CFU, svolte principalmente in aula, durante le quali verranno trattati gli aspetti teorici fondamentali della dinamica degli interni planetari e saranno illustrati casi di studio relativi alla Terra e ad altri corpi del Sistema Solare.

12 ore di esercitazioni, 1 CFU, svolte in presenza, dedicate alla partecipazione attiva degli studenti mediante seminari scientifici in lingua inglese e attività pratiche di analisi dati.

12 ore di laboratorio, 1 CFU, durante le quali gli studenti parteciperanno all'osservazione e applicazione di metodi sperimentali e tecniche analitiche utilizzate nello studio delle profondità planetarie, incluse eventualmente attività presso laboratori o grandi infrastrutture di ricerca.

Materiale didattico

Oltre alle dispense del corso e al materiale fornito dal docente, basati anche sull'esperienza diretta in laboratorio e presso grandi infrastrutture sperimentali, si consigliano i seguenti testi per l'approfondimento degli argomenti trattati:

Andrew Putnis, Introduction to Mineral Sciences. Cambridge University Press.

Deep Carbon: Past to Present. Cambridge University Press.

Planetary Mineralogy. EMU Notes in Mineralogy, vol. 15. European Mineralogical Union.

Eventuali articoli scientifici e review aggiornate saranno forniti dal docente durante il corso e costituiranno materiale di riferimento per le esercitazioni seminariali.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Il corso si svolge nel secondo semestre del primo anno della laurea magistrale, indicativamente dall'inizio di marzo alla fine di maggio, con una pausa durante il periodo pasquale.

La visita didattica a una grande sorgente di luce di sincrotrone è prevista indicativamente nei mesi di giugno o luglio, compatibilmente con la disponibilità della struttura ospitante e con l'organizzazione logistica.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

La modalità di verifica e valutazione comprende:

1. elaborazione di un progetto originale basato su una ricerca scientifica pubblicata, scelto su un tema concordato con il docente, anche ipotetico, che integri i contenuti scientifici e le tecniche trattate durante il corso;
2. colloquio orale incentrato sul progetto sviluppato e sugli argomenti affrontati a lezione;
3. valutazione della partecipazione alle esercitazioni, inclusa la qualità del seminario scientifico in lingua inglese.

La valutazione complessiva terrà conto della chiarezza espositiva, della capacità di sintesi, della correttezza scientifica, della capacità di collegare aspetti teorici, sperimentali e modellistici, nonché dell'originalità e dell'approccio critico nell'impostare un problema di ricerca.

Verranno inoltre valutate la capacità di interpretare dati sperimentali o modellistici, la comprensione dei processi fisico-chimici che regolano gli interni planetari e la capacità di comunicare contenuti scientifici complessi in modo efficace.

Il superamento del corso richiede il raggiungimento di una valutazione complessiva pari ad almeno 18/30.

Una possibile articolazione del voto finale è la seguente:

progetto scritto o relazione scientifica: fino a 15 punti;
colloquio orale sugli argomenti del corso e sul progetto: fino a 10 punti;
seminario in lingua inglese e partecipazione alle esercitazioni: fino a 5 punti.

Orario di ricevimento

Tutti i giorni lavorativi della settimana negli orari di ufficio, previo appuntamento, compatibilmente con gli impegni didattici, istituzionali e fuori sede del docente.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE | LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO | VITA SULLA TERRA | PARTNERSHIP PER GLI OBIETTIVI