UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Geocronologia e Geochimica della Terra Solida

2627-1-F7402Q038

Obiettivi

O1 – Conoscenza e capacità di comprensione

1. Comprendere i principi fondamentali della geocronologia e il ruolo della datazione assoluta e relativa nella ricostruzione dell'evoluzione dei processi geologici su scale temporali diverse.
2. Comprendere i principi della radioattività naturale, del decadimento radioattivo, delle costanti di decadimento, delle catene di decadimento, dell'equilibrio secolare e del concetto di sistema isotopico chiuso.
3. Comprendere i principali metodi radiometrici di datazione, con particolare riferimento ai sistemi K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, U-Th-Pb, radiocarbonio, nuclidi cosmogenici, termoluminescenza e tracce di fissione.
4. Comprendere il significato geologico delle età ottenute dai diversi geocronometri, distinguendo tra età di cristallizzazione, raffreddamento, metamorfismo, alterazione, esposizione superficiale, sepoltura ed eruzione.
5. Comprendere il ruolo delle temperature di chiusura, della diffusione isotopica, della perdita o acquisizione di isotopi radiogenici, dell'alterazione e della contaminazione nella corretta interpretazione dei dati geocronologici.
6. Comprendere i principi fondamentali della geochimica della Terra solida, con particolare riferimento all'origine, al comportamento e al ciclo dei volatili nell'interno della Terra.
7. Comprendere l'uso dei traccianti geochimici e isotopici dei fluidi, inclusi isotopi stabili, radiogenici e gas nobili, per ricostruire l'origine di fluidi magmatici, idrotermali, crostali e mantellici.
8. Comprendere le relazioni tra composizione geochimica dei fluidi, geodinamica terrestre, degassamento magmatico e vulcanico, vulcanismo sottomarino e subaereo, e impatto dei volatili sul sistema atmosfera-idrosfera e sul clima terrestre.
9. Comprendere le basi delle principali tecniche di campionamento di rocce e fluidi, delle metodologie analitiche di laboratorio e di campo, e dei metodi di acquisizione, visualizzazione ed elaborazione dei dati geocronologici e geochimici.

O2 – Capacità di applicare conoscenza e capacità di comprensione

1. Saper applicare i principi del decadimento radioattivo e della crescita isotopica radiogenica alla comprensione dei principali metodi di datazione assoluta.
2. Saper scegliere, in funzione del problema geologico, il metodo geocronologico più appropriato, tenendo conto dell'età attesa, del materiale disponibile, del minerale databile, della temperatura di chiusura e del significato geologico dell'età ottenuta.
3. Saper interpretare dati geocronologici derivanti da metodi quali K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, U-Th-Pb, radiocarbonio, nuclidi cosmogenici, termoluminescenza e tracce di fissione.
4. Saper riconoscere e interpretare diagrammi geocronologici fondamentali, quali isocrone, diagrammi concordia-discordia, spettri di età Ar-Ar, plateau age, inverse isochron, diagrammi di evoluzione isotopica e diagrammi di esposizione/sepoltura per nuclidi cosmogenici.
5. Saper valutare il significato di parametri analitici e interpretativi quali rapporto isotopico iniziale, perdita di Ar, correzione atmosferica, fattore J nel metodo Ar-Ar, incertezza analitica e dispersione dei dati.
6. Saper applicare i concetti di geochimica isotopica dei fluidi all'interpretazione dell'origine delle specie volatili in sistemi magmatici, idrotermali, crostali e mantellici.
7. Saper utilizzare rapporti isotopici e composizioni chimiche dei fluidi per distinguere contributi mantellici, crostali, atmosferici, sedimentari, organici e idrotermali.
8. Saper mettere in relazione dati geochimici dei fluidi con processi di degassamento magmatico, dinamiche vulcaniche, interazione acqua-roccia, subduzione, riciclo dei volatili e trasferimento di gas verso atmosfera e idrosfera.
9. Saper applicare procedure di base per la visualizzazione e l'elaborazione di dati geocronologici e geochimici, mediante grafici, diagrammi isotopici, diagrammi binari, diagrammi ternari, regressioni e semplici modelli di mescolamento.
10. Saper impostare correttamente, a livello di base, una strategia di campionamento di rocce e fluidi finalizzata a indagini geocronologiche e geochimiche.

O3 – Autonomia di giudizio

1. Saper valutare criticamente quale metodo di datazione sia più idoneo per rispondere a uno specifico problema geologico, tenendo conto del contesto, del materiale disponibile e della scala temporale del processo da investigare.
2. Saper distinguere tra età apparenti ed età geologicamente significative.
3. Saper valutare l'affidabilità di un dato geocronologico sulla base della qualità del campione, della mineralogia, dello stato di conservazione, della coerenza dei dati isotopici, delle incertezze analitiche e dei criteri statistici di regressione.
4. Saper riconoscere le principali criticità interpretative dei metodi geocronologici.
5. Saper valutare criticamente l'origine di un fluido naturale sulla base di dati chimici e isotopici, distinguendo tra contributi mantellici, crostali, sedimentari, atmosferici, biogenici e idrotermali.
6. Saper distinguere tra una semplice descrizione composizionale dei fluidi e una interpretazione di processo, riconoscendo il significato geologico di rapporti isotopici, abbondanze relative, rapporti elementari e anomalie geochimiche.
7. Saper formulare interpretazioni coerenti integrando dati geocronologici, dati geochimici, contesto petrologico, vulcanologico, strutturale e geodinamico.
8. Saper riconoscere i limiti dei dati disponibili e valutare quando siano necessarie analisi aggiuntive, controlli mineralogici, verifiche petrografiche, repliche analitiche o approcci multi-metodo.

O4 – Abilità comunicative

1. Saper descrivere con proprietà di linguaggio i principi fondamentali della geocronologia, della radioattività naturale, dei sistemi isotopici instabili e dei principali metodi di datazione.
2. Saper spiegare in modo chiaro il significato geologico delle età radiometriche e relative.
3. Saper illustrare il funzionamento dei principali metodi geocronologici, includendo materiali databili, minerali utilizzati, tecniche analitiche, campionamento, trattamento del campione, elaborazione dei dati e limiti interpretativi.
4. Saper descrivere e interpretare diagrammi geocronologici e isotopici, quali isocrone, concordia-discordia, spettri Ar-Ar, diagrammi Pb-Pb, diagrammi di evoluzione isotopica e diagrammi di mescolamento dei fluidi.

5. Saper comunicare in modo ordinato e scientificamente corretto l'interpretazione di un dato geocronologico o geochimico, collegando metodo analitico, risultato numerico, incertezza e significato geologico.
6. Saper utilizzare correttamente la terminologia specifica della geochimica dei fluidi e della Terra solida, con particolare riferimento a volatili, degassamento, traccianti isotopici, fluidi mantellici, fluidi crostali e riciclo geodinamico.
7. Saper presentare oralmente e per iscritto i risultati di semplici elaborazioni geocronologiche e geochimiche, argomentando le scelte interpretative e riconoscendo le principali incertezze.

O5 – Capacità di apprendimento

1. Essere in grado di utilizzare le conoscenze acquisite per affrontare autonomamente lo studio di processi geologici che richiedano un inquadramento temporale assoluto o relativo.
2. Essere in grado di approfondire autonomamente i principali metodi geocronologici e le loro applicazioni a processi magmatici, metamorfici, sedimentari, vulcanologici, geomorfologici e tettonici.
3. Essere in grado di integrare conoscenze di geochimica, mineralogia, petrografia, vulcanologia, geologia strutturale, geodinamica e fisica del decadimento radioattivo per interpretare dati isotopici e geocronologici.
4. Essere in grado di approfondire autonomamente temi di geochimica della Terra solida, geochimica dei fluidi, geochimica dei gas nobili, degassamento terrestre, riciclo dei volatili e interazione tra interno della Terra, atmosfera e idrosfera.
5. Essere in grado di utilizzare testi, dispense, dati analitici, diagrammi, banche dati e letteratura scientifica per consolidare e aggiornare le proprie conoscenze sui metodi geocronologici e geochimici.
6. Essere in grado di trasferire le conoscenze teoriche, analitiche e interpretative acquisite nel corso a successive applicazioni relative a processi naturali, ambientali, vulcanologici, geodinamici e climatici.
7. Essere in grado di sviluppare un approccio critico e multi-metodo, riconoscendo che la ricostruzione dell'evoluzione temporale e geochimica dei sistemi naturali richiede spesso l'integrazione di più geocronometri, più traccianti isotopici e più evidenze geologiche.

Contenuti sintetici

Richiami di nucleosintesi, origine ed evoluzione della Terra, struttura atomica e definizione di isotopo instabile. Concetto di decadimento radioattivo, meccanismi di decadimento, metodi radiometrici di datazione assoluta su scala temporale lunga e breve. Datazioni attraverso nuclidi cosmogenici. Metodi di datazione non radiometrica. Isotopi radiogenici.
Concetti base di Geochimica dei fluidi. Isotopi stabili ed isotopi dei gas nobili. Composizione dei volatili nel mantello, nel magma e nei sistemi vulcanici/idrotermali. Solubilità dei volatili nei fusi silicatici. Degassamento magmatico. Variazioni composizionali in relazione alla geodinamica. Impatto del degassamento sugli ecosistemi marini/oceanici ed atmosferici, implicazioni climatiche. Ciclo dei volatili nel mantello.
Principali tecniche di campionamento dei fluidi/rocce, esperienza pratica sul campo, e metodologie analitiche. Acquisizione, visualizzazione ed elaborazione dei dati geochimici.

Programma esteso

Presentazione del corso. Richiami sulla struttura atomica, definizione di isotopo stabile, instabile e radiogenico. Cenni di nucleosintesi, formazione ed evoluzione della Terra, affinità geochimica degli elementi, sfere geochimiche. Richiami su elementi maggiori ed in traccia.
Concetto di decadimento radioattivo, principali meccanismi di decadimento, equazione generale del decadimento radioattivo. Metodo Rb-Sr, Sm-Nd, U-Th-Pb, K-Ar e ^{3}?Ar-??Ar. Datazioni attraverso radiocarbonio (^{1}?C) ed altri nuclidi cosmogenici (es. ^{3}He, ^{3}H). Metodi di datazione non radiometrica basati sull'accumulo regolare di sedimenti, ghiacci o materiale biologico (es. varve dating e dendrocronologia) nel tempo, e di datazione relativa basata

sull’equivalenza dell’età. Richiami sugli isotopi stabili ed isotopi dei gas nobili. Gli isotopi stabili (delta^{13}C, delta^{1}?O, deltaD) come geocronometri e metodi di ricostruzione paleoclimatica.
Composizione dei volatili mantellici/magmatici/vulcanici (H?O, CO?, S, gas nobili, alogeni) e variazioni composizionali in relazione alla geodinamica. Solubilità dei volatili nei fusi silicatici e ripartizione delle specie tra le fasi coesistenti. Degassamento magmatico: definizione, tipologia e principali modelli utilizzati. Processi di frazionamento, contaminazione e mescolamento tra volatili di origine differente. Vulcanismo e degassamento in ambiente sottomarino; impatto sugli ecosistemi marini/oceanici ed atmosferici, cambiamenti climatici. Implicazioni generali sul ciclo dei volatili in relazione alla geodinamica.
Principi di spettrometria di massa. Modalità di acquisizione, visualizzazione ed elaborazione dei dati geochimici. Visita al laboratorio isotopi dei gas nobili del DISAT.
Escursione per verificare sul campo i concetti acquisiti durante il corso, esperienza pratica di campionamento fluidi/rocce per le successive analisi geochimiche e misure sul campo (probabile target Canarie).

Prerequisiti

Gli studenti devono avere seguito il corso di Sicurezza sul Terreno.
Consigliato il corso di Introduzione alla Vulcanologia previsto come materia a scelta alla triennale (attivo dal 2024-2025).

Modalità didattica

Ore totali: 52
14 lezioni da 2 ore svolte in modalità erogativa in presenza
4 uscite sul campo (Campus Abroad) da 6 ore svolte in modalità interattiva in presenza

Materiale didattico

Dispense fornite dal docente, pubblicazioni scientifiche
TESTI
Walker M., Quaternary Dating Methods, Wiley
W.M. White, Geochemistry
McSween H.Y., Richardson S.M. Jr., Uhle M.E., Geochemistry (Pathways and Processes)
J. Hoefs, Stable isotope Geochemistry
Porcelli, D., Ballentine, C.J. and Wieler, R. (2002). An introduction to noble gas geochemistry and cosmochemistry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 47: 1-18.

APPROFONDIMENTI ULTERIORI
A. Longinelli, S. Deganello, Introduzione alla Geochimica
Faure G. (1998), Principles and Applications of Geochemistry
Ozima M. & Podosek F.A. (2002), Noble Gas Geochemistry, Cambridge University
Burnard P., The Noble Gases as geochemical tracers, Springer
C.J. Allègre, Isotope Geology

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Primo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

La verifica dell’apprendimento prevede una valutazione finale articolata in due componenti:

- una prova orale individuale sugli argomenti svolti durante il corso, pari al 70% del voto finale;
- una relazione e/o presentazione inerente all’escursione o all’attività pratica prevista dall’insegnamento, pari al 30% del voto finale.
  Non sono previste prove scritte in itinere né prove scritte finali. Durante il corso potranno essere proposte esercitazioni, discussioni guidate, analisi di diagrammi, casi studio o attività pratiche finalizzate alla preparazione dell’esame, ma tali attività non costituiscono prove in itinere con autonoma valutazione in trentesimi. Entrambe le componenti della valutazione concorrono alla formulazione del voto finale, espresso in trentesimi.

Prova orale
La prova orale consiste in un colloquio individuale sugli argomenti trattati durante l’insegnamento e sui contenuti della relazione sull’escursione. L’esame è composto da non meno di tre domande aperte, ed inizia commentando la valutazione della relazione sull’escursione. La prima domanda potrà riguardare un argomento del programma scelto dallo studente, allo scopo di consentire una prima esposizione autonoma e strutturata di un tema ritenuto particolarmente significativo. Le domande successive saranno finalizzate a verificare la preparazione complessiva dello studente sui principali contenuti del corso, con riferimento sia alla parte di geocronologia sia alla parte di geochimica della Terra solida e dei fluidi. La prova orale potrà includere anche la discussione di diagrammi, schemi, dati isotopici o casi interpretativi, quali ad esempio:

- isocrone e diagrammi di evoluzione isotopica;
- diagrammi concordia-discordia;
- spettri di età Ar-Ar e plateau age;
- diagrammi isotopici e geochimici applicati all’origine dei fluidi naturali;
- semplici schemi di campionamento, trattamento analitico e interpretazione dei dati.

La prova orale è finalizzata a verificare la conoscenza degli argomenti del programma, la comprensione del significato geologico dei processi studiati, la capacità di collegare tra loro gli argomenti, la chiarezza espositiva e l’uso corretto della terminologia scientifica propria della disciplina. La prova orale è valutata in trentesimi e contribuisce per il 70% alla valutazione finale.

Relazione e/o presentazione sull’escursione o attività pratica
La relazione e/o presentazione relativa all’escursione o all’attività pratica ha lo scopo di verificare quanto appreso durante l’escursione e/o la capacità dello studente di applicare le conoscenze acquisite durante il corso a un contesto geologico reale o a un caso studio discusso durante l’insegnamento. La relazione e/o presentazione è presentata alcuni giorni prima dell’appello ed è valutata in trentesimi e contribuisce per il 30% alla valutazione finale.

Il voto finale è espresso in trentesimi ed è ottenuto indicativamente dalla media ponderata tra:
70% prova orale;
30% relazione/presentazione sull’escursione o attività pratica.

Orario di ricevimento

Contattare il docente via email: andrealuca.rizzo@unimib.it

Sustainable Development Goals