UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Georisorse

2122-3-E3401Q046

Obiettivi

Introduzione alle risorse minerarie, dai minerali metallici (*ore minerals*) ai minerali industriali (*industrial minerals*), fino alle rocce ornamentali (*dimension stones*) ed agli aggregati (sabbie e ghiaie). Vengono forniti i concetti base per la descrizione di un giacimento, sia dal punto di vista geometrico - morfologico, sia genetico (giacimenti magmatici, idrotermali, sedimentari, metamorfici ed arricchimento supergenico), nonchè le tecniche di prospezione mineraria. Vengono infine descritte le principali metodologie di coltivazione mineraria di cave e miniere, a cielo aperto ed in sotterraneo, nonché le principali tecniche analitiche utili per caratterizzare *ore* ed *industrial minerals*.

Contenuti sintetici

- ***Ore* ed *industrial minerals***, concetto di giacimento minerario, tenore, tonnellaggio e Clarke (tenore medio crostale).

- **Estrazione e lavorazione dei minerali metallici ed industriali**, *ore dressing*, problematiche ambientali connesse (es. AMD - *acid mine drainage*).

- **Cave e miniere**, normativa nazionale ed internazionale. Tecniche di coltivazione mineraria a cielo aperto ed in sotterraneo.

- **Coltivazione mineraria con esplosivo**, a cielo aperto ed in sotterraneo.

- **Evoluzione della crosta terrestre dall'Archeano al Fanerozoico**, principali eventi metallogenici.

- **Le principali tecniche analitiche per la caratterizzazione chimica e mineralogica di ore ed industrial**

minerals: microscopia ottica in luce trasmessa e riflessa, XRF, ICP-AES, ICP-MS, NAA, SEM, TEM, microanalisi EDS e WDS, XRPD, spettroscopia Raman.

- **Morfologia e natura dei corpi minerari** in funzione delle rocce incassanti: filoni, pipes, mantos, pods, corpi stratiformi e stratabound.

- **Tessiture degli *ore minerals* e della ganga**, implicazione per il loro trattamento (*ore dressing*).

- **Risorse e riserve minerarie**, prospezione mineraria geochimica, geofisica, *core-drilling*, esempi.

- **Giacimenti magmatici**: cristallizzazione frazionata, liquazione, assimilazione magmatica. Esempi: solfuri massicci nelle komatiiti di Kambalda (Australia), livelli a cromite e PGE nel Bushveld complex (Sud Africa), solfuri massicci di Fe-Ni-Cu di Norilsk (Russia), kimberliti, carbonatiti, pegmatiti, greisen, skarn.

- **Giacimenti idrotermali**: fattori chiave nella loro genesi, tecniche di studio. Porphyry, VMS (*volcanogenic massive sulphide*), MVT (*Mississippi Valley Type*), SEDEX (*Sedimentary Exhalative*), IOCG (Iron Oxide Copper Gold), giacimenti ad U.

- **Giacimenti sedimentari**: placer, BIF (banded Iron Formations), evaporiti.

- **Giacimenti metamorfici**: talco, grafite, silicati di Al.

- **Giacimenti residuali** (es. Al, Ni) ed arricchimento supergenico.

- **Rocce ornamentali**: classificazione commerciale, tipologie, cave a cielo aperto ed in sotterraneo, principali metodologie di coltivazione, lavorazione dei materiali lapidei, impatto ambientale e relativa mitigazione.

- **Prove tecniche** (fisico-meccaniche) per la caratterizzazione dei materiali lapidei e degli aggregati.

Programma esteso

Ore minerals* & *industrial minerals, deposito minerario, minerali utili, ganga, cubaggio, tenore, *tout-vènant*, mercantile, *clarke* e *clarke* di concentrazione. Diagrammi tonnellaggi - tenore. Prezzi degli ore minerals e dei metalli, classificazione commerciale. Metalli "critici": REE e PGE. Import ed export delle materie prime, la produzione lombarda. Recupero e sottoprodotti, forma mineralogica del metallo, sostanze indesiderate, processi di *smelting* ed *ore dressing*, problematiche ambientali. Classificazione normativa delle materie prime: materiali di I e II categoria, cave e miniere.

Cenni alle relazioni tra tettonica e metallogenesi dall'Archeano al Fanerozoico.

Esplosivistica civile: principali tipi di esplosivo, deflagranti e detonanti, caratteristiche tecniche. Tiro a fuoco, elettrico e NONEL. Detonatori a fuoco, elettrici, elettronici, NONEL, booster, ritardati e microritardati, esploditori. L'uso dell'esplosivo negli scavi a cielo aperto, in cave di *industrial minerals* e di rocce ornamentali; scavi in sotterraneo.

Le principali tecniche analitiche per lo studio e la caratterizzazione di materiali geologici di interesse economico ed industriale. Analisi chimiche *whole-rock*: XRF, ICP-ES, ICP-MS, NAA, pregi e limiti. Microscopia ottica in luce trasmessa e riflessa, analisi modale. Analisi mineralogiche: diffrattometria a raggi-X su polveri (XRPD). Microscopia elettronica a scansione (SEM) ed in trasmissione (TEM), microanalisi chimiche in dispersione di energia (EDS) e di lunghezza d'onda (WDS). Cenni sulla spettroscopia Raman.

Natura e morfologia dei corpi minerari: singenesi ed epigenesi, corpi discordanti e concordanti. Corpi minerari

tabulari (filoni, vene), tubulari *(pipes, mantos*), disseminazioni, ammassi, corpi di sostituzione (es. *skarn*), corpi stratiformi e *stratabound*. Principali tipologie di *host rock* e rapporti con le mineralizzazioni. Tessiture e strutture dei minerali metallici e di ganga, rapporti con *ore dressing*.

Risorse e riserve minerarie, cenni di prospezione mineraria: indagini geologiche di terreno, *remote sensing*, geochimica, geofisica, sondaggi, trattamento statistico dei dati.

Classificazione genetica dei giacimenti minerari, metallogenesi, ereditarismo, permanenza, trasformismo, *zoning, metallotect*, epoca metallogenica e paragenesi. Giacimenti magmatici: cristallizzazione magmatica (es. diamanti nelle kimberliti, cromiti nei complessi basici stratificati, feldspati nelle pegmatiti), segregazione magmatica (cristallizzazione frazionata, liquazione). Giacimenti idrotermali: origine dei fluidi idrotermali, leganti, trasporto, deposizione, giacimenti VMS (*volcanic massive sulfide*), SEDEX (*sedimentary-exalative*), MVT (*Mississippi Valley Type*). Giacimenti di uranio. Giacimenti legati a processi metamorfici. Giacimenti legati a processi sedimentari (BIF *banded iron formations*, Cu in arenarie, *placer*, evaporiti). Giacimenti legati a processi di alterazione meteorica: lateriti, bauxiti. Arricchimento supergenico.

Principali ore minerals (associazioni, *ore assemblage*, *matrix assemblage*, *mining grade*): Be, Cr, Cu, Au, Fe, Pb, Zn, Li, Mn, Hg, Mo, Ni, Co, Nb, Ta, PGE (*platinum group elements*), Ag, Sn, W, Ti, U, V, REE.

Rocce ornamentali: tipologie commerciali, ciclo produttivo di cava e problematiche ambientali. Varietà commerciali: marmi, pietre e graniti. Lavorabilità delle rocce ornamentali in funzione delle caratteristiche mineralogiche e tessiturali. Principali produttori mondiali, i bacini estrattivi italiani. Cave di rocce ornamentali: indagini geologiche preliminari, tipologie di cave rispetto alla morfologia, coltivazione a cielo aperto ed in sotterraneo. Metodi di coltivazione a progressione verticale ed orizzontale. Principali tecniche di coltivazione: filo elicoidale, filo diamantato, perforazione (con e senza esplosivo), tagliatrice a catena, flame-jet, water-jet, cementi espandenti. Lavorazione dei materiali lapidei: riquadratura, taglio, sega a telaio, finitura, lavorazioni speciali. Impatto ambientale: VIA (valutazione di impatto ambientale), misure di mitigazione, recupero ambientale.

Caratterizzazione tecnica dei materiali lapidei e degli aggregati. Materiali lapidei ad uso ornamentale e strutturale: principali prove fisico-meccaniche per la caratterizzazione tecnica delle rocce ad uso ornamentale e strutturale, legami con la mineralogia e le microstrutture. Misura della porosità mediante porosimetria a Hg. Aggregati ad uso stradale e per calcestruzzi: principali prove tecniche per la caratterizzazione di aggregati impiegati in calcestruzzi o per conglomerati bituminosi (es. *Los Angeles rattle test*). Caratterizzazione mineralogica, minerali indesiderati, reazioni alcali-silice.

Prerequisiti

Conoscenze di base di mineralogia, petrografia e chimica.

Modalità didattica

4 CFU frontali, 1 CFU di laboratorio (tecniche analitiche), 1 CFU di didattica *campus abroad* (visite tecniche presso cave, miniere ed impianti di lavorazione). Erogato in italiano.

Nel periodo di emergenza COVID-19 le lezioni si svolgeranno in modalità mista: parziale presenza (laboratorio e campus abroad) e lezioni videoregistrate asincrone.

Materiale didattico

Testi generali introduttivi

Slide del corso (disponibili su e-learning), appunti e dispense distribuiti durante il corso, testi consigliati dal docente.

Neukirchen & Ries (2020) - The World of Mineral Deposits. A Beginner's Guide to Economic Geology. Springer, 371 pp.

Sanz, Tomasa, Jimenez-Franco, Sidki-Rius (2022) - Elements and Mineral Resources. Springer, 411 pp.

Arndt & Ganino (2012) - Metals and Society. An introduction to Economic Geology. Springer, 160 pp.

Brigo & Montanari (2006) - Metalli e minerali industriali. Parametri geominerari ed economici. Aracne editrice, 394 pp.

Evans (1993) - Ore geology and industrial minerals. An introduction (III edition). Blackwell Publishing, 389 pp.

Marjoribanks (2010) - Geological methods in mineral exploration and mining. Second Edition. Springer, 238 pp.

Jackson (2019) - Earth Science for Civil and Environmental Engineers. Cambridge University Press, 458 pp.

Kesler & Simon (2015) - Mineral resources, economics and the environment (II edition). Cambridge University Press, 434 pp.

Primavori (1999) - Pianeta Pietra. Giorgio Zusi Editore, 326 pp.

Tecniche analitiche

Gualtieri (2018) - Introduzione alle tecniche analitiche strumentali. Applicazioni alla mineralogia e alla scienza dei materiali. Libreriauniversitaria.it Ed., 335 pp.

Mercurio, Langella, Di Maggio & Cappelletti (2019) - Analisi mineralogiche in ambito forense. Aracne editrice, 455 pp.

Prospezione mineraria

Dentith & Mudge (2014) - Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. Cambridge University Press, 438 pp.

Moon, Whateley & Evans (2004) - Introduction to Mineral Exploration, II ed. Blackwell publishing, 481 pp.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

II semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Prova scritta preliminare, costituita da un test a risposte chiuse (10 quesiti) e 3 semplici esercizi.

La successiva prova orale consiste in un colloquio sugli argomenti svolti a lezione.

Orario di ricevimento

Lunedì dalle 10:30 alle 12:30 o su appuntamento (edificio U4, I piano, stanza 1027).