

Il documento, redatto da Enrico Bernardo, Manuele Dabalà, Alessandra Lorenzetti, ed Angelo Simone, riporta le osservazioni sulla congruenza degli insegnamenti del corso di Laurea magistrale in INGEGNERIA DEI MATERIALI. È stato comunque necessario fare riferimento anche ad alcuni insegnamenti del corso di Laurea triennale in INGEGNERIA CHIMICA E DEI MATERIALI.

Di seguito sono riportate le osservazioni divise per “area disciplinare”.

Osservazioni sugli insegnamenti relativi ai materiali ceramici

Enrico Bernardo

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI (MASSIMO GUGLIELMI)

GLASS SCIENCE AND TECHNOLOGY - SCIENZA E TECNOLOGIA DEL VETRO (PAOLO COLOMBO)

Osservazioni generali

La struttura dei syllabi dei due corsi è appropriata, il programma è ben delineato, le condizioni di esame sono chiare.

Criticità

1. Corso di ceramici impostato molto a livello ‘concettuale’; manca un riferimento estensivo ai ceramici di maggiore utilizzo ingegneristico (lezioni ‘monografiche’ su SiC, Si₃N₄, ZrO₂, Al₂O₃); tali ceramici sono sicuramente presentati (ad es. tenacizzazione per trasformazione dei ceramici a base di ZrO₂) ma forse sarebbe opportuna la presentazione di una serie di casi di studio applicativi. Attualmente “Materiali ceramici tradizionali, refrattari, materiali ceramici avanzati strutturali e funzionali” come argomento di solo 8 ore complessive di lezione.
2. Corsi che nel complesso non portano alla presentazione di materiali vetroceramici, da collegare a diversi topics quali:
 - Teorie cinetiche di vetrificazione (corso di vetri)
 - Proprietà meccaniche dei ceramici, tenacizzazione per crack deflection (corso di ceramici)
 - Tensioni termiche, ad es. annullate con vetroceramiche con CTE praticamente nullo (corso di ceramici)
3. Proprietà dielettriche non esplicitate nel corso di ceramici (menzione a conducibilità ionica ed elettronica)

Osservazioni dall'esperienza con studenti del corso di Materials Selection and Design

1. Mancanza (o mancata assimilazione) di nozioni di ‘Fisica dello stato solido applicata’: meccanismi di conducibilità termica, meccanismi di polarizzazione dei dielettrici [importanti anche in corsi su polimeri], ferroelettricità, ferro- e ferri-magnetismo, proprietà ottiche in funzione della struttura (es. trasparenza di solidi non metallici con struttura cristallina cubica vs. birifrangenza in altri casi);
2. Mancanza (o mancata assimilazione) di nozioni su leghe metalliche non a base di Fe, Al o Ti;
3. Mancanza (o mancata assimilazione) di nozioni su CerMets (carburi cementati: da collegare alla sinterizzazione dei metalli, nel corso di Tecnologia dei materiali metallici, ma anche alla struttura e alle difficoltà di sinterizzazione di ceramici covalenti; argomento sviluppabile anche all'interno di un corso sui materiali compositi, all'interno di una sezione sui compositi a matrice metallica)

4. Nozioni di elettromagnetismo limitate: manca la conoscenza di situazioni elementari del regime di corrente alternata (condensatore come conduttore di corrente 'sfasata' rispetto alla differenza di potenziale).

Altre osservazioni

1. Auspicabile un corso di LCA coinvolgente lo studio delle tecnologie di riciclo di tutti i materiali

Osservazioni sugli insegnamenti relativi ai materiali metallici (settore metallurgia ed affini)

Manuele Dabalà

METALLURGIA FISICA (ANDREA ZAMBON)

TECNOLOGIA DEI MATERIALI METALLICI (ANDREA ZAMBON, insieme a KATYA BRUNELLI)

IRONMAKING AND STEELMAKING – SIDERURGIA (MANUELE DABALÀ, insieme a GIULIO TIMELLI)

MANUFACTURING TECHNOLOGY - TECNOLOGIA MECCANICA (STEFANIA BRUSCHI)

Di seguito sono raggruppati i diversi argomenti trattati nei suddetti corsi

Produzione dei materiali metallici: Materie prime per la produzione della ghisa e dell'acciaio, i processi di riduzione dei minerali di ferro, le reazioni di acciaieria, l'acciaieria elettrica, la produzione degli acciai legati, Processi di Fonderia di ghisa, acciaio, produzione primaria e secondaria del rame e delle sue leghe, processi di produzione delle superleghe e materiali per alta temperatura Lavorazioni di fonderia: colata in sabbia, colata a cera persa, pressocolata

Solidificazione di metalli e leghe: Solidificazione delle leghe del ferro Solidificazione delle leghe di alluminio La colata continua: descrizione delle varie fasi del processo e metodi di controllo della microstruttura. I processi di rifusione

Struttura dei metalli: Trasformazioni in fase solida: precipitazione di una fase, trasformazioni eutettoidiche, trasformazioni martensitiche; la martensite in leghe del ferro e del nichel; le leghe Fe-C ed Fe-Fe₃C. ci Effetto di alligazione, dei precipitati, dei dispersoidi.

Deformazione plastica nei materiali metallici: dislocazioni e scorrimento; sistemi di scorrimento, tensioni critiche di scorrimento, energia di deformazione, incrudimento, tessiture. Rafforzamento dei materiali metallici dovuto a variazioni nella struttura e nella microstruttura. Danneggiamento dei materiali metallici: fatica, frattura, creep.

Deformazione plastica: evoluzione microstrutturale delle strutture di deformazione a freddo; evoluzione microstrutturale a caldo; Riassetto e ricristallizzazione in condizioni dinamiche. Processi di deformazione plastica per la produzione di prodotti piani e lunghi

Riassetto e ricristallizzazione statici e dinamici. Lavorazioni per deformazione plastica.

Lavorazioni per deformazione plastica massiva: laminazione, forgiatura, estrusione e trafilatura

Lavorazioni per deformazione plastica di lamiera: tranciatura, piegatura, imbutitura, diagrammi limite di formabilità

Trattamenti termici: ghise altoresistenziali a grafite sferoidale. Modificazioni della microstruttura mediante trattamenti termici. Gli acciai al carbonio e gli ACCIAI SPECIALI altoresistenziali e resistenti a corrosione e loro trattamenti termici. Acciai: Classificazione e designazione secondo normativa vigente; principali classi di impiego. Trattamenti termici: ricotture; tempra e concetto di temprabilità; rinvenimento e trattamenti criogenici; tempra superficiale

Saldatura: aspetti metallurgici e microstrutturali; origine dei difetti nelle diverse zone e possibili rimedi.

L'alluminio e le sue leghe: leghe da deformazione plastica e loro utilizzi. Leghe di alluminio: Classificazione, designazione e proprietà.

Leghe del rame: Classificazione, designazione e proprietà.

Il titanio e le sue leghe

Metallurgia delle polveri: produzione delle polveri metalliche; proprietà delle polveri e dei compatti; sinterizzazione e trattamenti post-sinterizzazione.

Lavorazioni per asportazione di truciolo: meccanica di formazione del truciolo in condizioni di taglio ortogonale, tornitura, fresatura, Lavorazioni di asportazione non convenzionali

Trattamenti superficiali: Trattamenti termochimici degli acciai: richiamo sulla carbocementazione; nitrurazione; carbonitrurazione e nitrocarburazione; borurazione. Preparazione delle superfici e trattamenti di conversione chimica. Trattamenti galvanici: richiamo di concetti di elettrochimica; ramatura, nichelatura, cromatura e zincatura; deposizioni electroless; metallizzazione della plastica; anodizzazione dell'alluminio. Deposizione di film sottili: trattamenti PVD e CVD: aspetti impiantistici; aspetti microstrutturali. Deposizione di film spessi: trattamenti spray. La diffusione e basi teoriche per i trattamenti di arricchimento superficiale. Esempi applicativi.

Dall'analisi effettuata si evincono alcune sovrapposizioni di programmi:

I **trattamenti termici** in particolare degli acciai siano trattati nel corso di metallurgia fisica, sia nel corso di Tecnologia dei Materiali Metallici. Il mio suggerimento è di lasciare un certo grado di sovrapposizione però con una distinzione: nel corso di Metallurgia fisica, trattare in modo peculiare **le trasformazioni di fase** che avvengono nei trattamenti termici, mentre nel corso di Tecnologia dei Materiali Metallici trattare **le modalità e le caratteristiche di processo** dei trattamenti termici

La deformazione plastica viene trattata nei corsi di Metallurgia Fisica, Ironmaking & Steelmaking e Tecnologia Meccanica.

Il mio suggerimento è di ridurre il grado di sovrapposizione trattando le **evoluzioni microstrutturali** (fenomeni di incrudimento del mono e policristallo, riassetto e ricristallizzazione statica) nel corso di Metallurgia Fisica, i **processi di deformazione** in Tecnologia Meccanica e i **fenomeni dinamici in dettaglio** nel corso di Ironmaking and steelmaking (per spiegare i trattamenti termomeccanici degli acciai).

Tra le lacune segnalo la **produzione da minerale e da ciclo di recupero dell'alluminio** e delle leghe, da inserire nel corso di Ironmaking and Steelmaking (mi sembra la collocazione più corretta). Auspicabile quindi cambiare il nome del corso in modo da rifletterne il contenuto (Metals/Metallurgical Production?).

Altre lacune riguardano: **produzione e lavorazione dei preziosi e processi innovativi di lavorazione con le polveri metalliche come additive manufacturing**. Vedo però difficile trovare spazio per colmare queste lacune nei corsi obbligatori

Osservazioni sugli insegnamenti relativi ai materiali polimerici

Alessandra Lorenzetti

SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI (SILVIA AGNELLI, insieme a ALESSANDRA LORENZETTI e MICHELE MODESTI)

PROCESSI DI TRASFORMAZIONE E RICICLO DELLE MATERIE PLASTICHE (MICHELE MODESTI)

PROGETTAZIONE CON I MATERIALI POLIMERICI (ALESSANDRA LORENZETTI)

ANALISI SILLABI- SOVRAPPOSIZIONI

I corsi **SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI** e **PROCESSI DI TRASFORMAZIONE E RICICLO DELLE MATERIE PLASTICHE** sono stati creati prima di **PROGETTAZIONE CON I MATERIALI POLIMERICI** e i loro syllabi erano stato definiti per evitare sovrapposizioni. In particolare dai syllabi risulta che:

- **SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI** si occupa di formazione dei polimeri (polimerizzazione a stadi e polimerizzazione a catena), tecniche industriali di polimerizzazione; grado di polimerizzazione e peso molecolare; struttura dei polimeri, morfologie dei solidi polimerici (stato amorfo, tg, volume libero, polimeri semi-cristallini, struttura degli elastomeri), proprietà meccaniche e viscoelasticità, principali tipologie di polimeri, compositi a matrice polimerica (cenni a matrici e fibre polimeriche), nanocompositi a matrice polimerica.
- **PROCESSI DI TRASFORMAZIONE E RICICLO DELLE MATERIE PLASTICHE** si occupa di additivazione, proprietà reologiche, processi di trasformazione (estrusione, iniezione, ecc), tecnologie di riciclo (selezione, separazione, riciclo meccanico e chimico, termovalorizzazione)
- **PROGETTAZIONE CON I MATERIALI POLIMERICI** si occupa di correlare materiale-design-processo di ottenimento, valutare gli effetti delle condizioni di utilizzo (sforzi, temperatura, umidità, solventi ecc) sulle proprietà di oggetti in polimeri. Per l'aspetto solventi, vengono qui trattate le proprietà di resistenza chimica non trattate in **SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI**. Focus esclusivo su termoplastici.

Si rileva che nell'AA 18-19 per cambio docenti il programma è stato modificato rispetto a quello sopra riportato, cioè quello "comunemente" seguito per cause di forza maggiore. In questo anno ci sono state certamente sovrapposizioni sulle tecnologie di trasformazione che in teoria non ci sarebbero dovute essere. Si è trattato di un solo anno. Nell'AA 19-20 pur con docenti diversi il programma è tornato a quello originale, senza tecnologie di trasformazione.

MANCANZE

Mancano (probabilmente nel corso di base) le proprietà elettriche, ottiche, termiche affrontate solo nell'AA 18-19 (con il primo cambio di docenti). Le proprietà termiche sono molto marginalmente (probabilmente?) affrontate nel corso di "caratterizzazione dei materiali" in 4 ore (Tecniche di analisi termica DSC,DTA, TG) non specificamente rivolto ai polimeri quindi probabilmente troppo riduttivo e senza esempi di applicazione.

CONCLUSIONI

Dall'analisi dei sillabi non risultano sovrapposizioni. Se nelle lezioni reali gli argomenti dovessero deviare dai sillabi la cosa va monitorata.

Da indicazioni informali con alcuni studenti sembra che alcune tecnologie vengano accennate nel corso **SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI POLIMERICI** (anche se non riportate nel syllabus), ma sono solo veramente cenni ai principi di funzionamento per cui è forse eccessivo ritenerle vere sovrapposizioni. Come proposta si potrebbe pensare di utilizzare tale spazio presentando le proprietà indicate nelle "mancanze" anziché accennare a qualcosa che viene poi ripreso approfonditamente.

Osservazioni sugli insegnamenti relativi alla meccanica dei solidi (e alla fisica della materia condensata)

Angelo Simone

COMPOSITE MATERIALS (ANGELO SIMONE)

COSTRUZIONI MECCANICHE (GIOVANNI MENEGHETTI)

FISICA DELLO STATO SOLIDO (ANDREA GASPAROTTO)

COMPOSITE MATERIALS

Attualmente il corso è un ibrido tra un corso di meccanica dei solidi con applicazione ai materiali compositi (75%) ed un corso di scienza e tecnologia dei materiali (25%). La parte di meccanica è sostanzialmente una carrellata di metodi basati sulla micromeccanica e procedure semianalitiche ed è per lo più incentrata sullo studio dei materiali compositi laminati. Nessuno però utilizza più questi metodi per il progetto di componenti (si usano procedure numeriche basate sul metodo degli elementi finiti) e la famiglia dei materiali compositi è molto più vasta. La parte di scienza e tecnologia dei materiali è molto nozionistica.

Nel corso viene discussa in maniera superficiale la fatica nei compositi. Dal punto di vista teorico, la fatica viene trattata nel corso di COSTRUZIONI MECCANICHE. Credo però che la ripetizione dei contenuti sia limitata.

Nel corso SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI si trattano "Proprietà meccaniche e termiche: frattura fragile, statistica di Weibull, curve R e tenacizzazione dei ceramici, accrescimento subcritico di cricca, creep, elementi di progettazione dei ceramici strutturali (12 ore)". Le proprietà meccaniche, frattura fragile, statistica di Weibull sono argomenti trattati anche nel corso COMPOSITE MATERIALS (a livello di conoscenze di base).

Suggerimenti

- Mantenendo l'impostazione attuale (i.e., prettamente meccanica), si potrebbe complementare la parte teorica con una parte sperimentale ed una numerica (ad esempio facendo 1) produrre agli studenti un provino di materiale composito, 2) testare il provino in laboratorio, e 3) analizzare il provino dal punto di vista teorico e numerico). È comunque una proposta difficile da realizzare nell'ambito di un singolo corso, a meno che non si vada a sfruttare i progetti competitivi studenteschi (1001VelaCup, Lear to Fly...)

- Si potrebbe “svecchiare” il contenuto del corso riducendo la parte di micromeccanica ed introducendo una componente di modellistica computazionale. La modellistica computazionale, per essere apprezzata, richiederebbe però una precedente esposizione al metodo degli elementi finiti.
- Sarebbe forse opportuno trattare anche altri tipi di compositi (e.g., compositi in elettronica (...touch screen), medicina (odontoiatria, cementazione ossea), energia) in modo da avvicinare il corso ad ingegneria dei materiali. Attualmente il corso sembra molto sbilanciato verso ingegneria meccanica.

COSTRUZIONI MECCANICHE

È un corso che viene erogato per ingegneri meccanici e per ingegneri dei materiali ed al quale viene dato un nome diverso a seconda del corso di studio: Corso di Costruzione di Macchine 1 (IM) e Costruzioni Meccaniche (IR-LM).

Il corso non è richiesto come prerequisito da alcun corso ed è pensato per studenti di ingegneria meccanica (dal syllabus: "Lo studente acquisisce i concetti fondamentali inerenti il comportamento meccanico dei materiali in esercizio finalizzati alla progettazione meccanica, statica e dinamica, dei componenti e delle strutture"; "Progetto e verifica strutturale statica, a fatica e a deformabilità di un riduttore ad ingranaggi. Dimensionamento degli alberi di trasmissione della potenza, scelta dei cuscinetti, dimensionamento delle ruote dentate secondo formula di Lewis e ISO 6336.")

Escludendo MECHANICS OF BIOMATERIALS, non ho notato sovrapposizioni sostanziali con altri insegnamenti.

E' da notare che buona parte degli argomenti trattati e' riconducibile alla meccanica dei solidi.

FISICA DELLO STATO SOLIDO

Non è riportato alcun prerequisito.

È richiesto come prerequisito consigliato per SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI CERAMICI

È richiesto come prerequisito per NANOSTRUCTURED MATERIALS - MATERIALI NANOSTRUTTURATI

Alcuni studenti che hanno frequentato i miei corsi trovano alcune parti del corso poco interessanti (la parte che tratta i " principi di funzionamento di alcuni fondamentali dispositivi a semiconduttore e sulle loro tecnologie di fabbricazione", cioè diodi, transistor, LED, laser). Sarebbe opportuno prestare più attenzione agli aspetti applicativi.

Non ho trovato altri corsi con contenuto simile.

MECCANICA DEI SOLIDI (FRANCESCO PESAVENTO)

L'insegnamento è molto simile (= praticamente uguale) a SCIENZA DELLE COSTRUZIONI - MECHANICS OF MATERIALS AND STRUCTURES che viene erogato nel corso di laurea in ingegneria civile. Dato che l'insegnamento viene erogato esclusivamente per gli studenti di ingegneria chimica e dei materiali, sarebbe opportuna un'attenzione maggiore alle loro esigenze.

L'insegnamento MECHANICS OF BIOMATERIALS riprende alcuni argomenti trattati in questo insegnamento.

OSSERVAZIONI GENERALI

- Negli insegnamenti della magistrale che hanno meccanica dei solidi come componente di base è presente un'inevitabile sovrapposizione di alcuni argomenti di base.
 - Gli studenti che hanno seguito i miei corsi di Composite Materials e Computational Mechanics of Materials si sono lamentati dell'impianto nozionistico di alcuni corsi.
 - L'impostazione di alcuni corsi della triennale potrebbe essere rivista in modo da rispondere in modo più preciso alle esigenze degli insegnamenti della magistrale e alla professione che i futuri ingegneri andranno ad esercitare. Con riferimento al corso di Meccanica dei solidi, la conoscenza della tenso-pressione flessione deviata, della torsione di solidi a sezione qualunque, o dell'analisi cinematica dei telai si ritiene poco proficua per un ingegnere dei materiali. Sarebbe forse opportuno compilare un inventario delle competenze richieste per la magistrale e discuterne con i docenti della triennale? A tale proposito, Enrico Bernardo nota che le nozioni di scienza delle costruzioni sono limitate: tema della pressoflessione ('caricamento di punta', compressione di colonne snelle) non assimilato dal corso della laurea triennale
 - Sarebbe opportuno indirizzare gli studenti verso l'utilizzo di software migliore, che possibilmente non richieda il pagamento di licenza (freeware o open source gratuito). Trovo inappropriato che per produrre un grafico x-y alcuni studenti sappiano solo usare excel (e male, per esempio lasciando che excel disegni una linea curva tra due punti invece che una linea retta). Ci sono programmi gratuiti che permettono di produrre grafici di qualità professionale. Lo stesso discorso vale per l'editore di testi. La qualità di un report tecnico/scientifico (con equazioni, tabelle e grafici) è molto migliore se si usa software dedicato (LaTeX, non microsoft word). Bisogna dare agli studenti l'opportunità di usare strumenti migliori.
 - Sembra che ci siano pochissime attività atte a stimolare l'acquisizione ed il rafforzamento di soft-skills (comunicazione efficace, lavoro di gruppo, problem solving).
 - Penso che si debba introdurre una forte componente di modellistica teorica e computazionale. Praticamente ogni dipartimento di materials science and engineering all'estero si preoccupa di fornire questo tipo di competenze ai loro studenti. Un solo corso non basta e si dovrebbe iniziare dalla triennale. La mia limitata esperienza a Padova mi insegna che c'è un forte analfabetismo numerico tra gli studenti. Frequentare un corso di calcolo numerico al secondo semestre del primo anno e poi fare uso delle competenze acquisite al massimo un paio di volte negli anni successivi equivale ad aver perso tempo. Si dovrebbe introdurre una (piccola) componente di modellistica teorica e computazionale in vari corsi. L'ingegnere dei materiali che si laurea nel 2020 non può permettersi di essere all'oscuro di quello che si può fare con la modellistica computazionale. Quasi tutte le aziende richiedono competenze di tipo numerico visto che le simulazioni sono poco costose rispetto agli esperimenti. Attenzione però a non educare gli studenti all'uso di un software specifico come accade in alcuni corsi. Questo tipo di educazione non dà delle competenze generali (se si hanno adeguate competenze di base, la capacità di utilizzare un software si acquisisce con un tutorial di 15 minuti su youtube).
- Dal mio punto di vista, la modellistica è una disciplina trasversale. Deve essere vista come la matematica e come tale insegnata sin dall'inizio ed usata costantemente. A tal proposito, si veda anche il report "Integrated Computational Materials Engineering: A Transformational Discipline for Improved Competitiveness and National Security " pubblicato dalla National Research Council of the National Academics (USA) (<https://www.nae.edu/25043/Integrated-Computational-Materials-Engineering>).