



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## COMPOSITE MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

**ANDREA LAZZERI**

Anno accademico

2023/24

CdS

MATERIALS AND  
NANOTECHNOLOGY

Codice

738II

CFU

6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
COMPOSITE MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING	ING-IND/22	LEZIONI	48	LAURA ALIOTTA ANDREA LAZZERI

Obiettivi di apprendimento

### *Conoscenze*

Dopo il completamento del corso, gli studenti:

Conoscere il comportamento meccanico dei materiali compositi.

Conoscere l'elaborazione e la fabbricazione di diversi tipi di compositi e comprendere l'influenza della fabbricazione e dell'ambiente sulle proprietà dei compositi.

Conosci l'ampia flessibilità di progettazione che i compositi possono permettersi.

### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La conoscenza sarà valutata tramite:

Incarichi in corso

Esame orale finale.

### *Capacità*

Al termine della materia, gli studenti saranno in grado di:

Dimostrare una buona comprensione dei tipi e delle proprietà dei compositi;

Possedere conoscenze nella lavorazione e nella fabbricazione di compositi strutturali;

Comprendere i comportamenti meccanici dei materiali compositi;

Analizzare i laminati compositi usando la teoria classica del laminato e applicare i criteri di guasto per valutare le strutture composite soggette a vari tipi di carico.

### *Modalità di verifica delle capacità*

I comportamenti saranno valutati tramite:

Incarichi di gruppo in corso

Esame orale finale.

### *Comportamenti*

Dopo il completamento del corso, gli studenti saranno in grado di:

Prevedere le proprietà composite dalle proprietà della fibra e della matrice e dalle frazioni di volume per i compositi di fibre lunghe e corte.

Capire come l'elasticità anisotropica differisce dall'elasticità isotropica.

Calcolare le proprietà di un laminato composito con qualsiasi sequenza di impilamento.

Prevedere i carichi e i momenti che causano il guasto di un singolo strato composito e di un laminato composito.

Calcolare i carichi igrotermici nei compositi.

Comprensione di come i compositi vengono utilizzati nella progettazione delle strutture.

### *Modalità di verifica dei comportamenti*

I comportamenti saranno valutati tramite:

Incarichi di gruppo in corso

Esame orale finale.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Having attended the course Mechanical Behaviour of Materials, 738II or equivalent.

### Indicazioni metodologiche

Le lezioni sono utilizzate per fornire le conoscenze fondamentali in relazione ai materiali compositi avanzati (il risultato da a a d).

I tutorial sono usati per illustrare l'applicazione delle conoscenze fondamentali a situazioni pratiche (il esbo da a a d).

Gli esperimenti sono utilizzati per mettere in relazione i concetti con le applicazioni pratiche e gli studenti sono esposti all'esperienza hands-on, all'uso corretto delle attrezzature e all'applicazione di competenze analitiche sull'interpretazione dei risultati sperimentali (risultati a e b).

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

1. Definizione di materiale composito, Classificazione basata su matrice e topologia, Costituenti di compositi, Interfacce e Interfasi, Distribuzione dei costituenti, Nanocompositi.
2. Rinforzi per materiali compositi. Fibre. Proprietà di base delle fibre e dei materiali ingegneristici. Tipi di fibre. Finiture in fibra. Tessuti. Tipi di tessuto. Materiali di base per pannelli sandwich. Nuclei di schiuma. I favi. Riempitivi.
3. Matrici polimeriche I. Matrice polimerica termoindurente. Tipi di resine. Gelificazione, polimerizzazione e post-polimerizzazione. Comportamento chemorroeologico dei termoinduttori, relazioni tempo-temperatura-transizione in termoinduttori.
4. Resine di poliestere insaturi. Diversi tipi di prepolimero di resina. Resine estere di vinile. Vari diluenti reattivi. Meccanismo di polimerizzazione: polimerizzazione a catena di radicali liberi. Iniziatori/catalisti: perossido di benzoile (BPO), perossido di dicumile (DCP), perossido di metilchetone (MEKP), idroperossido di cumene (CHP). Inibitori e ritardanti: benzochinone, idrochinone, cloranil, difenilammina, 2,4 pentanedione (acetilacetone). Promotori e acceleratori: naftenato di cobalto e dimetilnilina. Additivi: Thixotropico; Pigmento; Filler; Resistenza chimica/fuoco.
5. Resine epossidiche. Meccanismo di polimerizzazione: polimero a gradini. Etere diglicidico del bisfenolo A (DGEBA). Epossidici multifunzionali. Epossidici temprati in gomma. Novolacs epossidici, resine epossidiche all'ammino di glicidil. Agenti di polimerizzazione delle ammine: dietilene triammina (DETA), aminoetil piperazina (AEP), meta-fenilendiammina (MPDA), metilene dianilene (MDA). Agenti di anidride: anidride metilica nadica (NMA), anidride ftalica (PA). Fenolici, esteri cianati (CE), bismaleimidi (BMI), benzoxazine e poliimmide.
6. Matrici polimeriche II. Matrice polimerica termoplastica. Termoplastiche ingegneristiche e ad alte prestazioni. Bioplastiche. Confronto delle proprietà della resina.
7. Matrici metalliche, requisiti di base nella selezione dei costituenti. Matrici in ceramica per materiali compositi a matrice ceramica (CMC).
8. Architettura in fibra. Disposizioni di imballaggio delle fibre, raggruppamento di fibre e particelle. Fibre lunghe. Laminati, array di fibre tessute, intrecciate e lavorate a maglia, caratterizzazione degli orientamenti delle fibre in un piano. Fibre corte. Distribuzioni di orientamento della fibra in tre dimensioni, distribuzioni di lunghezza della fibra, vuoti, orientamento della fibra durante la lavorazione.
9. Deformazione elastica di compositi a fibre lunghe. Rigida assiale. Regola delle miscele. Modello Voigt. Rigida trasversale. Modello di riutilizzo. Equazione Halpin-Tsai. Metodo Eshelby. Rigida del taglio. Effetti della contrazione di Poisson.
10. Deformazione elastica dei laminati. Deformazione elastica di materiali anisotropici. Costanti elastiche fuori asse delle lamelle. Costanti di ingegneria. Caricamento di una pila di strati. Stress e distorsioni. Sequenza di impilamento. Laminati bilanciati, Stress in singoli strati di un laminato, Stress di accoppiamento e laminati simmetrici.
11. Stress e deformazioni nei compositi a fibra corta. Il modello di ritardo di taglio. La lunghezza del trasferimento dello stress. Trasferimento dello stress normale attraverso le estremità della fibra. Previsione della rigidità. Insorgenza di un comportamento anelastico. Rapporto di aspetto critico. L'ellissoide omogeneo equivalente e il metodo di Eshelby. Lo stress di fondo e l'approssimazione del campo medio di Mori-Tanaka. Equazioni di Tandon e Wang.
12. La regione dell'interfaccia. Meccanismi di legame. Adsorbimento e bagnatura. Equazione Dupre. Interdiffusione e reazione chimica. Attrazione elettrostatica. Chiusura meccanica. Tensioni residue. Misurazione sperimentale della forza di legame. Test di estrazione a fibra singola. Test push-out e push-down a fibra singola. resistenza al taglio intralaminare.
13. Accoppiamento e agenti di superficie. Composti di silicio organofunzionali. Agenti di accoppiamento silani. Trattamenti superficiali per fibre di carbonio e kevlar. Rivestimenti che riducono la durezza. Trattamenti superficiali non accoppiati per riempitivi di particolato: acidi grassi a catena lunga (C16-20). La regione interfase.
14. Resistenza dei compositi. Modalità di guasto dei compositi a fibra lunga. Guasto di trazione assiale. Meccanismo di abbagliamento delle crepe. Guasto alla trazione trasversale. Guasto di taglio. Guasto delle lamine sotto carichi fuori asse. Criterio di sollecitazione massima. Criterio Tsai-Hill. Resistenza dei laminati. Incrinazione della trazione. Tensioni interlaminari. Effetti di bordo.
15. Durezza dei compositi. Frattura della matrice e delle fibre. Debonding interfacciale. Lavoro di frattura. Scivolamento a frizione e estraibile in fibra. Crescita della crepa subcritica. Fatica. Stress corrosione cracking.
16. Comportamento termico dei compositi. Espansione termica e sollecitazioni termiche. Ciclo termico di compositi unidirezionali. Ciclo termico dei laminati. Striscia. Creep assiale di compositi a fibra lunga. Creep trasversale e compositi rinforzati in modo discontinuo. Conduttività dei compositi. Resistenza termica interfacciale.
17. Fabbricazione di compositi a matrice polimerica. Metodi di posa. Avvolgimento del filamento. Pultrusione. Stampaggio a trasferimento in resina (RTM). Processi di infusione. Legame secondario. Scienza dell'adesione. Pre-trattamento prima dell'incollaggio. Selezione di adesivi. Progettazione congiunta. Materiali di base. Formati di base. Termoformatura. Costruzione a sandwich. Laminazione e infusione bagnate. Pre-impregnato.
18. Fabbricazione di compositi a matrice metallica: trattamento di solidificazione di compositi - processo XD, processi a spruzzo - processo Osprey, trattamento di solidificazione rapida, processi di dispersione - fusione agitazione e compocasting, estrusione a vite, tecnica di impregnazione liquido-metallo - colata a compressione, infiltrazione a pressione, processo Lanxide), principio di infiltrazione di lega fusa, comportamento reologico del composto di particelle fuse, sintesi di compositi in situ.
19. Fabbricazione di compositi a matrice ceramica - Varie tecniche di deposizione di vapore, infiltrazione di vapore chimico (CVI), impregnazione di polimeri e pirolisi (LSI) metodo di fase liquida, infiltrazione di silicio liquido (LSI) e pressatura a caldo. Compositi a matrice ceramica non ossido: compositi C/C, C/SiC, SiC/SiC. Compositi a matrice ceramica di ossido.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

20. Elaborazione secondaria e giunzione di compositi: forgiatura ed estrusione di compositi - problemi critici, recupero dinamico e ricristallizzazione dinamica, proprietà meccaniche; Riscaldamento a induzione, legame a fusione, saldatura ad ultrasuoni, saldatura ad arco di tungsteno a gas, saldatura ad arco di metallo a gas, saldatura a punti e cuciture a resistenza, brasatura a resistenza, giunzione a punti di resistenza, brasatura a punti resistente, saldatura a resistenza di composito termoplastico-grafite, incollaggio a saldature, brasatura di MMC.

Esperimenti di laboratorio

Esperimenti tipici:

1. Produzione di materiali compositi
2. Prova di trazione dei compositi
3. Ispezione dei compositi
4. Riparazione di una struttura composita

### Bibliografia e materiale didattico

Hull, D.; Clyne, T.W. *An introduction to composite materials*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 1996. ISBN 521381908.

Matthews, F.L.; Rawlings, R.D. *Composite materials: engineering and science*. Boca Raton: Cambridge: CRC; Woodhead Publishing, 1999. ISBN 0849306213.

Chawla, K.K. *Composite materials: science and engineering*. 3rd ed. New York: Springer, 2012. ISBN 9780387743646.

### Indicazioni per non frequentanti

Contatta l'insegnante per il materiale didattico e le informazioni sul corso.

### Modalità d'esame

Esame orale

### Note

Anche se i compositi sintetici esistono da migliaia di anni, l'alta tecnologia dei compositi avanzati è stata utilizzata nell'industria aerospaziale solo negli ultimi cinquant'anni. Le applicazioni stanno diventando diverse - dalle strutture aeronautiche e dalle taniche missilistiche alle racchette da tennis e alle canne da pesca. L'obiettivo di questo corso è analizzare e progettare strutture realizzate con materiali compositi rinforzati con fibre.

Ultimo aggiornamento 01/12/2023 14:50