



Universitatea Națională
de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA
București



Facultatea de
Mecanică
și Tehnologie

Tehnologii de Fabricație Aditivă

Curs 2: Materiale Utilizate în Fabricația Aditivă

Titular curs: Prof. dr. ing. Daniel-Constantin ANGHEL

Program de studii: Master – Ingineria și Managementul Fabricației Produselor

Instituție: Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București

Facultatea de Mecanică și Tehnologie

Ce vom explora în acest modul?

O călătorie inginerească de la identificarea materialelor la selecția optimă pentru aplicații industriale.

Obiective de Învățare



Identificare și Clasificare (Ce?)

Veți putea clasifica principalele familii de materiale utilizate în Fabricația Aditivă (FA), cu accent pe polimeri și compozite.



Analiză și Înțelegere (De ce?)

Veți înțelege proprietățile mecanice, termice și funcționale care diferențiază materialele și le determină performanța.



Selectie și Aplicare (Cum?)

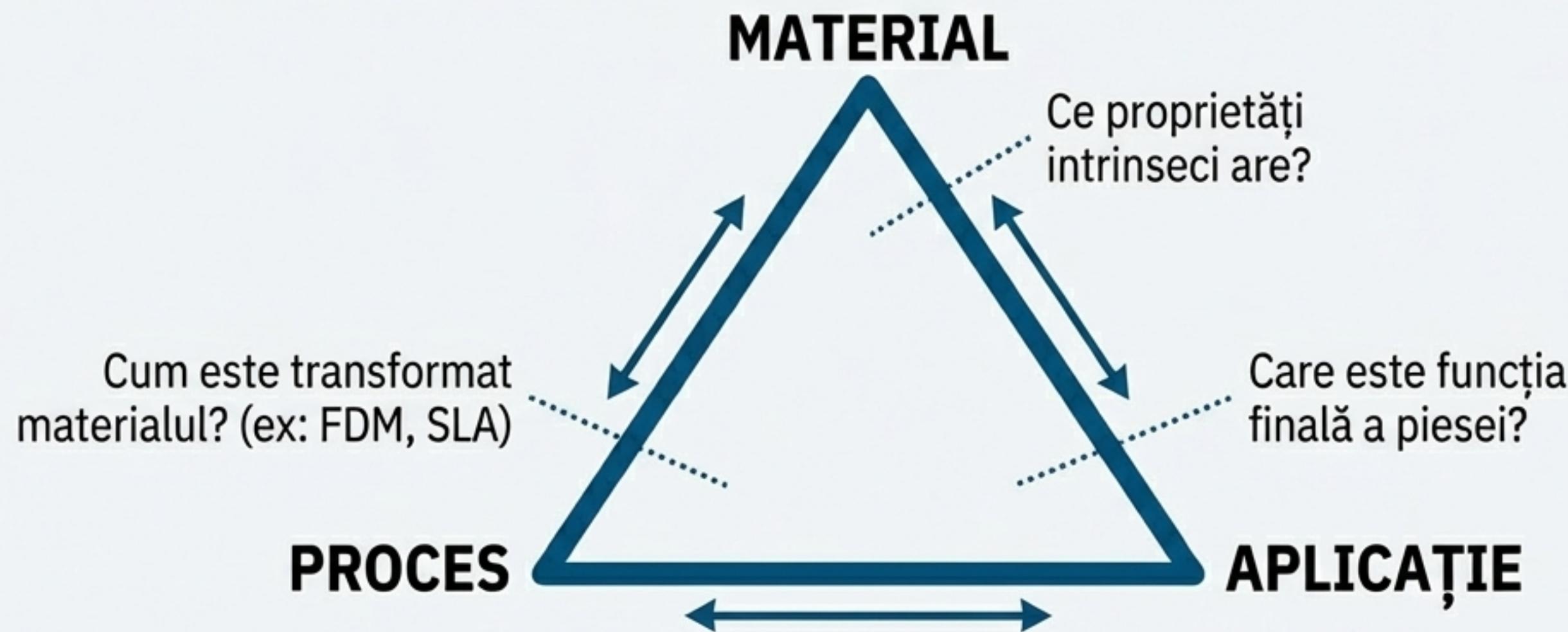
Veți dezvolta capacitatea de a selecta materialul adecvat pe baza unor criterii inginerești clare și de a justifica alegerea în contextul unei aplicații industriale specifice.

Structura Cursului

- 1 Clasificarea materialelor pentru FA
- 2 Analiză aprofundată: Polimeri și Materiale Compozite
- 3 Proprietăți cheie și criterii de selecție
- 4 Triada fundamentală: Material – Proces – Aplicație

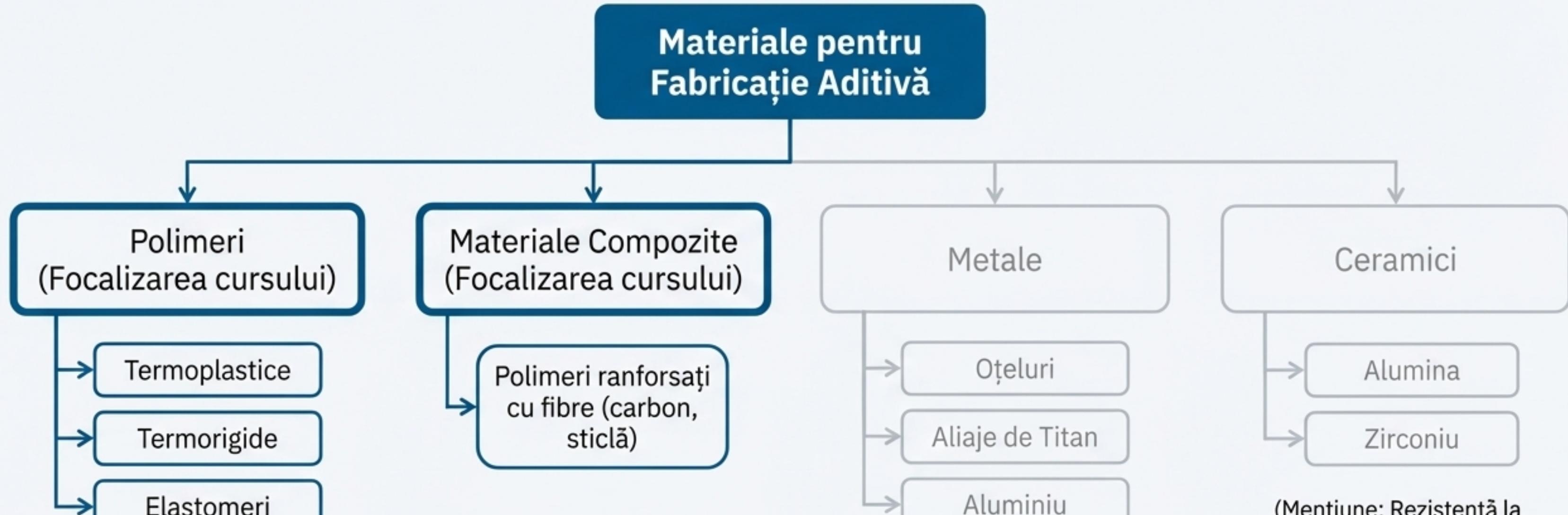
Alegerea Materialului: Prima Decizie Critică a Inginerului

În fabricația aditivă, geometria complexă este posibilă, dar performanța produsului final depinde fundamental de materialul ales. Mai mult decât în tehnologiile convenționale, în FA există o interdependență critică între trei piloni:



Orice modificare a unui element afectează direct celelalte două. Măiestria inginerescă constă în echilibrarea perfectă a acestei triade.

Harta Universului de Materiale pentru Fabricația Aditivă



(Cea mai utilizată și versatilă clasă).

(Pentru performanță ridicată).

(Mențiune: Utilizate în procese avansate precum L-PBF; aplicații în aerospace, medical).

(Mențiune: Rezistență la temperaturi înalte și uzură; aplicații specializate).

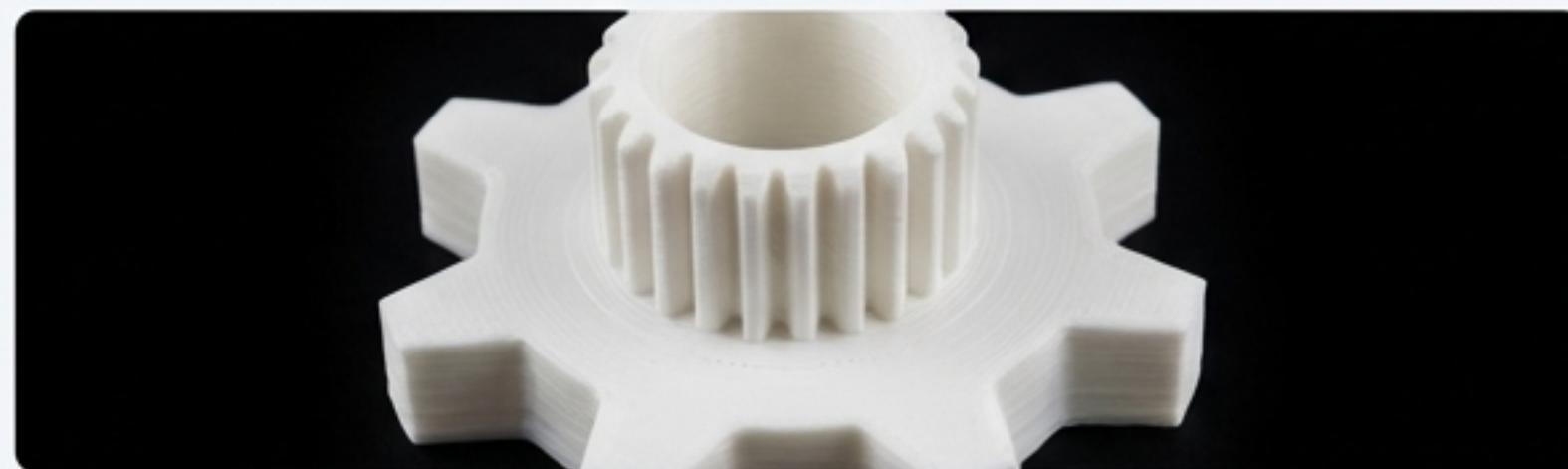
Acest curs se va concentra pe **polimeri și materiale compozite**, care reprezintă fundamentul pentru o gamă largă de aplicații industriale accesibile.

Familia Polimerilor: Termoplastice Standard

Materialele fundamentale în tehnologia Fused Deposition Modeling (FDM)

Polimeri care devin maleabili la încălzire și se solidifică la răcire, proces ce poate fi repetat. Această proprietate îi face ideali pentru procesele bazate pe extruziune.

Z-PLA (Acid Polilactic)



Derivat din surse regenerabile, biodegradabil, ușor de imprimat, cu deformări termice reduse. Ideal pentru prototipuri rapide și piese cu detalii fine.

Referință: Utilizat în studiul de caz privind acuratețea dimensională a canelurilor (studiul din *manuscript_final.pdf*).

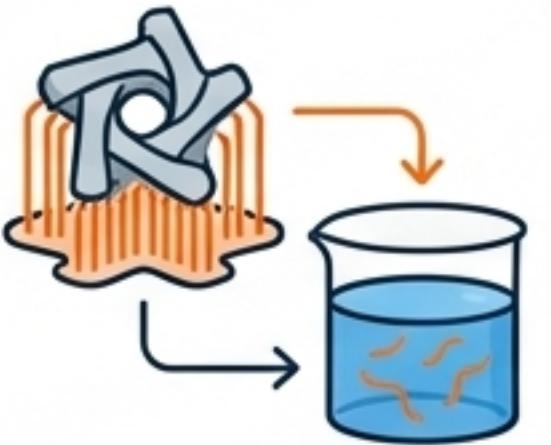
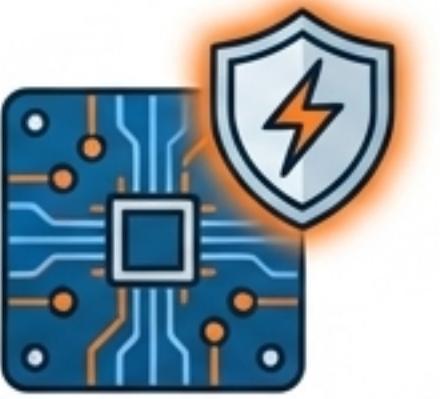
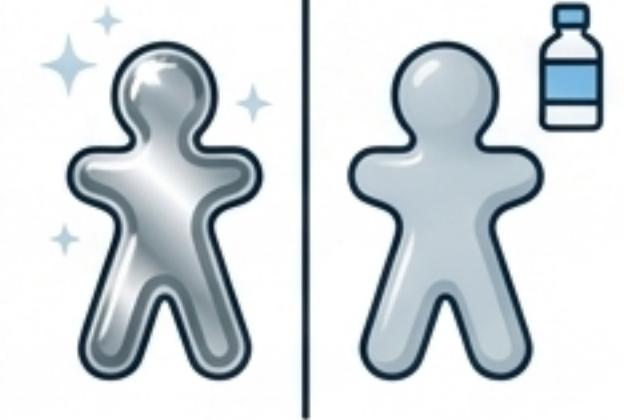
Z-ABS (Acrilonitril Butadien Stiren)



Rezistență mecanică și termică superioară PLA. Durabil, tenace. Utilizat pe scară largă pentru piese funcționale și carcase.

Referință: Materialul de bază în studiul privind optimizarea jocurilor în couple cilindrice (studiul din *processes-09-00925.pdf*).

Tablou de Bord al Inginerului: Polimeri cu Proprietăți Specializate

PVA (Alcool Polivinilic)	PMMA (Plexiglas)	ESD (Filament ESD Fiberlogy)	FIBERFLEX	FIBERSILK / FIBERSMOOTH (PVB)
 A diagram illustrating the solubility of PVA. It shows a grey, crumpled filament being placed into a blue beaker of water. An orange arrow points from the filament into the water, indicating the dissolution process.	 Two icons representing PMMA applications. On the left is a blue lens, and on the right is a blue bone-shaped plate, both made of a rigid, transparent material.	 A diagram showing a blue printed circuit board (PCB) with a central microchip. A lightning bolt icon inside a shield shape is positioned above the PCB, symbolizing electrostatic discharge protection.	 A diagram showing a black, flexible filament forming a large, coiled loop. Orange arcs around the ends of the loop indicate its elasticity and impact resistance.	 Two icons representing FIBERSILK and FIBERSMOOTH. On the left is a metallic-looking human figure, and on the right is a smooth, light-blue human figure, separated by a vertical line.

Caracteristică Cheie:
Solubil în apă.

Aplicație Critică:
Realizarea structurilor de suport pentru geometrii complexe, care sunt ulterior dizolvate, lăsând o suprafață curată.

Caracteristici Cheie:
Rigid, transparent, alternativă la sticlă.

Aplicații: Dispozitive optice, cimenturi osoase în ortopedie, aparate ortodontice.

Caracteristică Cheie:
Protejează împotriva descărcărilor electrostatice.

Aplicații: Carcase pentru componente electronice, scule pentru manipularea electronicelor.

Caracteristici Cheie:
Proprietăți similare cauciucului, rezistență la impact și abraziune.

Aplicații: Garnituri, huse de telefon, elemente flexibile.

Caracteristici Cheie:
Aspect metalic, lucios (FiberSilk); suprafață netezită cu alcool izopropilic (FiberSmooth).

Aplicații: Obiecte decorative, prototipuri de prezentare, figurine.

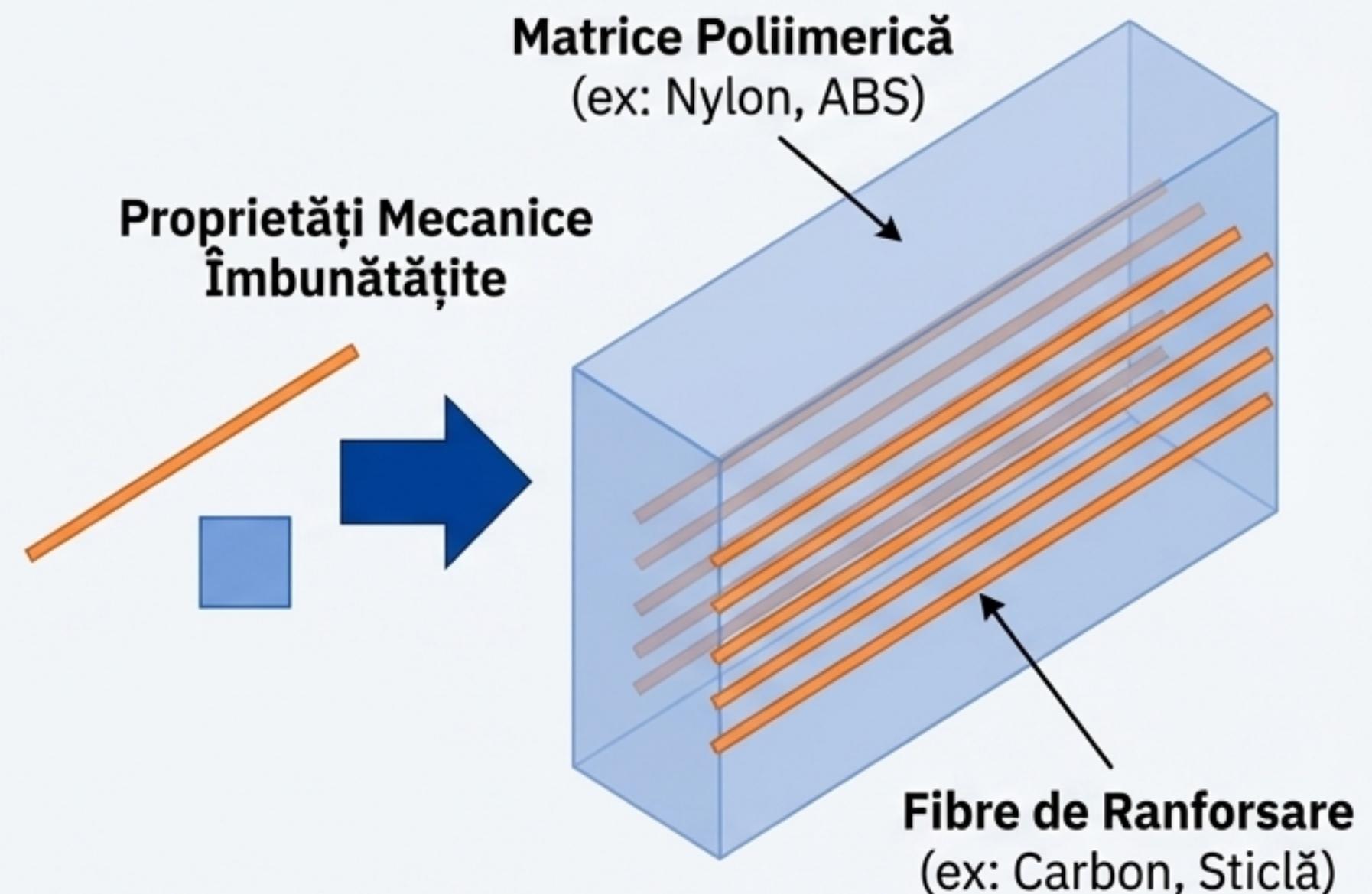
Materiale Compozite: Performanță la un Nivel Superior

Definiție Inginerească

Materiale multifazice create artificial prin combinarea unei matrice (de obicei, un polimer termoplastice) cu un material de ranforsare (fibre) pentru a obține proprietăți superioare celor ale componentelor individuale.

Scopul Principal în FA

Creșterea semnificativă a **rigidității** și **rezistenței mecanice** fără a adăuga o greutate considerabilă.



„Materialele compozite, apreciate pentru adaptabilitatea remarcabilă, greutatea redusă și capacitatea de personalizare, revoluționează industriile care necesită performanțe ridicate.” (PCSt.1_Banica Cristina.docx)

Comparație Directă: Fibra de Carbon vs. Fibra de Sticlă

Fibră de Carbon (CF)



Proprietăți Cheie

Raport excepțional rigiditate/greutate, stabilitate dimensională excelentă.

Ideal Pentru

Componente structurale, dispozitive de fixare (jigs & fixtures), brațe robotice, piese de dronă. Situații unde greutatea minimă și rigiditatea maximă sunt critice.

Fibră de Sticlă (GF)



Proprietăți Cheie

Rezistență mecanică bună, tenacitate ridicată, cost mai redus decât CF.

Ideal Pentru

Prototipuri funcționale robuste, unelte de mână, piese supuse la impact.

Concept Avansat: Compozite Hibride (CF + GF)

Strategie Inginerească: Utilizarea combinată (ex: nucleu de CF pentru rigiditate, înveliș de GF pentru rezistență la impact și reducerea costului) reprezintă o soluție eficientă pentru optimizarea performanței și a costurilor. (Bazat pe studiile citate în PCSt.1_Banica Cristina.docx).

O Privire În Viitor: Alte Frontiere ale Materialelor

Mențiuni despre materiale specializate și aplicații revoluționare.

Metale și Ceramici

- **Procese:** Laser Powder Bed Fusion (L-PBF), Binder Jetting.
- **Caracteristici:** Rezistență excepțională la temperatură și sarcini mecanice.
- **Aplicații Tipice:** Implanturi medicale din titan, componente pentru turbine, injectoare de combustibil.

Inovație în Construcții: Imprimarea 3D a Betonului (3DCP)

O tehnologie de fabricație aditivă la scară largă care utilizează brațe robotice pentru a extruda straturi succesive de beton special formulat.

Avantaje: Viteză de construcție, libertate geometrică, reducerea deșeurilor.



Casa Tecla, Italia – formă unică, echilibru între complexitate și integritate structurală.



Pod pietonal în Shanghai – piese complexe create de brațe robotice.



Adăpost militar imprimat în 36 de ore – rapiditate și aplicabilitate în condiții dificile.

De la Clasificare la Selección: Decodarea Proprietăților Materialelor

Cunoașterea familiilor de materiale este doar primul pas. Adevărata decizie inginerescă se bazează pe o analiză cantitativă și calitativă a proprietăților care definesc comportamentul unui material în aplicația finală.

3. Proprietăți Funcționale

Ce caracteristici speciale oferă materialul?

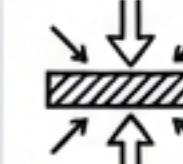
- Transparență, Flexibilitate, Biocompatibilitate, Conductivitate electrică, Rezistență chimică, Solubilitate.



1. Proprietăți Mecanice

Cum răspunde materialul la forțe externe?

- Rezistență la tracțiune, Rigiditatea (Modulul de elasticitate), Rezistență la impact, Duritatea.



2. Proprietăți Termice

Cum se comportă materialul la variații de temperatură?

- Temperatura de tranziție vitroasă (T_g), Temperatura de topire, Stabilitatea dimensională termică.



Analiză Comparativă: Puncte Tari și Puncte Slabe

Material	Proprietăți Mecanice Cheie	Proprietăți Termice Cheie	Proprietăți Funcționale Distinctive	Ideal Pentru...
PLA	 <ul style="list-style-type: none">Rigiditate bună, fragil.	<ul style="list-style-type: none">Stabilitate termică scăzută.	<ul style="list-style-type: none">Ușor de imprimat, varietate de culori.	<ul style="list-style-type: none">Prototipuri vizuale, modele conceptuale.
ABS	 <ul style="list-style-type: none">Rezistență la impact bună, ductil.	<ul style="list-style-type: none">Rezistență termică mai bună decât PLA.	<ul style="list-style-type: none">Poate fi prelucrat/lipit chimic.	<ul style="list-style-type: none">Piese funcționale, carcase durabile.
PCTG	 <ul style="list-style-type: none">Rezistență la impact foarte ridicată.	<ul style="list-style-type: none">Rezistență la temperaturi mai ridicate decât PET-G.	<ul style="list-style-type: none">Claritate optică, rezistență chimică.	<ul style="list-style-type: none">Componente industriale, piese de schimb.
Compozit cu Fibră de Carbon (CF-Nylon)	 <ul style="list-style-type: none">Rigiditate excepțională, rezistență mecanică foarte mare.	<ul style="list-style-type: none">Stabilitate dimensională excelentă la temperatură.	<ul style="list-style-type: none">Greutate redusă pentru performanță oferită.	<ul style="list-style-type: none">Dispozitive de fixare, unelte, piese structurale de înaltă performanță.

Cum Alegem? Criterii Esențiale În Procesul de Selectie

Un checklist pentru o decizie inginerescă fundamentată.



1. Cerințe Funcționale și de Performanță

- Care este sarcina principală a piesei? (structurală, estetică, de etanșare?)
- Ce sarcini mecanice trebuie să suporte? (tracțiune, compresiune, impact?)
- Este necesară flexibilitatea sau rigiditatea?



2. Mediul de Operare

- La ce temperaturi va fi expusă piesa? (extreme, ciclice?)
- Va intra în contact cu substanțe chimice, solvenți, sau radiații UV?
- Necesită biocompatibilitate sau certificare pentru contactul cu alimente?



3. Constrângeri de Proces și Design (DfAM)

- Ce tehnologie de FA este disponibilă? (FDM, SLA, etc.)
- Care este rezoluția minimă necesară pentru detalii?
- Designul piesei include surplombe care necesită material de suport solubil (ex: PVA)?



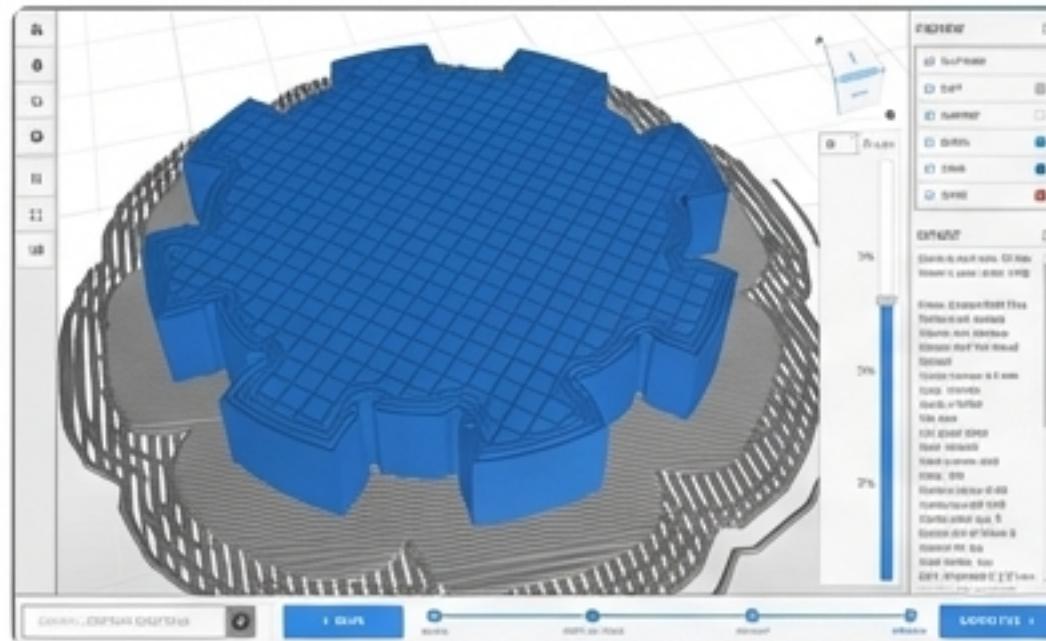
4. Considerații Economice

- Care este costul admisibil per piesă sau per kg de material?
- Care este timpul de fabricație acceptabil? (Unele materiale necesită viteze de imprimare mai mici).



Triada În Acțiune: Studii de Caz Industriale

Prototip Funcțional pentru Validare Mecanică



Aplicație Butuc canelat pentru a testa asamblarea și transmiterea unui cuplu redus.



Material Z-PLA. De ce? Cost redus, imprimare rapidă, suficient de rigid pentru teste funcționale la scară redusă, stabilitate dimensională bună.



Proces FDM. De ce? Tehnologie accesibilă, ideală pentru iterații rapide de design. Parametrii precum densitatea umplerii sunt esențiali pentru rezistență.

Dispozitiv de Prindere (Fixture) pentru Linie de Asamblare



Aplicație O piesă personalizată care susține precis și repetat un subansamblu auto în timpul montajului.



Material Compozit cu Fibră de Carbon. De ce? Rigiditate maximă pentru a nu se deforma, greutate redusă pentru a fi manevrat ușor de operatori, rezistență la uzură.



Proces FDM (cu extruder dual/specializat). De ce? Permite fabricarea de piese mari și robuste, integrând fibre continue sau discontinue pentru performanță structurală.

Componentă de Uz Final în Industria Alimentară



Aplicație Un element de ghidaj pe o linie de ambalare a produselor lactate.



Material CPE HT (Copoliester). De ce? Rezistență la temperaturi ridicate (până la 110°C) pentru cicluri de curățare/sterilizare, rezistență chimică la agenți de curățare, certificat pentru contact alimentar.



Proces FDM. De ce? Permite producția la cerere de piese de schimb personalizate, reducând timpul de inactivitate al liniei de producție.

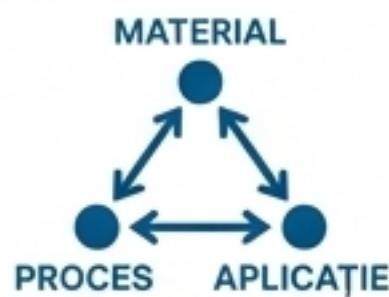
Sinteză și Idei Cheie de Reținut



Diversitate și Specializare: Universul materialelor pentru FA este vast, de la polimeri de uz general la compozite de înaltă performanță și materiale funcționale. Inovația este constantă.



Selectia este un Compromis: Nu există un material „perfect”. Alegerea corectă este întotdeauna un compromis ingineresc între performanța mecanică, rezistența termică, cerințele funcționale și cost.



Gândirea Sistemnică este Esențială: Succesul nu stă doar în material, ci în armonia triadei **Material – Proces – Aplicație**. Un material excelent folosit în procesul greșit pentru aplicația greșită va eșua.



Întrebarea Fundamentală: Întrebarea nu este „Care este cel mai bun material?”, ci „Care este materialul **potrivit** pentru a rezolva **această problemă specifică?**”.

Provocare: Gândirea Inginerească În Practică

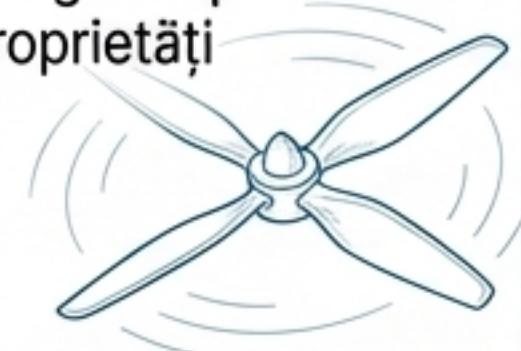
Aplicați concepțele discutate pentru a rezolva următoarele scenarii:

1.

Scenariul 1: Prototip de Elice pentru Dronă

Sunteți însărcinat cu fabricarea unui prototip funcțional de elice pentru o dronă de mici dimensiuni. Viteza de rotație este mare, iar riscul de impact este prezent.

Ce material din cele discutate ați alege? Justificați alegerea pe baza a cel puțin două proprietăți mecanice critice.



2.

Scenariul 2: Unealtă de Asamblare Personalizată

O echipă de tehnicieni are nevoie de o cheie personalizată pentru a strânge un conector din plastic fragil, fără a-l deteriora. Cheia trebuie să fie rigidă, dar foarte ușoară pentru a reduce oboseala operatorului.

Comparați avantajele și dezavantajele utilizării PCTG versus un compozit cu fibră de sticlă pentru această aplicație.



3.

Scenariul 3: Reconfigurarea Triadei

Se dorește fabricarea unei carcase pentru un dispozitiv medical portabil. Aplicația necesită rezistență chimică la dezinfectanți și un finisaj de suprafață neted. Tehnologia disponibilă este FDM.

Ce material recomandați și cum influențează această alegere parametrii de proces (ex: necesitatea post-procesării) pentru a satisface cerințele aplicației?

