

# Tehnologii de Fabricație Aditivă

## Curs 7: Aspecte Economice și de Sustenabilitate

Dincolo de Tehnologie: O Analiză Strategică pentru Ingineri-Manageri



**Titular curs:** Prof. dr. ing. Daniel-Constantin ANGHEL  
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București  
**Facultatea:** Mecanică și Tehnologie  
**Program de Master:** Ingineria și Managementul Fabricației Produselor



# De la Posibil la Rentabil și Responsabil

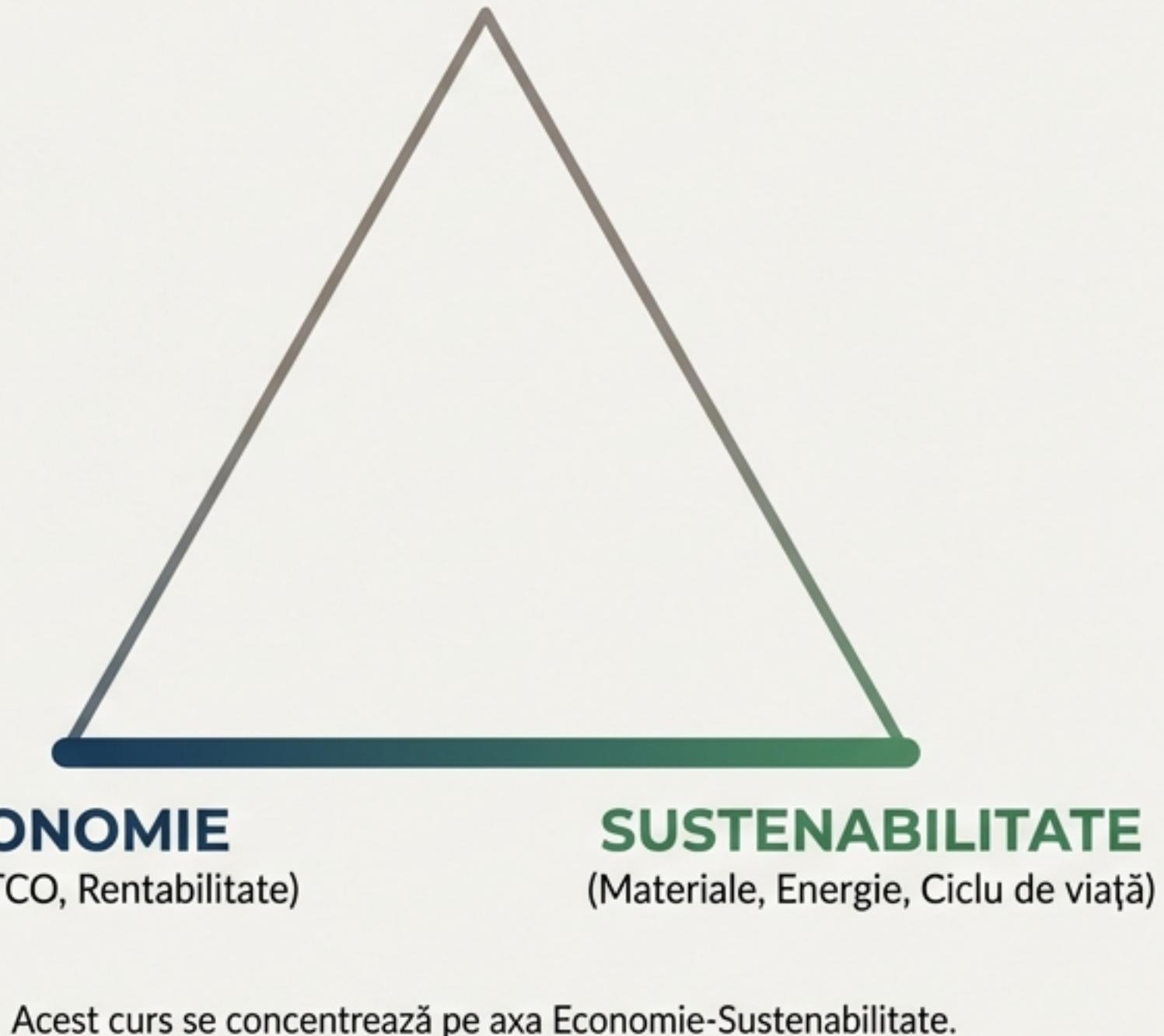
„*Ştim că Fabricația Aditivă poate crea aproape orice. Întrebarea fundamentală pentru un inginer și un manager nu este ‘Ce putem face?’, ci ‘Când este rentabil și responsabil să o facem?’.*”

## Obiectivele Cursului:

- Înțelegerea structurii de costuri în FA, inclusiv costurile ascunse.
- Evaluarea echilibrată a impactului FA asupra sustenabilității.
- Dezvoltarea unui cadru de analiză cost-beneficiu pentru luarea deciziilor.

## PERFORMANȚĂ

(Funcționalitate, Calitate - liant către celelalte cursuri)

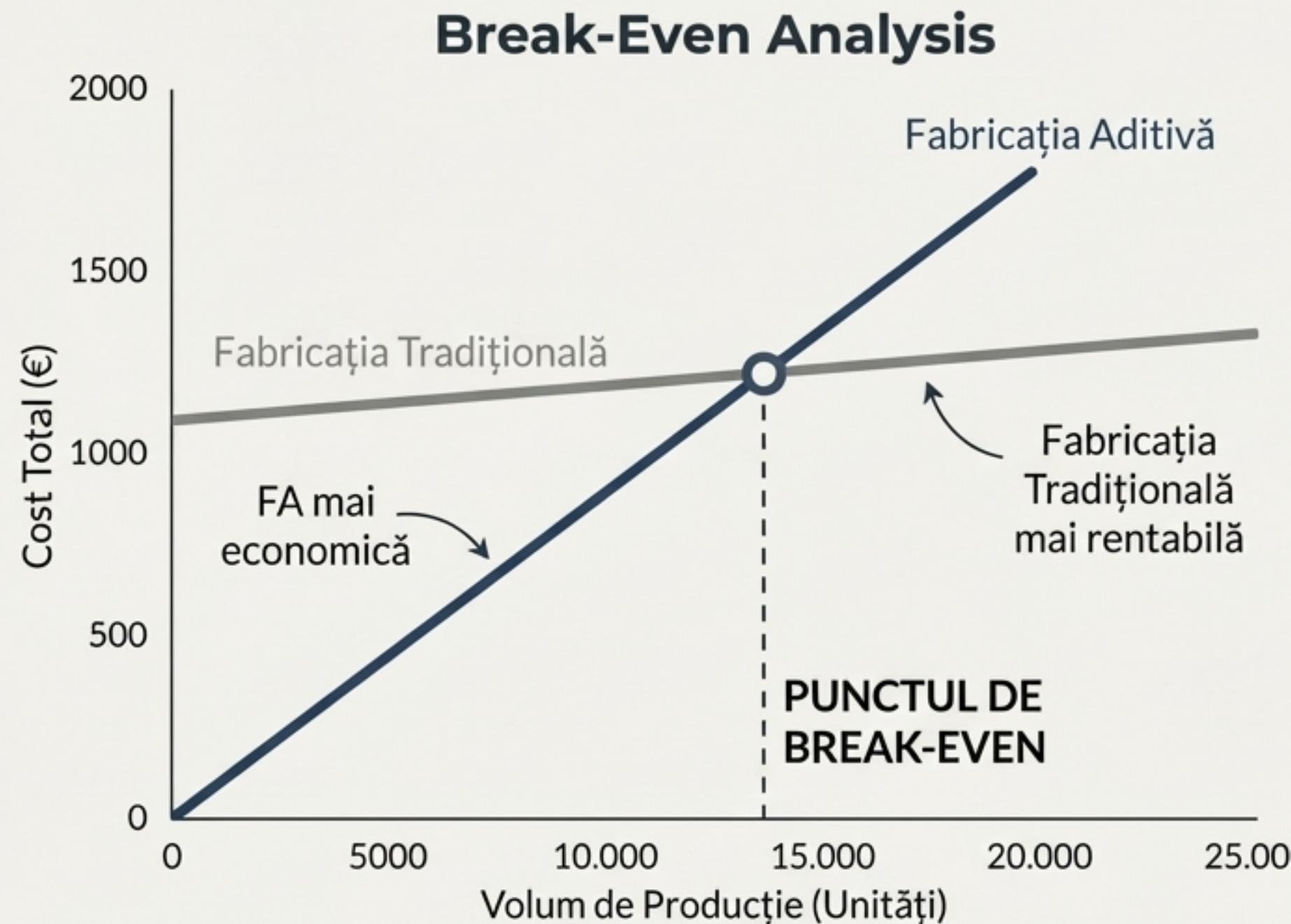


Acest curs se concentrează pe axa Economie-Sustenabilitate.

# Deconstrucția Costurilor în Fabricația Aditivă: Mai Mult Decât Prețul Materialului



# Balanța Costurilor: FA vs. Fabricația Tradițională



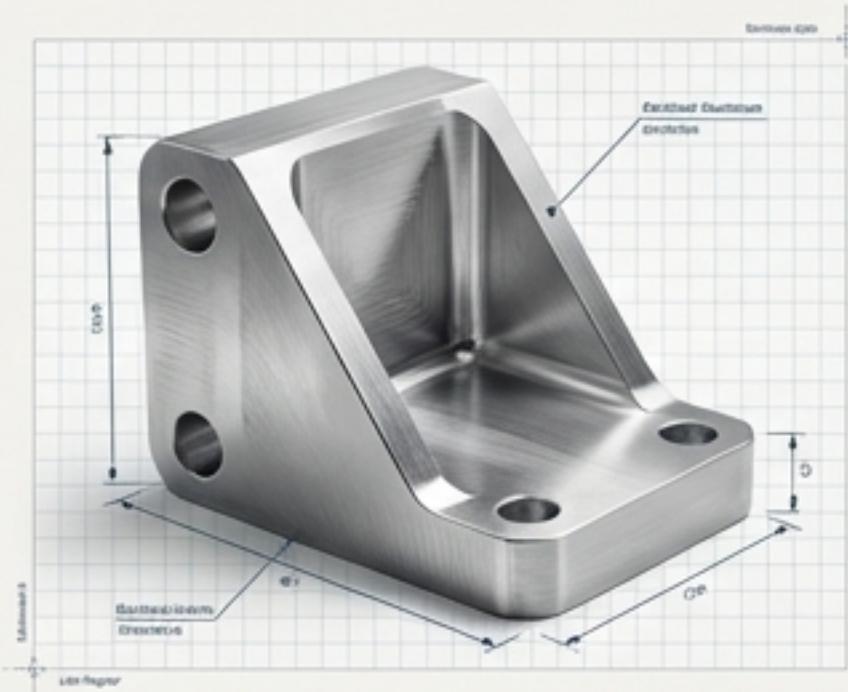
### Exemplu Aplicat: Carcasă din Plastic (FDM vs. Injecție)

Volum Producție	Cost Total Estimat FDM	Cost Total Estimat Injecție (incl. matriță)
10 unități	€200	€10,050
500 unități	€10,000	€12,500
10.000 unități	€200,000	€60,000

**Concluzie:** Decizia economică este dependentă de volum.

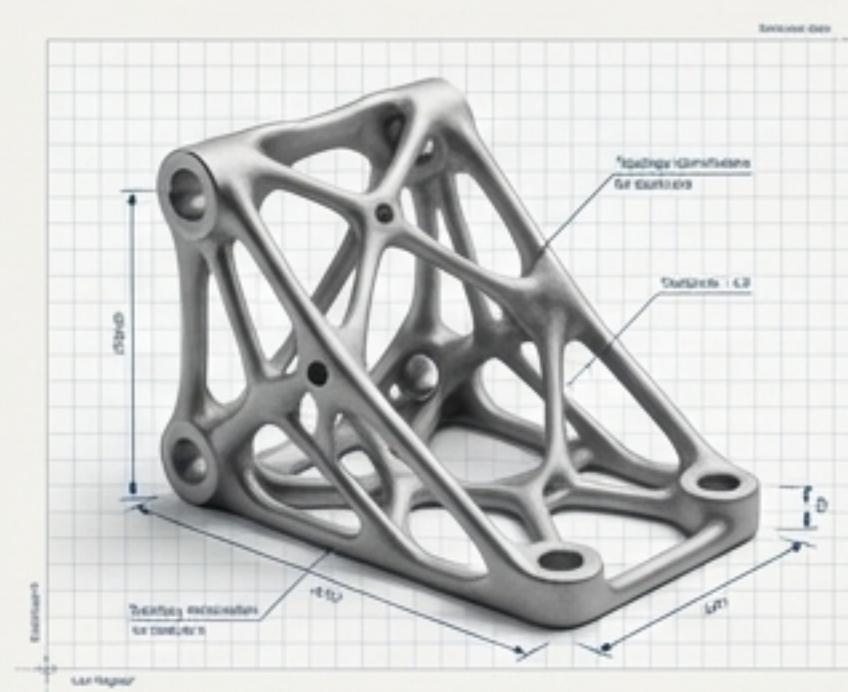
# Studiu de Caz Industrial: Când un Cost de Producție Mai Mare Generează Economii Masive

Domeniu: Industria Aero spațială // Exemplu: Suport (bracket) pentru o componentă de avion



**Original (Prelucrare CNC)**

Greutate: 1.2 kg



**Optimizat (Fabricație Aditivă - DfAM)**

Greutate: 0.6 kg

## Cost de fabricație (per bucătă)

CNC: €800

FA (SLM): €1,500

## Analiza pe Ciclul de Viață

Reducere de greutate: 0.6 kg

Economie de combustibil estimată (25 de ani): ~€25,000 per componentă

**Concluzie Cheie:** Investiția initială mai mare în FA este amortizată de mii de ori prin beneficiile obținute în faza de utilizare a produsului. Când erau inginerescă trebuie să integreze întregul ciclu de viață.

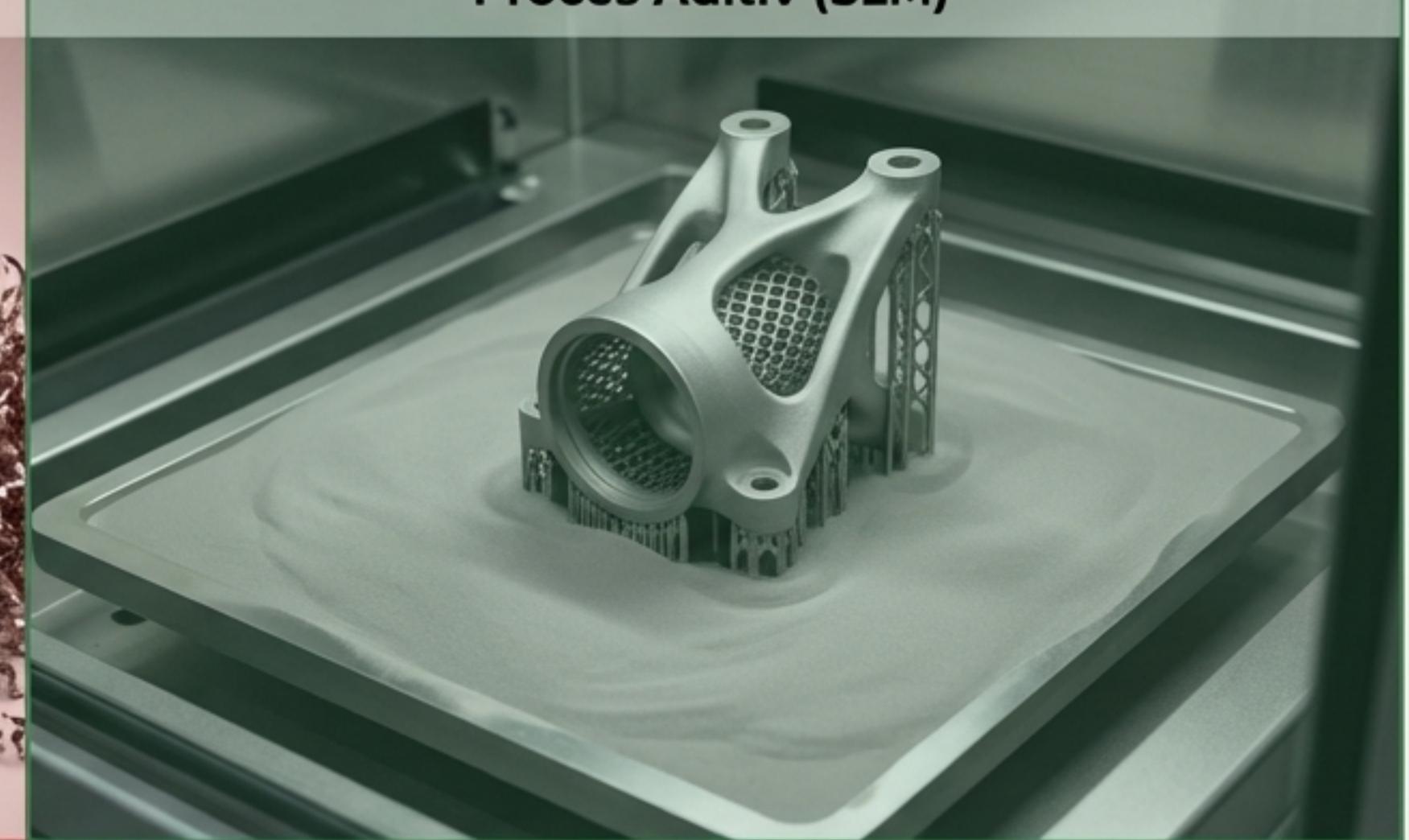
# Bilanțul Sustenabilității (Partea I): Eficiența Remarcabilă a Materialelor

Spre deosebire de metodele tradiționale 'subtractive', care pornesc de la un bloc de material din care elimină până la 90% pentru a obține piesa finală, FA este un proces 'aditiv' sau 'near-net-shape', adăugând material doar acolo unde este necesar.

Proces Subtractiv (Prelucrare CNC)



Proces Aditiv (SLM)



**Buy-to-Fly Ratio: 15:1**

**Beneficii Cheie:** Reducerea drastică a deșeurilor materiale, conservarea resurselor (în special pentru metale scumpe sau strategice precum titanul).

**Buy-to-Fly Ratio: ~1.2:1**

# Bilanțul Sustenabilității (Partea a II-a): O Poveste cu Două Fețe

## + IMPACT POZITIV (+)



### Lightweighting

Reducerea greutății produselor (auto, aero) duce la un consum energetic mai mic în faza de utilizare.



### Producție Localizată

Lanțuri logistice scurte, reducerea emisiilor din transport.



### Consolidarea Pieselor

Mai puține componente de fabricat, transportat și asamblat.

## - IMPACT DE ATENUUAT (-)



### Consum Energetic Ridicat

Procesele FA (în special cele cu laser sau cu pat încălzit) sunt intensive energetic per unitate de volum.



### Producția Materiilor Prime

Atomizarea pulberilor metalice este un proces energofag.



### Emisii și Deșeuri

Anumiți polimeri pot elibera compuși organici volatili (VOCs). Gestionarea pulberilor fine necesită precauții.

# Închiderea Buclei: Reciclare și Economie Circulară în FA

## Pulberi Metalice



Posibilitatea de a cerne și reutiliza pulberea neutilizată din patul de construcție.

**Provocări:** controlul contaminării și schimbarea distribuției granulometrice după cicluri multiple.

## Polimeri



Complexitatea reciclării termoplastelor utilizate în FDM (ex: ABS, PC) din cauza degradării proprietăților la re-extrudare.

## Oportunități Inovatoare

- Utilizarea de materiale biodegradabile (ex: PLA).
- Utilizarea de materiale de suport solubile (ex: PVA, care se dizolvă în apă), eliminând necesitatea solventilor chimici.
- Proiectarea pentru dezasamblare și reciclare (principiu DfAM).



## Aplicație Practică în Laborator

În cadrul lucrărilor practice, veți experimenta direct cu materiale de suport. Veți compara îndepărțarea suporturilor de tip 'break-away' din **PLA** cu dizolvarea suporturilor din **PVA**, analizând diferențele în ceea ce privește timpul, calitatea suprafeței și generarea de deșeuri. Aceasta este o micro-analiză a ciclului de viață.



# Sinteza: Matricea Decizională pentru Alegerea Tehnologiei



**FA nu înlocuiește, ci completează spectrul tehnologiilor de fabricație.**

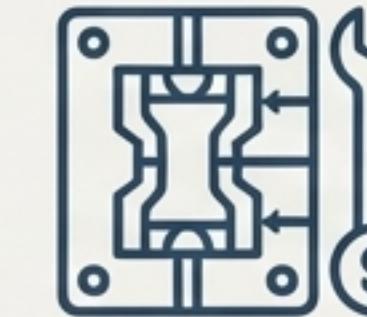
# Ghidul de Analiză Cost-Beneficiu: Checklist-ul Inginerului-Manager

Înainte de a alege o tehnologie de fabricație, parcurgeți sistematic următoarele întrebări strategice:



## 1. Cost Total (TCO):

Care este costul total de proprietate, incluzând post-procesarea, inspecția calității și tratamentele secundare?



## 2. Costuri de Start-up:

Care sunt costurile inițiale (scule, matrițe) în metoda alternativă? Care este punctul de break-even?



## 3. Viteză și Agilitate:

Cât de important este timpul de livrare (time-to-market)? Permite FA iterări rapide de design?



## 4. Valoare Funcțională (DfAM):

Poate fi piesa optimizată (lightweighting, consolidare) pentru a aduce beneficii în utilizare care să justifice un cost de producție mai mare?



## 5. Bilanț de Sustenabilitate:

Care este impactul comparativ asupra mediului (eficiență materialelor, consum energetic, lanț logistic)?



## 6. Calitate și Risc:

Care sunt cerințele de toleranță și calitate? Cum se validează și se certifică o piesă fabricată aditiv pentru aplicații critice? (Legătură cu Cursul 6).

# Conectarea Teoriei cu Practica: Aplicație în Proiectul Vostru



Componentă  
Industrială



Checklist  
Analiză



Analiză  
Cost-Beneficiu



Raport  
Final

## Sarcina de Proiect

Veți selecta o componentă industrială și veți realiza o analiză tehnico-economică comparativă: Fabricație Aditivă vs. o metodă convențională.

## Metodologie

Utilizați **matricea decizională** pentru a poziționa piesa în contextul de producție și **checklist-ul de analiză** **analiză cost-beneficiu** pentru a structura argumentația.

## Criterii de Evaluare

Se va evalua profunzimea analizei, capacitatea de a cuantifica (chiar și estimativ) costurile și beneficiile, și claritatea argumentelor care susțin decizia finală (fie pentru FA, fie împotriva ei).

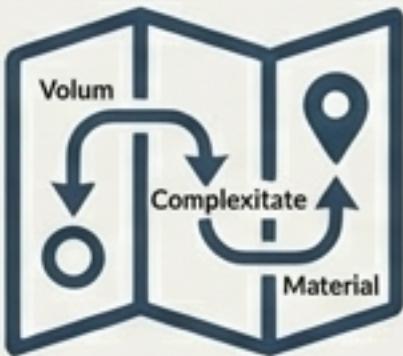
**Acesta nu este un exercițiu teoretic; este simularea unei decizii ingineresci reale pe care o veți lua în industrie.**

# Sinteză: Idei Cheie de Retinut



## Ecuația Costului este Complexă.

Valoarea reală a FA este adesea ascunsă sub suprafață. Analizați TCO, nu doar costul per kilogram.



## Contextul Dictează Decizia.

Nu există o tehnologie universal „superioară”. Alegerea optimă depinde de volum, complexitate, material și aplicație.



## Sustenabilitatea este un Bilanț.

Cântăriți eficiența excelentă a materialelor (PRO) cu consumul energetic ridicat al procesului (CONTRA). Nu există răspunsuri simple.



## Analiza Cost-Beneficiu este Instrumentul Vostru.

Ca ingineri-manageri, rolul vostru este să puneti întrebările corecte și să navigați compromisurile pentru a găsi soluția optimă.

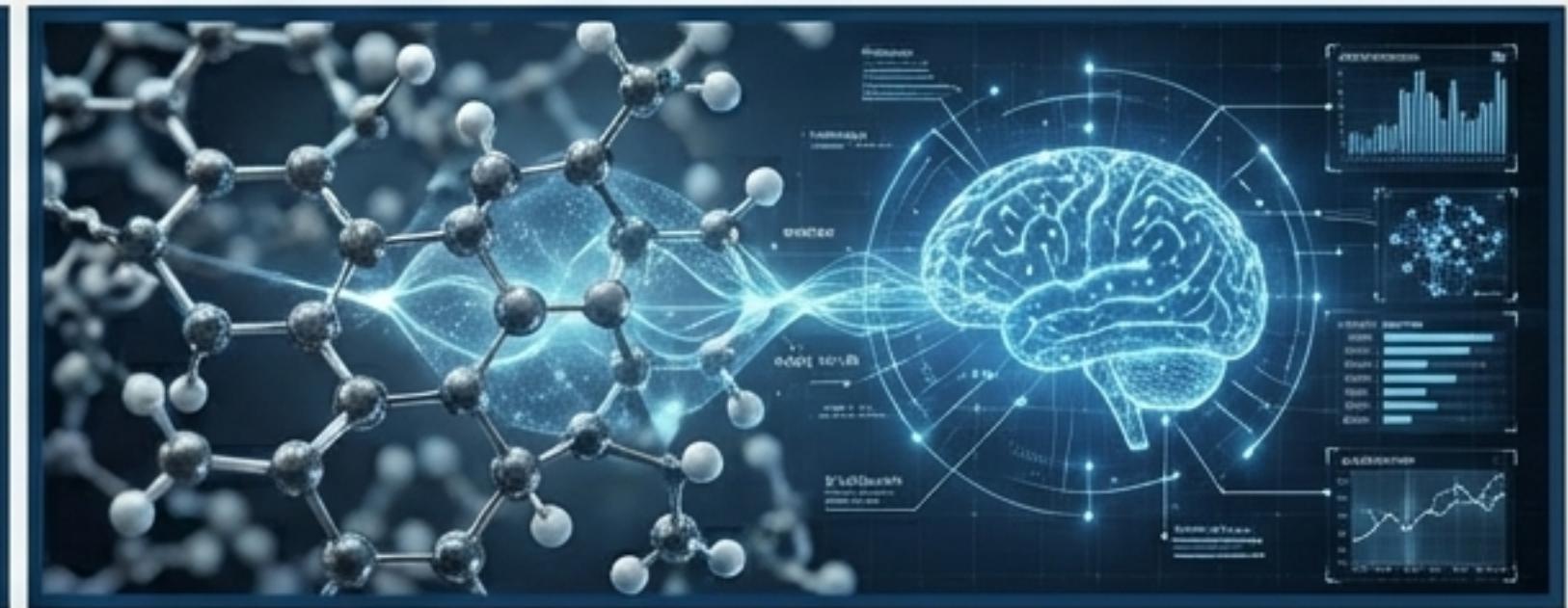
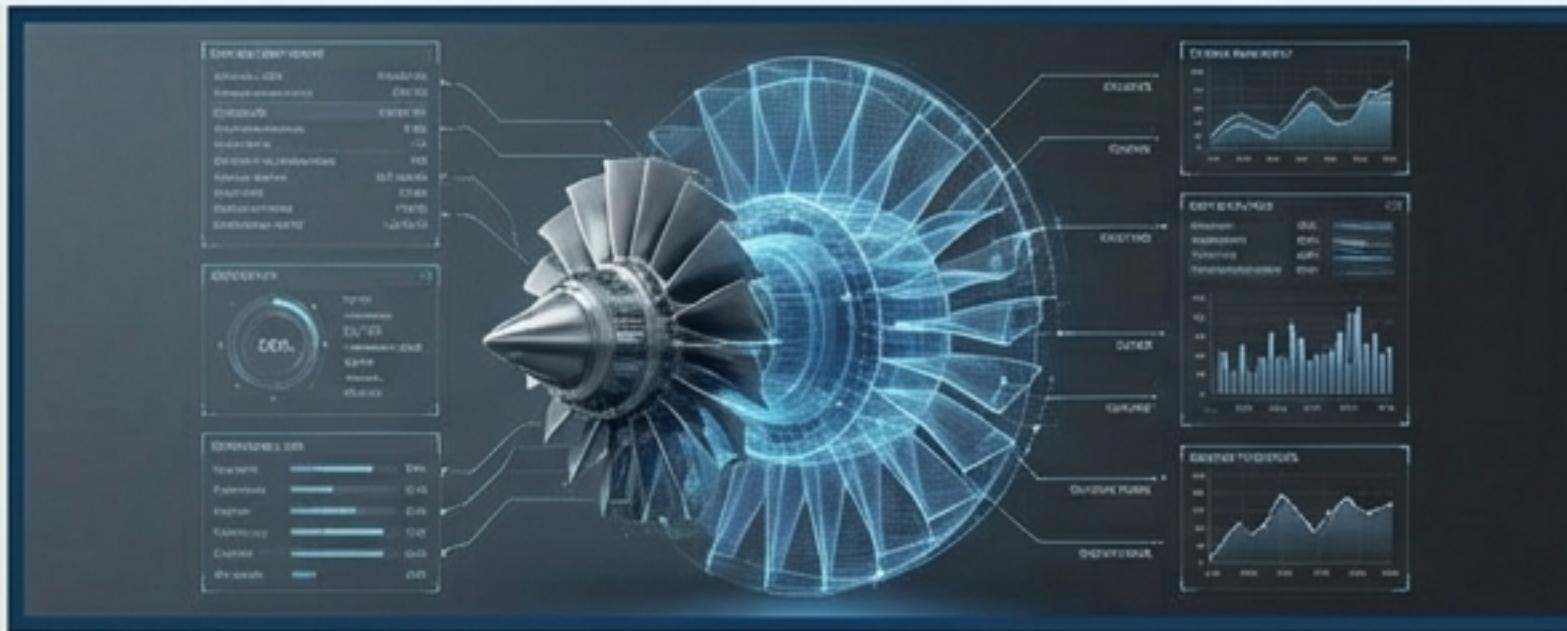
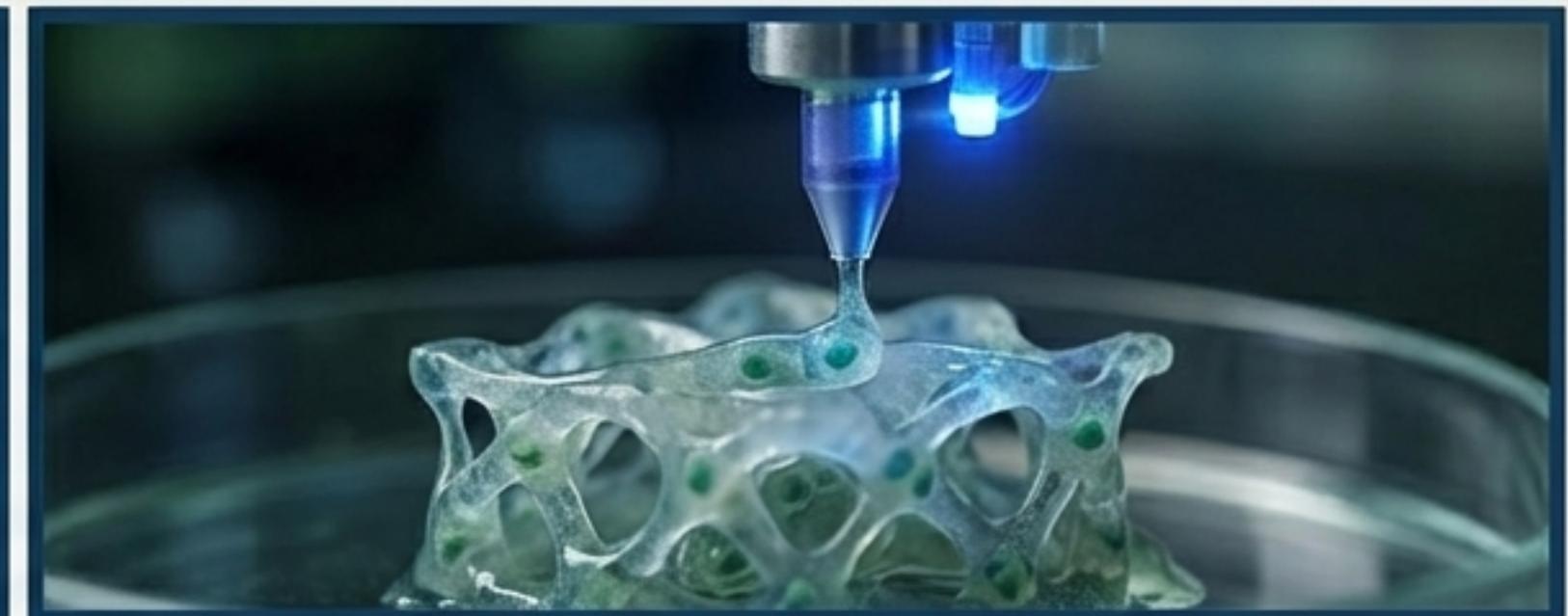
# Întrebări pentru Reflecție

Principiile discutate astăzi sunt un punct de plecare. Gândiți-vă la următoarele aspecte:

- 1. Quantificarea Intangibilului:** Cum ati putea cuantifica în termeni monetari beneficiul unui lanț de aprovisionare mai scurt sau al unei agilități crescute în dezvoltarea de produs într-o analiză economică formală?
- 2. Analiza Ciclului de Viață (LCA):** Dacă o piesă FA consumă cu 50% mai multă energie la producție, dar reduce greutatea unui vehicul electric, mărindu-i autonomia cu 5%, cum evaluați impactul net asupra mediului pe un ciclu de viață de 15 ani?
- 3. Rolul Inteligenței Artificiale:** Ce rol credeți că vor juca IA și Gemenii Digitali (Digital Twins) – teme din cursul următor – în optimizarea automată și în timp real a deciziilor de cost și sustenabilitate în procesele de fabricație aditivă?  
(Referință la sursele PCSt.1\_Banica Cristina.docx și manuscript\_final.pdf).

# Privind spre Viitor: Inovații care Rescriu Regulile Jocului

Analiza economică și de sustenabilitate este un instantaneu al tehnologiei actuale. Dar viitorul va schimba parametrii. În cursul următor, vom explora inovațiile care redefinesc ce este posibil.



Fiți pregătiți să adaptați constant cadrul vostru de analiză.