

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

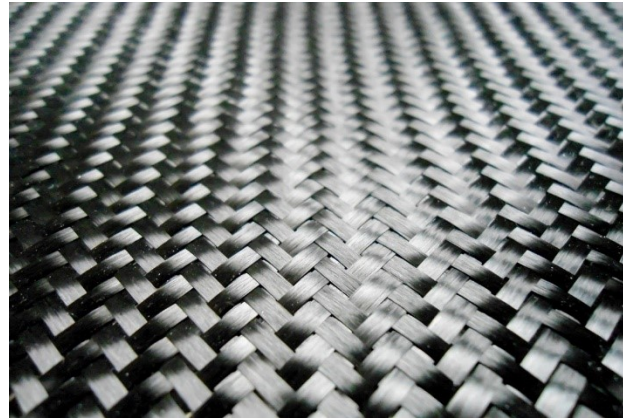
*Relazione per la prova finale*

# ***I materiali compositi a matrice polimerica e la loro importanza per lo sviluppo tecnologico***

Tutor universitario: Prof.ssa Bertani Roberta

Laureando: *Pavan Valerio*

Padova, 18/07/2023



Una definizione operativa di **materiali compositi** può essere:

- I materiali compositi sono eterogenei, quindi sono composti da più fasi;
- Le proprietà del materiale sono migliori delle proprietà delle rispettive fasi.

Se volessimo togliere i materiali di origine naturale si potrebbe aggiungere:

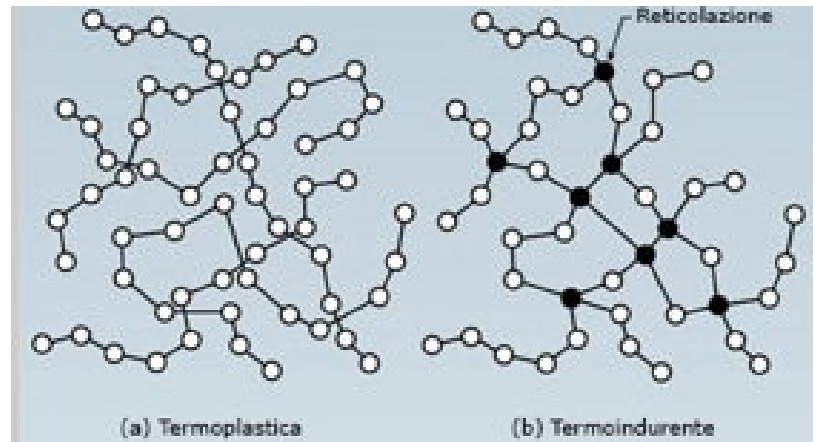
- Devono essere fabbricati.



In questo elaborato tratteremo le **matrici polimeriche** e **rinforzi fibrosi**.

### Matrici polimeriche:

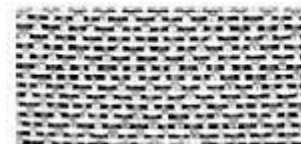
1. termoindurenti;
2. termoplastiche.



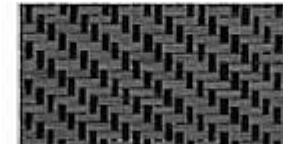
### Rinforzi fibrosi:

1. fibre di vetro;
2. fibre di carbonio;
3. fibre aramidiche.

FIBRE DI VETRO



FIBRE DI CARBONIO



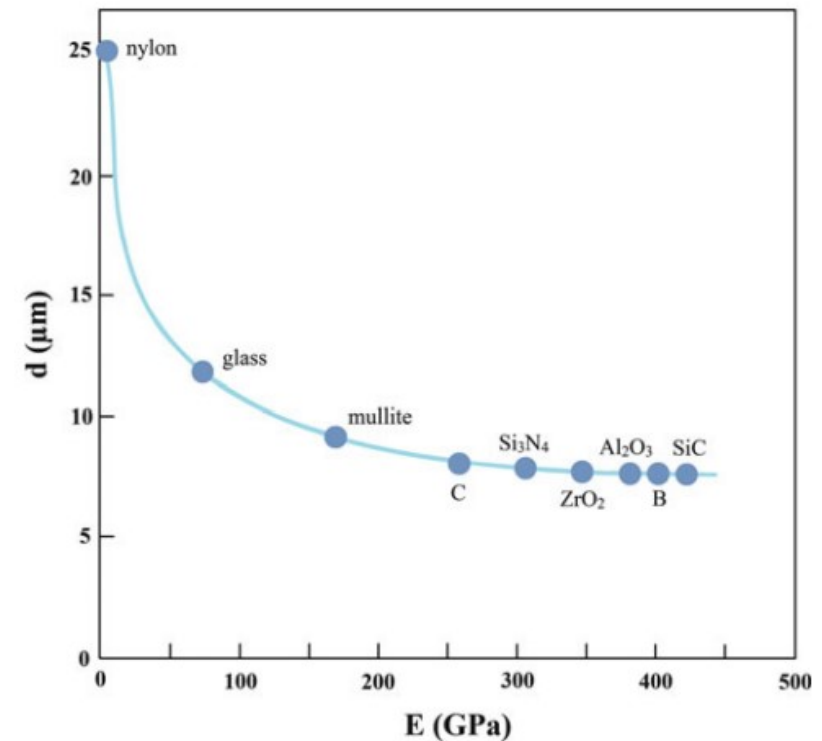
FIBRE DI ARAMIDE



Perché si parla di fibre ?

- Le dimensioni ridotte riducono anche le probabilità di imperfezioni del materiale
- Il grande rapporto lunghezza\diametro favorisce il trasferimento del carico dalla matrice alle fibre
- Caratteristica dei piccoli diametri è l'alta elasticità utile per il processo produttivo d compositi.

Essendo l'elasticità inversamente  
proporzionale al diametro possiamo avere  
fibre molto flessibili da materiali  
intrinsecamente fragili, come per esempio il  
vetro.





Ci sono varie tipologie in base alla combinazione silice\ossido.

Il vetro è per lo più isotropo, a differenza delle fibre di carbonio e aramidiche.

Ottimo rapporto resistenza\peso, rapporto modulo\peso non elevato.

Perdono resistenza con l'umidità e soffrono di fatica statica.

**Table 2.2** Typical properties of E glass fibers

| Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Tensile strength (MPa) | Young's modulus (GPa) | Coefficient of thermal expansion (K <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| 2.55                         | 1,750                  | 70                    | 4.7 × 10 <sup>-6</sup>                              |

**Table 2.1** Approximate chemical compositions of some glass fibers (wt.%)

| Composition                    | E glass | C glass | S glass |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 55.2    | 65.0    | 65.0    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.0     | 4.0     | 25.0    |
| CaO                            | 18.7    | 14.0    | –       |
| MgO                            | 4.6     | 3.0     | 10.0    |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.3     | 8.5     | 0.3     |
| K <sub>2</sub> O               | 0.2     | –       | –       |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 7.3     | 5.0     | –       |

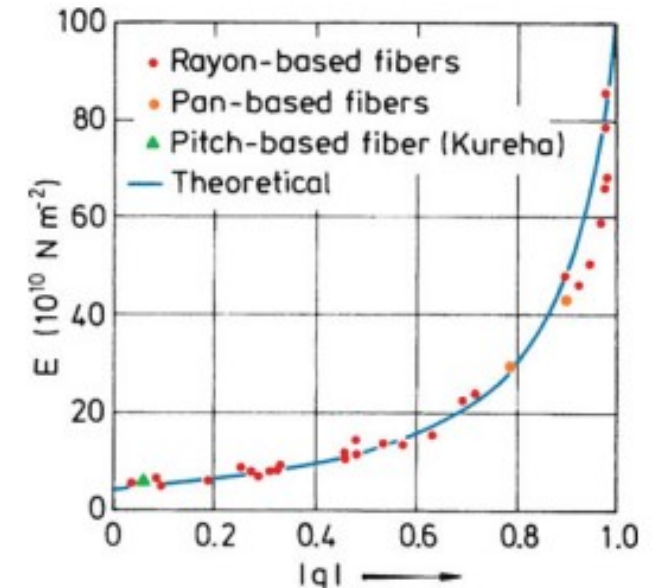
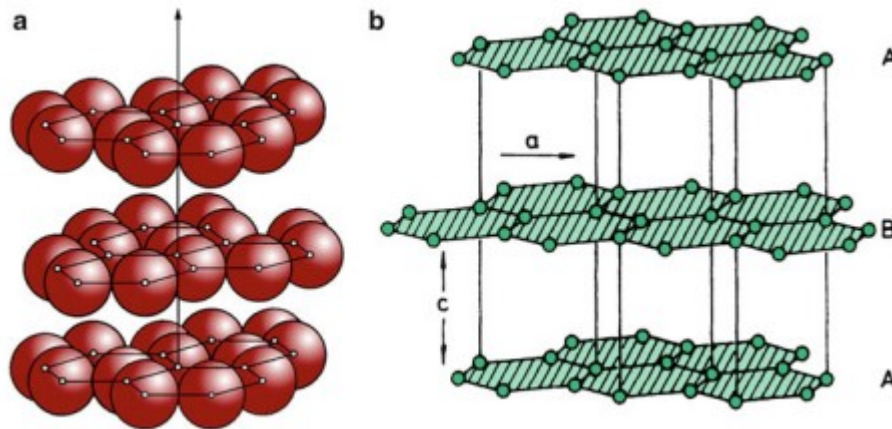


La struttura utilizzata è quella grafiteca che è anisotropa.

Modulo elevato lungo ogni strato ma ridotto trasversalmente ad essi.

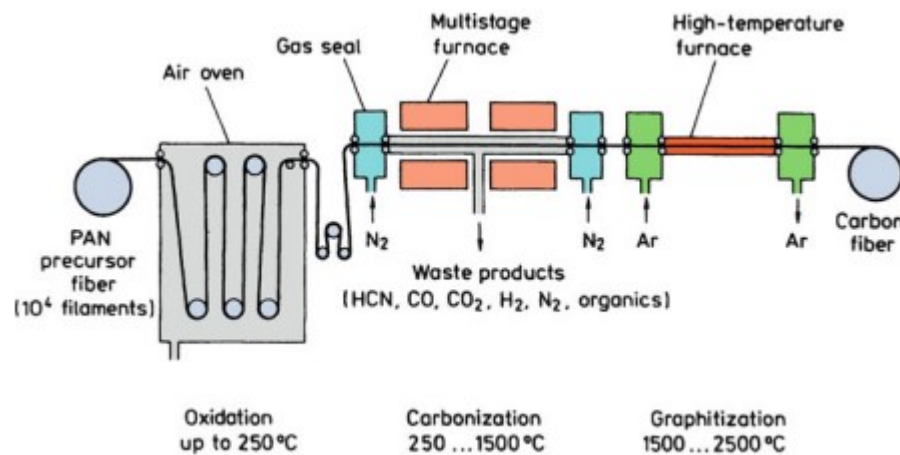
La si lavora in modo da avere lungo l'asse della fibra l'orientamento preferenziale degli strati.

La resistenza alla compressione delle fibre di carbonio è circa la metà della loro resistenza alla trazione. Tuttavia, sono un ordine di grandezza migliore rispetto alle fibre aramidiche.



La maggior parte dei processi di fabbricazione delle fibre di carbonio comporta le seguenti fasi essenziali:

1. Una procedura di fibratura per ottenere una fibra precursore. La più utilizzata è la PAN (poliacrilonitrile).
2. Un trattamento di stabilizzazione che impedisce alla fibra di fondere nei successivi trattamenti ad alta temperatura.
3. Un trattamento termico chiamato carbonizzazione che rimuove la maggior parte degli elementi non carboniosi.
4. Un trattamento termico opzionale chiamato grafitizzazione che migliora le proprietà della fibra ottenuta precedentemente.



| Precursor                            | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Young's modulus (GPa) | Electrical resistivity (10 <sup>-4</sup> Ω cm) |
|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|
| Rayon <sup>a</sup>                   | 1.66                         | 390                   | 10                                             |
| Polyacrylonitrile <sup>b</sup> (PAN) | 1.74                         | 230                   | 18                                             |
| Pitch (Kureha)                       |                              |                       |                                                |
| LT <sup>c</sup>                      | 1.6                          | 41                    | 100                                            |
| HT <sup>d</sup>                      | 1.6                          | 41                    | 50                                             |
| Mesophase pitch <sup>e</sup>         |                              |                       |                                                |
| LT                                   | 2.1                          | 340                   | 9                                              |
| HT                                   | 2.2                          | 690                   | 1.8                                            |
| Single-crystal <sup>f</sup> graphite | 2.25                         | 1,000                 | 0.40                                           |

<sup>a</sup>Union Carbide, Thornel 50

<sup>b</sup>Union Carbide, Thornel 300

<sup>c</sup>LT low-temperature heat-treated

<sup>d</sup>HT high-temperature heat-treated

<sup>e</sup>Union Carbide type P fibers

<sup>f</sup>Modulus and resistivity are in-plane values

Source: Adapted with permission from Singer (1979)

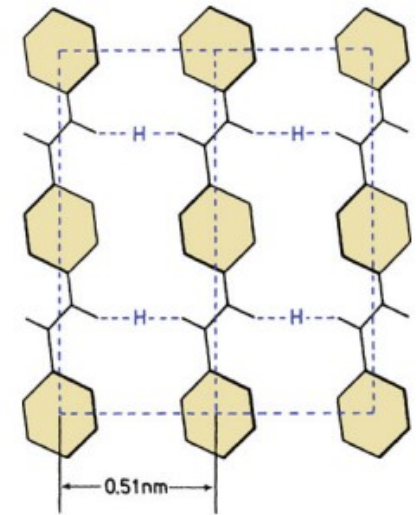


Fibre organiche sintetiche chiamate fibre poliammidiche aromatiche.

Il forte legame covalente nella direzione della fibra e il debole legame idrogeno nella direzione trasversale determinano proprietà altamente anisotrope.

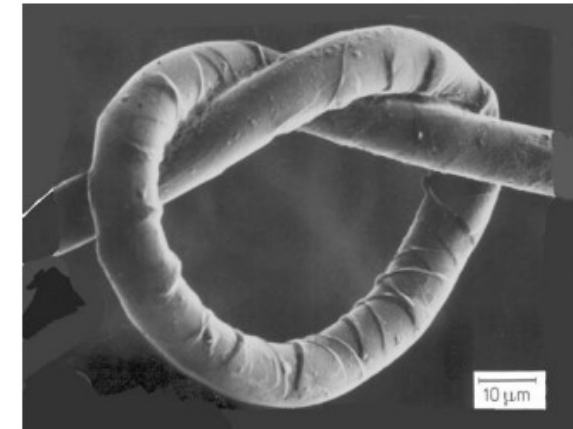
La compressione provoca la formazione di bande di piegatura.

Grande resistenza alla trazione, ottima gestione delle vibrazioni e degli sforzi da impatto.



| Property                                                     | K 29    | K 49 | K 119 | K 129 | K 149   |
|--------------------------------------------------------------|---------|------|-------|-------|---------|
| Density (g/cm <sup>3</sup> )                                 | 1.44    | 1.45 | 1.44  | 1.45  | 1.47    |
| Diameter (μm)                                                | 12      | 12   | 12    | 12    | 12      |
| Tensile strength (GPa)                                       | 2.8     | 2.8  | 3.0   | 3.4   | 2.4     |
| Tensile strain to fracture (%)                               | 3.5–4.0 | 2.8  | 4.4   | 3.3   | 1.5–1.9 |
| Tensile modulus (GPa)                                        | 65      | 125  | 55    | 100   | 147     |
| Moisture regain (%) at 25 °C, 65 % RH                        | 6       | 4.3  | –     | –     | 1.5     |
| Coefficient of expansion (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ) | –4.0    | –4.9 | –     | –     | –       |

<sup>a</sup>All data from Du Pont brochures. Indicative values only. 25-cm yarn length was used in tensile tests (ASTM D-885). *K* stands for Kevlar, a trademark of Du Pont

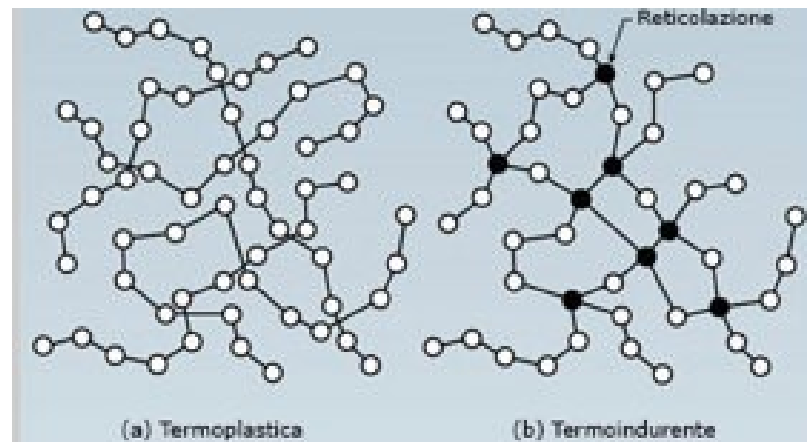


I polimeri come matrice sono strutturalmente molto più complessi dei metalli e delle ceramiche ma risultano più economici e possono essere facilmente lavorati.

Presentano resistenza, modulo e temperature di esercizio minori.

Degradano con la lunga esposizione ai raggi UV.

I polimeri sono grandi molecole simili a catene, i vari monomeri si uniscono covalentemente nel processo di polimerizzazione.



I termoindurenti reticolano e a differenza dei termoplastici non possono essere riformati.

I termoindurenti sono meno controllabili dal punto di vista produttivo dei termoplastici.

I termoindurenti hanno temperature di servizio più alte e prestazioni meccaniche migliori

La deformazione a rottura può andare da 1 al 3% per i termoindurenti e 30 al 100% per i termoplastici, maggiore resistenza all'urto.

I termoindurenti tendono ad essere meno viscosi dei termoplastici, bagnando meglio le fibre.

| Property                                                              | Epoxy | Polyimide | PEEK | Polyamideimide | Polyetherimide | Polysulfone | Polyphenylene sulfide | Phenolics |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|-----------|------|----------------|----------------|-------------|-----------------------|-----------|
| Tensile strength (MPa)                                                | 35–85 | 120       | 92   | 95             | 105            | 75          | 70                    | 50–55     |
| Flexural modulus (GPa)                                                | 15–35 | 35        | 40   | 50             | 35             | 28          | 40                    | –         |
| Density (g/cm <sup>3</sup> )                                          | 1.38  | 1.46      | 1.30 | 1.38           | –              | 1.25        | 1.32                  | 1.30      |
| Continuous-service temperature (°C)                                   | 25–85 | 260–425   | 310  | –              | 170            | 175–190     | 260                   | 150–175   |
| Coefficient of thermal expansion (10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup> ) | 8–11  | 9         | –    | 6.3            | 5.6            | 9.4–10      | 9.9                   | 4.5–11    |
| Water absorption (24 h %)                                             | 0.1   | 0.3       | 0.1  | 0.3            | 0.25           | 0.2         | 0.2                   | 0.1–0.2   |

Source: Adapted with permission from English (1985)

Poliesteri: buone proprietà , comunemente utilizzate per compositi in fibra di vetro.

| Density, $\rho$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Strength, $\sigma$<br>(MPa) | Modulus, $E$<br>(GPa) | Poisson's<br>ratio, $\nu$ | CTE, $\alpha$<br>(10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ) | Cure<br>shrinkage<br>(%) | Use temp.<br>(°C) |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1.1-1.4                                 | 30-100                      | 2-4                   | 0.2-0.33                  | 50-100                                               | 5-12                     | 80                |

Epossidiche: leader del settore, più costose dei poliesteri ma più performanti.

| Density, $\rho$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Strength, $\sigma$<br>(MPa) | Modulus, $E$<br>(GPa) | Poisson's<br>ratio, $\nu$ | CTE, $\alpha$<br>(10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ) | Cure<br>shrinkage<br>(%) | Use temp.<br>(°C) |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1.2-1.3                                 | 50-125                      | 2.5-4                 | 0.2-0.33                  | 50-100                                               | 1-5                      | 150               |

Poliimmide: temperatura di servizio più alta.

Le più comuni:

- Polipropilene;
- Nylon;
- Poliesteri termoplastici (PET, PBT);
- Policarbonati.

I nuovi materiali:

- Polyamide-imides;
- Solfuro di polifenilene (PPS);
- Polyether ether ketone (PEEK).

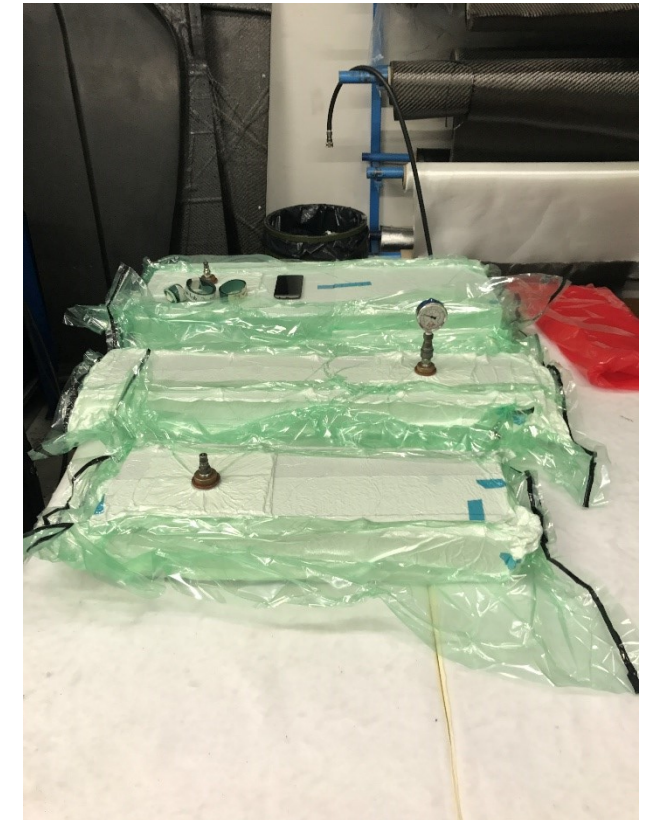


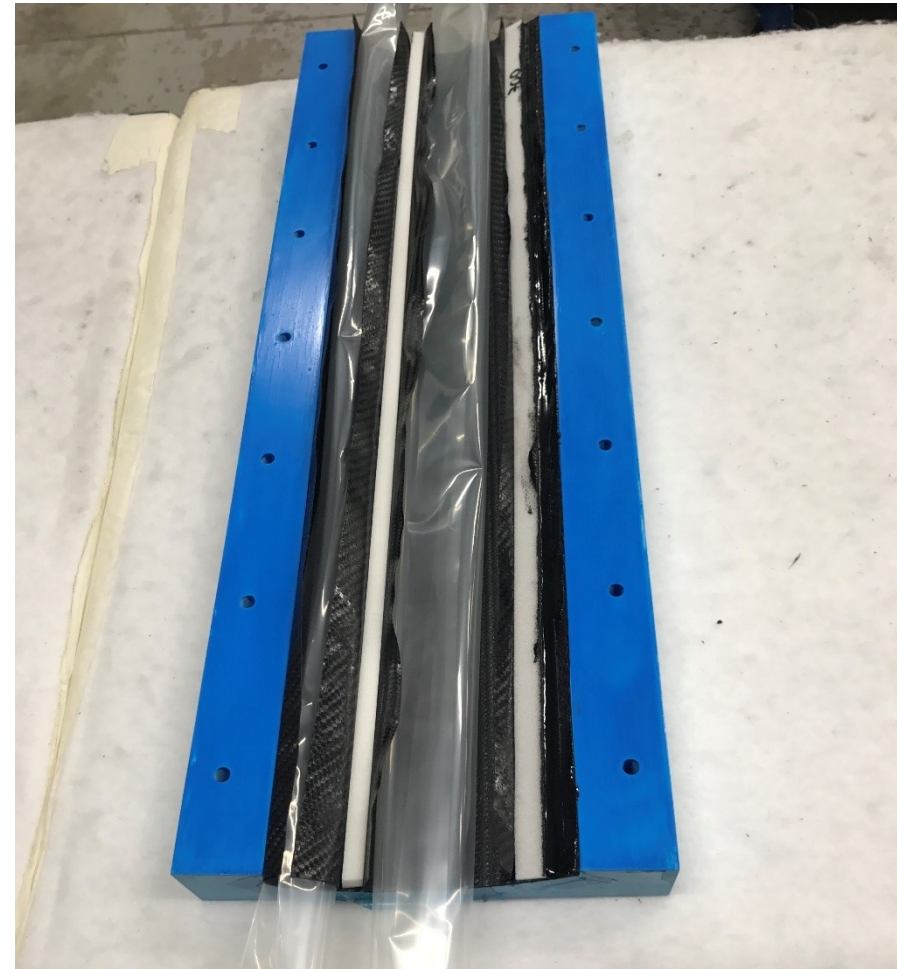
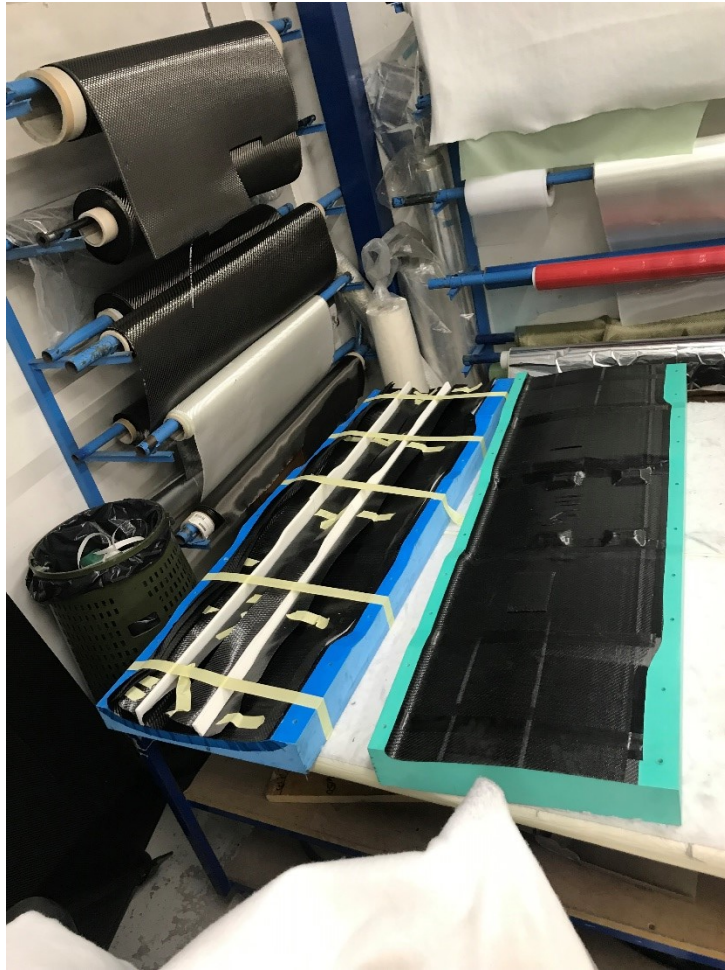
Ci sono diversi processi di produzione, nel settore aerospaziale il più comune è la laminazione con cura in autoclave.

Le proprietà del materiale risulteranno anisotrope e dipenderanno dalla composizione del laminato e dalla gestione della fase di cura.

I principali difetti:

- Regioni ricche di resina;
- Vuoti;
- Microfessure;
- Delaminazioni locali;
- Allineamento impreciso delle fibre.

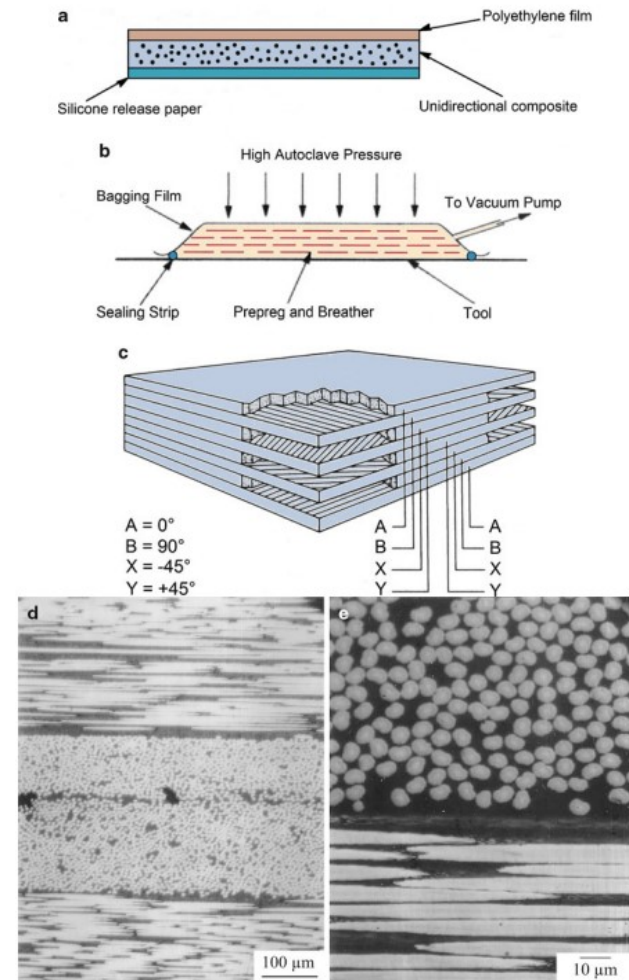






Perché sono importanti per lo sviluppo tecnologico allora?

- Ottimo rapporto performance/peso;
- Possibilità di configurarli in maniere ottimale per ogni situazione;
- Combinazioni infinite, limitate solamente dalle tecnologie produttive.



- Krishan K. Chawla. «Composite Materials». Springer (2012);
- Serope Kalpakijian, Steven R. Schmid. «Manufacturing Engineering and Technology». Person;
- Sebastian Koltezenbur. «Polymer Chemistry». Springer (2017).