

# MATERIALI COMPOSITI a matrice polimerica: PMC - principi e schemi -

MATERIALI PARTE 2° - elaborazione del Prof.A.Tonini - [www.andytonini.com](http://www.andytonini.com) -

## FINALITA':

- produzione di materiali resistenti, leggeri, a volte flessibili; con elevato rapporto resistenza/peso (resistenza specifica); con elevato rapporto rigidità/peso (modulo specifico);
- riduzione di costi lavorazione; processi produttivi flessibili;

## ELEMENTI COSTITUTIVI PMC:

**matrice:** resine epossidiche - poliesteri - poliammidiche; resine poliuretaniche - fenoliche - vinilestere; ...

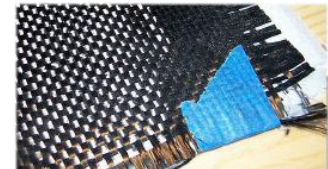
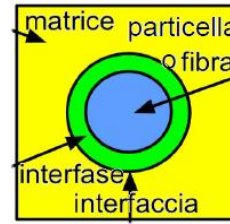
**compito della matrice:** [basso costo; basso peso specifico; preferite matrici termoindurenti]

- tenere unite fibre [particelle] di rinforzo
- trasmettere e distribuire lo sforzo applicato al rinforzo (più resistente) e una esigua frazione alla matrice (meno resistente);
- proteggere il rinforzo da danneggiamenti superficiali dovuti a abrasione meccanica o degradazione chimica dell'ambiente;
- mantenere separate le fibre tra loro per evitare la propagazione di cricche da fibra a fibra (compositi fibrosi);

**rinforzo:** ● **fibra:** vetro; carbonio; aramidiche [kevlar-nomex]; ● **particelle:** boro; berillio; ..

**compito del rinforzo:** limita movimenti della matrice; sostiene i carichi applicati al composito, dà resistenza; migliori risultati con fibre orientate e disposte uniformi;

**additivi:** cariche, stabilizzanti, riempitivi, agenti accoppianti, ...



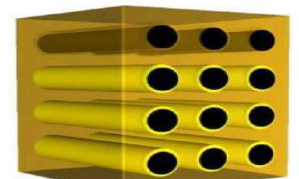
tessuto di fibre di carbonio



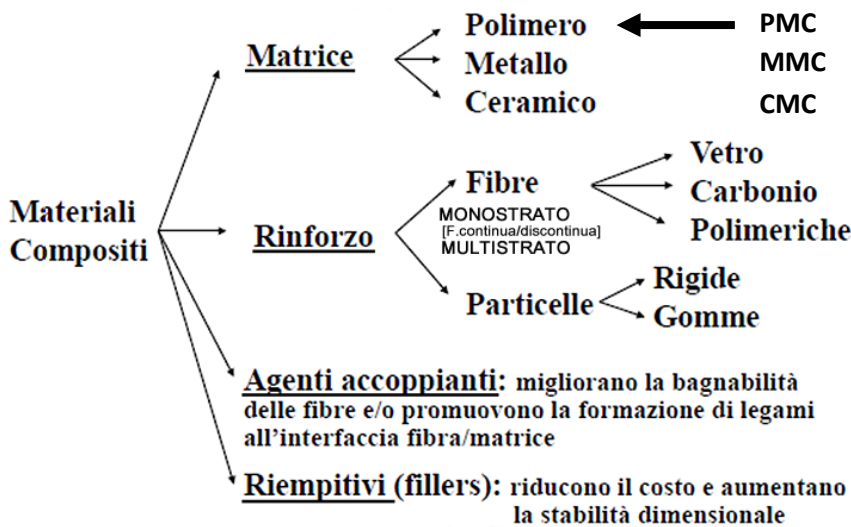
tessuto di fibre di vetro



tessuto di fibre di arammide



## Elementi costitutivi di un composito



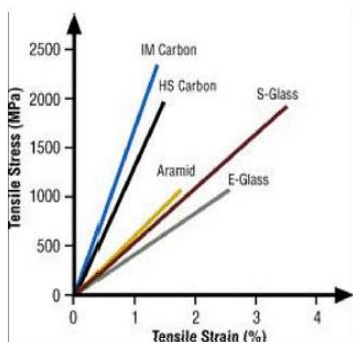
## FIBRE:

mono/multifilati - fasci - tessuti  
fibre corte (compositi 3D)  
fibre lunghe (compositi unidirezionali o laminati)  
treccie - mat[fiocchi]

## TECNOLOGIA dei prodotti di base e semilavorati:

### Prodotti di base e semilavorati

■ **Fibre:** sono il costituente base del rinforzo dei compositi; vengono filate in bobine, come un filo qualunque, e sono in genere di vetro o carbonio.



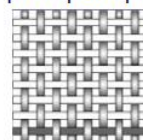
vetro



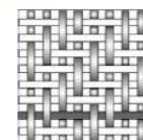
carbonio



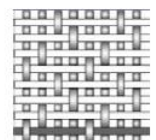
■ **Tessuti:** generalmente, i rinforzi sono forniti sotto forma di tessuto; i principali tipi di tessuto sono:



Taffetas (plain)

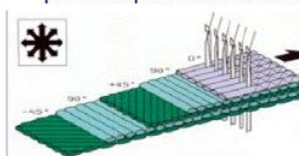


Sergé (twill)

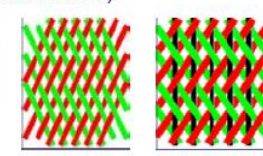


Satin

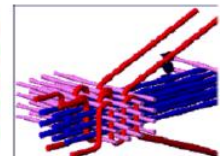
■ Esistono anche tessuti multidirezionali, per usi speciali (soprattutto per campi di sforzo tridimensionali).



Stitched



Braided



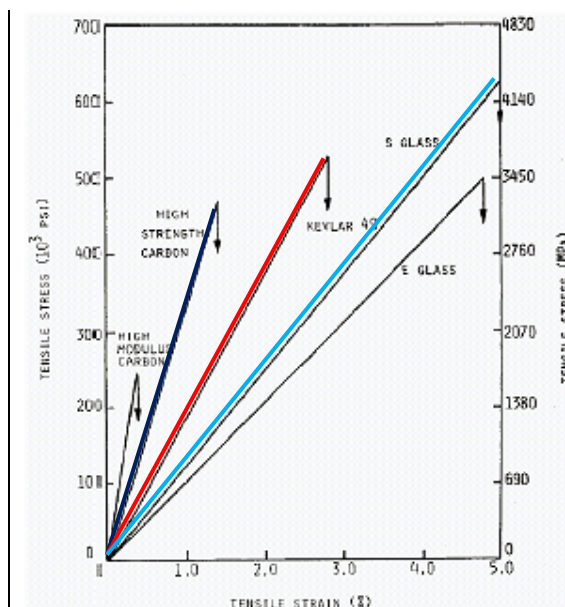
3D

**TIPI PMC:****compositi strutturali –**

la matrice è rinforzata prevalentemente da fibre continue anche in forma ordinata di tessuto e non è caricata con additivi particellari. [matrici termoindurenti]  
 Caratteristiche: elevato contenuto di fibre, alto grado di perfezione costruttiva (assenza quasi totale di vuoti o difetti), alte prestazioni fisico-meccaniche.

**compositi non strutturali –**

la matrice è rinforzata con fibre discontinue distribuite e orientate in modo casuale e/o con cariche particellari e semi-particellari. [matrici termo plastiche]  
 Caratteristiche: medio-basse e sono realizzati tipicamente con matrici poliestere insature e vinilestere e fibre di vetro.



- **fibre di Carbonio** hanno la migliore combinazione tra elevata resistenza e modulo a trazione, ma bassa capacità di allungamento.
- **fibre aramidiche** hanno buona combinazione tra elevata resistenza, elevato modulo ed elevato allungamento (resistenza all'urto), [es.Kevlar].
- **fibre di vetro** hanno basso costo, durezza, elevata resistenza chimica e a trazione, buon modulo E, bassa rigidità.

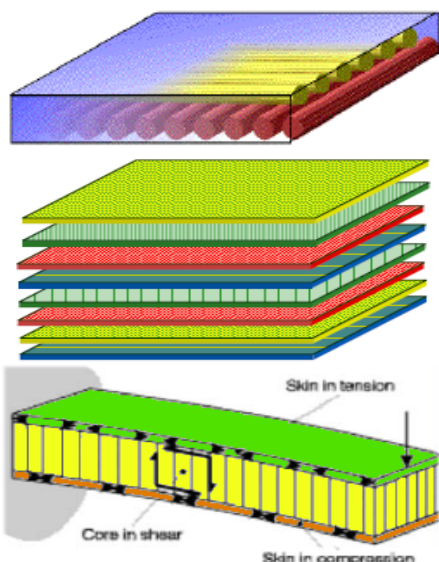
**ALCUNI ESEMPI:**

**Lamine pre-impregnate:** sono semilavorati composti da fibre e resina da polimerizzare (in diversi modi). Le fibre possono essere disposte in una sola direzione o tessute; il comportamento è sempre anisotropo.

USO: fabbricazione dei laminati o degli strati esterni dei pannelli sandwich; elevate prestazioni meccaniche e buona fabbricazione.

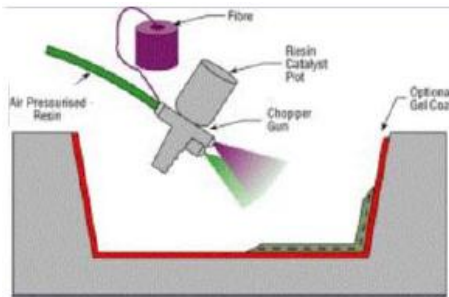
**Laminati:** sono ottenuti per sovrapposizione di lamine, in genere a rinforzo unidirezionale o tessuto, disposte secondo differenti orientazioni. Generalmente l'assemblaggio delle lamine avviene per polimerizzazione dell'insieme, a volte per incollaggio. USO: materiali strutturali, per necessità di elevate prestazioni meccaniche (rigidezza, resistenza, comportamento a fessurazione, per esigenza di limitare il peso).

**Sandwich:** i pannelli sandwich sono come la trave a doppio T al caso bidimensionale, mettendo la parte resistente a flessione all'esterno, e riempire la parte centrale con un materiale leggero (schiume solide, balsa, reticoli a nidi d'ape). USI: campo navale, aerospaziale, aeronautico, sportivo.

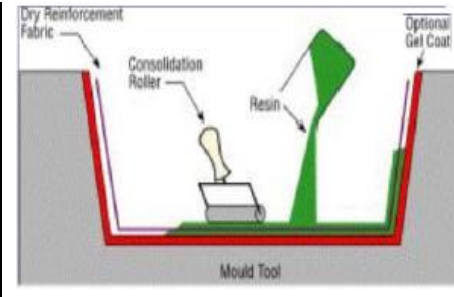
**TECNOLOGIE DI PRODUZIONE dei COMPOSITI -**

**PROCESSO** => resina base + fibre + processo opportuno di reticolazione = composito;

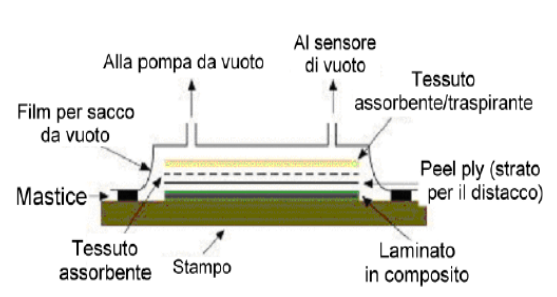
- 1) Lavorazione **manuale**: contenitore [aperto] + resina + strati di fibre; reticolazione in **forno**;  
 Tecnologia a **spruzzo**: è un getto in pressione, su contenitore [aperto], di resina e fibre corte premiscelate.
- 2) Stampaggio in **pressione** o **sotto vuoto** [stampo chiuso]: per laminati piani = contenitore + resina + strati di fibre + pressione/sotto vuoto; reticolazione in forno; od anche, in **autoclave**, con certe curvature; laminato preparato a freddo, sovrapponendo vari strati di preimpregnato, poi è posto in autoclave o presse scaldanti a  $T \cong 180^\circ\text{C}$  per polimerizzare sotto pressione. – **tipi**: sacco a vuoto; in autoclave;
- 3) **Pultrusione**: per laminati continui e fibre lunghe; fibre in bagno di resina, tirate attraverso il forno di reticolazione; [stampo chiuso]
- 4) **Stampaggio RTM** per trasferimento [stampo chiuso]: stampo pre-forma di fibre; **iniezione** di resina; reticolazione; espulsione;
- 5) **Avvolgimento - FW (Filament Winding)**: per forme a simmetria cilindroide, aperte alle estremità, o anche forme chiuse; fibre tirate in stampo aperto in bagno di resina e avvolte su cilindro/mandrino sfilabile [strati di fibra+matrice]; reticolazione in forno;



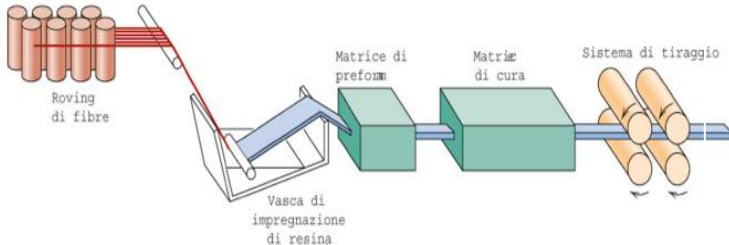
1 - Tecnologia a spruzzo:



1 - Tecnologia a mano:

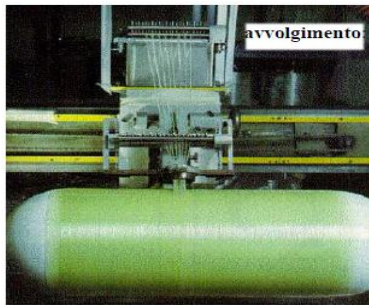


2 - Tecnologia sotto vuoto di pre-impregnati - anche in autoclave



**3 - Tecnologia di pultrusione:**

viene impiegata industrialmente, per produzione in grande serie e in continuo di profilati (gli stessi della serie in acciaio).  
La polimerizzazione avviene a caldo e in breve tempo.

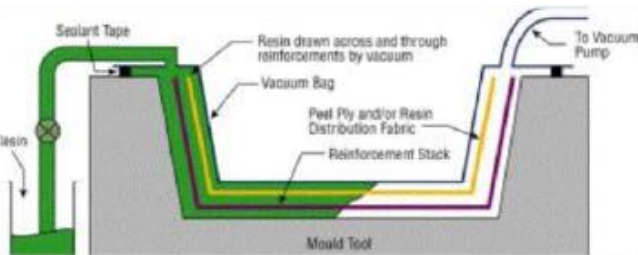


**5 - Tecnologia FW (Filament Winding):**

tecnologia industriale di costruzione di pezzi a simmetria cilindrica o comunque a sezione convessa. La fibra è preimpregnata di resina e quindi avvolta in modo regolare e programmato su un mandrino della forma voluta. La polimerizzazione può essere a caldo o a temperatura ambiente, tramite catalizzatore o anche tramite raggi UV. E' una tecnica molto usata per la costruzione di serbatoi in pressione, ma anche di grandi pezzi, come fusoliere di aerei o corpi di razzi vettori.

**4 - Tecnologia RTM (Resin Transfer Moulding):**

il rinforzo è messo a secco nello stampo; in seguito, si procede all'iniezione di resina in pressione, a volte con stampo sotto vuoto. La polimerizzazione avviene a temperatura ambiente o a caldo, con o senza cat.



**COMPONENTI DEI COMPOSITI: FIBRE -**

- IL SEGUITO DEL DOCUMENTO E' SUL CD 3CHIMICA – richiedibile come dal sito -