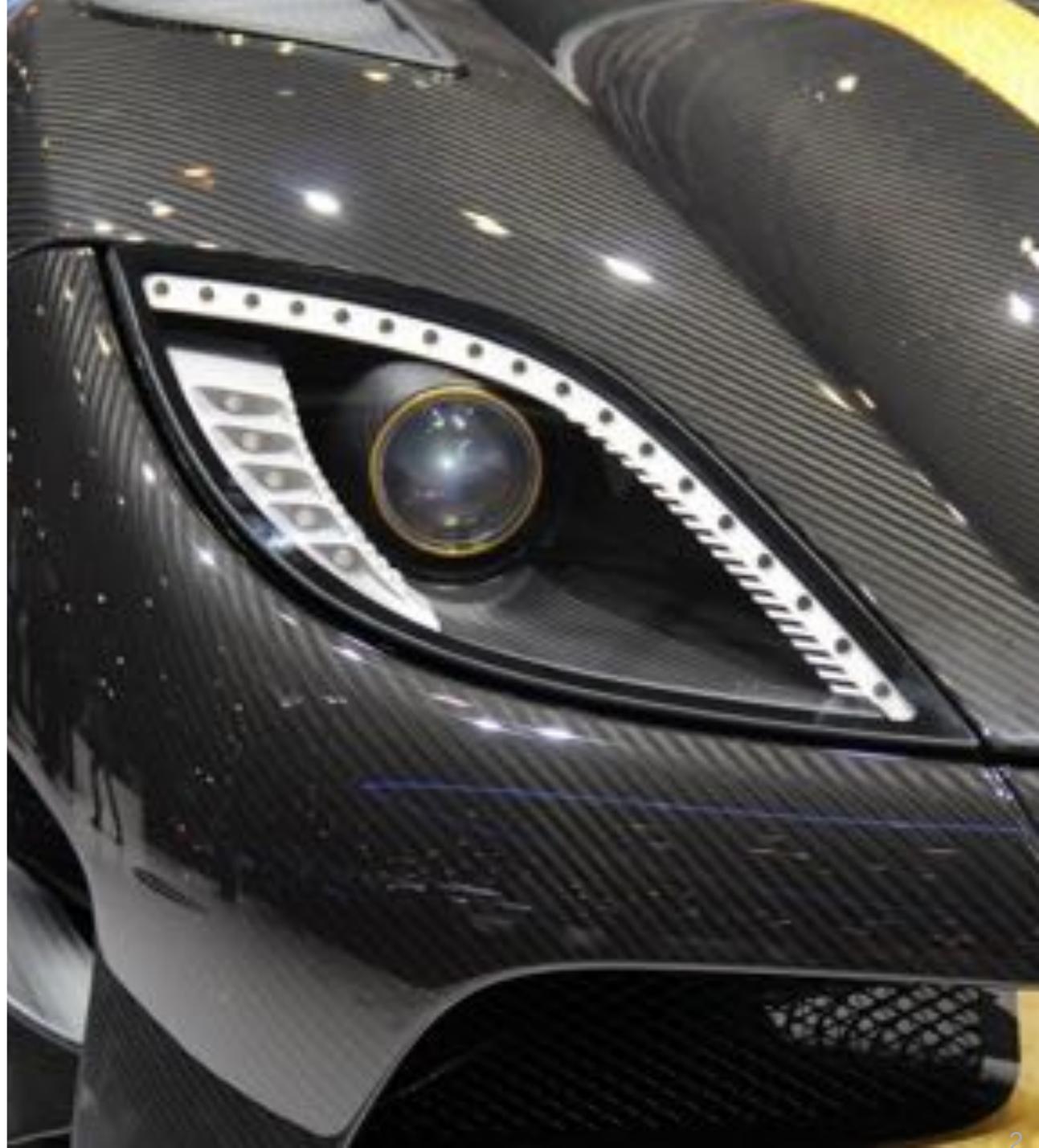




LA LAVORAZIONE DEI MATERIALI COMPOSITI

Laminazione e
finitura di compositi
fibrorinforzati

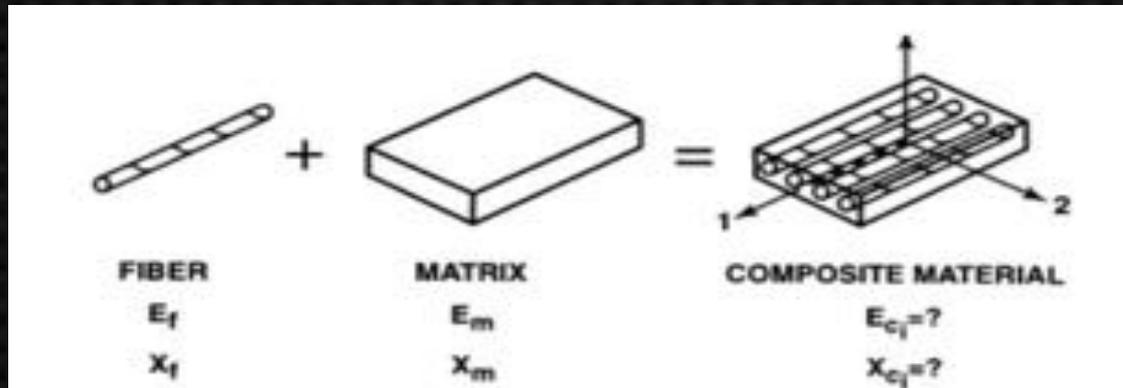
Processi produttivi
Automotive e
Motorsport



COMPOSITI: Cosa sono?

Un materiale composito è un materiale costituito da due o più componenti, tale che:

- Sia possibile individuare in scala macroscopica la superficie di interfaccia;
- Siano chimicamente distinte;
- Abbiano caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse.



COMPOSITI: Cosa sono?

Esempi:

Legno

(fibra di cellulosa + matrice legnosa)



Ossa

(osseina + periostio)



Calcestruzzo

(pietrisco + cemento)



Cemento armato

(calcestruzzo + tondini d'acciaio)

COMPOSITI: Cosa sono?



COMPOSITI: Cosa sono?

Nel campo della progettazione, si parla di materiale composito quando il materiale stesso è costituito non solo da **fasi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse**



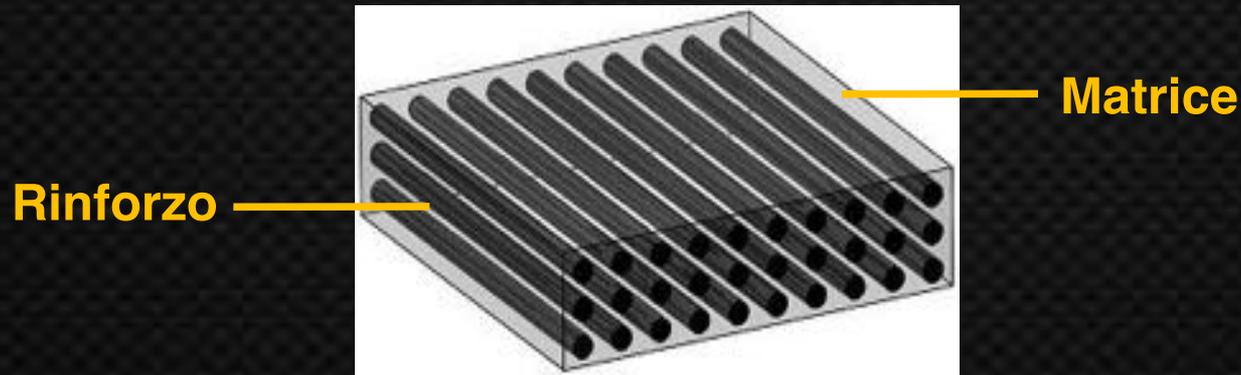
COMPOSITI: Cosa sono?

ma anche in proporzioni tali che le caratteristiche fisico-meccaniche del composito **risultino significativamente diverse da quelle dei singoli costituenti.**



COMPOSITI: Cosa sono?

Il componente più resistente è solitamente presente sotto forma di fase discontinua (fibre, particelle, ecc.) e prende il nome di **rinforzo**, mentre il componente meno resistente è presente sotto forma di fase continua e prende il nome di **matrice**.



COMPOSITI: Cosa sono?

Le caratteristiche del composito sono strettamente legate alla **percentuale relativa** dei singoli costituenti presenti.



Pioppo



Palissandro

COMPOSITI: Cosa sono?



Compositi a matrice polimerica (PMC)



Compositi a matrice metallica (MMC)



Compositi a matrice ceramica (CMC)

COMPOSITI: Fibrorinforzati

I rinforzi fibrosi sono quelli più utilizzati per via dell'**elevato rapporto resistenza/peso** (resistenza specifica) e per l'**elevato rapporto rigidezza/peso** (rigidezza specifica)

Sperimentalmente si osserva che la resistenza di un generico materiale aumenta significativamente se viene prodotto in fibre sottili.



COMPOSITI: Fibrorinforzati

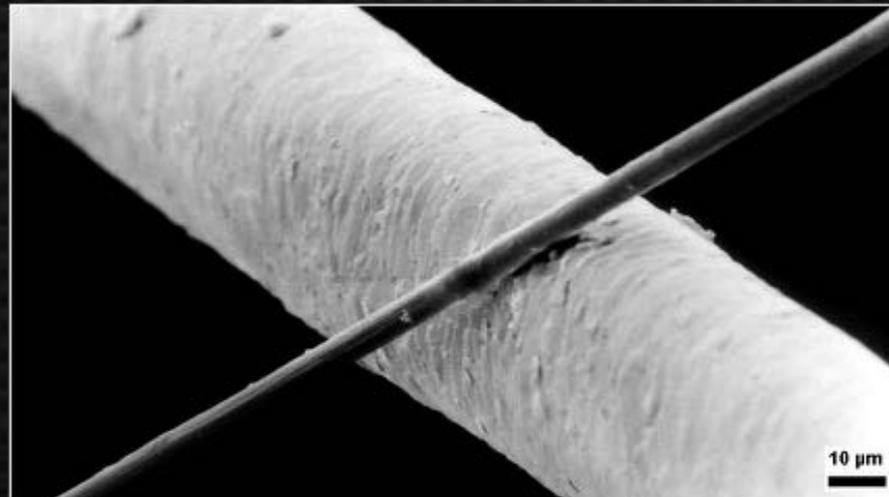
Inoltre **la resistenza della fibra aumenta al diminuire delle dimensioni della sezione trasversale.**

La resistenza specifica media delle fibre comunemente usate nei compositi risulta in pratica fino a 10 volte superiore rispetto alla media dei materiali tradizionali.



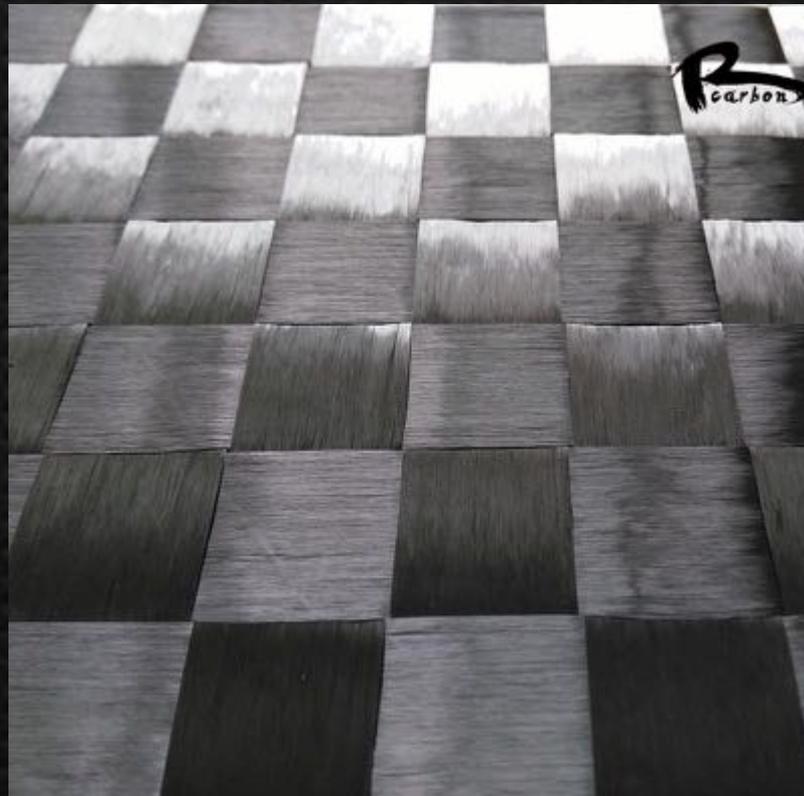
COMPOSITI: Fibrorinforzati

I piccoli valori dei diametri sono necessari, oltre che per ottenere una **elevata resistenza**, anche per ottenere una **elevata deformabilità flessionale delle fibre**. Questa consente di limitare le tensioni iniziali associate a una eventuale piegatura delle stesse, necessaria alla produzione di componenti di forma complessa.



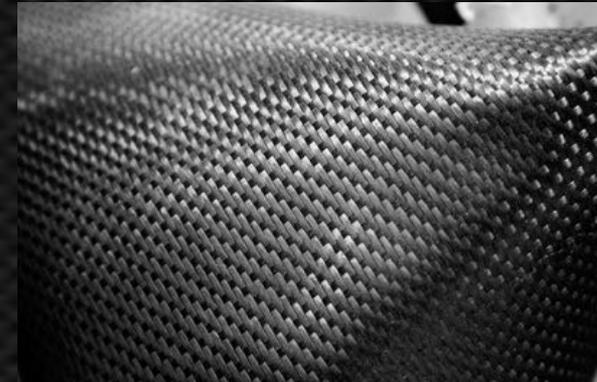
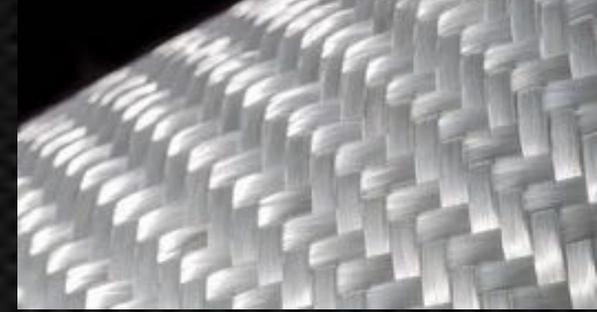
COMPOSITI: Fibrorinforzati

I singoli filamenti sono quasi sempre raggruppati in fasci denominati «**tow**». Ognuno di questi insiemi è formato da migliaia di filamenti (il «**K**»).



COMPOSITI: Fibre

Le fibre più utilizzate nella produzione dei materiali compositi a matrice polimerica sono le **fibre di vetro** (glass) e le **fibre di carbonio** (carbon, graphite). Ampiamente utilizzate sono le **fibre di aramide** (aramid polymer, indicate correntemente col nome commerciale di Kevlar, Du Pont).



COMPOSITI: Vetro

Fibre caratterizzate da **elevata resistenza**, comunemente almeno doppia di quella dei migliori acciai, buona rigidità, basso costo, **bassa conducibilità elettrica e termica**, elevata temperatura massima di esercizio.



COMPOSITI: Vetro

Esistono molti tipi di fibra di vetro utilizzati nella produzione di compositi, quali:

- **C** (Chemical resistance) utilizzato come barriera chimico-resistente
- **S** (Strenght) utilizzato per la sua resistenza a trazione
- **R** (Reinforcement) stessa composizione del S-glass, ma più indicato per l'utilizzo in composito

COMPOSITI: Carbonio

Fibra caratterizzata da **alta resistenza e rigidità**, elevata conducibilità elettrica e termica ed elevatissima resistenza alla corrosione.



Si producono due tipologie di fibre di carbonio:

Il tipo I o **HS (high strength)** caratterizzato da elevata resistenza;

Il tipo II o **HM (high modulus)** caratterizzato da elevata rigidità.

COMPOSITI: Carbonio

Più in dettaglio si distinguono, in base alla rigidità, 5 categorie di fibre di carbonio:

LM – Low Modulus, utilizzato per aumentare la tenacità della matrice;

SM – Standard Modulus;

IM – Intermediate Modulus, detto HT (high tenacity – high strength);

HM – High Modulus;

UHM – Ultra High Modulus, il carbonio più rigido.

COMPOSITI: Fibrorinforzati

La rigidezza deriva prima di tutto dal numero di filamenti per tow (**K**):

- **1K**: impiegato raramente, viene utilizzato per le finiture superficiali poiché è molto «**drappabile**».
- **2K**: molto raro in commercio, è molto leggero e ha il perfetto rapporto flessibilità/rigidezza.
- **3K**: molto comune in commercio, è leggero e abbastanza rigido.
- **6K/9K**: maggiore rigidità, ma drappabilità migliore rispetto al 12K.
- **12K**: più economico, più rigido e più pesante rispetto agli altri, ha un'ottima resistenza a trazione.

COMPOSITI: Aramide

E' prodotto da importanti industrie chimiche che, con i loro nomi commerciali, l'hanno reso noto nel mondo:

Kevlar (Du Pont), **Technora** (Teijin) e **Twaron** (Akzo Nobel)



Elevata resistenza all'urto e alla frattura. Tali proprietà lo fanno preferire per la costruzione di componenti soggetti ad impatto, specie per la balistica.

COMPOSITI: Produzione

I compositi non offrono in qualunque circostanza questi vantaggi. Sono “**materiali da progettare**”: le geometrie disegnate, la scelta di matrice e rinforzo, l’insieme dei processi produttivi impiegati creano la funzione.



ICD/ITKE Research Pavilion 2014 – Achim Menges, Stoccarda

COMPOSITI: Produzione

Fra le tecnologie per la produzione dei compositi, quelle di formatura sono certamente le più consolidate.



Le tecnologie di formatura sono tutti quei processi produttivi **caratterizzati da una deposizione del composito (fibre e matrice) su di uno stampo** opportuno che conferisce allo stesso la forma desiderata a seguito di un processo di polimerizzazione.

COMPOSITI: Produzione

Per tutte le tecnologie di formatura che prevedono un rinforzo a fibra lunga è possibile suddividere il ciclo produttivo essenzialmente in **tre fasi**:

- **Taglio,**
- **Laminazione (Lay-Up)**
- **Polimerizzazione (Cura).**



COMPOSITI: Produzione

Il taglio delle pelli può essere eseguito manualmente oppure può essere un processo completamente automatizzato.



COMPOSITI: Produzione

I **plotter da taglio** sono macchine da taglio semiautomatizzate.

Sono costituite essenzialmente da:

- Un **sistema di alimentazione** in cui è alloggiato un rotolo di preimpregnato;
- un tavolo dotato di **sistema di depressione** per vincolare i fogli di preimpregnato durante l'esecuzione del taglio;
- un **sistema di movimentazione** a 2 o più assi con annessa testa portautensile e l'utensile corredato del suo sistema di alimentazione.

COMPOSITI: Produzione



COMPOSITI: Produzione

Dato l'elevato costo dei prepreg e la scarsità di tempo a disposizione, è di assoluta importanza **massimizzare la produzione** riducendo al minimo gli sfridi durante le operazioni di taglio. Ciò si ottiene effettuando un processo di **nesting**.



COMPOSITI: Produzione

I procedimenti di laminazione vengono correttamente definiti «**Lay-up processes**» e sono basati sulla **sovrapposizione** di un determinato numero di lamine o «**pelli**».



COMPOSITI: Produzione

Il punto di partenza per la laminazione di oggetti in materiale composito avanzato è il **preimpregnato**.



Questo è fornito sotto forma di rotoli di larghezze predefinite e viene stoccato in cella frigorifera (tra i -18° e i -22°) per rallentare il **processo di reticolazione** della resina, che è già innescato.

COMPOSITI: Produzione

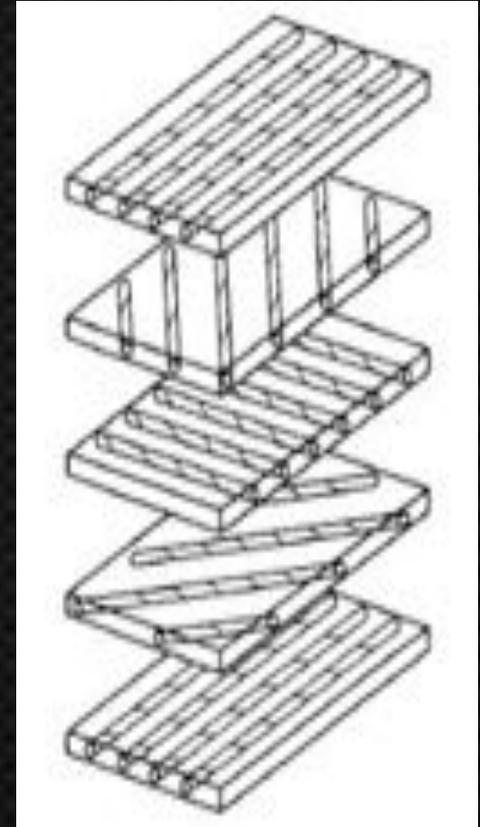
Il processo di laminazione nel quale viene impiegato il preimpregnato è chiamato «**Dry Lay-Up**».



Esiste un insieme di processi di formatura più comuni, impiegati per componenti normalmente di grandi dimensioni, che prevede la laminazione delle pelli a secco e una successiva infusione di resina (RTM). L'insieme di tali processi è chiamato «**Wet Lay-Up**».

COMPOSITI: Produzione

Poiché tali lamine hanno una **elevata resistenza in direzione longitudinale** ma non sempre un'alta resistenza in direzione ortogonale, queste devono essere disposte e orientate in modo da potersi **compensare l'una con l'altra** costantemente.

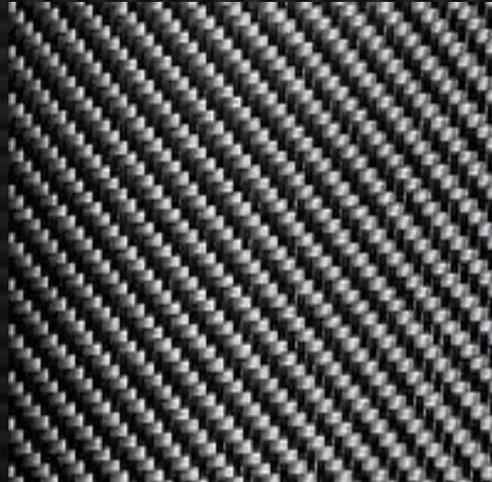


COMPOSITI: Cosa sono?

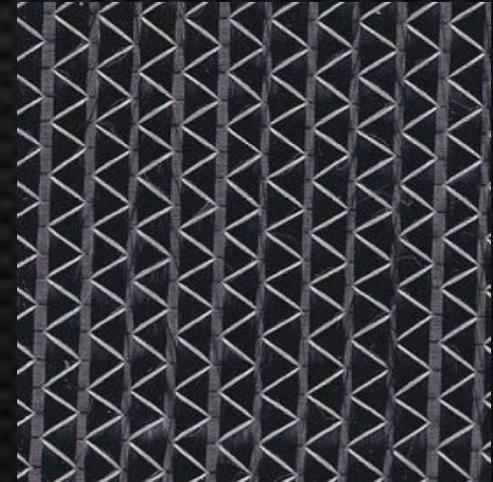
Il prodotto finito è quindi l'insieme di prepreg con rinforzo **unidirezionale** o **multidirezionale** (biassiale, triassiale, ecc.) sovrapposti con un determinato orientamento.



Unidirezionale



Biassiale



Triassiale

COMPOSITI: Produzione

Al fine di **evitare la contaminazione con qualsiasi agente esterno** (es. particelle di polvere) e di evitare l'assorbimento di umidità, il preimpregnato è fornito racchiuso entro opportuni sacchi di plastica sigillati. Per gli stessi motivi, ove possibile, sia la fase di taglio sia quella successiva di laminazione vengono effettuate in un'apposita **camera ad ambiente controllato (clean room)**.



COMPOSITI: Produzione

In clean room, oltre a mantenere entro livelli prestabiliti il grado di **polverosità dell'aria** attraverso un opportuno sistema di filtraggio, si controllano **la temperatura**, che viene mantenuta costantemente sui **20°**, e **l'umidità relativa (fissata al 50%)**. Tutti gli operatori nella stanza devono indossare guanti, speciali tute da lavoro comprensive di cuffia e copriscarpe.



COMPOSITI: Produzione

Si ottengono in questo modo dei manufatti con caratteristiche meccaniche migliori rispetto a quanto ottenibile con altre tecnologie. Affinché la polimerizzazione della resina avvenga correttamente è necessario garantire **l'isolamento tra il volume interno al sacco da vuoto e l'atmosfera esterna pressurizzata di un'autoclave.**



COMPOSITI: Produzione



COMPOSITI: Polimerizzazione

L'**autoclave** è un serbatoio nel quale è possibile variare **temperatura e pressione**, nonché mantenere il vuoto all'interno del sacco. Con questo tipo di impianto il laminato viene sottoposto ad un **ciclo di polimerizzazione a temperatura** mentre contemporaneamente agisce su di esso **una pressione** che garantisce **un adesione ideale** tra le lamine di composito.



COMPOSITI: Polimerizzazione

In altre parole a compattare il laminato è la **differenza di pressione** che si crea fra l'esterno e l'interno del sacco.



Nei cicli standard la camera dell'autoclave è **pressurizzata con aria**. Essendo tuttavia la reticolazione un processo con forte produzione di calore e conseguente possibilità di autocombustione del materiale in taluni casi è preferibile l'utilizzo di gas inerti.

COMPOSITI: Polimerizzazione

**La polimerizzazione avviene con produzione di calore.
Per innescarla, il calore stesso gioca un ruolo essenziale.**

Il processo è costituito essenzialmente da tre fasi:

Gelificazione

Cura

Post-cura

COMPOSITI: Polimerizzazione

Gelificazione: durante questa fase, che avviene solitamente a temperatura ambiente, si ottiene la polimerizzazione di circa il 70% della matrice.



COMPOSITI: Polimerizzazione

Cura: durante questa fase, il polimero viene riscaldato sotto pressione al fine di aumentare la compattezza del materiale assicurando così un buon legame fibra-matrice e minimizzando eventuali tensioni residue formatesi nella fase precedente. In questa fase si ottiene anche **l'allontanamento di eventuali inclusioni di gas.**

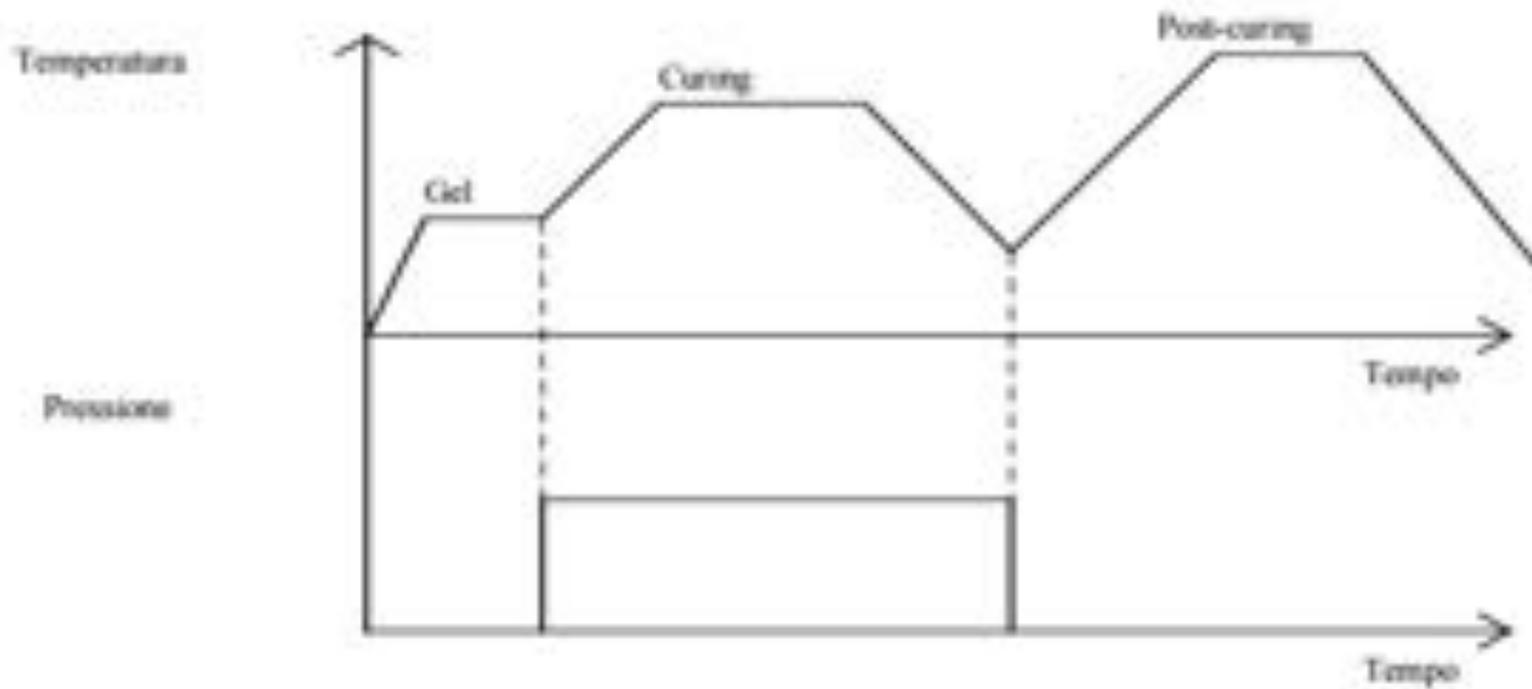


COMPOSITI: Polimerizzazione

Post-cura: durante questa fase il polimero viene riscaldato ad una temperatura superiore a quella precedente al fine di conseguire un ulteriore indurimento della matrice ed un ulteriore rilascio delle tensioni residue eventualmente ancora presenti.



COMPOSITI: Polimerizzazione



COMPOSITI: Polimerizzazione

