

**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



**dipartimento
di ingegneria
e architettura**

LM: Materials and Chemical Engineering for Nano, Bio, and Sustainable Technologies

<https://corsi.units.it/in21/descrizione-corso>

Materiali e sistemi per la transizione energetica – parte II

Prof. Nicola Scuor

Docente dei corsi di «Tecnologia Meccanica», «Polymeric and Composite Materials», «Green Nanotechnologies, Natural and Bioinspired Materials»

I materiali disponibili sono un fattore abilitante per la produzione e l'impiego dell'energia.



© Gary S. Anderson



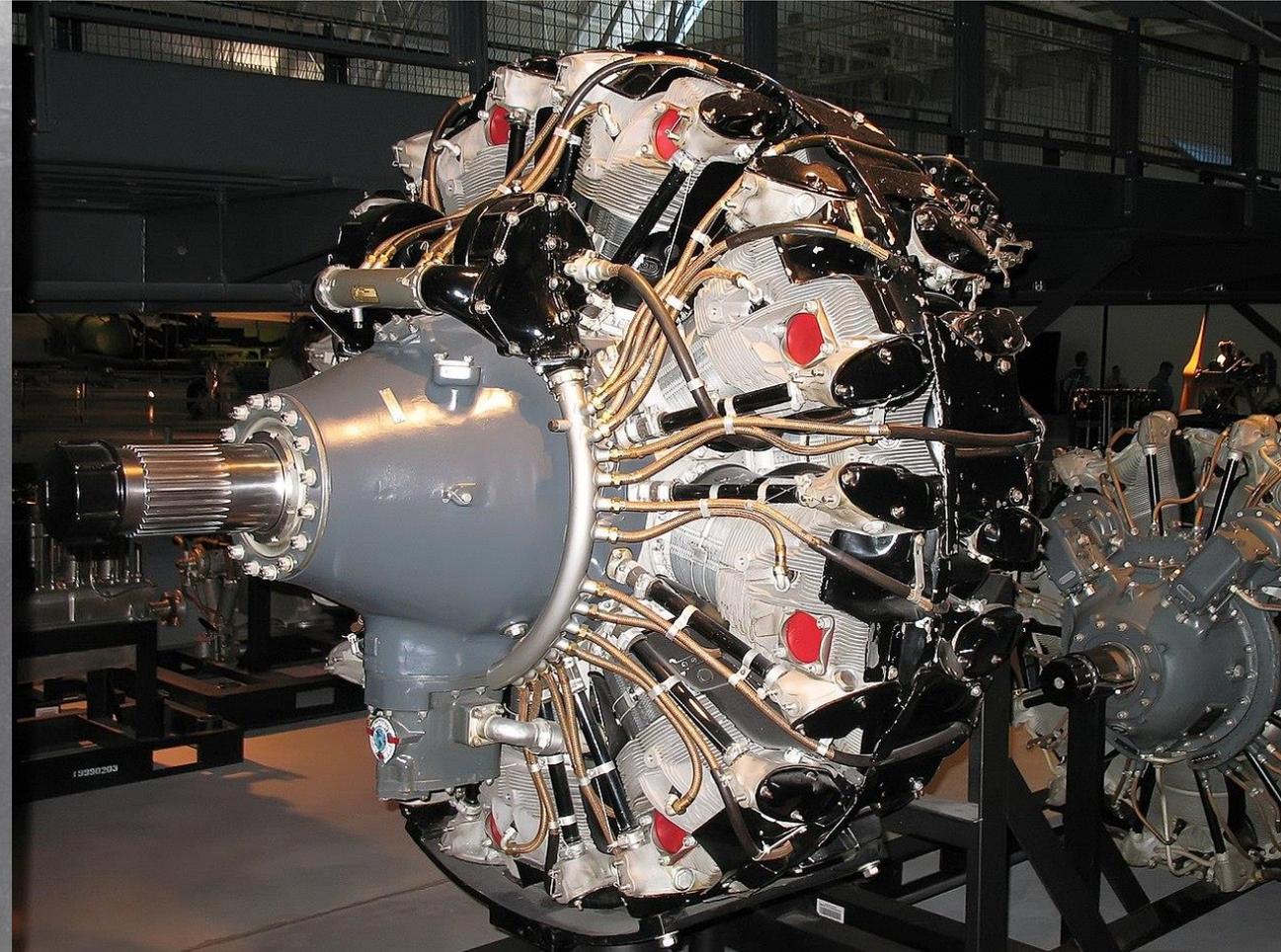
Shinkansen Serie L0 (603 km/h)

L'evoluzione nel settore dei materiali consente la gestione dell'energia disponibile in modo sempre più performante ed efficiente.



- Fusoliera cilindrica in lega di alluminio
- Costruzione rivettata
- Quattro motori a pistoni

Lockheed L-1049 Super Constellation, 1951



Wright R-3350 Duplex-Cyclone

1,210 kg
3,700 hp

La costruzione rivettata garantisce un'ottima affidabilità e resistenza, facilità di ispezione e tolleranza rispetto alle sovra-sollecitazioni.

Tuttavia, l'impatto sull'efficienza aerodinamica è molto importante, a causa delle micro-turbolenze indotte dai rivetti.





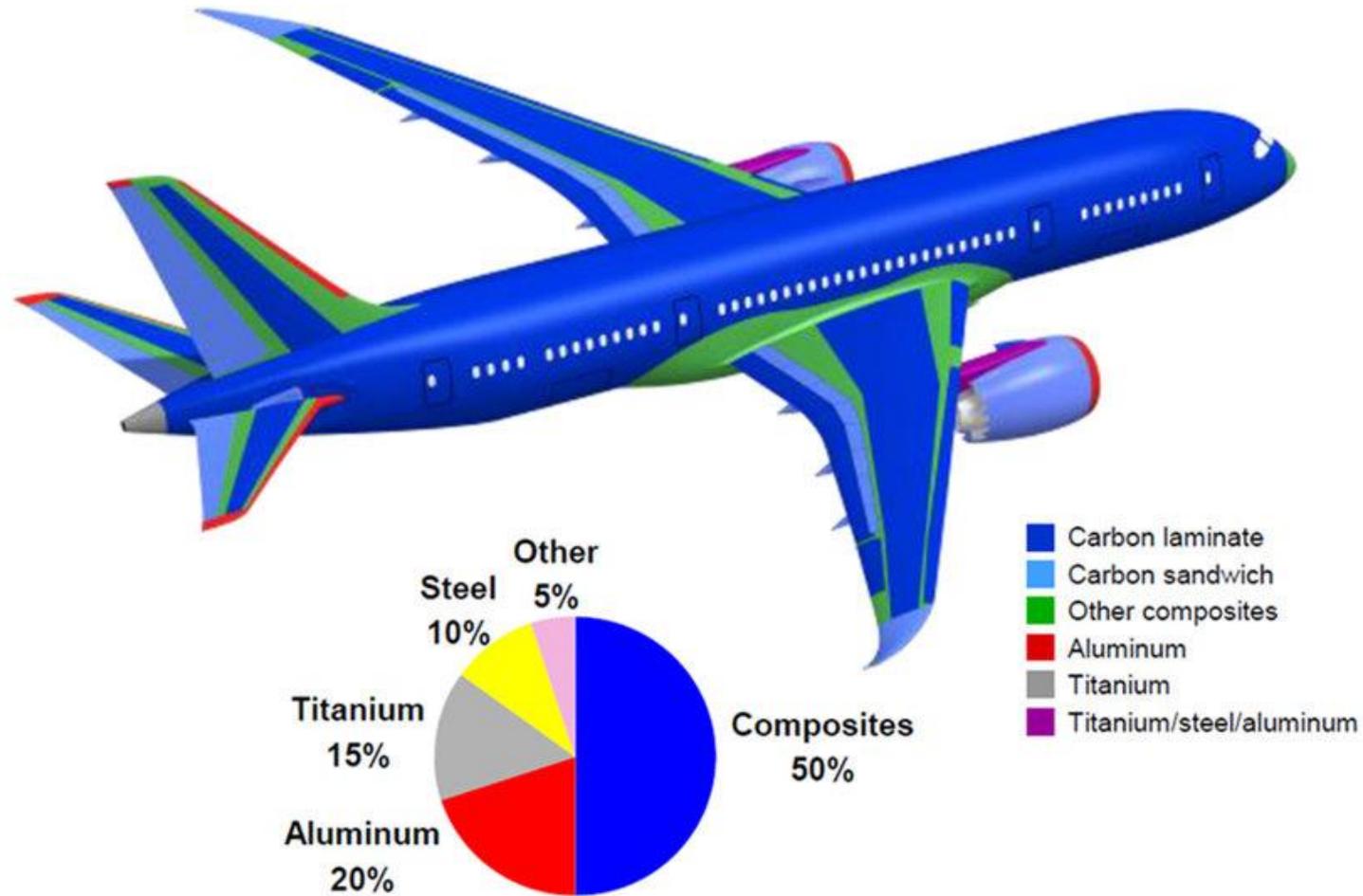
Boeing 787 Dreamliner

- Fusoliera widebody in CRFC
- Costruzione tape-placement
- 2 motori turboventola GENx-1B

Rispetto a velivoli pari classe:

- -1.500 pannelli di AA
 - -200.000 rivetti
 - +20/25% efficienza combustibile
 - -20/30% emissioni CO2
 - -60% impronta acustica
-
- ✓ Elevato allungamento alare
 - ✓ Grandi finestrini
 - ✓ Elevata resistenza a fatica
 - ✓ Peso ridotto
 - ✓ Angolo incidenza ridotto
 - ✓ Resistenza alla corrosione

Una ruolo di primo piano per l'ottenimento di queste prestazioni deriva dai materiali utilizzati per la costruzione del Dreamliner!



Anche le turboventole impiegate utilizzano materiali innovativi.



Pale della ventola e carter in composito.
Bordo d'attacco delle pale in lega di titanio.

Rispetto a motori pari classe:

- -159 kg
- Migliore resistenza alla corrosione
- -13 db rispetto al predecessore GE90
- Compressore con 3 stadi blisk
- Ridotte emissioni Nox
- Elevata affidabilità

Turboventola GEnx-1B

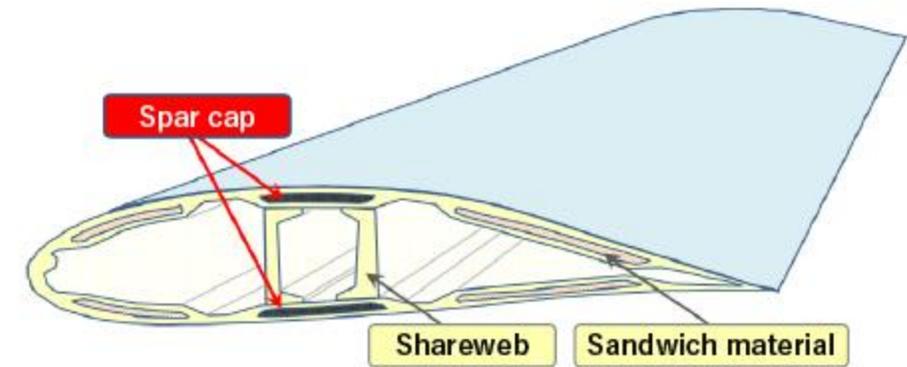
Peso: 5,600 kg

Spinta: 280 kN

Anche le turboventole impiegate utilizzano materiali innovativi.



I CRFP giocano un ruolo fondamentale anche in altri ambiti del settore energetico.



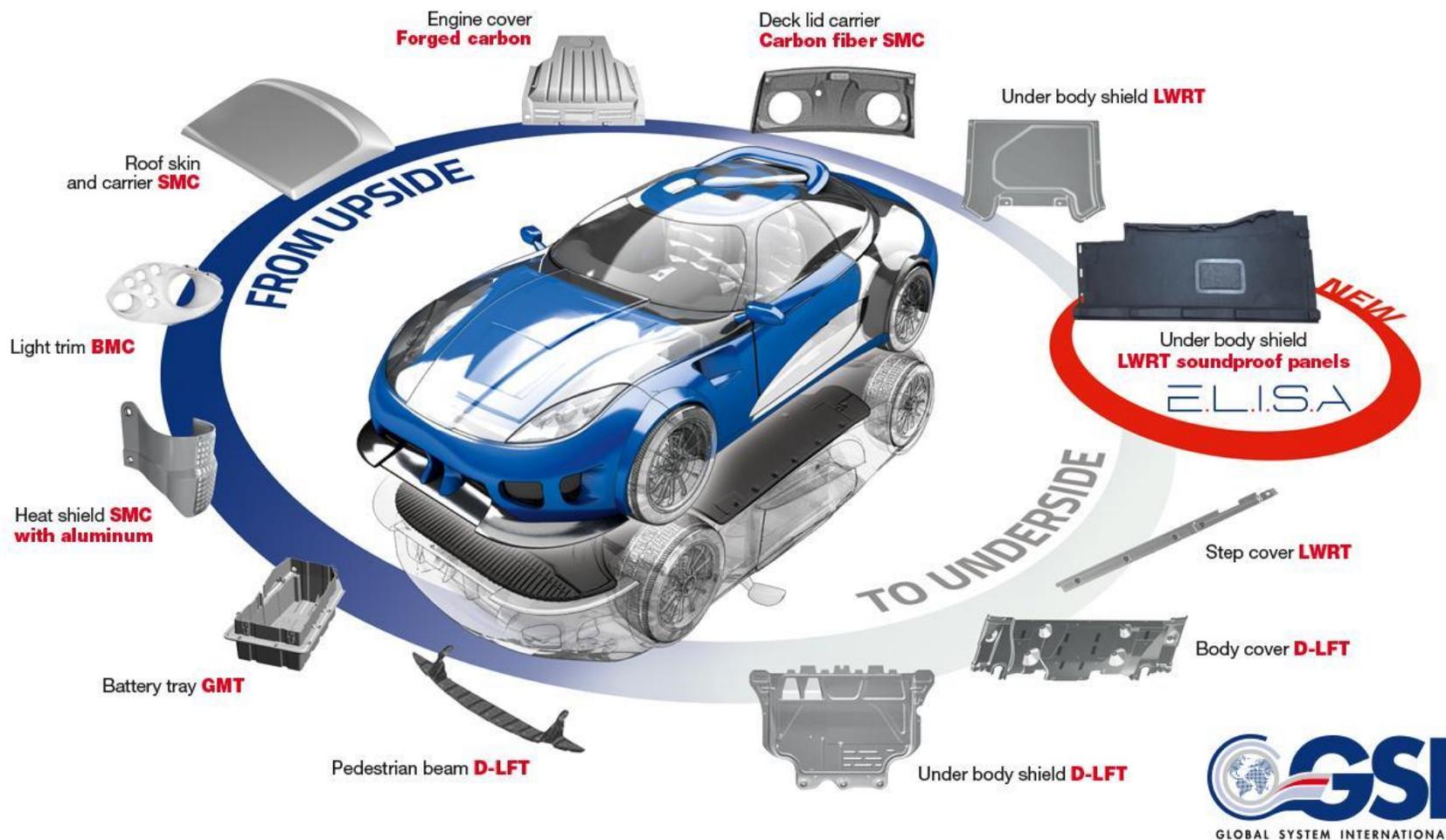
- Elevato rapporto E/ρ
- Elevato rapporto UTS/ρ
- Forme complesse
- Ottima durata ed affidabilità

Sfide:

- Riduzione carbon footprint produzione
- Riciclo

In alcune applicazioni, sarebbe preferibile usare materiali compositi a matrice termoplastica

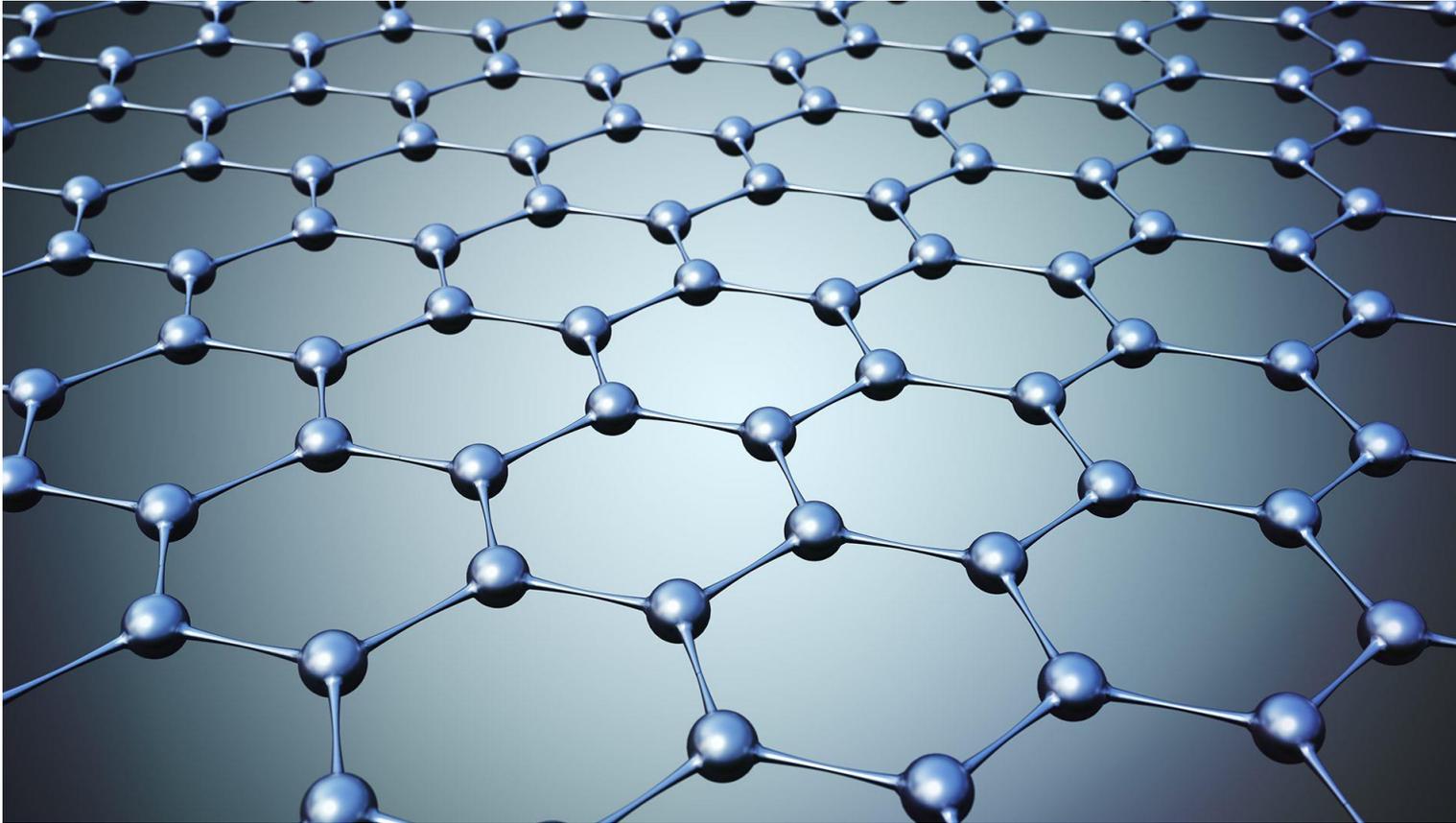
AUTOMOTIVE COMPOSITE TECHNOLOGIES



Obiettivi:

- riduzione peso veicolo.
- Semplificazione processi produttivi.
- Riciclabilità dei materiali.
- Affidabilità e durata.

La matrice termoplastica va necessariamente rinforzata: il grafene



- Strato monoatomico di atomi di C
- Ibridizzazione sp^2 (angoli 120°)
- Resistenza (nel piano) del diamante
- Flessibilità (fuori piano) della plastica

Modulo elastico: 2.4 TPa

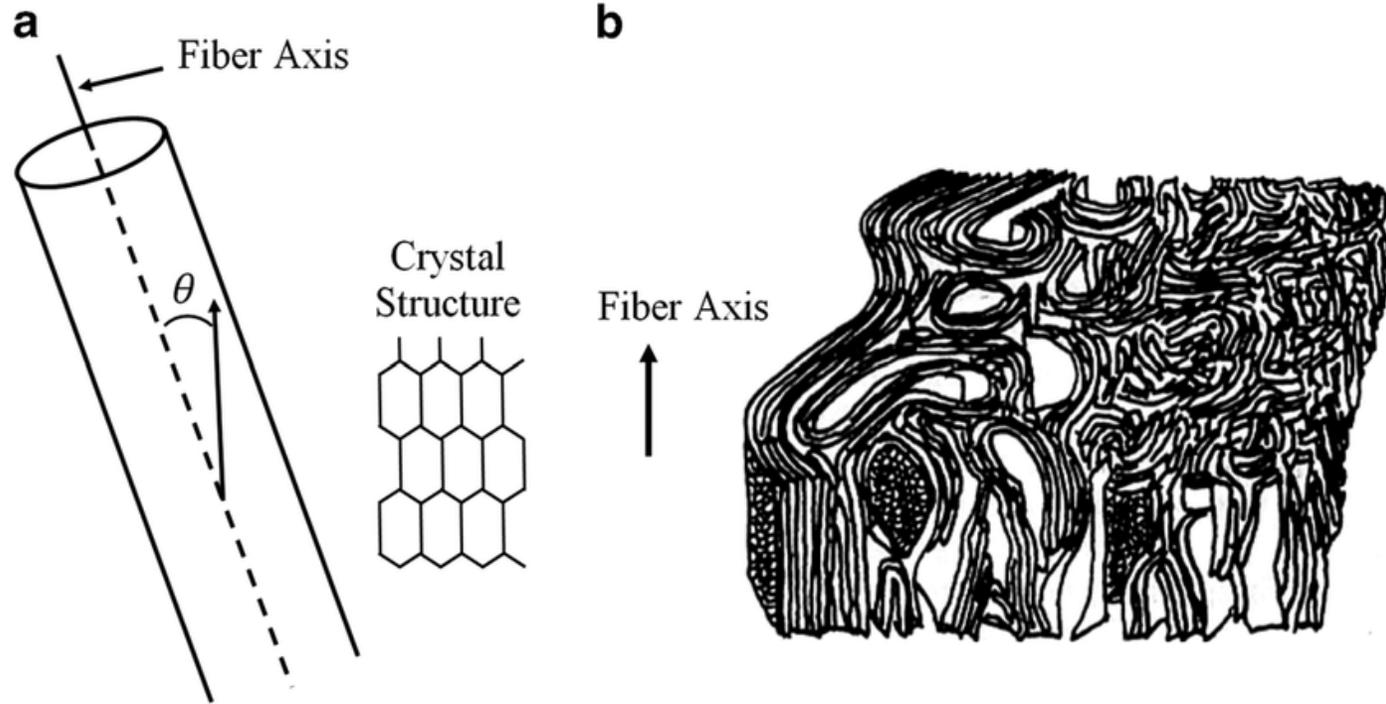
- Acciaio: 200 GPa
- Fibre carbonio: 200 GPa

Resistenza a trazione: 130 GPa

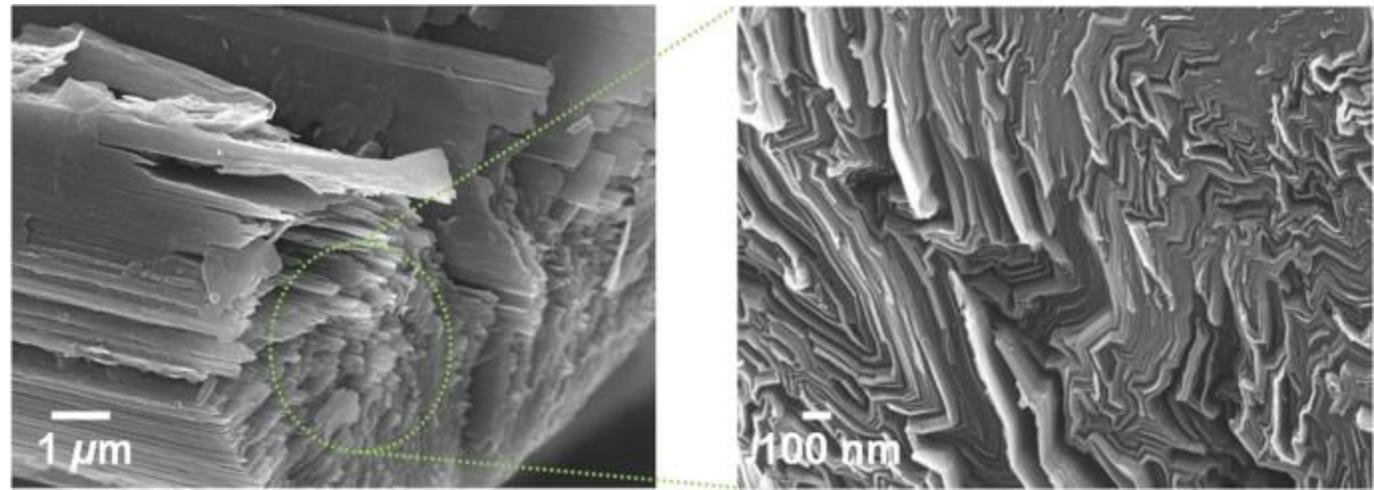
- Acciaio: 400 MPa
- Fibre carbonio: 3.5 GPa
- Kevlar: 375 MPa



Struttura di una fibra di carbonio



Grafite turbostratica

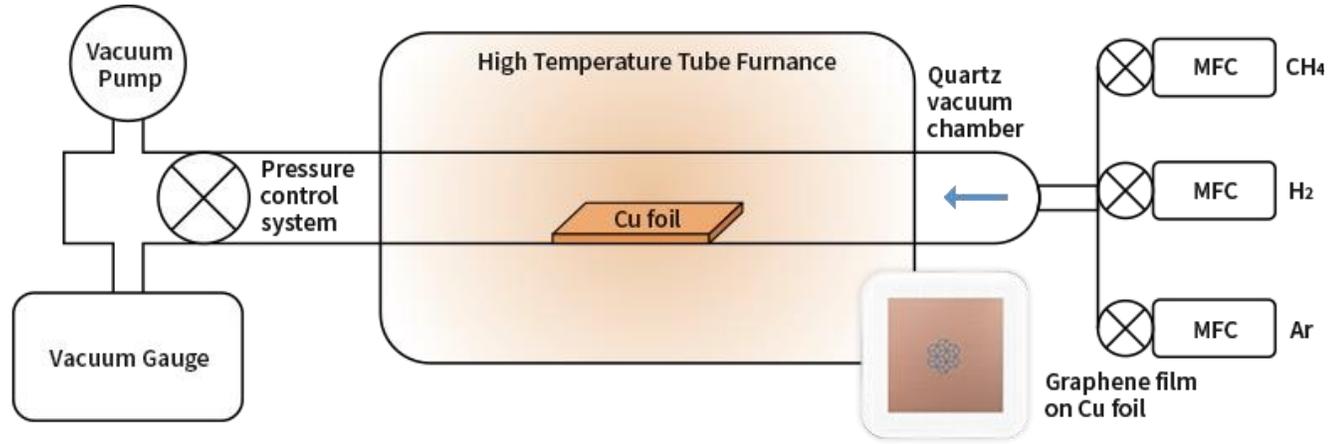


Perché il grafene non viene utilizzato diffusamente? Il problema è la sua produzione.
Ma produrre il grafene in realtà è molto facile!



Metodo top-down
Esfolazione meccanica di grafite

La sfida è produrre quantità sufficienti, a costi accettabili, per poterlo utilizzare ad es. come rinforzo nei materiali compositi.



Chemical Vapor Deposition Method

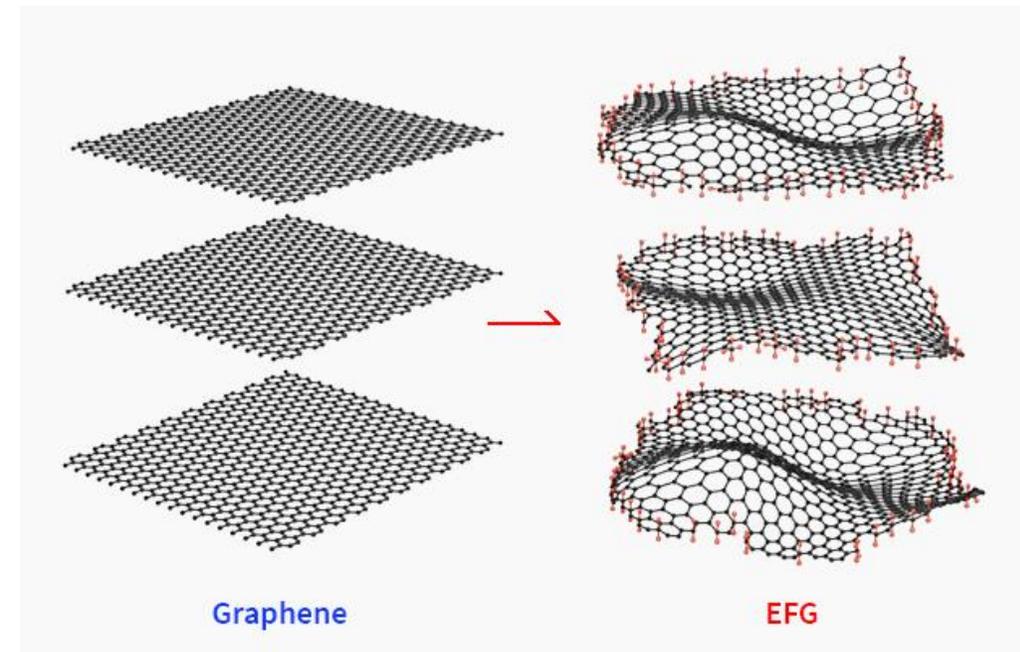
Metodo bottom-up

Crescita CVD

Unico metodo per produrre grafene di alta qualità (es. microelettronica)

Metodo top-down

Esfoliazione in fase liquida

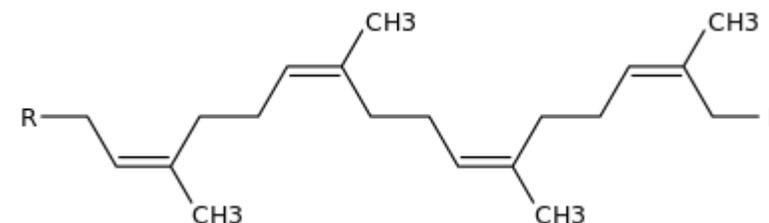
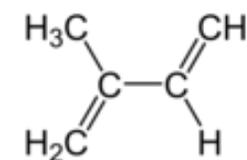


Il carbonio è un elemento chimico molto versatile, che può dare ancora molto in tanti settori, incluso quello dell'energia!

Tra i materiali a base di carbonio, ce ne sono alcuni che potrebbero giocare un ruolo importante per quanto riguarda la riduzione dei consumi energetici. Uno di essi, molto interessante è la gomma naturale (o caucciù).



- Estratto da *Hevea Brasiliensis*
- Si produce per coagulazione del lattice
- Elastomero amorfo
- Poliaddizione dell'isoprene
- Cis-1,4-poliisoprene

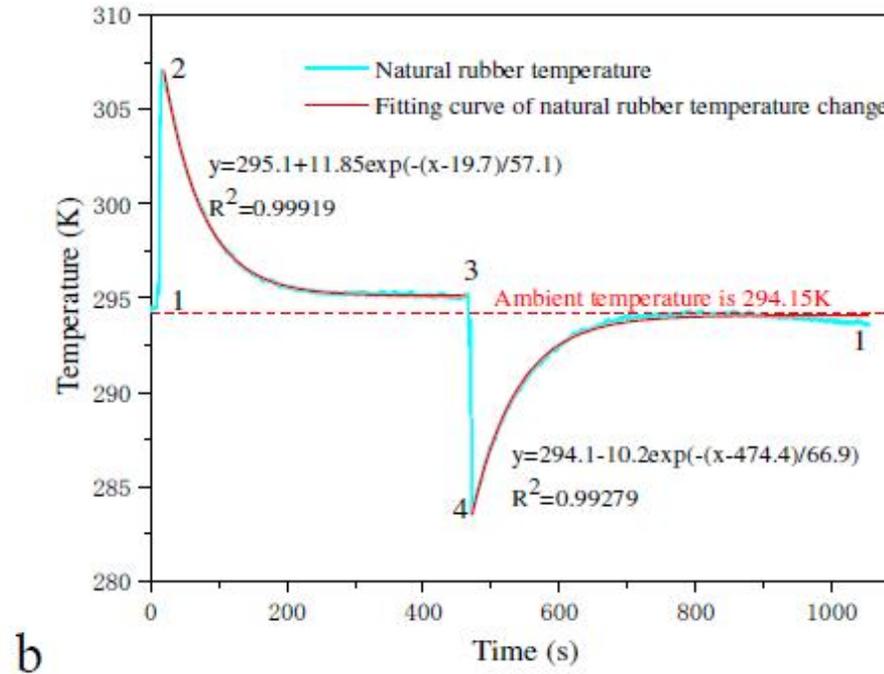
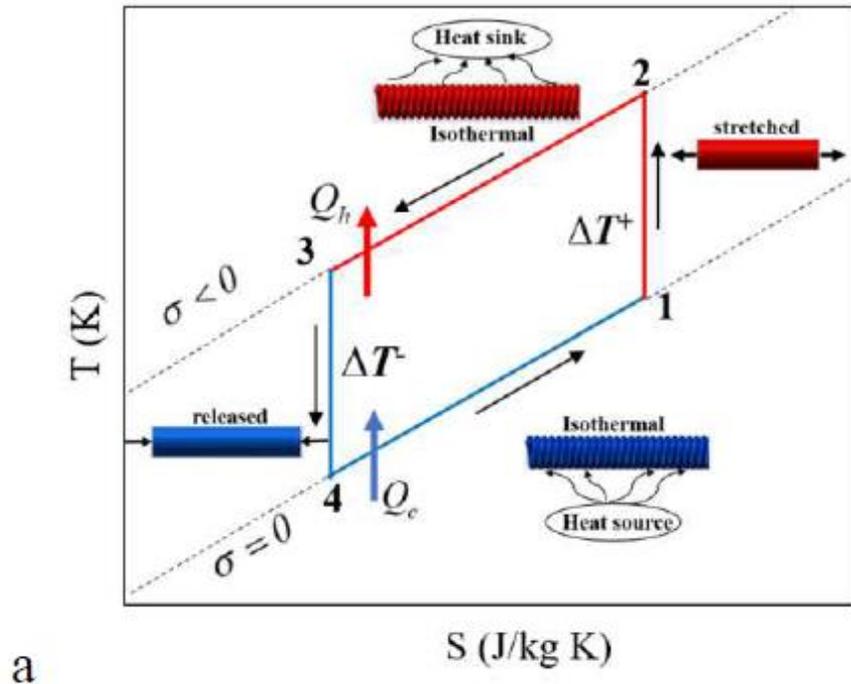


Esperimento:

- Utilizziamo un pezzo di gomma naturale
- [Software termocamera](#)
- python main.py
- Pongo in trazione il pezzo di gomma
- Osservo le variazioni di temperatura

Esperimento:

- Se deformato a trazione un pezzo di gomma naturale, noto che si riscalda.
- Perché? E' una forma di «attrito interno»?
- Se aspetto che la temperatura del materiale ritorni al valore di quella ambiente e poi rimuovo la forza esterna applicata?

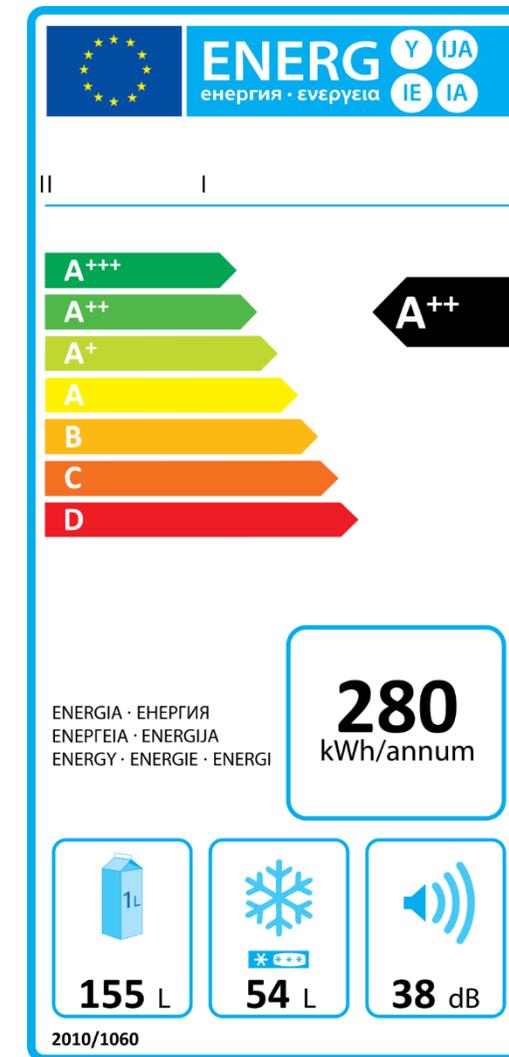
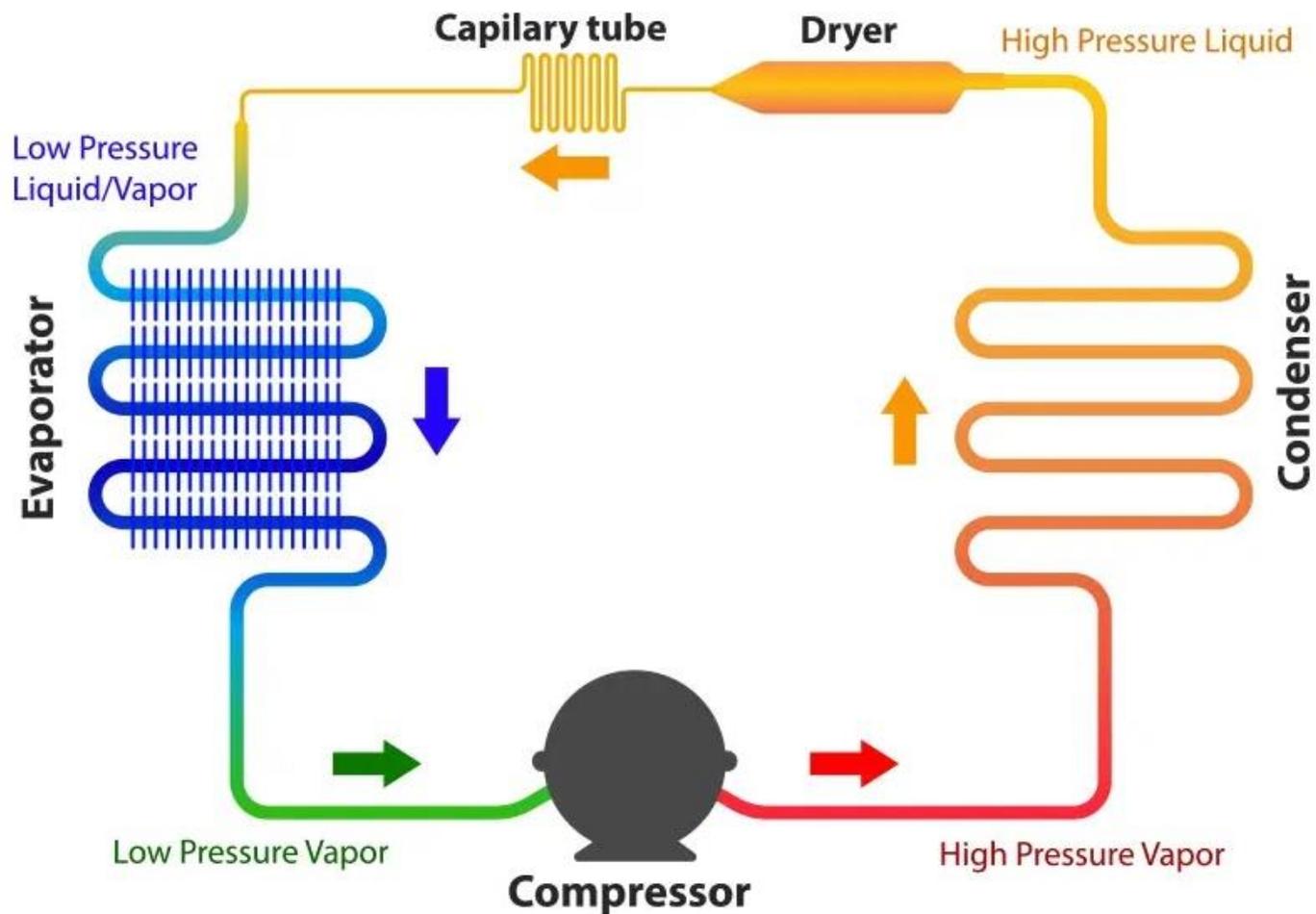


$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Quando allungo la gomma, l'entropia non varia, ma lo stato del sistema è più ordinato => vibrazioni => aumento della T!

Quando rimuovo la deformazione, l'entropia non varia, ma il sistema è più disordinato => meno vibrazioni => riduzione della T.

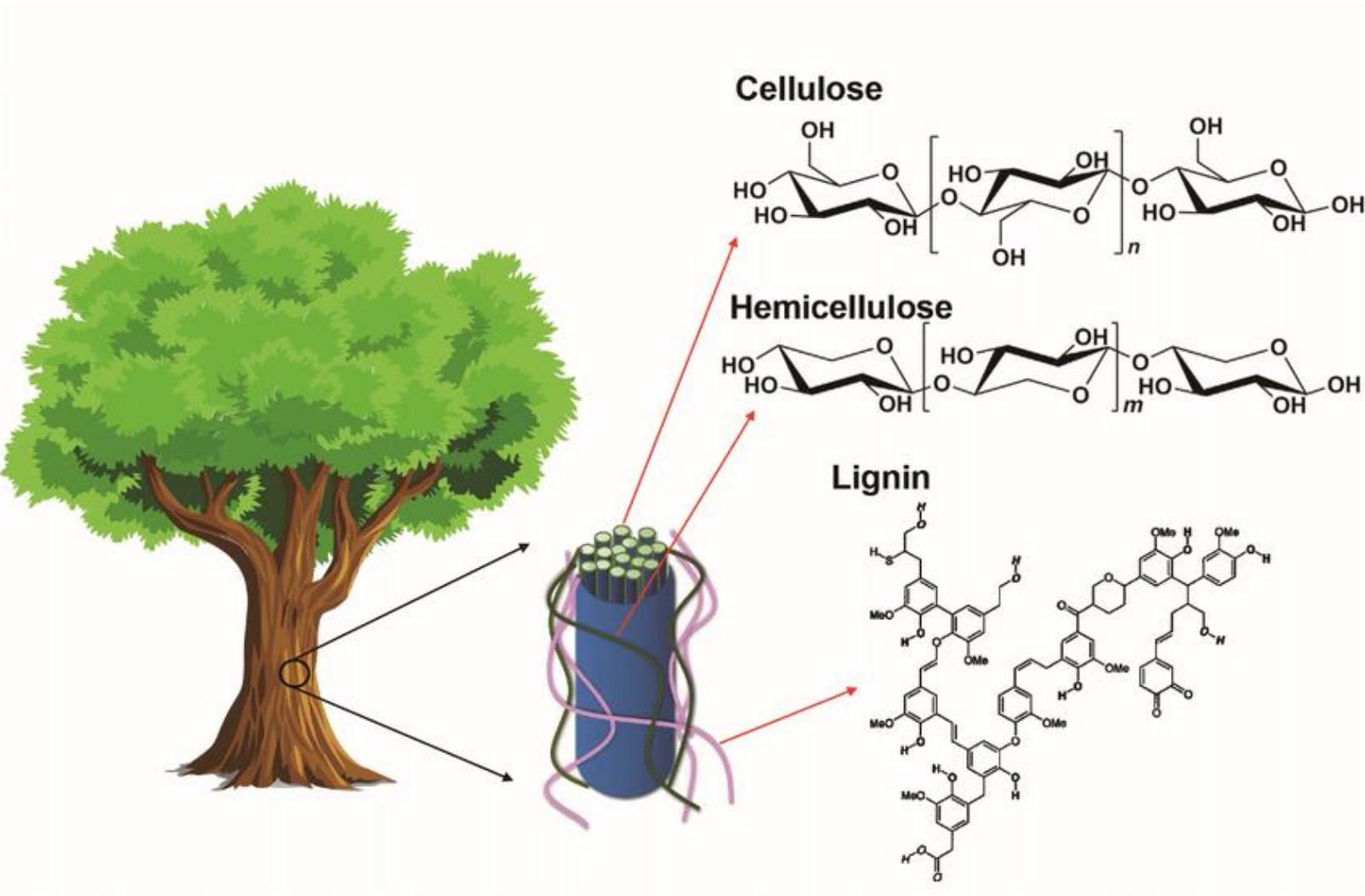
Un materiale con queste proprietà apre una prospettiva interessante: sistemi di refrigerazione a stato solido ad alta efficienza, privi di gas frigoriferi!



Restando sui materiali a base di carbonio, ce n'è un altro, molto interessante dal punto di vista ingegneristico ed ambientale, che vale la pena studiare.



Il legno è composto principalmente da tre fasi (più gli estrattivi), tutte basate su molecole la cui struttura è basata su catene o «reti» di atomi di carbonio.



Perché ci interessa il legno?



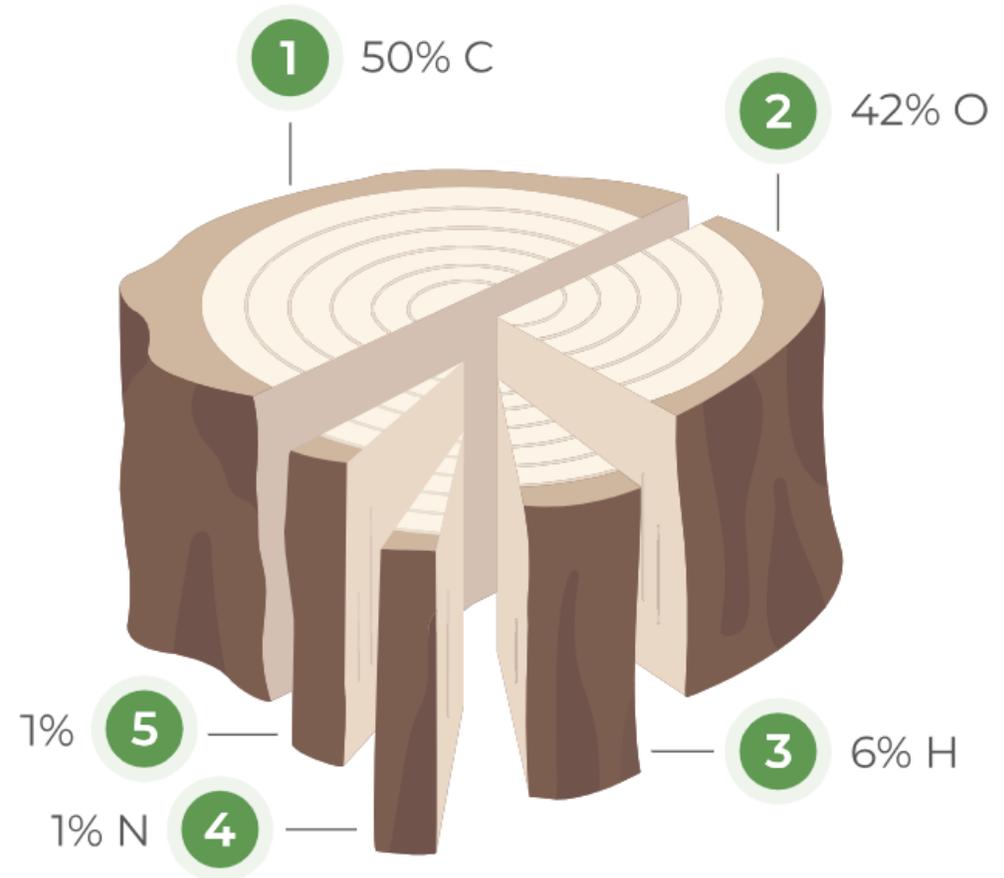
Dry mass: 50% of the tree is the dry mass

C

Carbon: 47.5% of the dry matter of the tree consists of carbon³

H₂O

Water: 50% of the tree is water (20% of that in the roots)



Perché ci interessa il legno?

Il processo di formazione del legno può essere suddiviso in quattro passi:

1. La pianta assorbe acqua e sali minerali attraverso le radici, per formare la linfa.
2. La linfa (grezza) risale dalle radici verso le foglie. Le foglie assorbono CO_2 e acqua.
3. Le foglie utilizzano la clorofilla e la luce solare per convertire la CO_2 e l'acqua in glucosio, che andrà a formare i polisaccaridi di cui sono costituite le parti strutturali della pianta. Il glucosio viene utilizzato anche come fonte di energia per sostenere il metabolismo cellulare della pianta.
4. Viene rilasciato O_2 ed il glucosio viene distribuito nella pianta, trasportato dalla linfa elaborata.



Perché ci interessa il legno?

Quanta CO₂ viene «fissata» dal legno prodotto? Possiamo fare una rapida stima:

- Immaginiamo un albero di 1,000 kg con il 100% di umidità. Questo albero contiene 500 kg di acqua e 500 kg di massa secca. E sappiamo che circa il 50% di quella massa secca è carbonio: sono 250 kg.
- Ci vogliono 3.67 kg di CO₂ per ogni kg di carbonio nell'albero, infatti il carbonio ha una massa molare di 12 e l'ossigeno 16, per cui la CO₂ ha una massa molare di 44. $44:12 = 3.67$.

Quindi $250 \times 3.67 = 917$ kg di CO₂ circa.

Pertanto, ogni t di legno «immagazzina» circa 900 kg di CO₂!

Un albero che pesa una tonnellata può avere dai 30 ai 40 anni: assumendo che abbia 35 anni, l'albero in questione ha assorbito circa 25 kg di CO₂ all'anno.

Perché ci interessa il legno?

Supponendo che la densità del legno sia circa 1 t per m³, ed assumendo che la concentrazione di CO₂ nell'aria sia di 400 ppm, ovvero 0.04% (0.0004), considerando che 1 m³ di aria pesa circa 1.3 kg, possiamo quindi dire che

- Volume di CO₂ contenuta in 1 m³ di aria: $1 \times 0.0004 = 0.0004 \text{ m}^3$ (0.4 l)
- Massa di CO₂ contenuta in 1 m³ di aria: $0.4 : 22.4 \times 44 = 0.78 \text{ g}$
- CO₂ «immagazzinata» da 1 m³ di legno: 900 kg
- Volume di aria purificato: $900,000 : 0.78 = 1,153,000 \text{ m}^3$ circa

Quindi, ogni m₃ di legno prodotto da un albero, contribuisce a «purificare» più di 1 milione di m₃ di aria dalla CO₂ presente.

Nota 1: affinché ciò avvenga, una foresta deve essere in crescita!

Nota 2: il legno continua a mantenere la CO₂ immagazzinata anche se è «morto», purché non subisca fenomeni di degrado biologico.

Perché ci interessa il legno?

Una pianta molto interessante, da questo punto di vista è il bamboo (termine che racchiude un'ampia famiglia di piante erbacee).



Perché ci interessa il legno?

- Un ettaro (circa un campo da calcio) di bamboo può produrre, se ben gestito, più di 300 t di biomassa all'anno. Ciò corrisponde a 270 t di CO₂ fissata.
- Un automobile produce mediamente 100/130 g di CO₂ per km percorso; considerando una percorrenza media di 20.000 km/anno, la produzione totale di CO₂ ammonta indicativamente a $130 \times 20.000 = 2.600.000$ g di CO₂, cioè 2.6 t.
- Quindi, la nostra foresta di bamboo è in grado di fissare la CO₂ prodotta da $270 : 2.6 =$ circa 100 veicoli che circolano ogni giorno!
- Se taglio il bamboo una volta all'anno, posso farlo ricrescere e quindi avrò un assorbimento continuo di anidride carbonica.

Ma cosa posso fare del materiale tagliato?

Perché ci interessa il legno?

Alcuni impieghi nei quali il bamboo viene utilizzato come materiale durevole: costruzioni



Perché ci interessa il legno?

Alcuni impieghi nei quali il bamboo viene utilizzato come materiale durevole: mobili



Perché ci interessa il legno?

Alcuni impieghi nei quali il bamboo viene utilizzato come materiale durevole: oggetti



Perché ci interessa il legno?

Grazie per l'attenzione!