

# L'affascinante mondo delle fibre (e non solo)



UNIVERSITA'  
DEGLI STUDI  
DI TORINO

*Dipartimento di Chimica*

*Via Giuria 7, 10125 Torino*



chimica

Federico Cesano

FORMAZIONE PROFESSIONALE INSEGNANTI

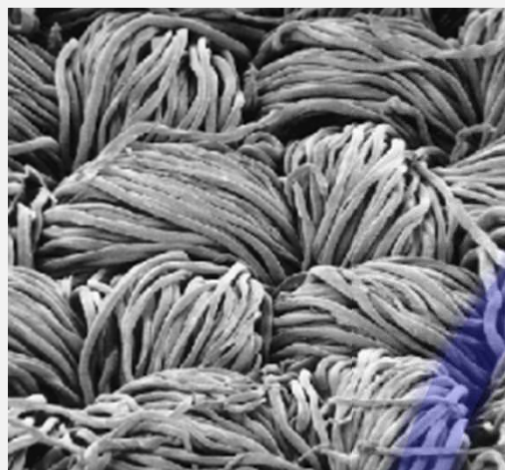
PIANO NAZIONALE  
LAUREE SCIENTIFICHE



PLS Progetto Nazionale di Scienza dei Materiali

Torino, 28/02/2017

Inserire nella barra degli indirizzi del browser (senza http\\:) [goo.gl/fVT07p](http://goo.gl/fVT07p) per accedere ai contenuti multimediali di questa presentazione



## Il «mondo» delle fibre



F. Cesano, *L'affascinante mondo delle fibre (e non solo)*

Torino, 28/02/2017

## Sommario

- Fibre naturali e fibre artificiali
- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi
- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”
- Tessuti autopulenti e antimacchia
- Il «mantello dell’invisibilità»
- Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche

# Sommario

## - Fibre naturali e fibre artificiali

- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi

- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”

- Tessuti autopulenti e antimacchia

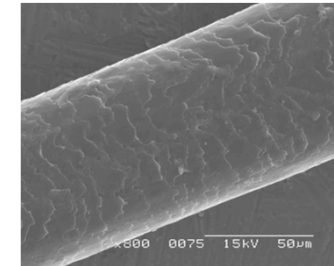
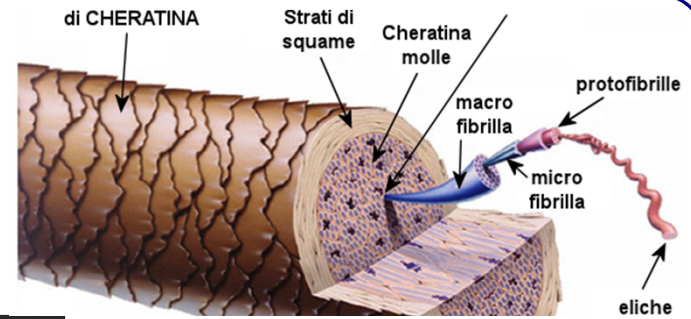
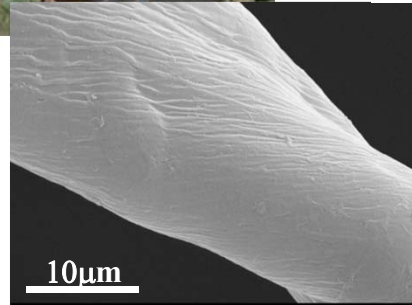
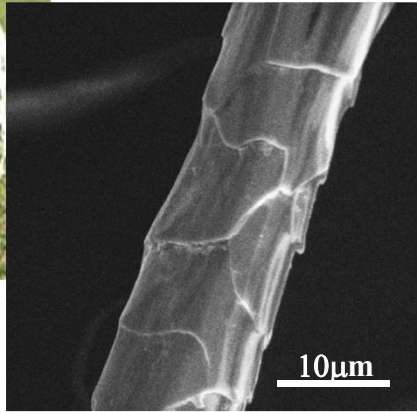
- Il «mantello dell’invisibilità»

- Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche

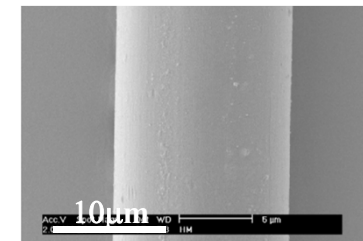
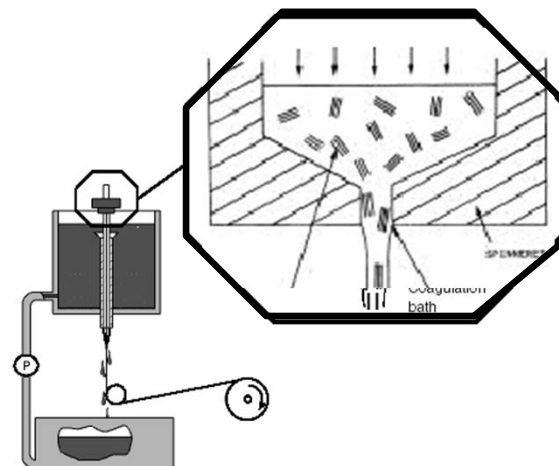
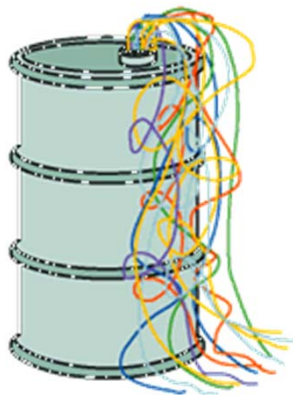


# cosa sono ... le fibre?

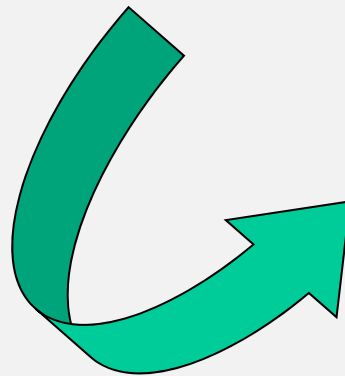
## Fibre naturali



## Fibre artificiali



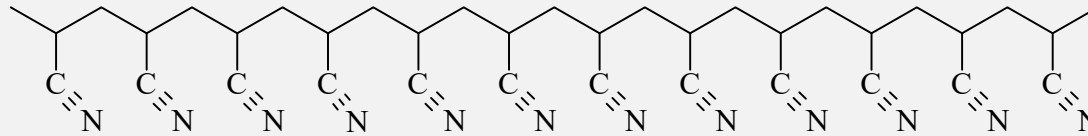
## Il riciclo della plastica: un modo per ottenere oggetti ad un più alto valore aggiunto



## Sommario

- Fibre naturali e fibre artificiali
- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi
- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”
- Tessuti autopulenti e antimacchia
- Il «mantello dell’invisibilità»
- Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche

## Dalle fibre di poli-acrilonitrile (PAN) ...

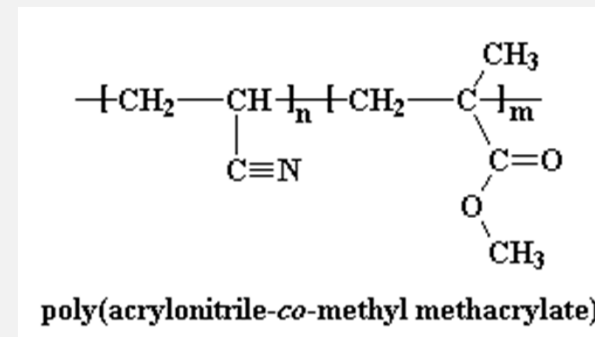


Un tessuto "acrilico" è fatto con qualche copolimero del **poliacrilonitrile**. Di solito i tessuti sono copolimeri di acrilonitrile e metilacrilato, o acrilonitrile e metil metacrilato

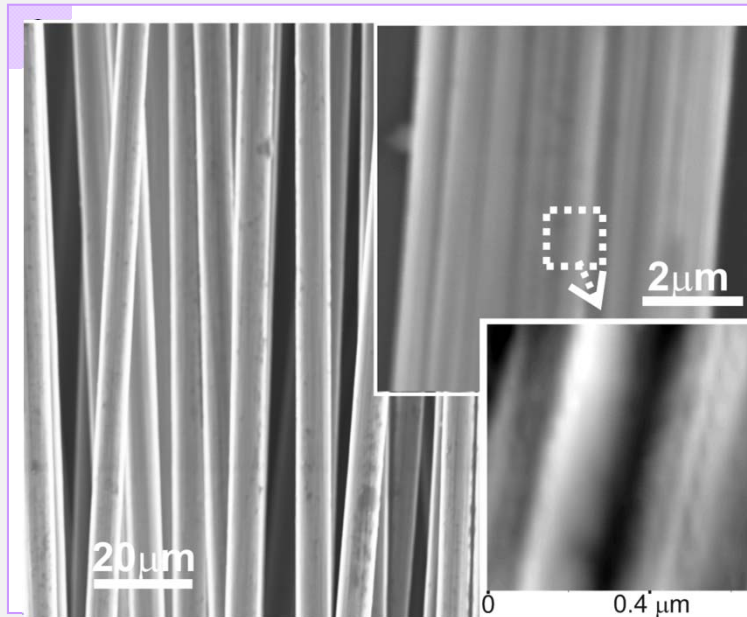
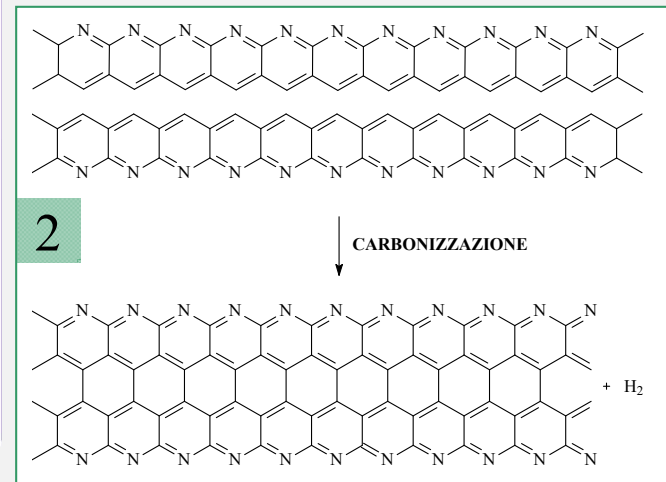
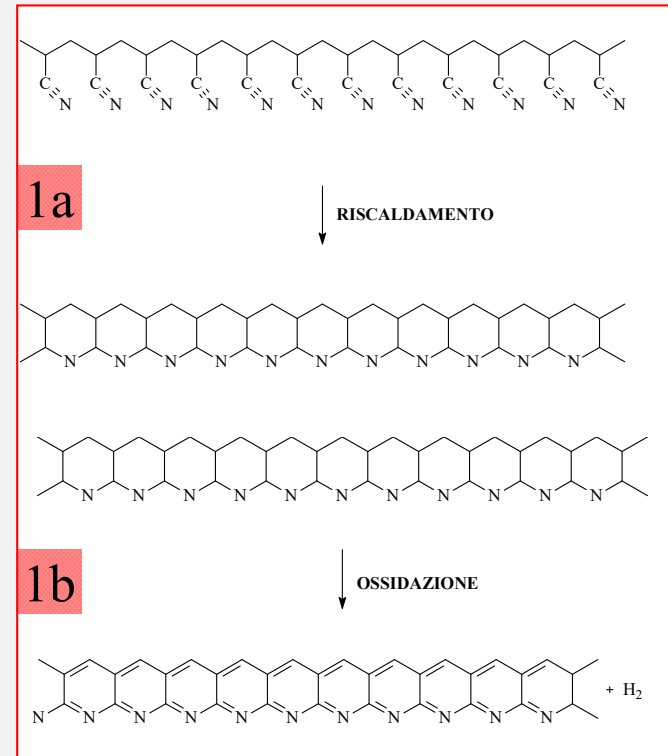
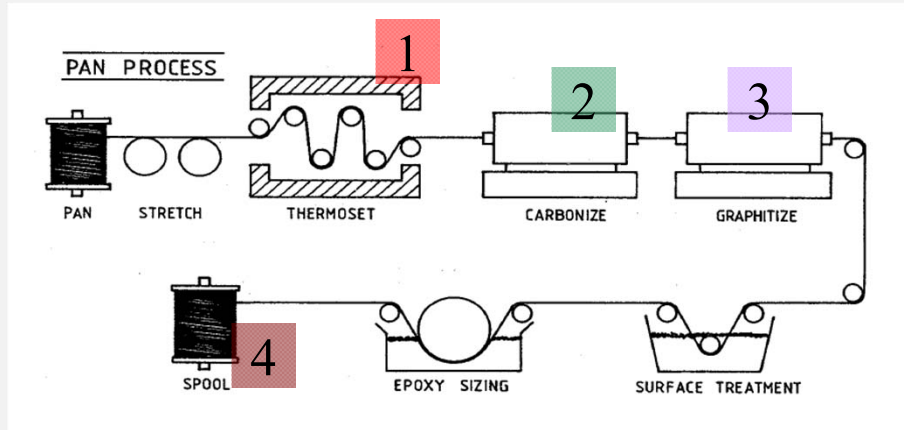
Un copolimero è:

-A-B-A-B-A-B- oppure

-A-A-A-B-B-



... si ottengono le fibre di carbonio



## Proprietà meccaniche delle fibre di carbonio

Materiale	Rigidezza a trazione (N/mm <sup>2</sup> )	Resistenza a trazione (N/mm <sup>2</sup> )	Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )
ACCIAIO	210.000	2.500	7,8
FIBRA DI CARBONIO	260.000	2.500	1,9

Nella prima colonna è indicato il valore della rigidezza a trazione. Maggiore è questo valore, maggiore è la rigidezza del materiale; la seconda colonna riporta il valore della resistenza a rottura, ossia il carico di trazione che applicato ad un provino di quel materiale porta alla rottura dello stesso. Nella terza colonna è riportato il peso specifico del materiale. Si possono così notare le eccezionali caratteristiche meccaniche delle fibre di carbonio, pari a quelle dell'acciaio, ma con un peso specifico notevolmente inferiore.

Le fibre di carbonio non si usano da sole, ma vengono impiegate per rinforzare altri materiali, come i polimeri.

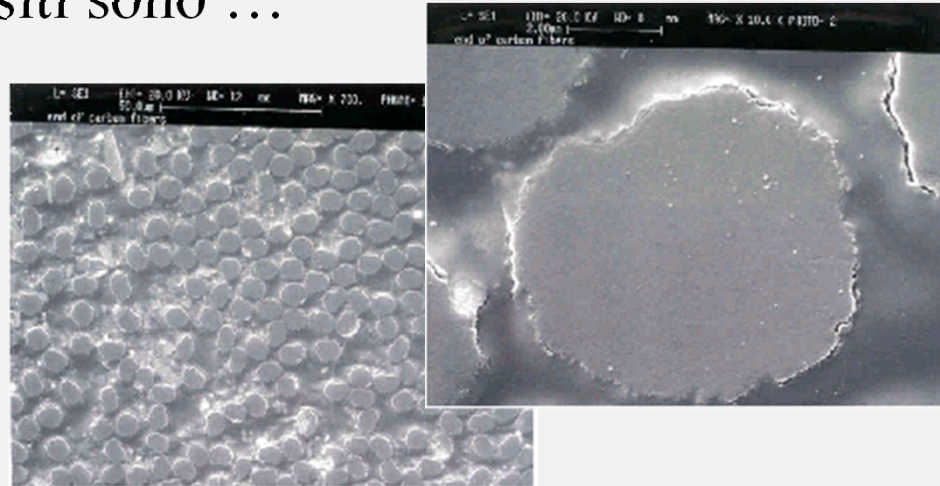
Perché??!!!

Le fibre da sole non hanno caratteristiche meccaniche sufficienti!

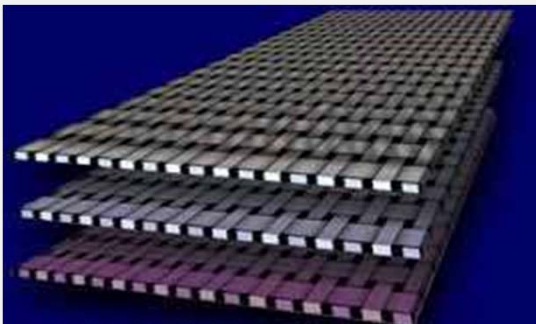


## I materiali compositi sono ...

... formati dall'insieme di due o più materiali o "fasi":



Questi materiali "rinforzati" prendono il nome di compositi perché contengono appunto più di un componente, ognuno dei quali ha una funzione specifica (resistere alle sollecitazioni meccaniche, trasferire/ripartire i carichi, etc.)



Il *segreto* dei materiali a base di fibre (vetro, carbonio, Kewlar, etc.) è che i vari strati di tessuto possono essere preparati tenendo conto delle sollecitazioni che il prodotto finale deve sopportare.

# ... alcuni esempi di manufatti ed applicazioni di materiali a base di fibre di carbonio





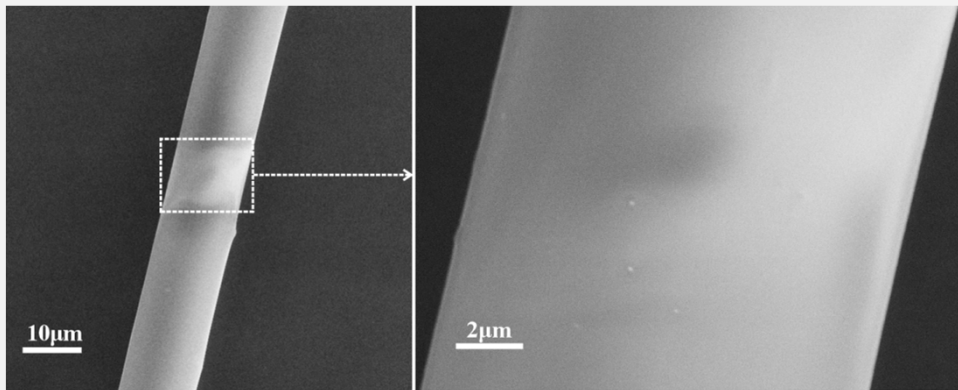
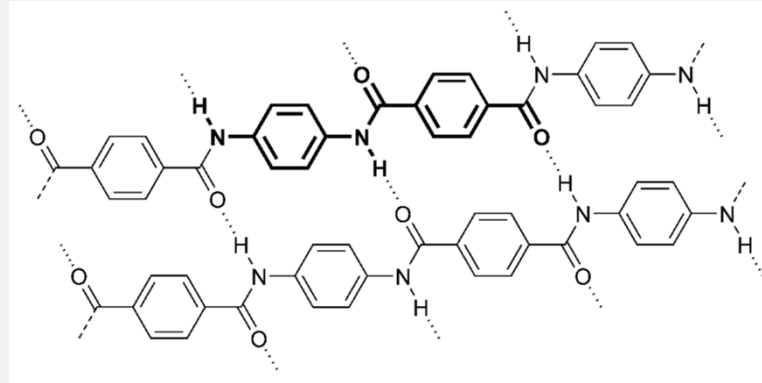
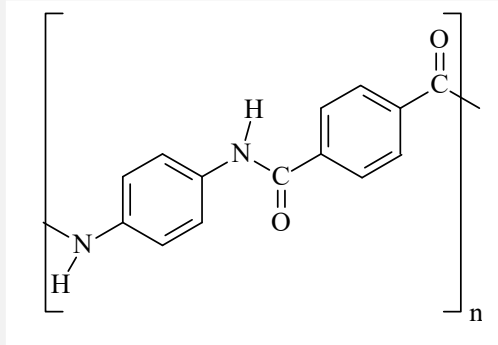
... ancora ...



F. Cesano, *L'affascinante mondo delle fibre (e non solo)*

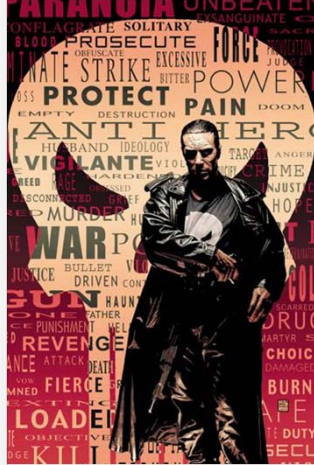
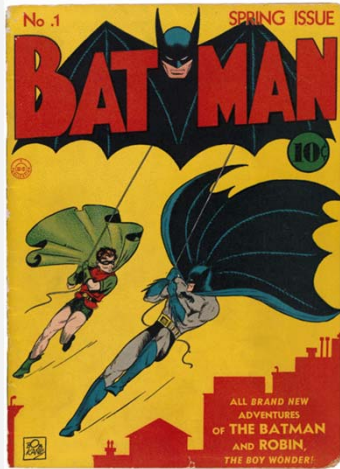
Torino, 28/02/2017

# Le fibre p-aramidiche (Kewlar): altri esempi di materiali compositi





# Alcuni manufatti di materiali compositi a base di fibre di Kewlar



## Sommario

- Fibre naturali e fibre artificiali
- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi
- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”
- Tessuti autopulenti e antimacchia
- Il «mantello dell’invisibilità»
- Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche



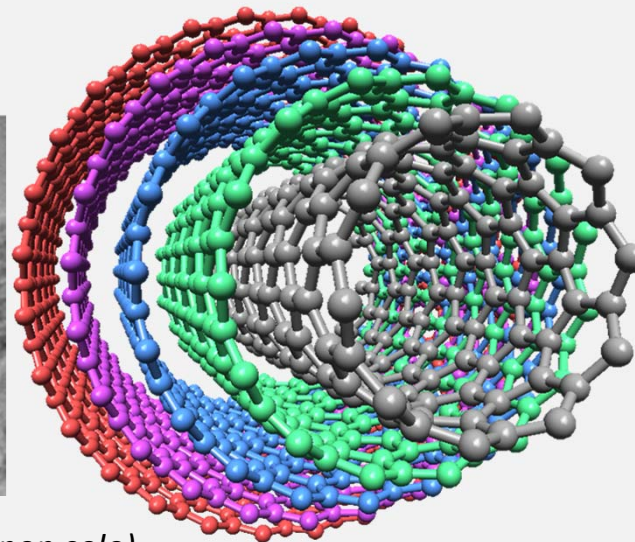
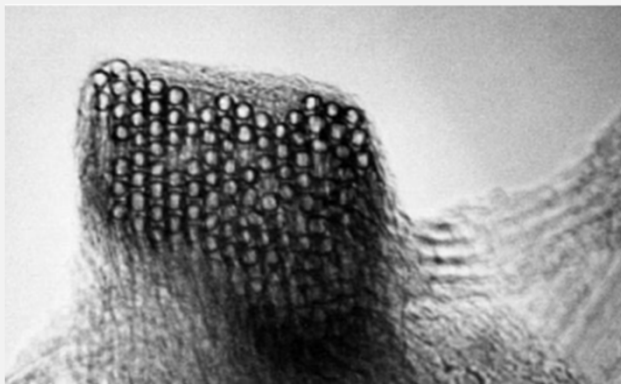
# Fibre intelligenti

componenti elettronici miniaturizzati, di chip  
e di sensori incapsulati in involucri speciali  
inclusi nei tessuti

Tessuto ottenuto  
intrecciando fibre  
tessili rivestite da  
un sottile strato di  
materiale  
conduttore. In  
questo modo  
hanno ottenuto  
veri e propri  
circuiti elettrici



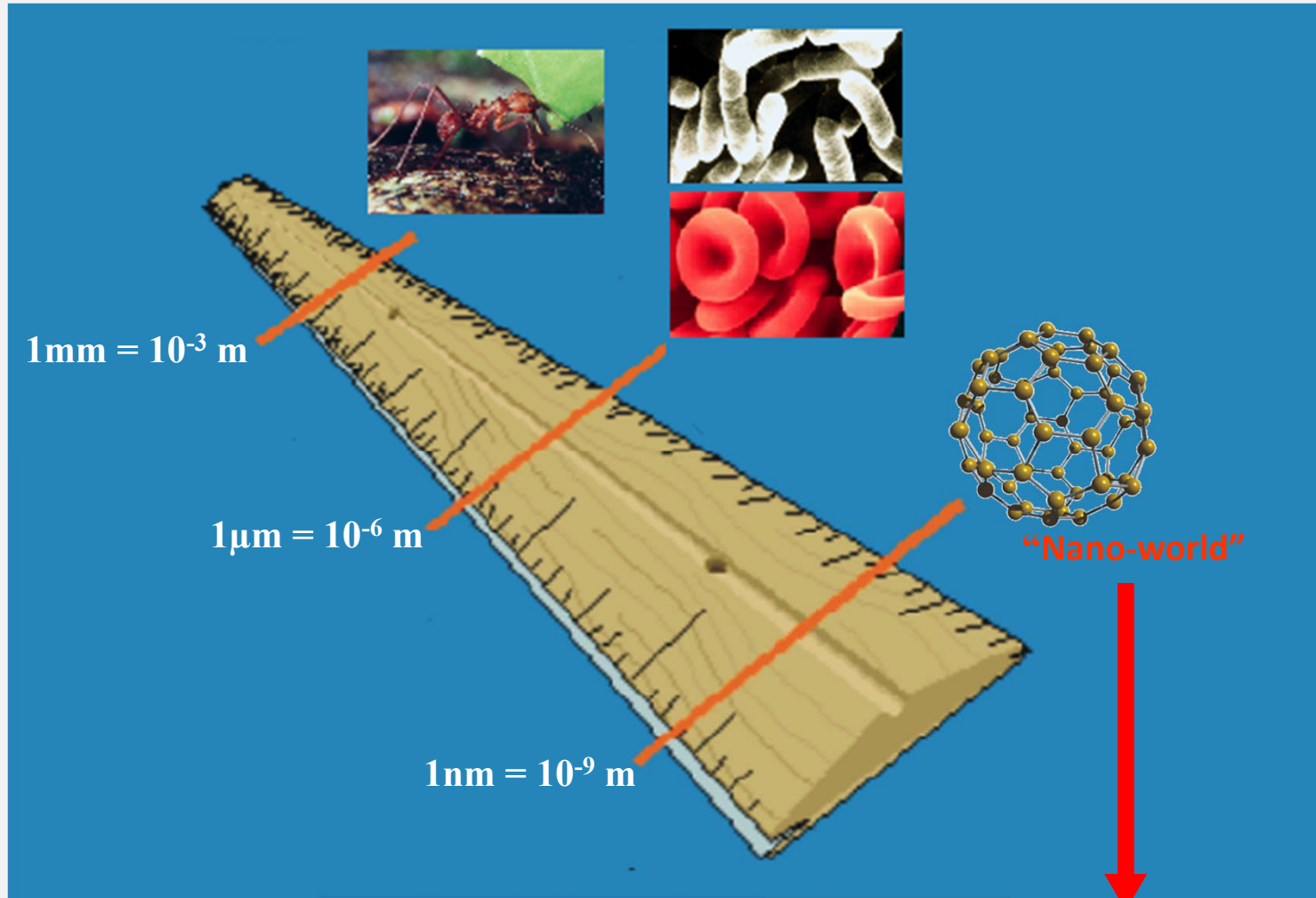
... Il futuro non è poi così lontano ...



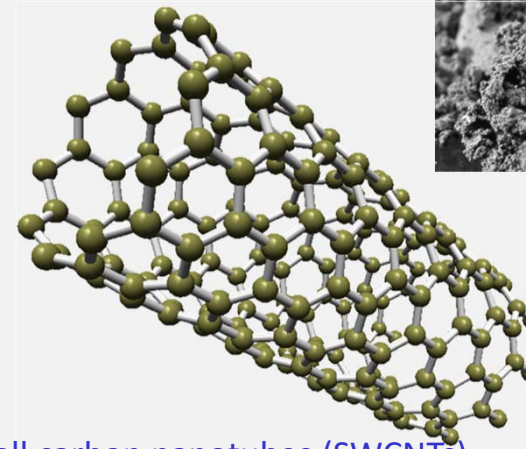
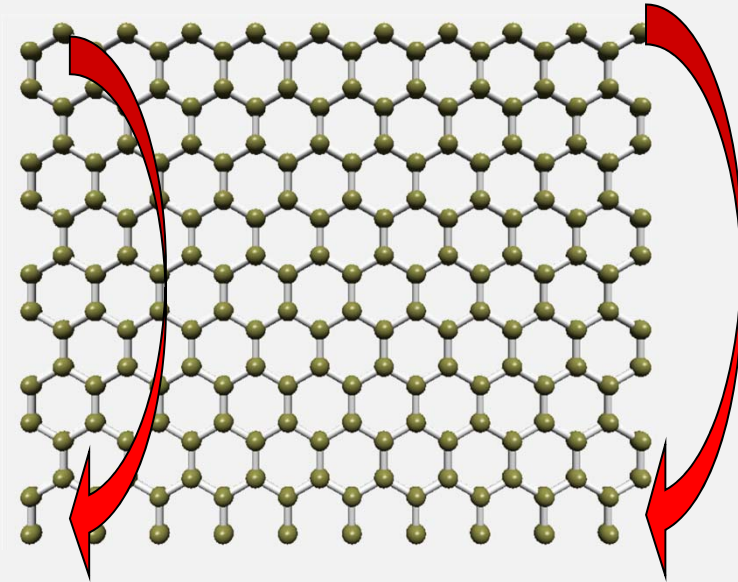
F. Cesano, *L'affascinante mondo delle fibre (e non solo)*

Torino, 28/02/2017

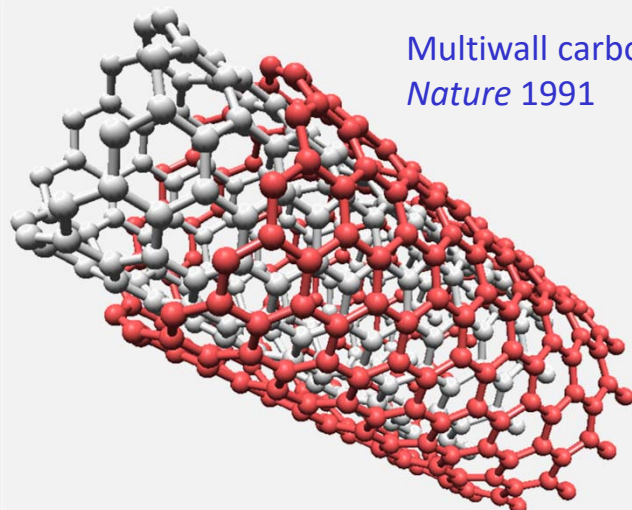
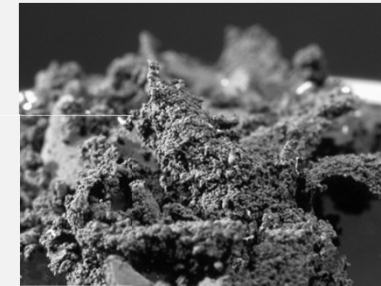
# “Nanoworld”



## ... Nanotubi di carbonio ...



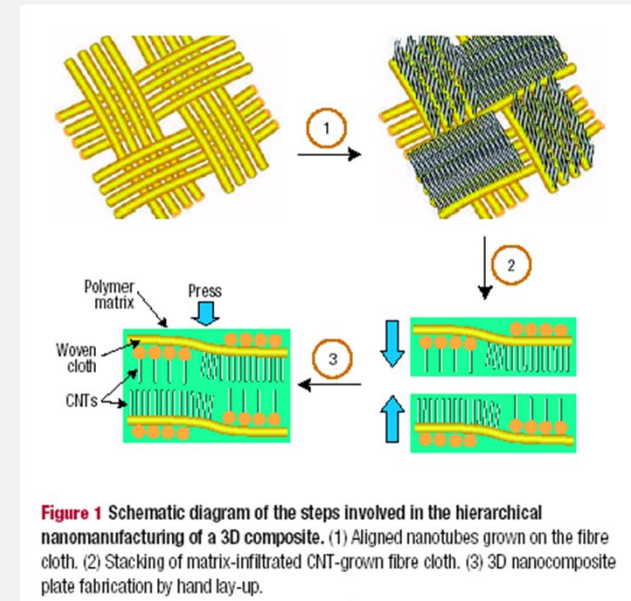
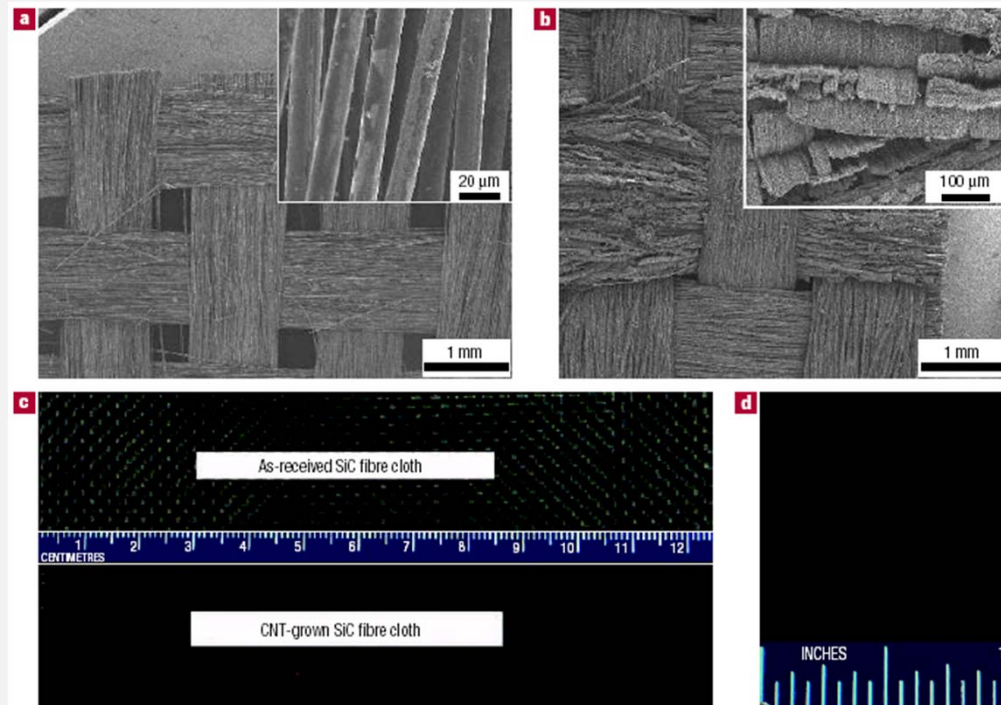
Singlewall carbon nanotubes (SWCNTs)  
*Nature*, 1993



Multiwall carbon nanotubes (MWCNTs)  
*Nature* 1991



## ... Nanotubi di carbonio oggi ...



**Figure 1** Schematic diagram of the steps involved in the hierarchical nanomanufacturing of a 3D composite. (1) Aligned nanotubes grown on the fibre cloth. (2) Stacking of matrix-infiltrated CNT-grown fibre cloth. (3) 3D nanocomposite plate fabrication by hand lay-up.

nature materials | VOL 5 | JUNE 2006 |

## Filatura di nanotubi di carbonio:

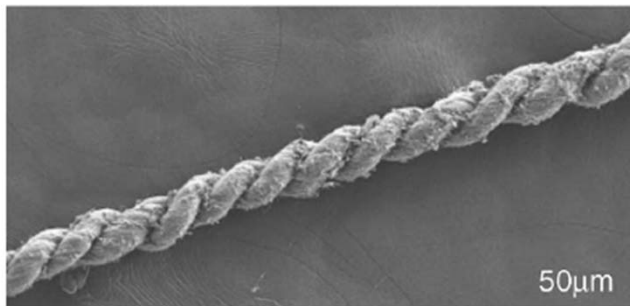
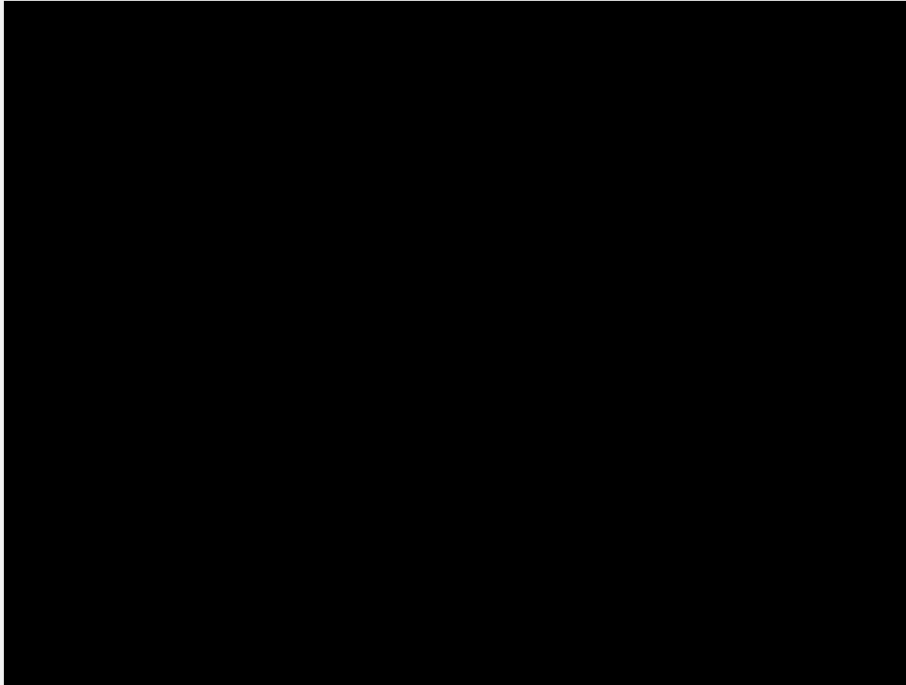


Fig. 3 Scanning electron micrograph of a spun fiber grown directly from a CVD growth chamber. (Reprinted with permission from<sup>10</sup>. © 2004 American Association for the Advancement of Science.) Li, Y.-L., et al, *Science* (2004) **304**, 276

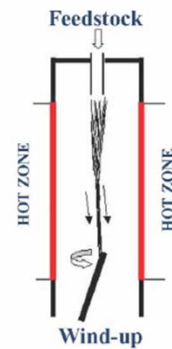
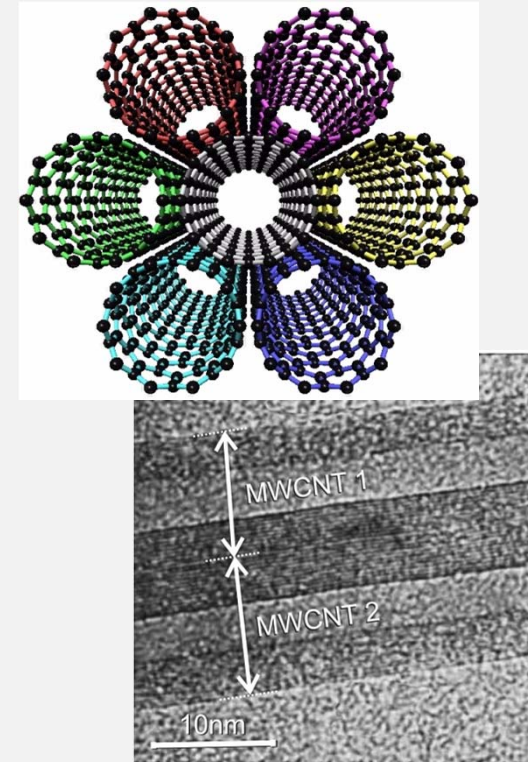
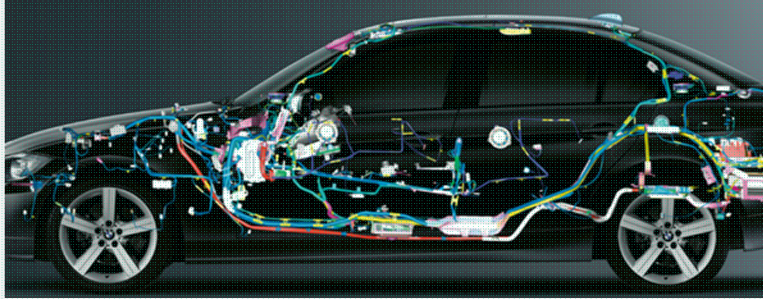


Fig. 2 Schematic of how to wind nanotube fibers directly from a CVD growth chamber. A feedstock of ethanol and thiophene catalyst<sup>10</sup> was used at 1100°C.

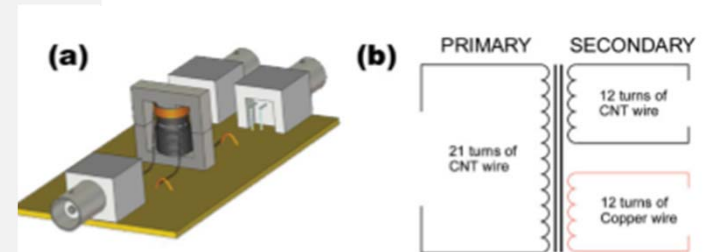
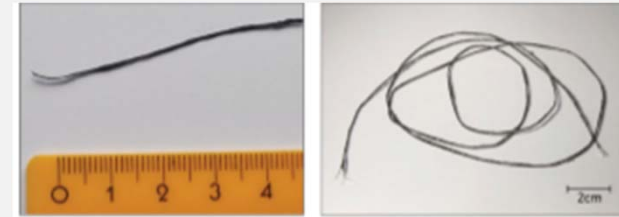
## Interazione di van der Waals tra i nanotubi:



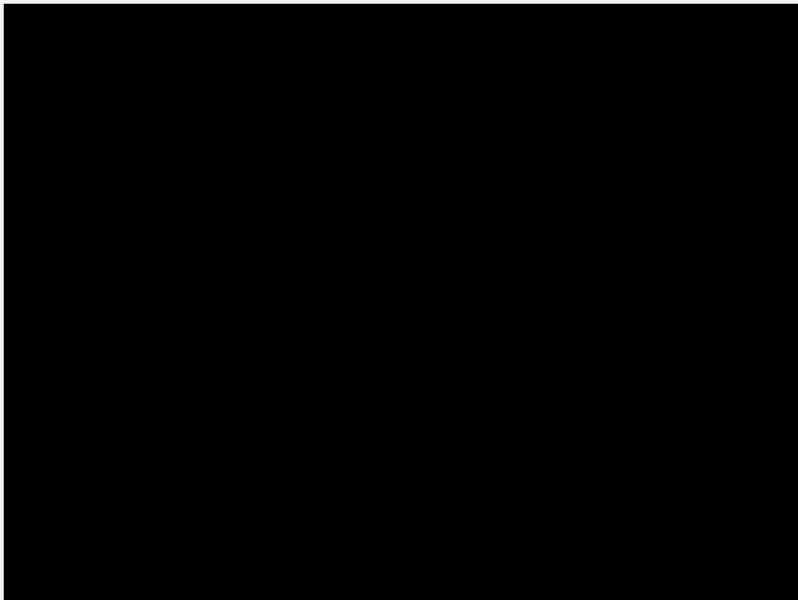


2-3 km of wires (Cu cables),  
30-60 kg

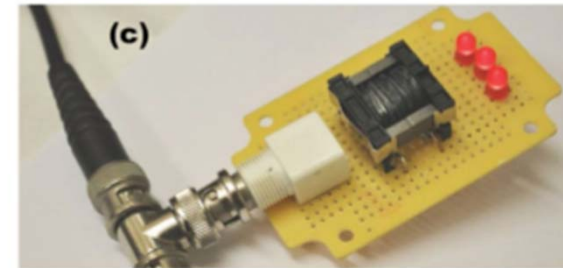
Trasformatore elettrico ⇨



Motore elettrico:



Cavo trasmissione dati ⇨

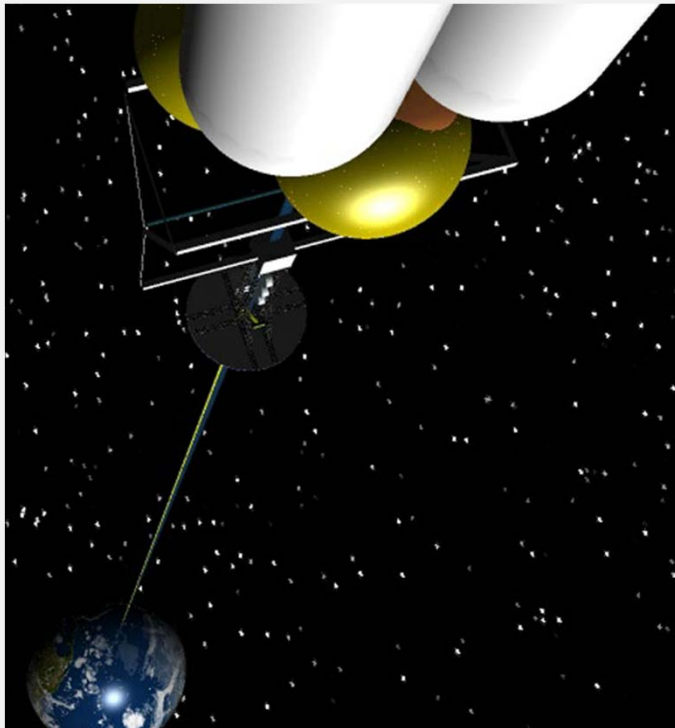


Kurzepa, *Advanced Functional Materials* 24, 2014, 619



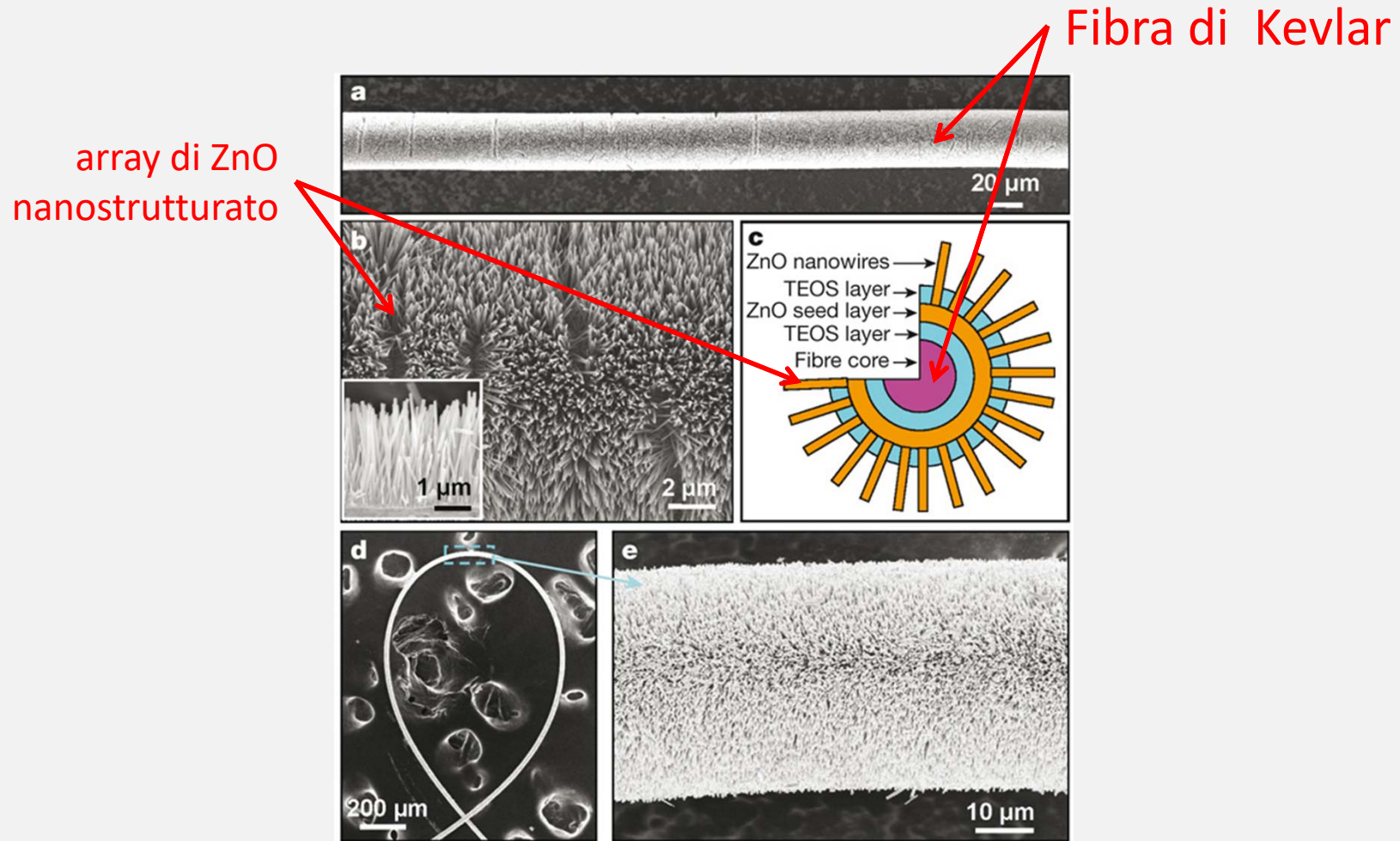
## ... Nanotubi di carbonio domani ...

### “Un ascensore verso le stelle”

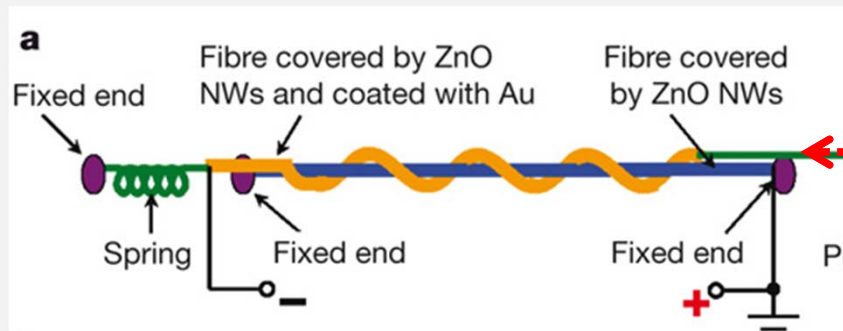


Ascensore spaziale: dispositivo che servirebbe a portare carichi in orbita. L'ascensore spaziale è quindi lunghissimo, decine di migliaia di chilometri. A differenza degli ascensori ordinari, il cavo portante è immobile e la cabina si muove su di esso. dovrebbe essere costruito con un materiale che possa resistere a sollecitazioni notevolmente elevate, mentre contemporaneamente dovrebbe essere leggero, poco costoso e facile da produrre.

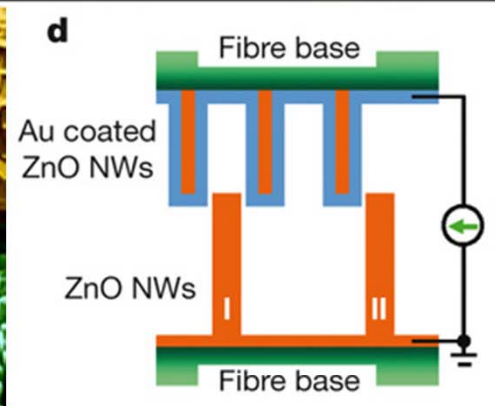
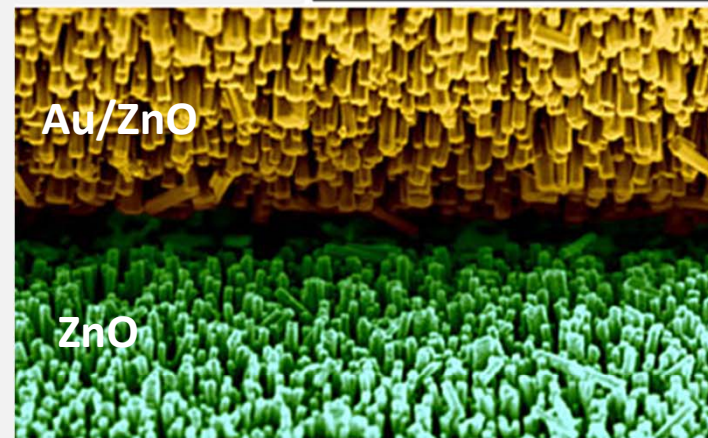
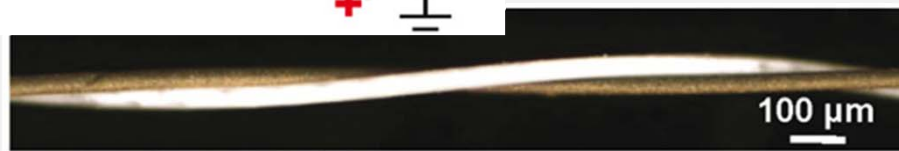
# Strutture ibride ZnO nanowire/ microfibra per tessuti che possono generare energia elettrica con il movimento



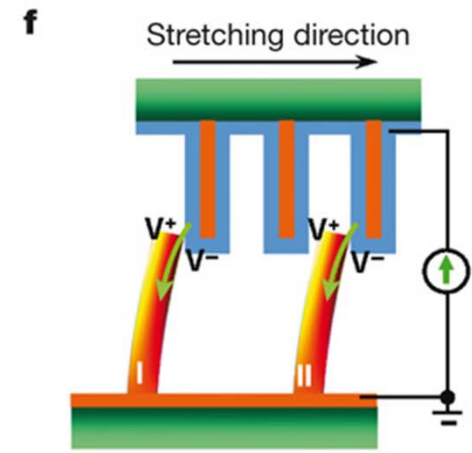
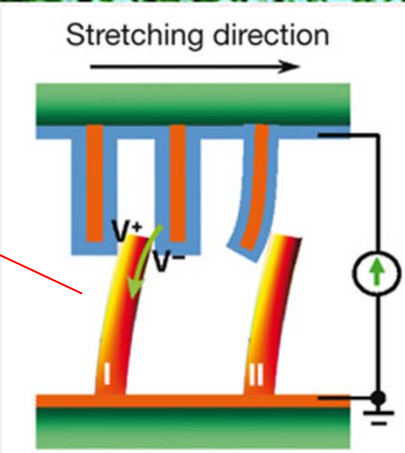
Qin, Nature 451, 2008 ,809-813



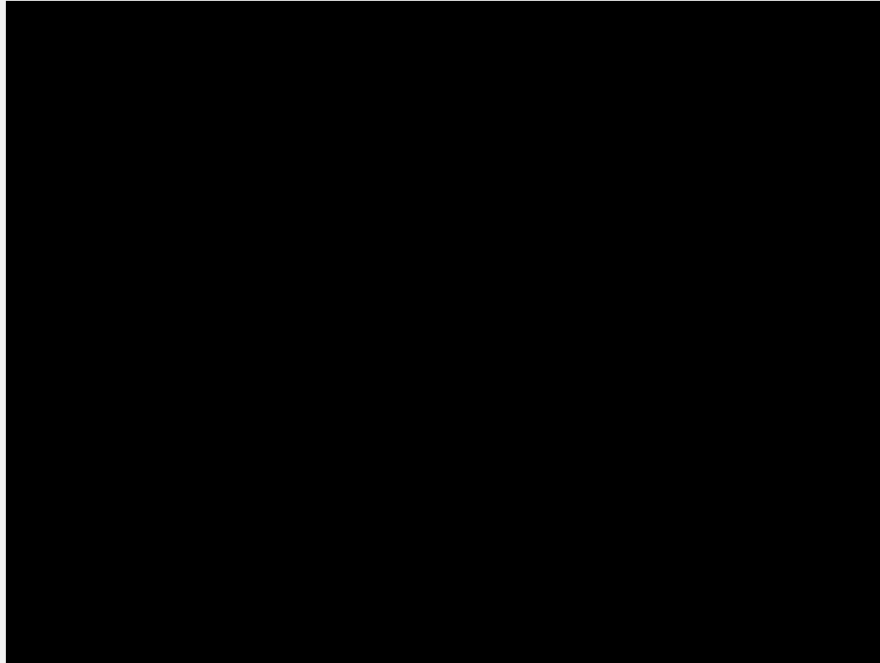
Movimento « a spazzola »  
tra una fibra e l'altra



Si genera una differenza di potenziale con il movimento a causa dell'effetto combinato delle proprietà piezoelettico-semiconduttore



Effetto piezoelettrico:

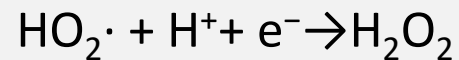
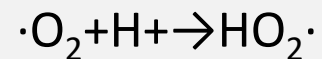
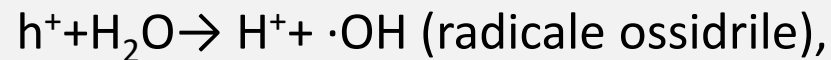
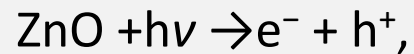


## Sommario

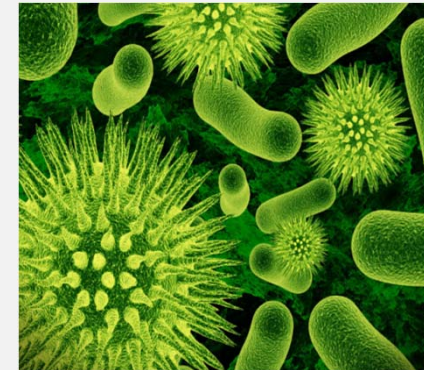
- Fibre naturali e fibre artificiali
- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi
- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”
- **Tessuti autopulenti e antimacchia**
- Il «mantello dell’invisibilità»
- Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche

ZnO, TiO<sub>2</sub> (e altri semiconduttori) possono essere utilizzati per ottenere fibre/tessuti con tante proprietà:

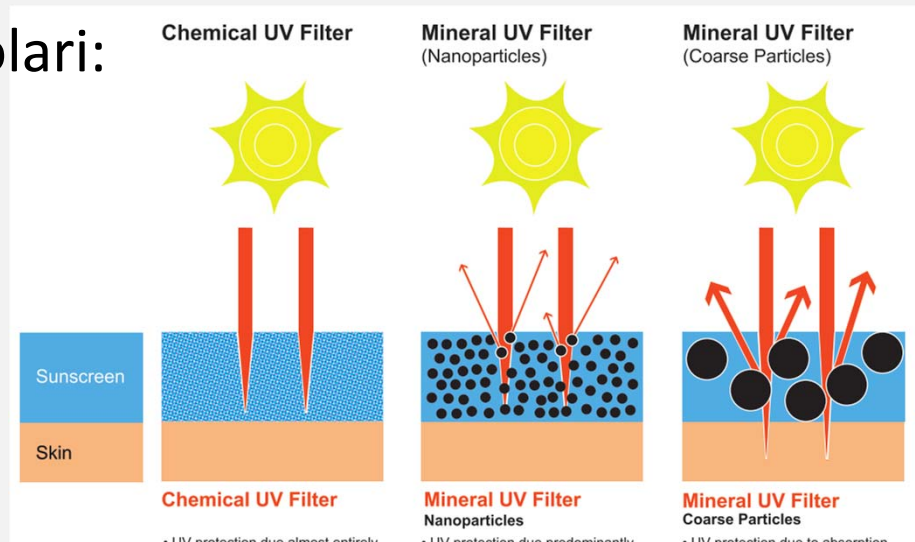
Proprietà antimicrobiche:



O<sub>2</sub><sup>-</sup> possono penetrare nella membrana a causa della carica negativa



Filtri solari:



ZnO è un filtro UV naturale al 100%





Abiti con caratteristiche multifunzionali, che possono filtrare i raggi UV, battericida, antiodore, con caratteristiche antistatiche.

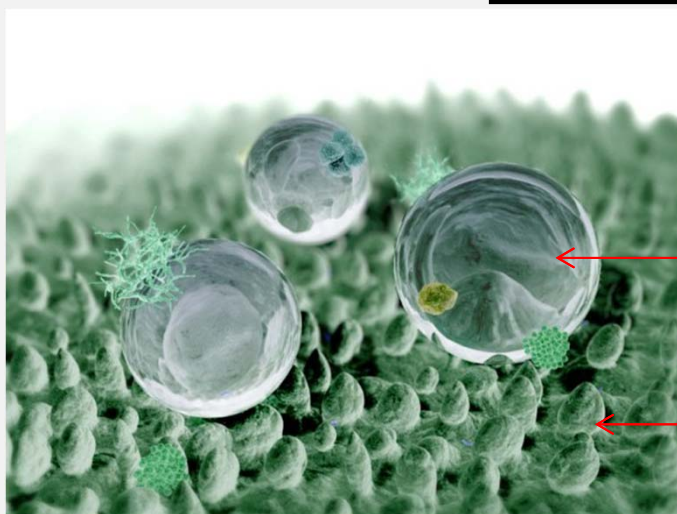
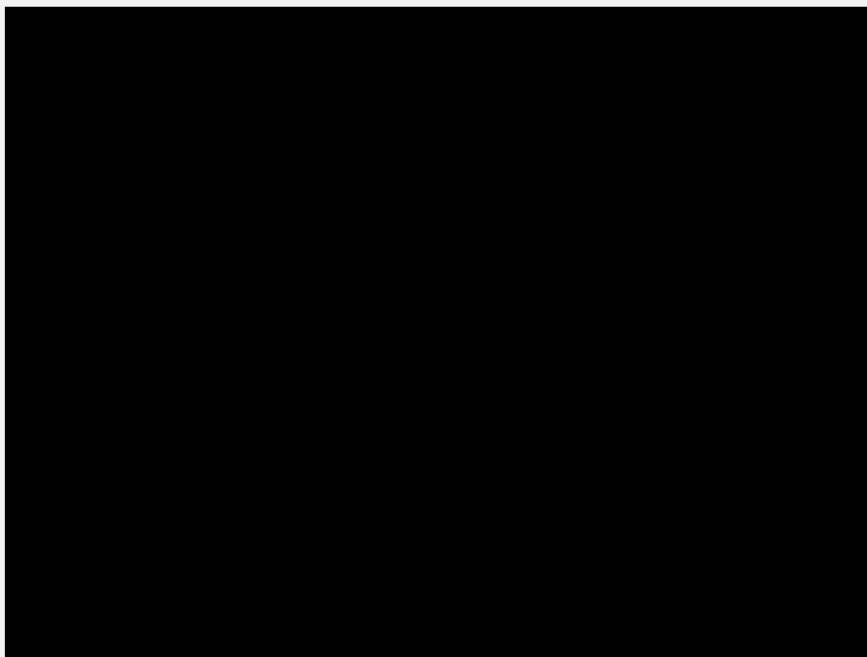


**LIGHTWEIGHT, SUN-PROTECTIVE &  
CONTEMPORARY WITHOUT  
COMPROMISE**

Take a fresh approach to travel this season with Craghoppers Sun Protection collection, light, comfortable shirts and shorts that are perfect for the summer holidays, featuring SolarShield and SolarShieldZnO technology for day-long

# Tessuti autopulenti e antimacchia.

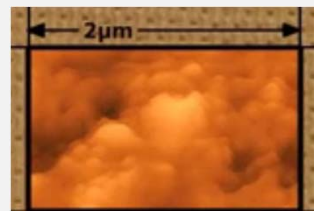
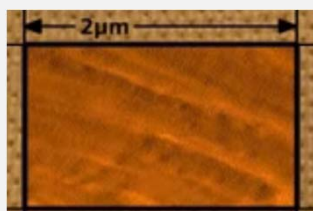
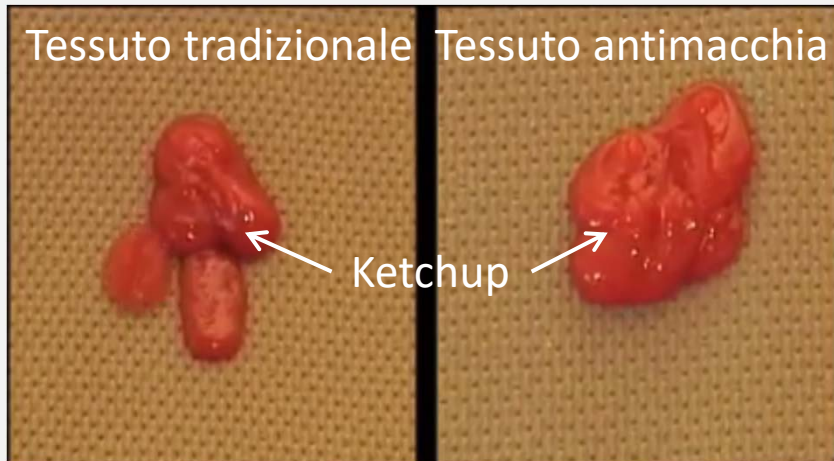
## Effetto «foglia di Loto»



Goccia d'acqua

Superficie nanostrutturata

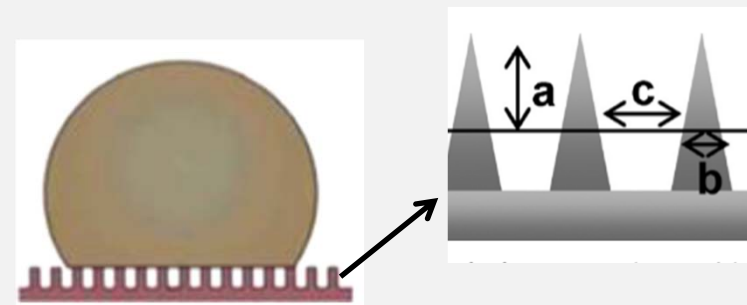
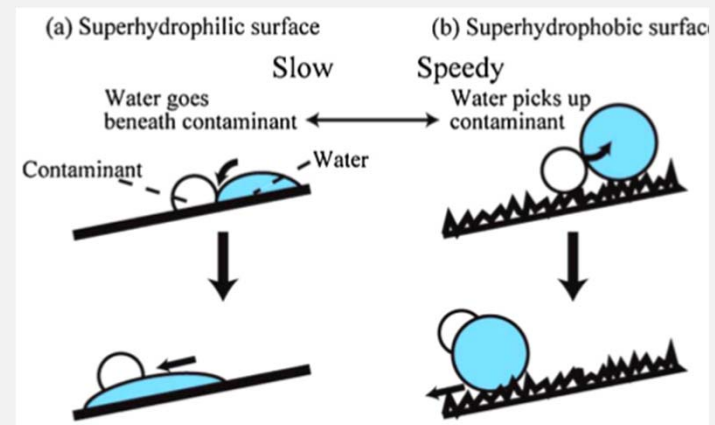
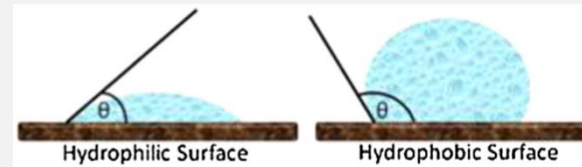
# Tessuti «antimacchia»



La struttura e la «chimica» della superficie fanno la differenza

F. Cesano, *L'affascinante mondo delle fibre (e non solo)*

Contact angle	Wettability
0°-90°	Hydrophilic
>90°	Hydrophobic
<10°	Superhydrophilic
>150°	Superhydrophobic



Banerjee *Applied Catalysis B: Environmental* 176–177 (2015) 396  
Torino, 28/02/2017

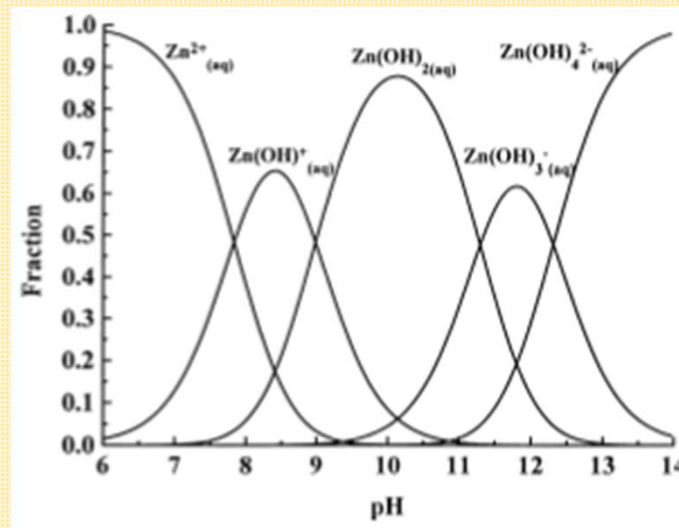
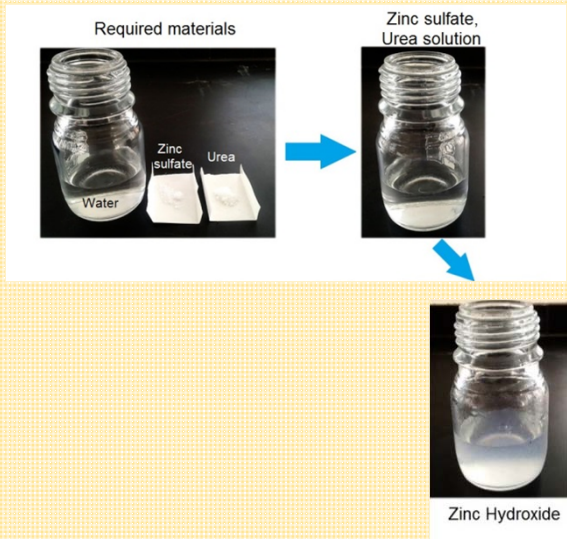


## Come preparazione tessuti autopulenti in un laboratorio

Ingredienti e attrezzature:

in vetro, Solfato di Zn o altro sale di Zn, Urea, NaOH (0.5 g in a 20 ml di acqua), Piastra riscaldante, indicatore pH

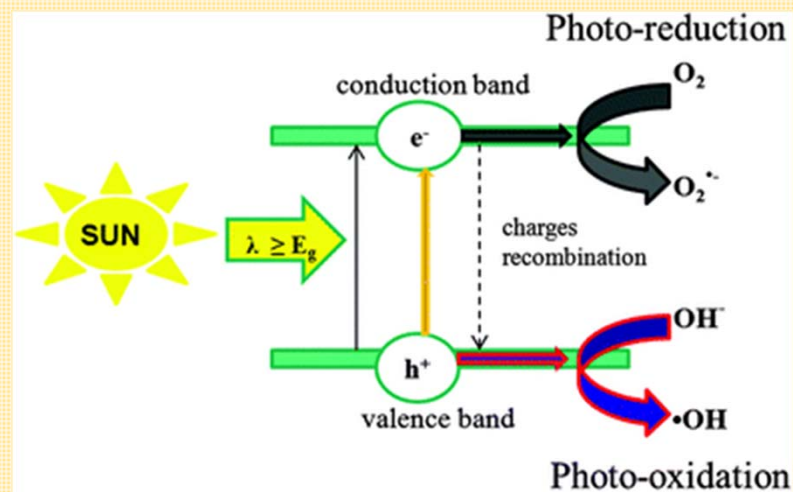
Sciogliere 0.7 g  $\text{ZnSO}_4$  e 0.2 g di urea in 100 ml di  $\text{H}_2\text{O}$ . Agitare fino a completa dissoluzione dei Sali. (solluz. trasparente) . Aggiungere una, due gocce di NaOH fino a pH neutro circa. A pH circa 6 (non inferiore a 5.5 comunque) aggiungere un batuffolino di cotone idrofilo. Lasciare in agitazione per un'ora. Aggiungere alcune gocce di NaOH (3-5) , aggiustare il pH a ca. 9-11. Riscaldare fino a  $80^\circ\text{C}$  circa e aspettare 30'. Aggiungere acqua fredda, effettuare ripeti lavaggi. Porre in stufa a  $80^\circ\text{C}$  per una notte intera.



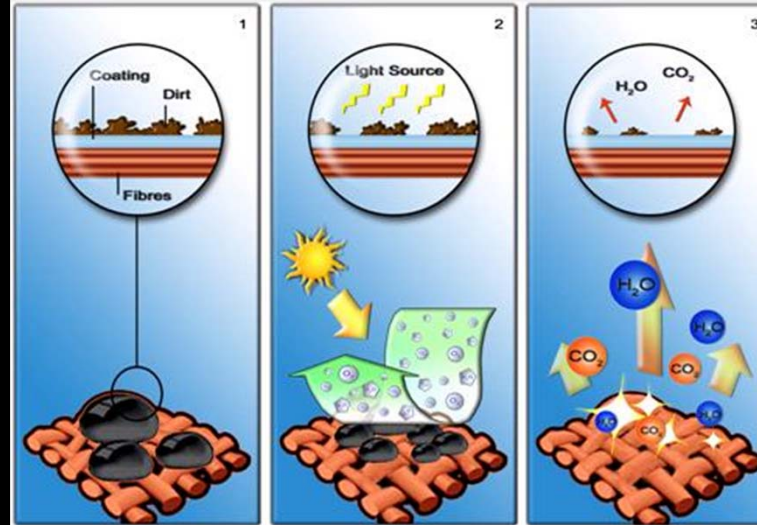
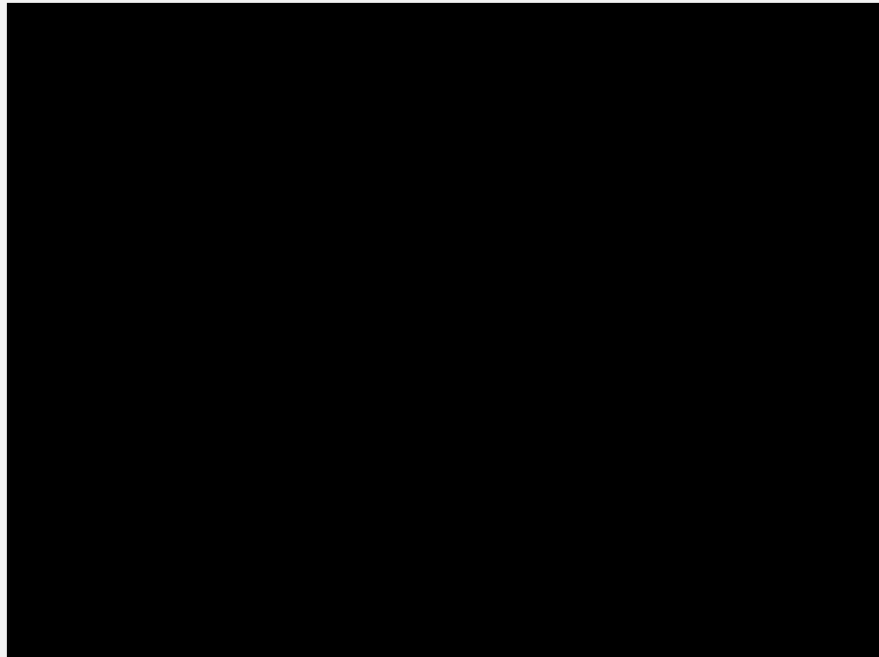


Preparare una soluzione diluita con un colorante (vino, succo di mirtillo, oppure caffè). Il colore della soluzione deve risultare appena colorato (altrimenti risulterebbe troppo concentrata).

Ispezionare visivamente il diverso comportamento dei campioni con/senza ZnO e conservati al buoi/alla luce (4 campioni complessivamente).



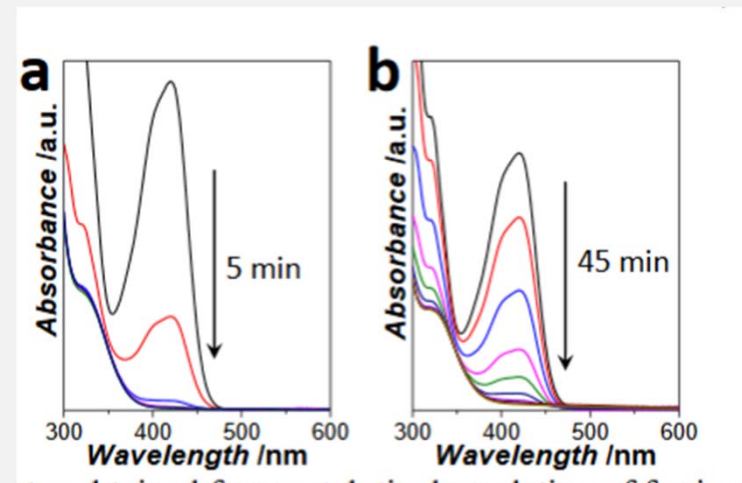
# Tessuti «autopulenti»



Tessuto fibre cotone:



Le stesse fibre di cotone con nanoparticelle di metallo:



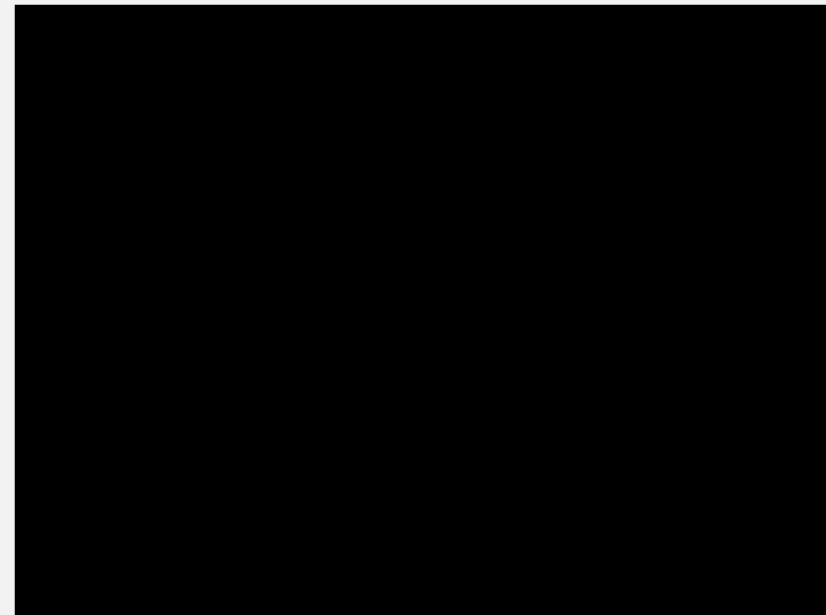
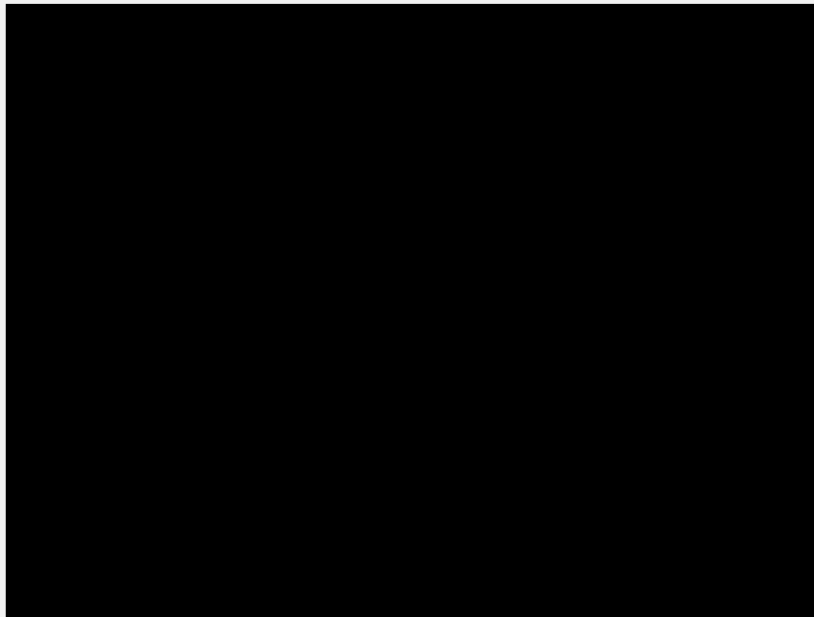
Ramanathan *Adv. Mater. Interfaces* 2016, 3, 1500632

## Sommario

- Fibre naturali e fibre artificiali
- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi
- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”
- Tessuti autopulenti e antimacchia
- **Il «mantello dell'invisibilità»**
- Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche

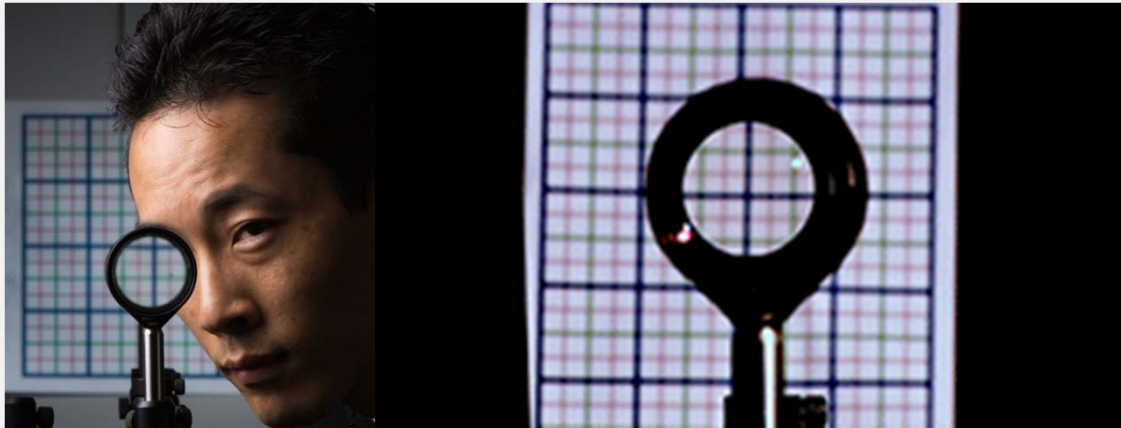
## Il «*mantello dell'invisibilità*», realtà o fantasia?

L'invisibilità sviluppata nei laboratori ed impiegata nella ricerca non ha alcuna connotazione magica: gli oggetti non scompaiono mai, piuttosto sono opportunamente “nascosti” ai dispositivi di rivelazione: è possibile infatti rendere invisibile all'occhio umano un oggetto con l'ottica o con i metamateriali

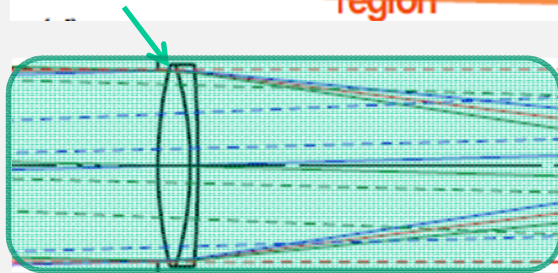




# L'invisibilità sfruttando le leggi dell'ottica



Luce monocromatica (laser)

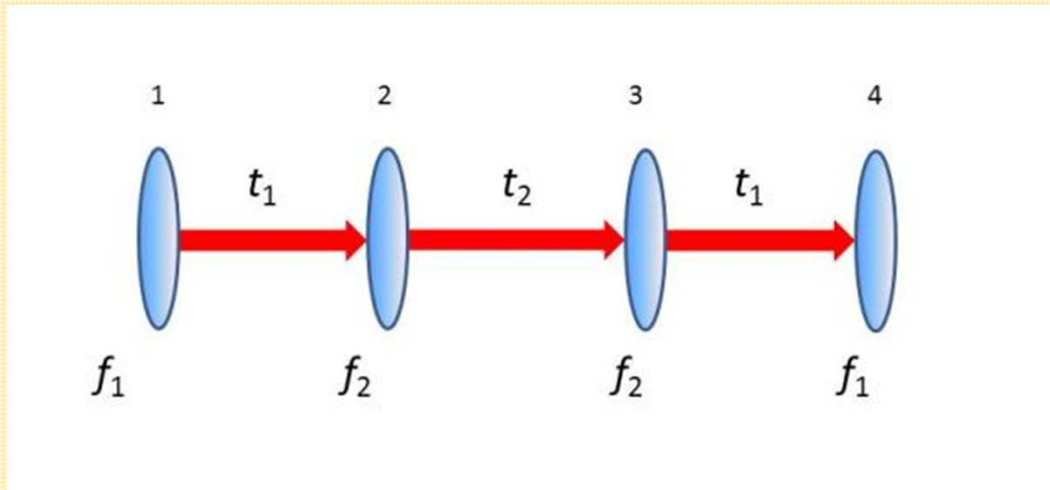


La distanza tra le lenti fa sì che la luce converge in precisi punti focali e può nascondere perfettamente un oggetto che si trova dietro le lenti, lasciando visibile solo lo sfondo. Il mantello dell'invisibilità ha un angolo d'azione di circa 15 gradi

Choy, Paraxial ray optics cloaking OPTICS EXPRESS 22 (24) 2014 29467



## Come preparazione un «mantello dell'invisibilità» utilizzando delle lenti



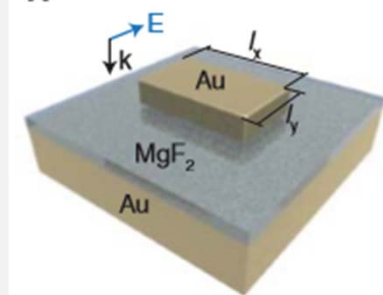
1. Procuratevi due set di due lenti con diverse lunghezze focali  $f_1$  ed  $f_2$  (in totale quattro lenti, due con lunghezza focale  $f_1$  e due con lunghezza focale  $f_2$ );
2. separate le prime due lenti della somma delle loro lunghezze focali (quindi  $f_1$  è la prima lente,  $f_2$  la seconda, e sono separate di  $t_1 = f_1 + f_2$ );
3. fate lo stesso per le due lenti successive;
4. separate i due set di  $t_2 = 2f_2 (f_1 + f_2) / (f_1 - f_2)$ , così che le due lenti  $f_2$  siano a  $t_2$  di distanza.

# I «metamateriali» e l'invisibilità

sono materiali nanostrutturati in grado di deflettere, far propagare e assorbire la radiazione luminosa in modi non osservati in natura. Con l'impiego di metamateriali, ad esempio, è possibile guidare il flusso della radiazione elettromagnetica (la luce) in modo che questa oltrepassi un ostacolo senza essere né riflessa né diffusa così da ottenere l'invisibilità.

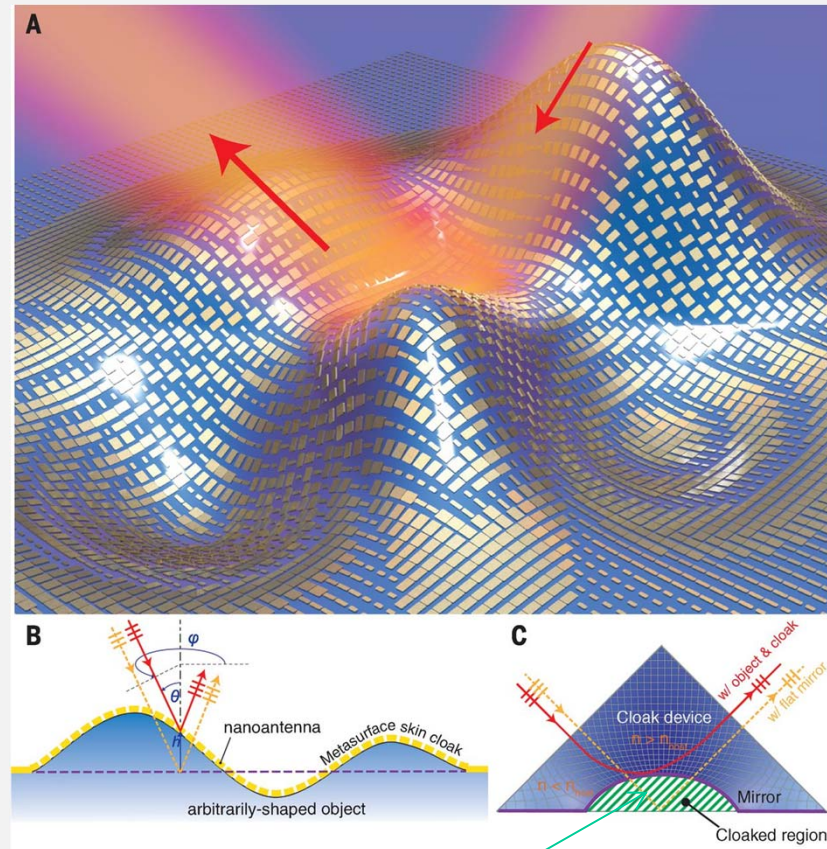
*The skin cloak comprises a metasurface with distributed phase shifts rerouting light and rendering the object invisible. In contrast to bulky cloaks with volumetric index variation, our device is only 80 nm (about 1/9 of the wavelength) thick and potentially scalable for hiding macroscopic objects.*

Nanoantenne:



*Effetto di «plasmoni» di superficie (onde elettromagnetiche che si propagano in direzione parallela all'interfaccia metallo dielettrico)*

*An ultrathin invisibility skin cloak for visible light, Science 349, 2015, 1311*



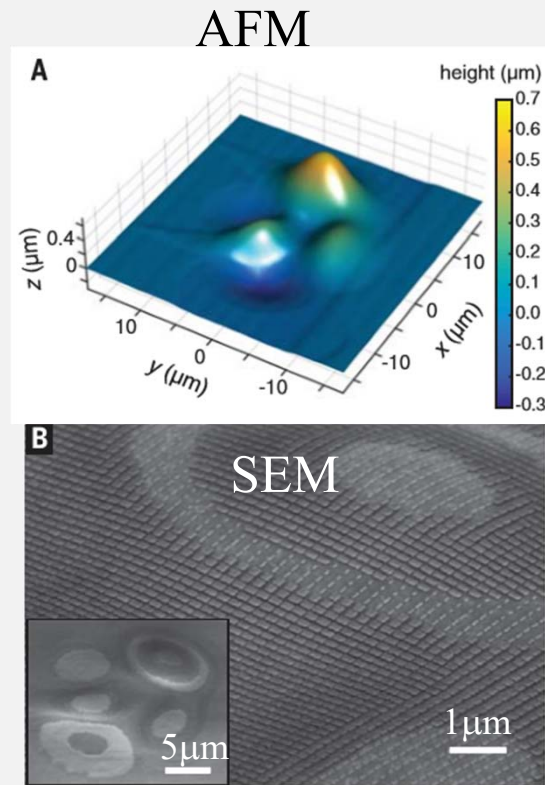
*Spostamento della fase che compensa la differenza tra la luce scatterata dall'oggetto e riflessa dal piano di riflessione*

*Riflettività > 84% a 730 nm*

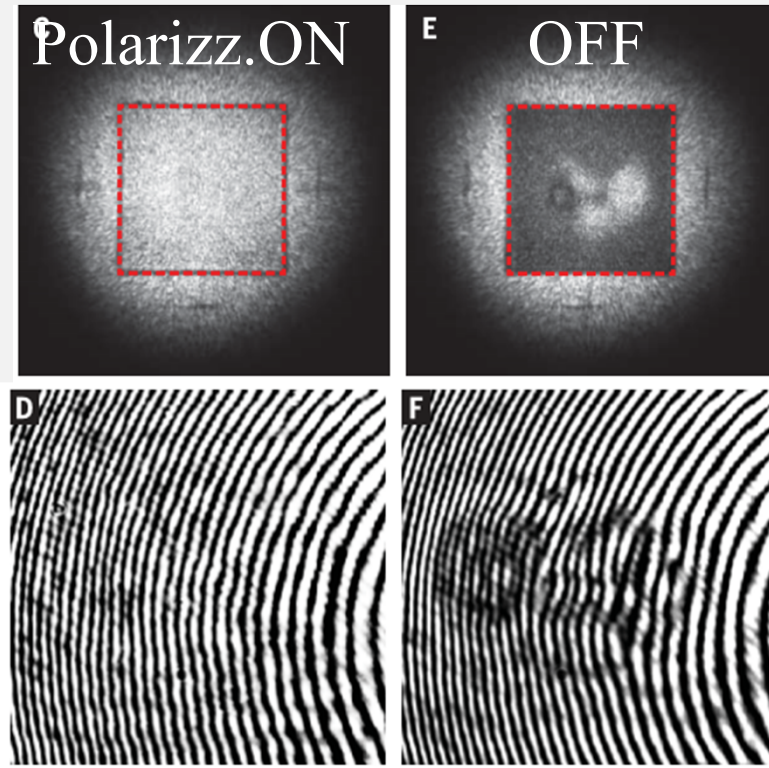


$$\Delta\Phi = -2k_0 h \cos\theta + \pi \quad (\pi \text{ deriva da uno specchio riflettente})$$

Per oggetti fino a  $h = 1\ \mu\text{m}$  con  $L = 10\ \mu\text{m}$



Immagini ottiche della luce riflessa  
(apert. obiett. 0.3, laser 730 nm).

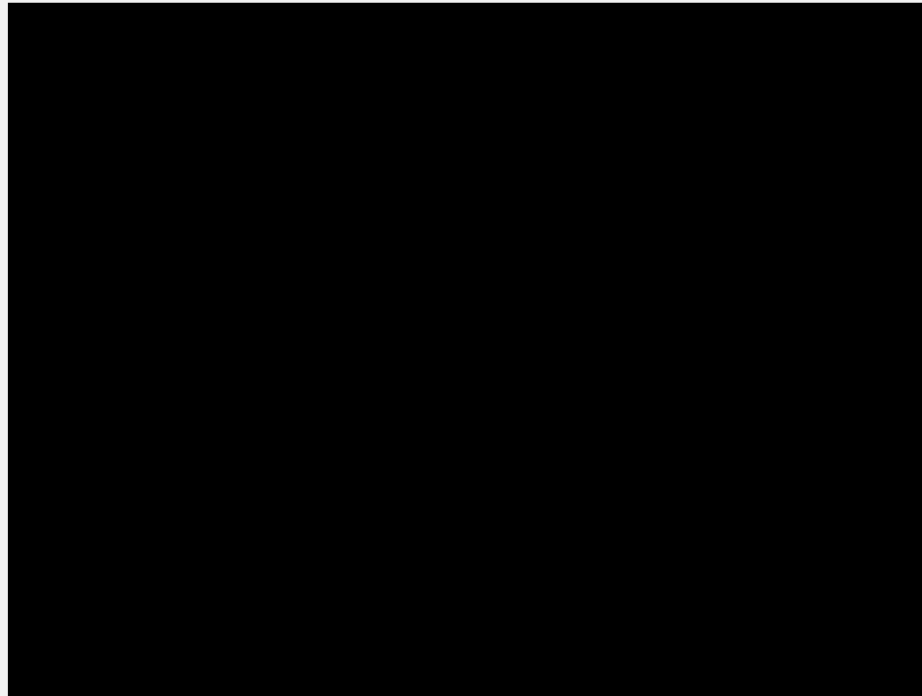


Immagini  
frange  
d'interferenza:

Quando la luce è polarizzata le frange d'interferenza corrispondono a quelle di una superficie piana

# Il «*mantello dell'invisibilità*» con i metamateriali

Nascondere oggetti 3D:



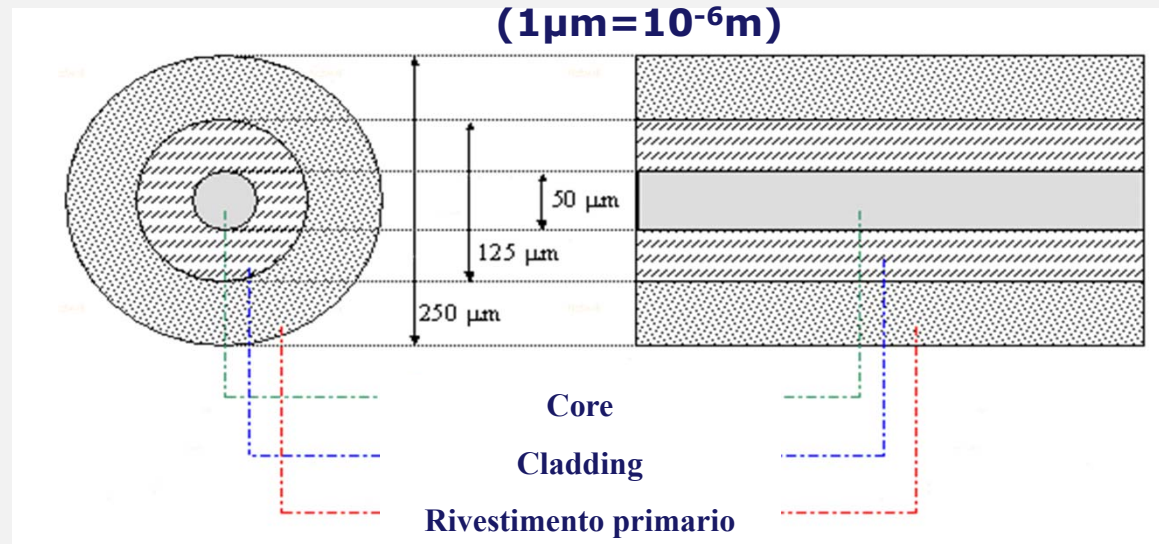
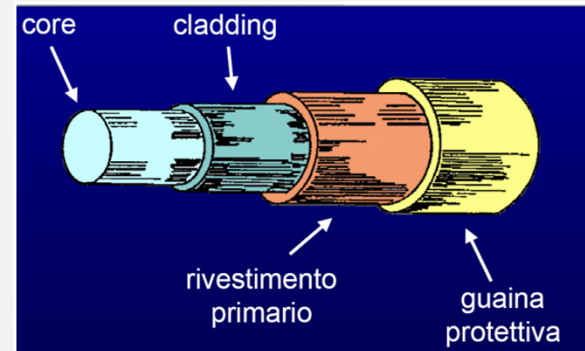
## Sommario

- Fibre naturali e fibre artificiali
- Le fibre di carbonio, *p*-aramidiche (Kewlar) e i materiali compositi
- Tra presente e futuro: quando le fibre diventano “nano” e “intelligenti”
- Tessuti autopulenti e antimacchia
- Il «mantello dell’invisibilità»
- **Le fibre ottiche e i sensori con le fibre ottiche**



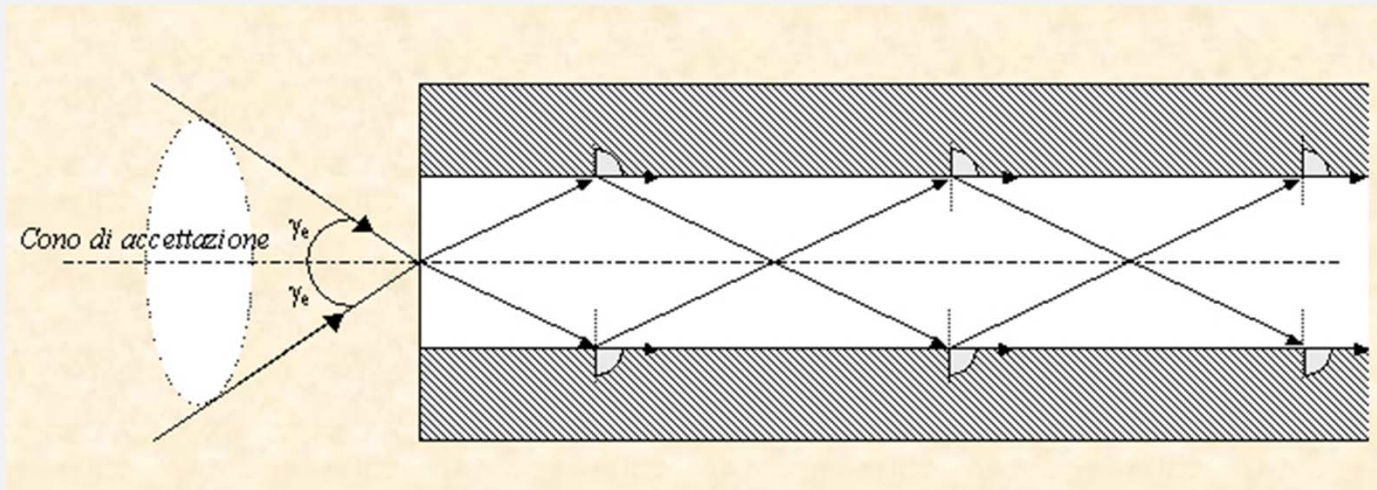
# Le fibre ottiche

**“Fili” sottilissimi costituiti da materiale vetroso o di polimero (metilmetacrilato, nylon):**



**... sono delle guide d'onda per trasmettere le onde luminose!**





## Richiami di ottica

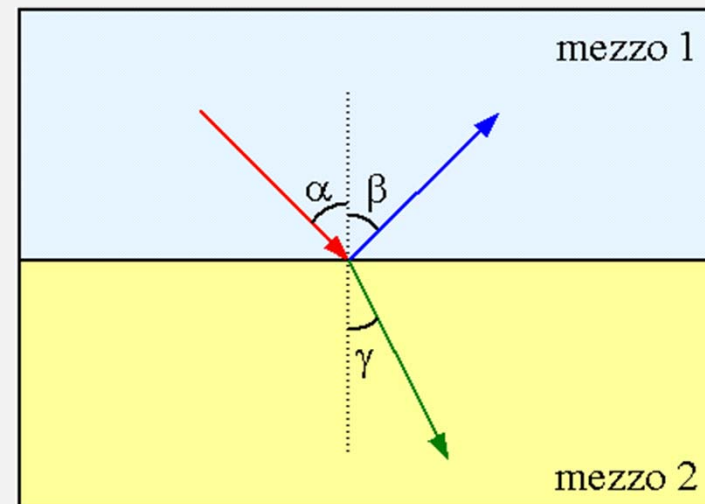
*legge della riflessione*

$$\beta = \alpha$$

*legge della rifrazione (di Snell)*

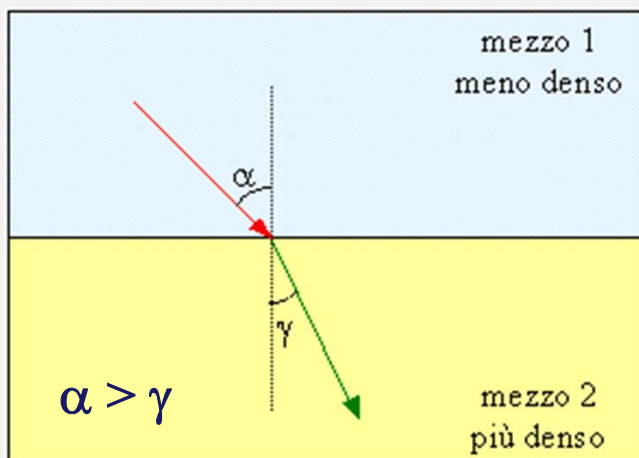
$$\frac{\text{sen}\alpha}{\text{sen}\gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \text{cost}$$

dove  $n_1$  e  $n_2$  sono gli indici di rifrazione dei due mezzi

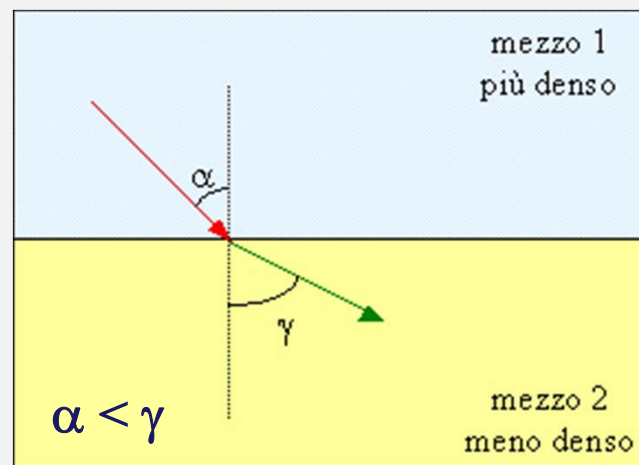


## Propagazione di un raggio luminoso da un mezzo ad un altro

Da un mezzo meno denso ad uno più denso

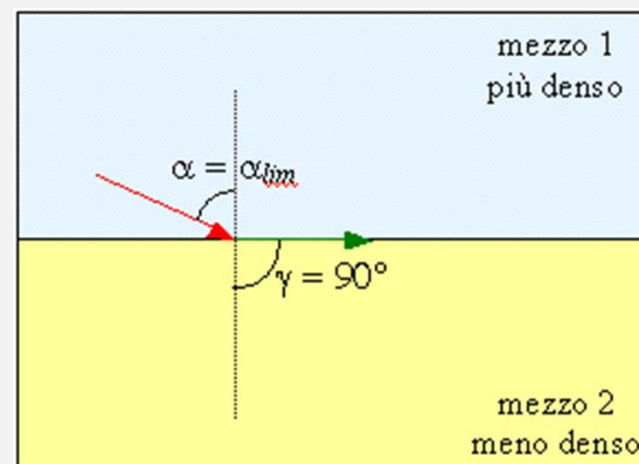


Da un mezzo più denso ad uno meno denso



Quando  $\gamma = 90^\circ$ ,  $\alpha$  si chiama:  
angolo di *incidenza limite* ( $\alpha_{lim}$ )

Se  $\alpha > \alpha_{lim}$  si ha la riflessione totale  
del raggio incidente

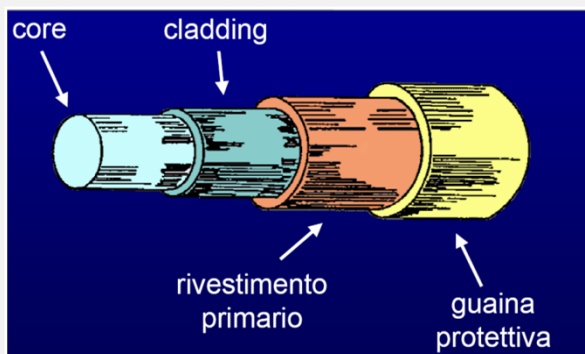


# Trasmissione di dati alla velocità della luce

L'indice di rifrazione della silice ( $\text{SiO}_2$ ) può essere alterato con l'aggiunta di sostanze droganti:

- $\text{GeO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  alzano  $n$
- $\text{B}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiF}_4$  abbassano  $n$

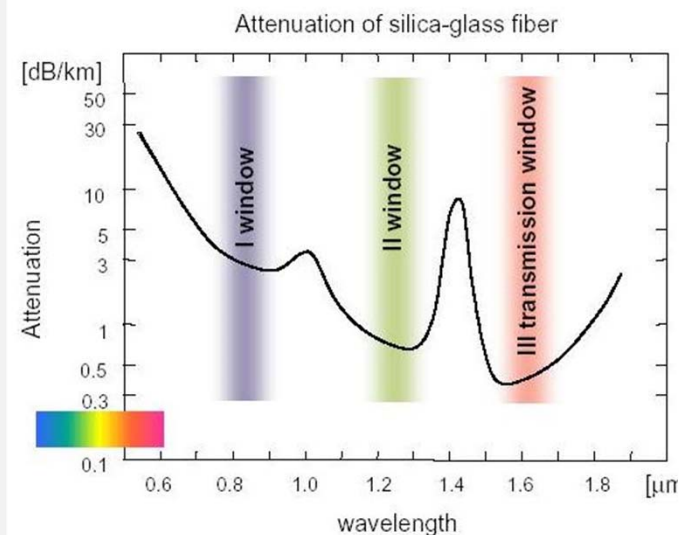
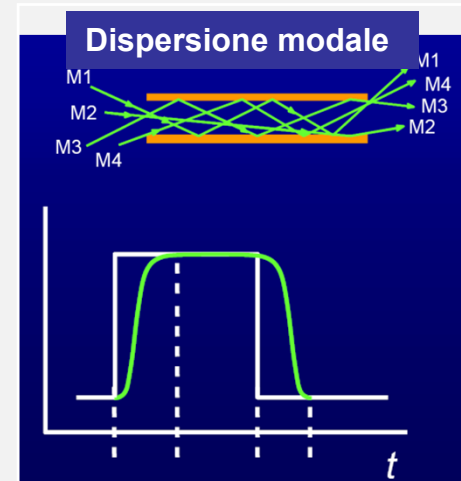
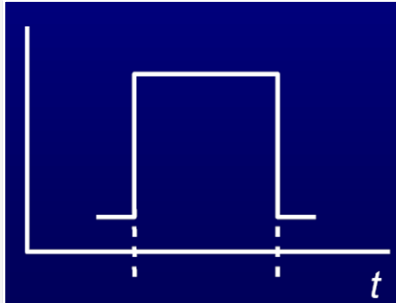
Il CORE e il CLADDING sono i costituenti fondamentali hanno indici di rifrazione differenti:  $n_1$  (core)  $>$   $n_2$  (cladding)



Core e cladding sono costituite da  $\text{SiO}_2$   
Buffer e Jacket da materiale plastico



## Trasmissione di dati alla velocità della luce (2)



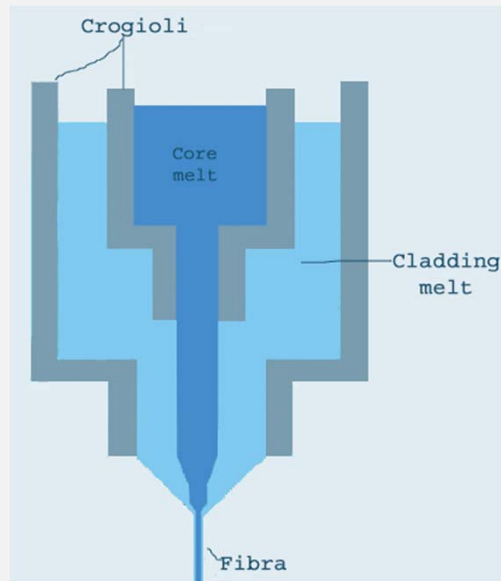
Inizialmente per la trasmissione in fibra si usava solo la luce visibile. Successivi esperimenti con raggi UV e IR dimostrarono che l'attenuazione degli **IR** era minore di quella della luce visibile all'interno delle fibre ottiche.

**1a finestra**  $0.8 < \lambda < 0.9 \mu\text{m}$  (vicino infrarosso);

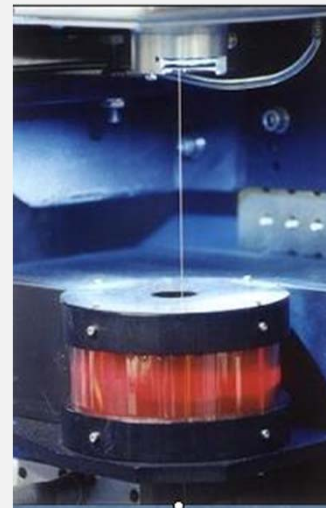
**2a finestra**  $1.25 < \lambda < 1.35 \mu\text{m}$ ;

**3a finestra**  $1.5 < \lambda < 1.6 \mu\text{m}$  (lontano infrarosso).

## Filatura diretta della fibra: metodo del doppio crogiolo



Il vetro fuso del core è posto in un crogiolo interno  
Il vetro fuso del cladding è posto in un crogiolo piu' esterno  
La fibra viene tirata da orifizi ricavati alla base dei crogioli:

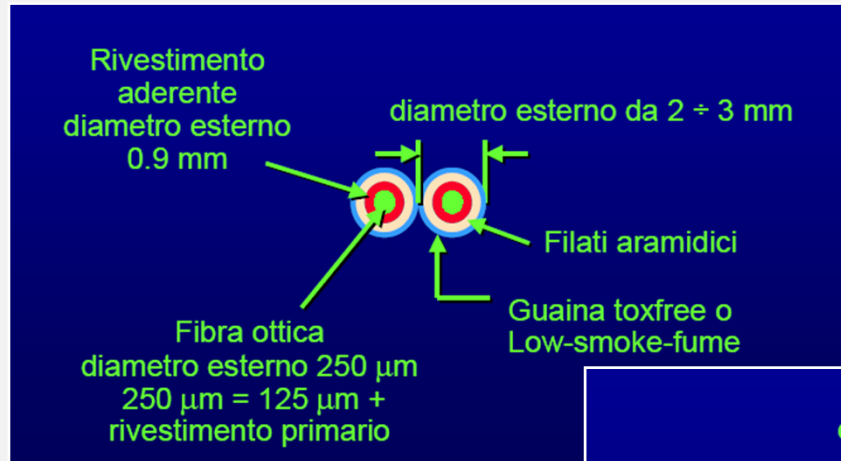


Le fibre vengono unite mediante giunzioni e connettori

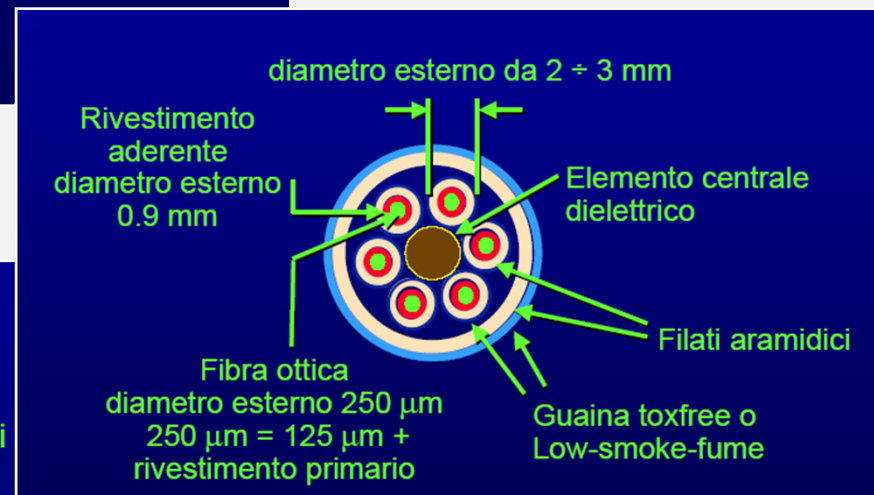


# Alcuni tipi di fibre ottiche:

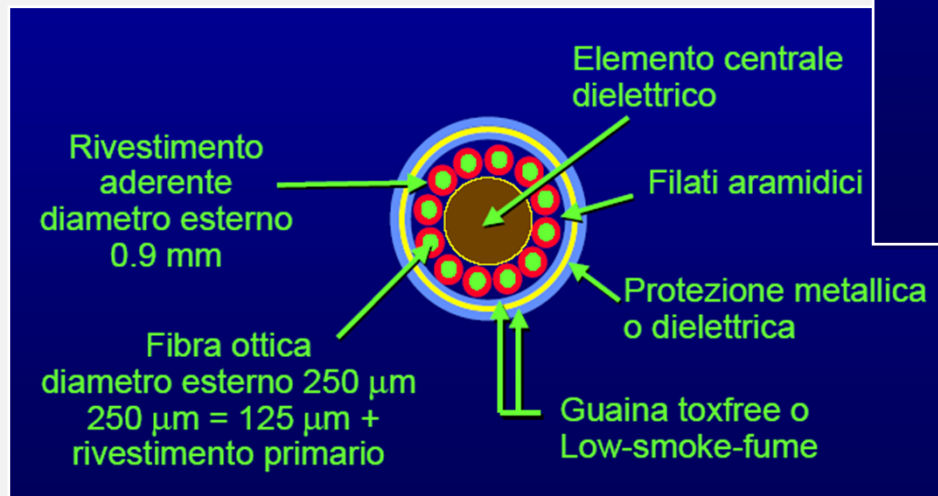
Bretella ottica



Multimonofibra



Multifibra



## Come sono fatte e come funzionano le fibre ottiche



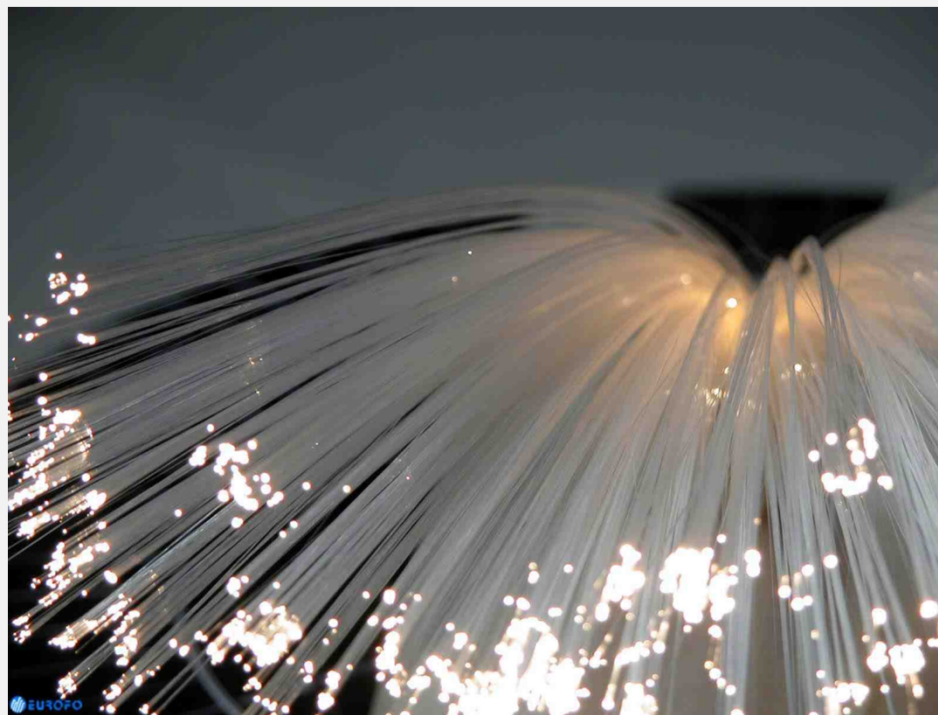


## Vantaggi e

- Basso peso,
- Ampia banda passante,
- Bassa dispersione di segnale
- Insensibili ai disturbi elettromagnetici

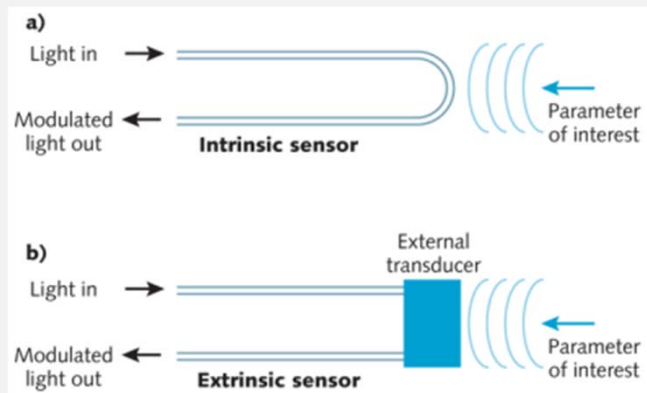
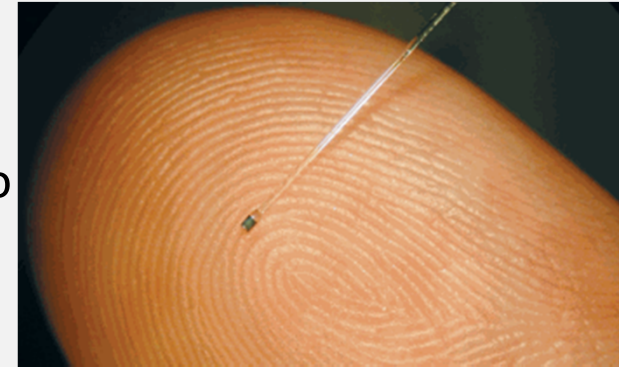
## svantaggi delle fibre ottiche

- Monodirezionalità (servono due fibre per un canale bidirezionale)
- I costi d'installazione sono ancora elevati



Le fibre ottiche come sensore (p.es. sensori biomedici)

Sensori spettroscopici basati sull'assorbimento luce e fluorescenza, etc.



Esempio di alcuni sensori:

Physical	Chemical	Biological	Imaging
Body temperature	pH	Antigens	Endoscopy
Blood pressure	pO <sub>2</sub>	Antibodies	Optical coherence tomography (OCT)
Blood flow	PCO <sub>2</sub>	Electrolytes	Photodynamic therapy (PDT)
Heart rate	Oximetry (SaO <sub>2</sub> , SvO <sub>2</sub> )	Enzymes	
Force	Glucose	Inhibitors	
Position	Bile	Metabolites	
Respiration	Lipids	Proteins	
Shape sensing			



Mimare le proprietà della **tela del ragno** è stata l'utopia della scienza dei materiali per lungo tempo. Sembra che qualcuno ci è riuscito ...



... forse ancora una volta, è la natura che deve essere imitata!

**Grazie per l'attenzione!**