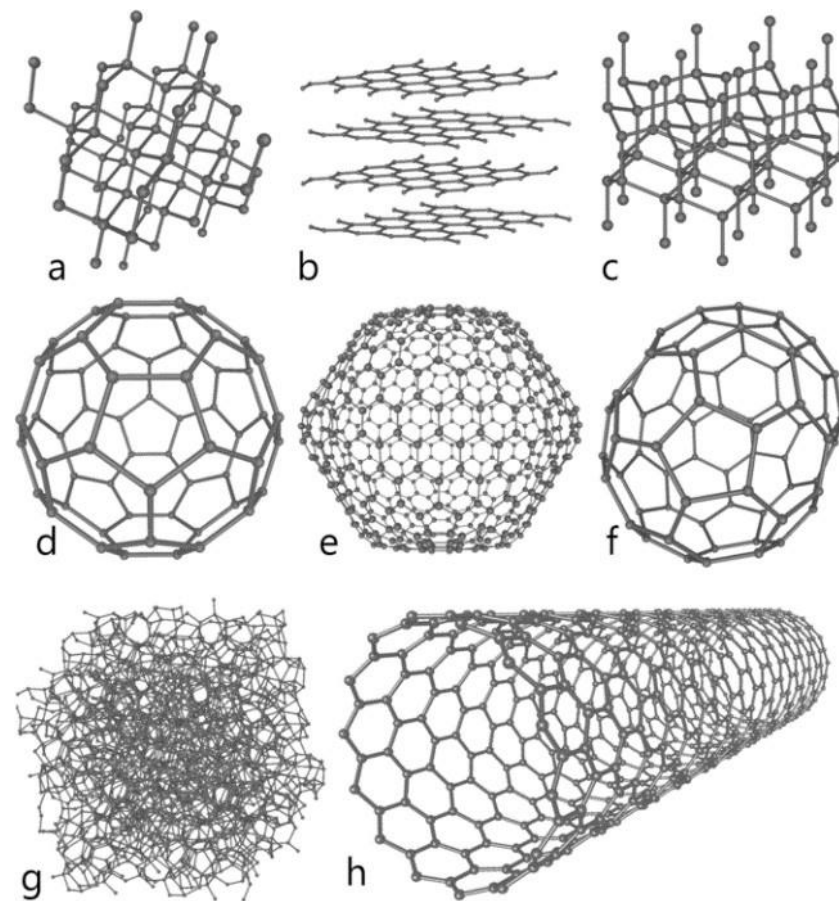
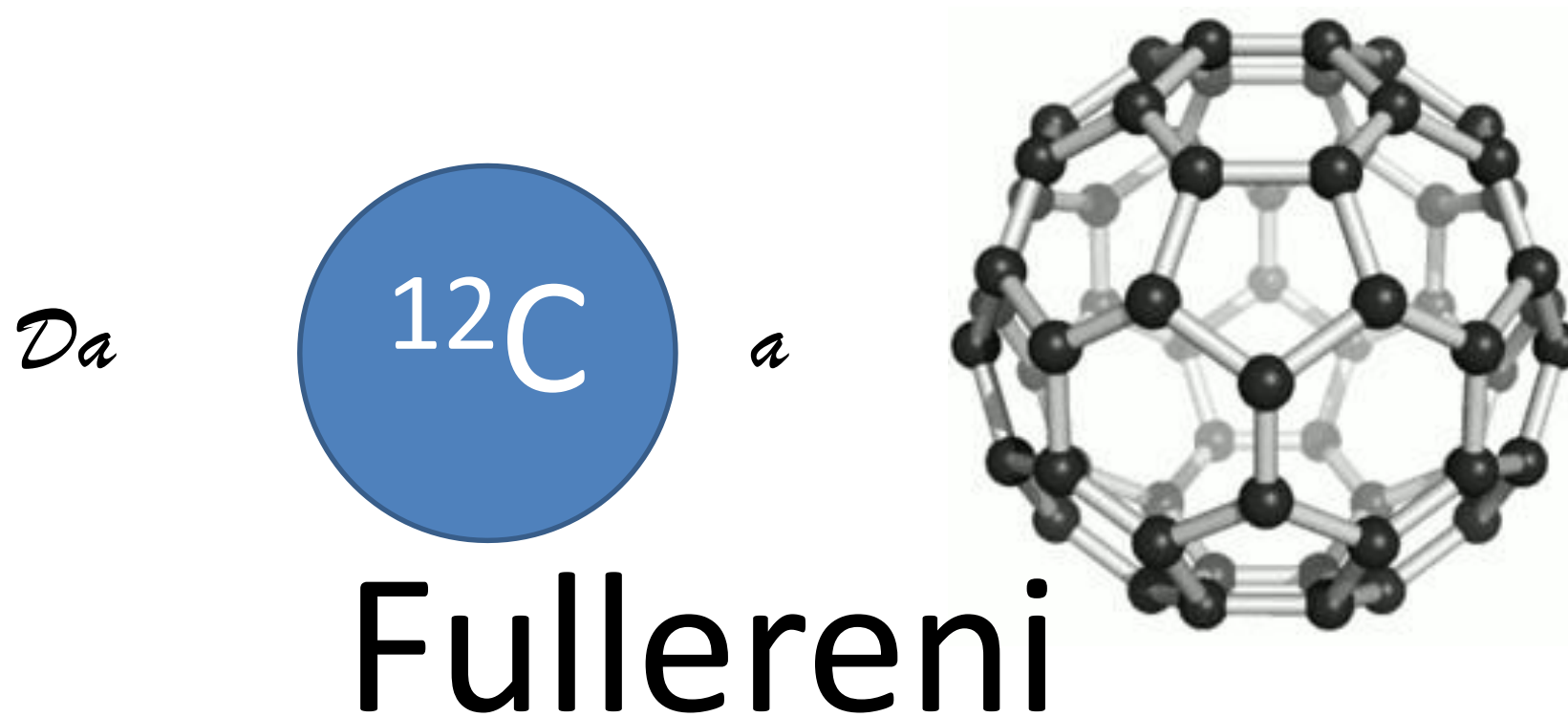


CARBON ALLOTROPES: FULLERENES AND NANOTUBES

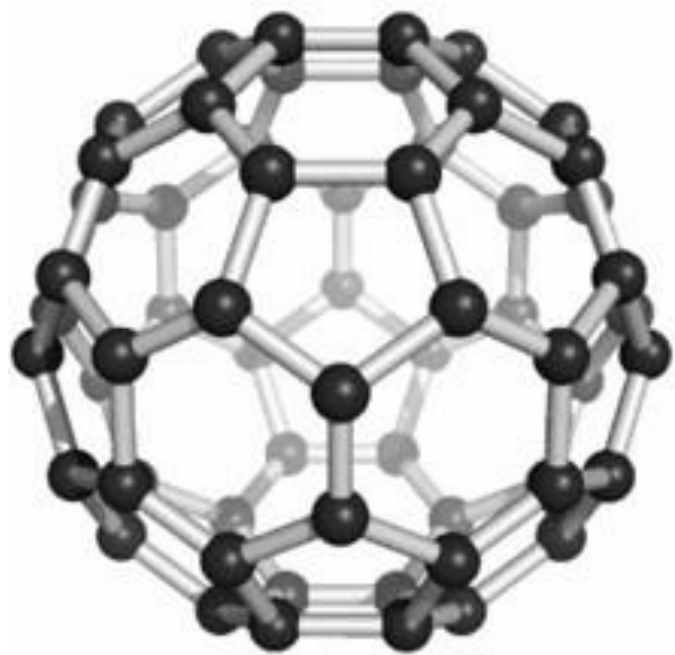
IoT Team of
Valahia University of Targoviste, ROMANIA



Nanomateriali a base di carbonio



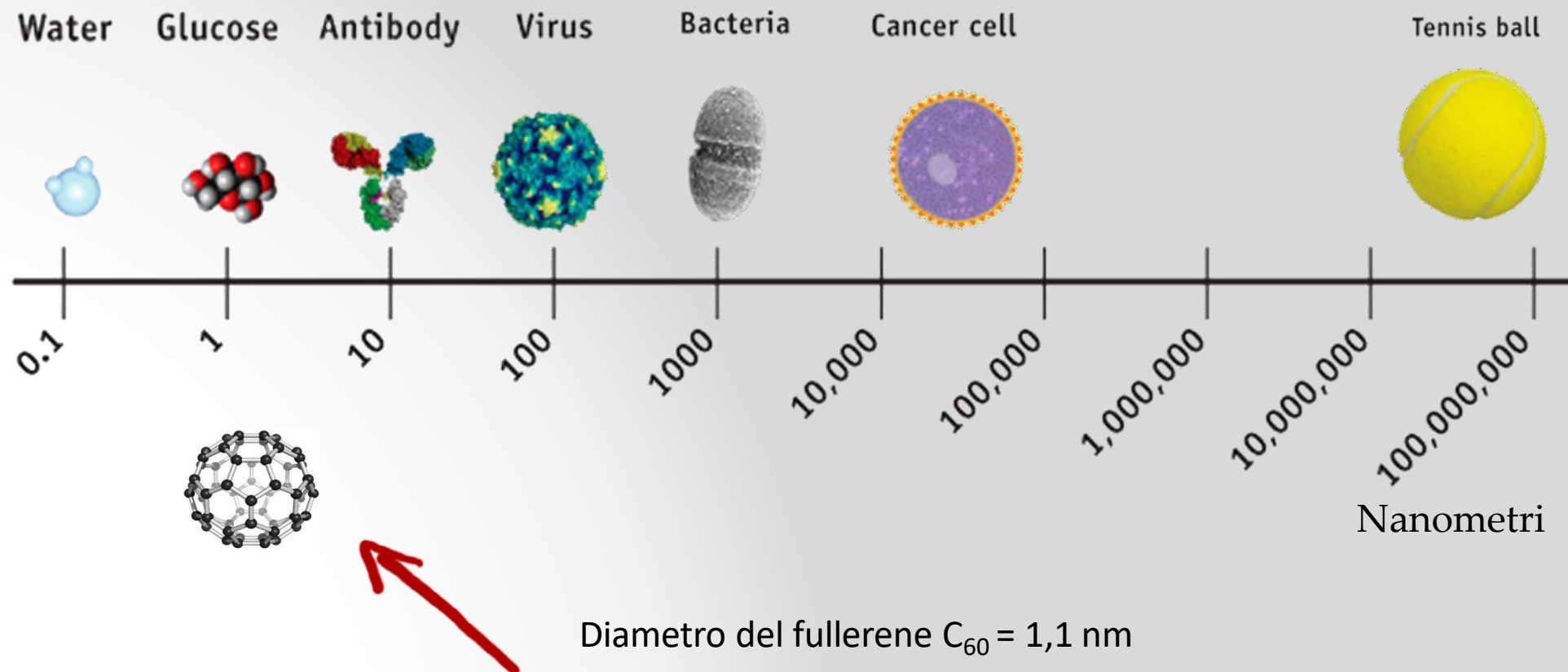
Cosa sono i Fullereni?



- Composti molecolari composti di carbonio, una forma allotropica di carbonio, che assomiglia a un pallone da calcio.

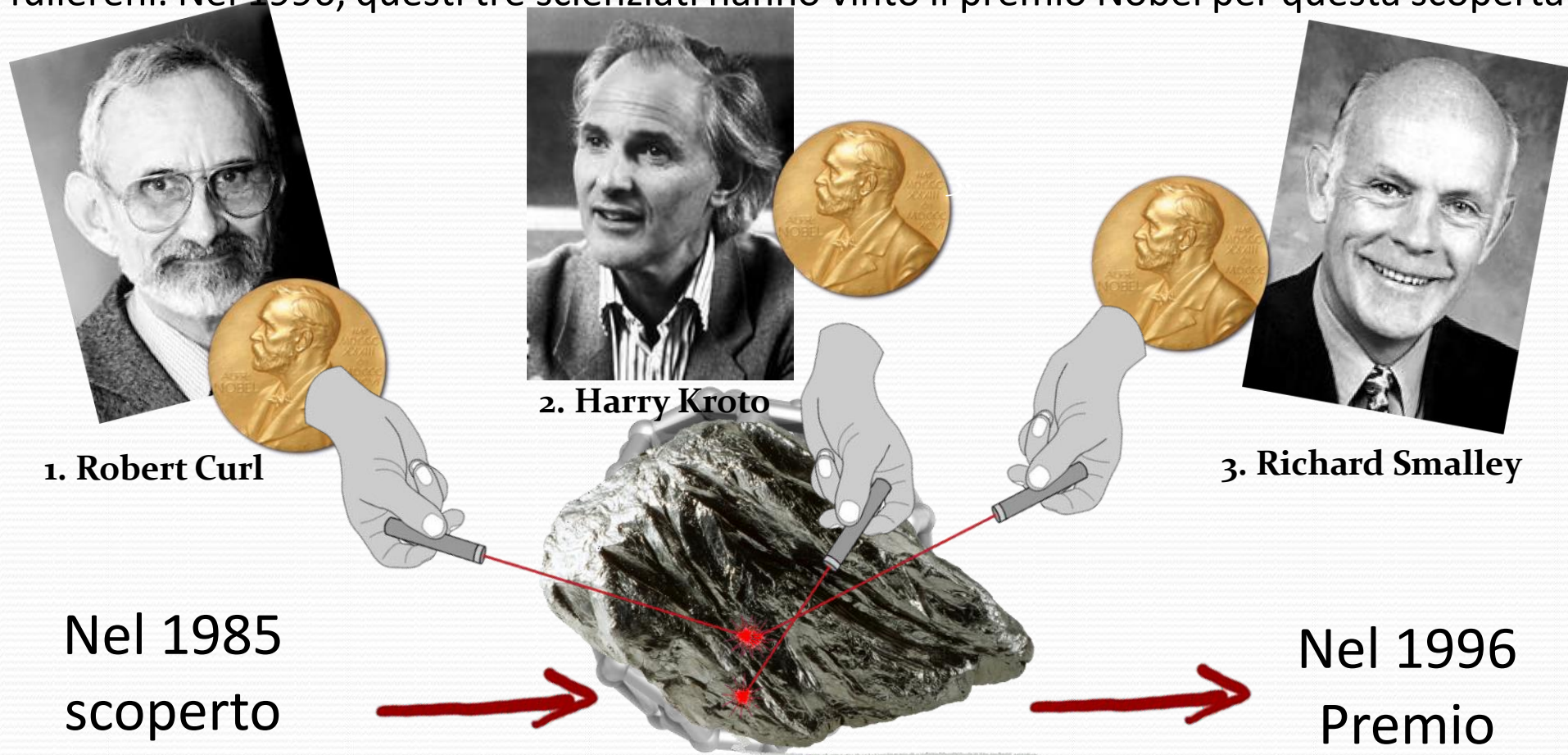
Dimensioni dei fullereni

I fullereni sono alcune molecole abbastanza piccole. In dimensioni fullerene C₆₀ sarebbe un po' più grande del glucosio e leggermente più piccolo di un anticorpo.



La storia dei fullereni

La scoperta dei fullereni è stata accidentale. Tre scienziati Robert Curl, Harry Kroto e Richard Smalley nel 1985 hanno agito con il laser sulla grafite. Nel materiale ottenuto secondo le analisi sono stati scoperti fullereni. Nel 1996, questi tre scienziati hanno vinto il premio Nobel per questa scoperta.



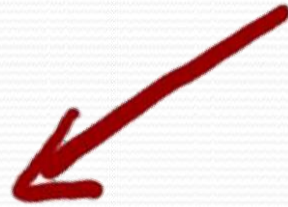
La prima ricerca sui fullereni

Anche se nel 1985 sono stati scoperti i fullereni, le relative ricerche sono iniziate molto prima, negli anni Settanta del secolo scorso.



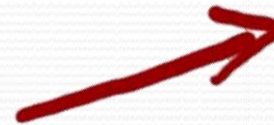
E. Osawa

1971 - Previsione del verificarsi di fullereni



D.A. Bochvar

1973 - modello matematico dei fullereni



Whence it cometh name of fullerene?

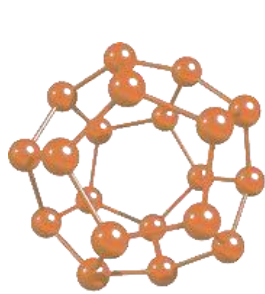


Richard Buckminster "Bucky" Fuller
Architetto americano, teorico dei sistemi,
autore, designer, inventore e futurista che ha
lavorato a progetti futuristici a forma di palla. Così,
in onore di Fuller sono state chiamate queste
molecole - fullereni.

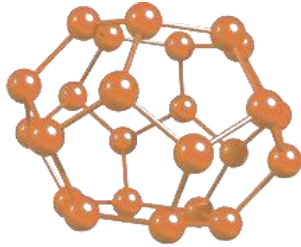


Types of fullerenes

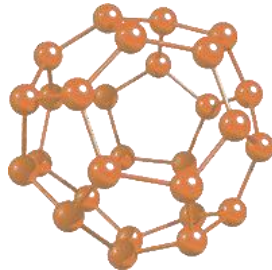
Ora conosciamo diversi tipi di fullerene. Alcuni hanno 20 atomi di carbonio nella molecola, mentre altri raggiungono i 540 atomi!



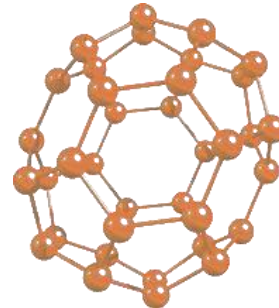
C₂₀



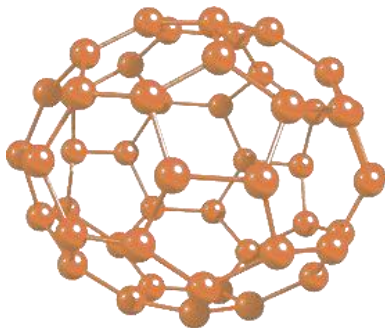
C₂₄



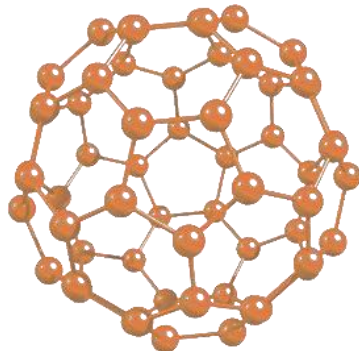
C₂₈



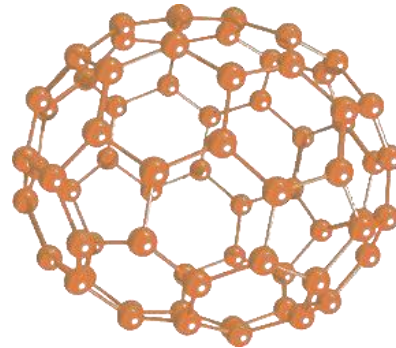
C₃₆



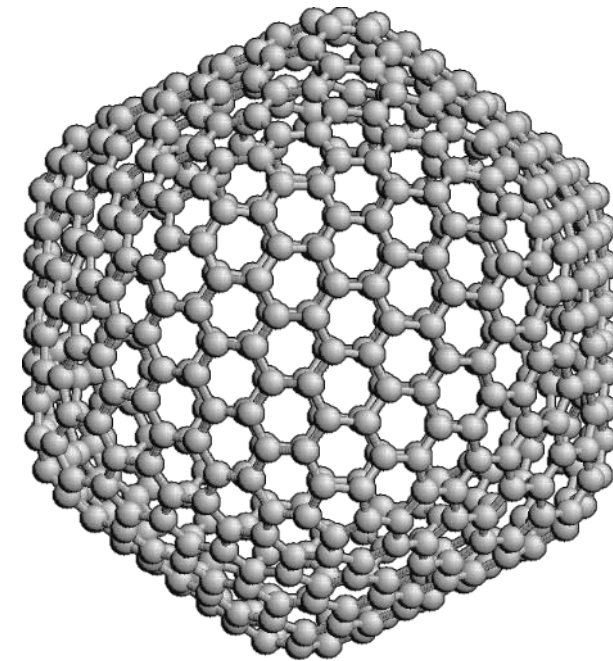
C₅₀



C₆₀

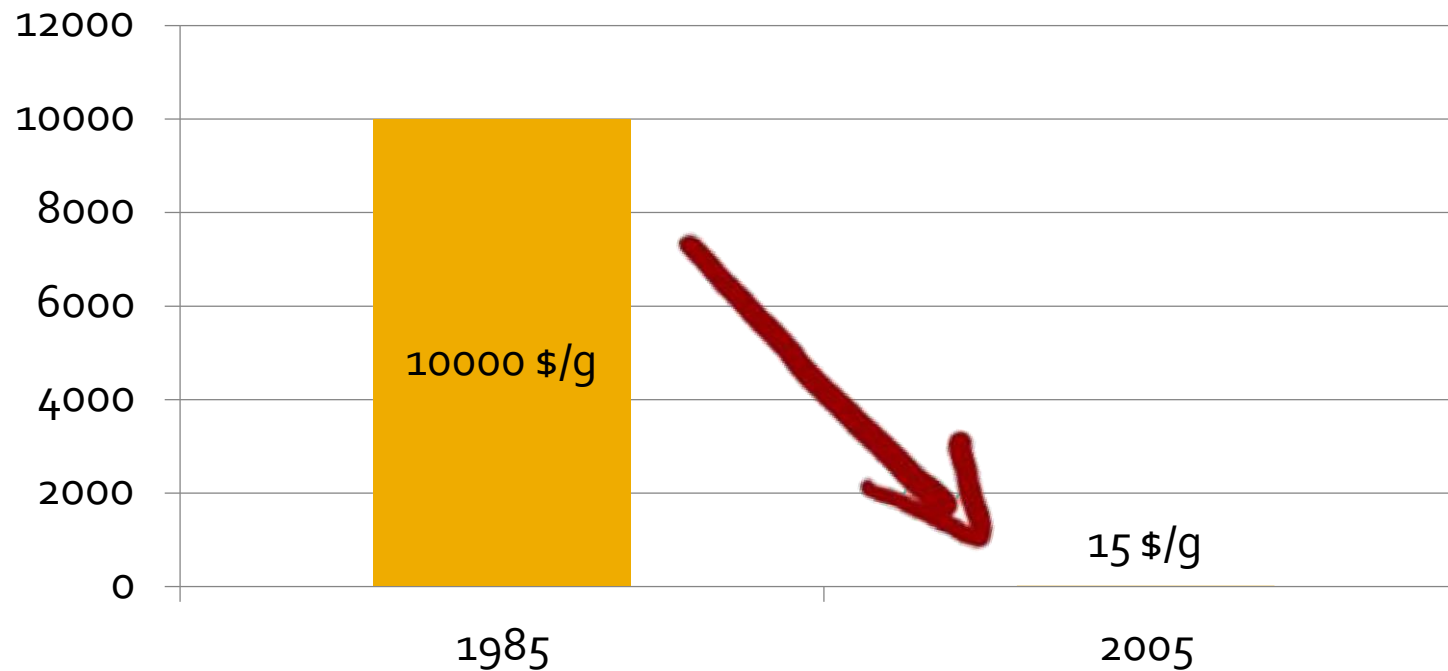


C₇₀



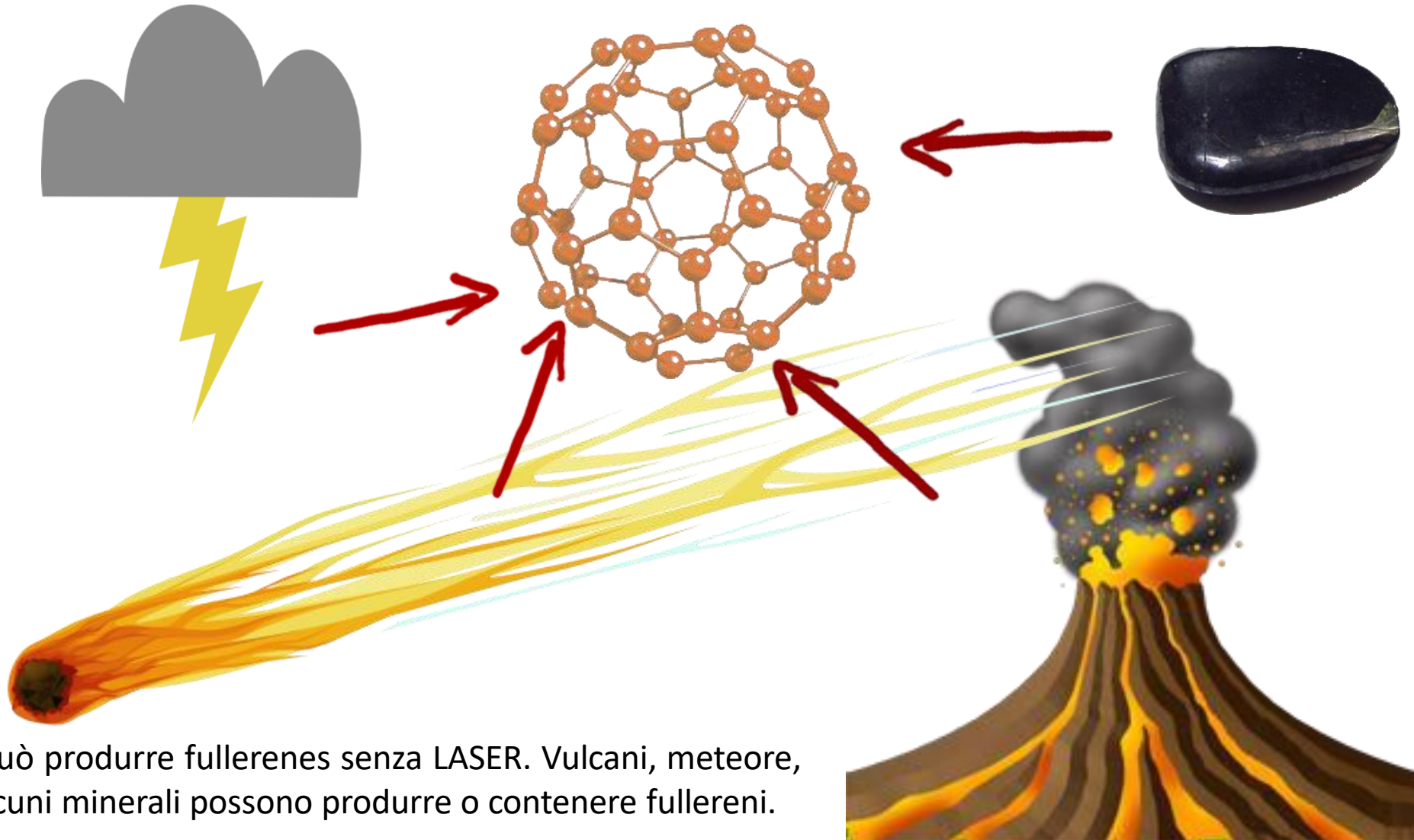
C₅₄₀

The cost of fullerenes



La prima volta poi sono stati scoperti i fullereni, il costo di un grammo di questi composti era di 10.000 dollari, mentre nel 2005 a causa del miglioramento dei metodi di ottenimento, il costo è sceso a 15 dollari al grammo.

Fullerenes in nature

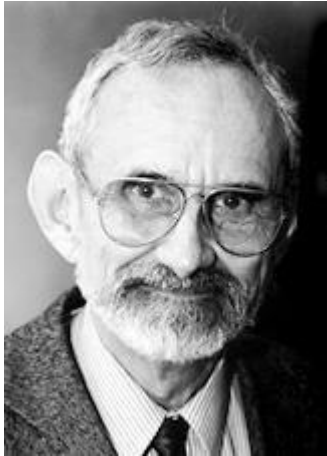


La natura può produrre fullerenes senza LASER. Vulcani, meteore, fulmini e alcuni minerali possono produrre o contenere fullereni.

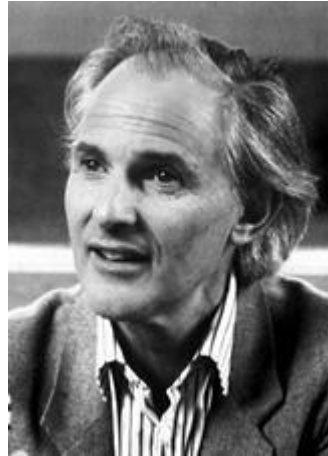
Sintesi dei fullereni

Evaporazione LASER della grafite

1985



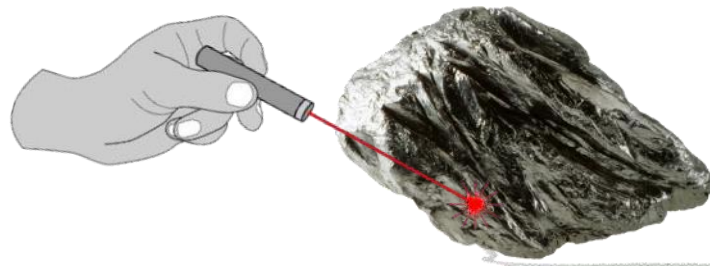
Robert Curl



Harry Kroto



Richard Smalley

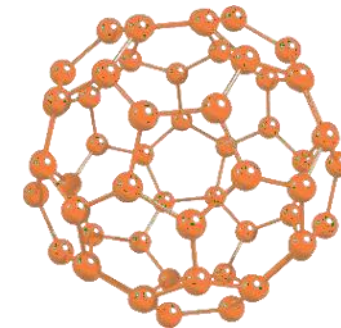


LASER

Graphite



tracce di



C60

Il primo metodo di sintesi fullerenes si basa sull'azione LASER sulla grafite. Il risultato non è stato Molto bene, perché produce solo tracce di fullereni.

Evaporazione termica della grafite

1990



Wolfgang
Krätschmer



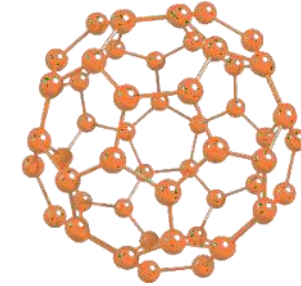
Lowell D. Lamb



Konstantinos
Fostiropoulos



Donald Huffman

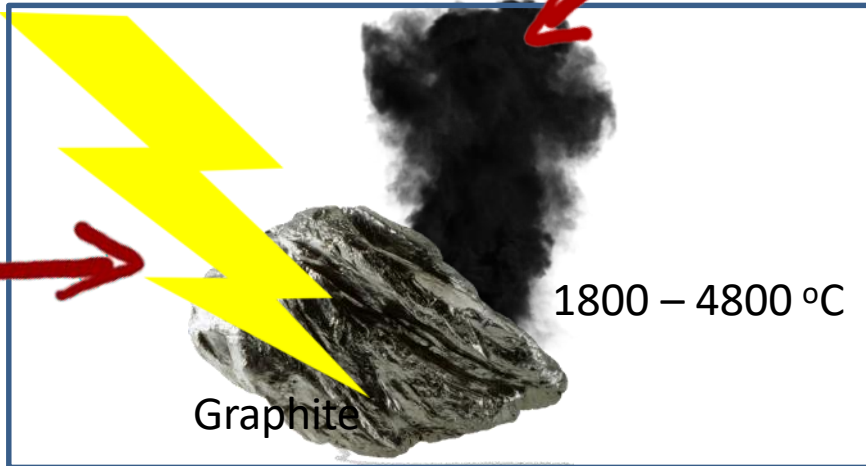


3-12 %

Atmosfera
di elio



Graphite



1800 – 4800 °C

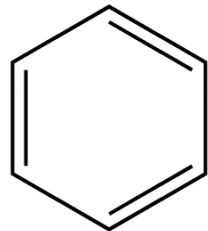
Negli anni Novanta, un gruppo di ricerca guidato da W. Krätschmer e D. Huffman ha trovato un metodo migliore per la sintesi dei fullereni. Hanno messo la grafite in un'atmosfera di elio e hanno portato ad alte temperature questo materiale utilizzando l'elettricità. 3-12% della fuliggine formata conteneva fullereni.

Combustione e pirolisi di composti carbonacei

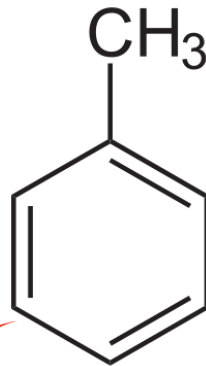
1999



Eiji Osawa



Benzene

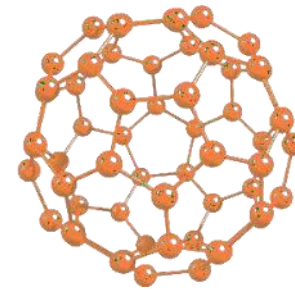


Toluene



Acetilene

6 %



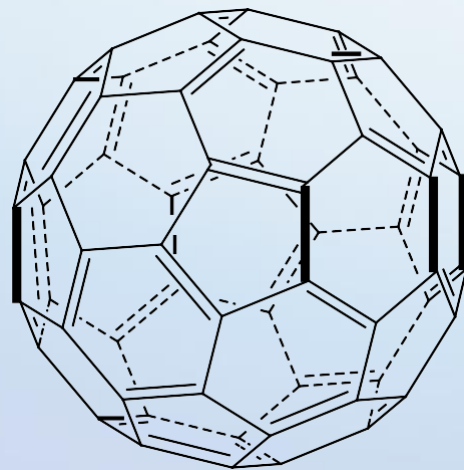
1600 – 4600 °C

Gli scienziati hanno cercato modi alternativi per produrre fullereni. E. Osawa ha scoperto che dalla combustione controllata di composti come benzene, toluene e acetilene possono risultare fullereni.

Fullereni

**Reactions, properties, interesting facts
about ...**

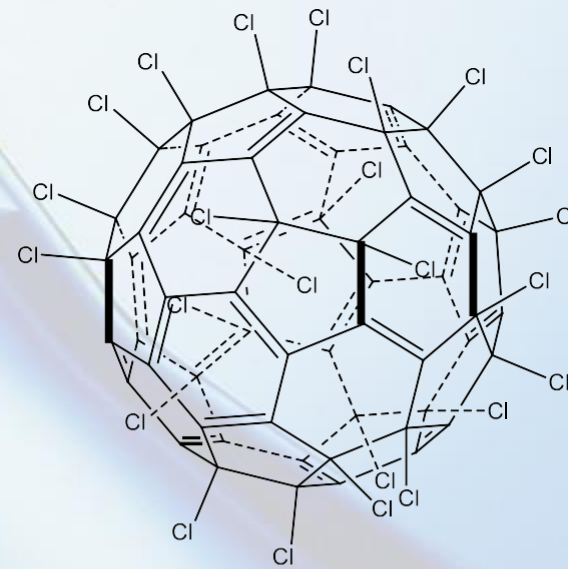
Fullereni + alogeni =?



C_{60}

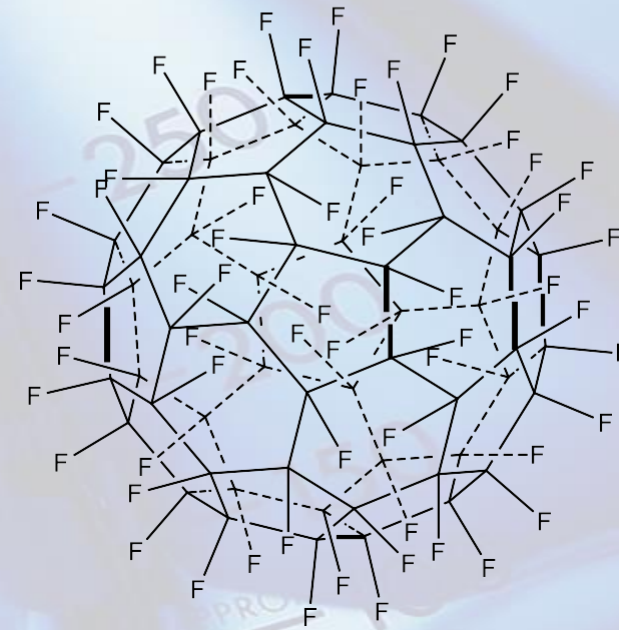
+ Cl_2

$C_{60}Cl_{24}$



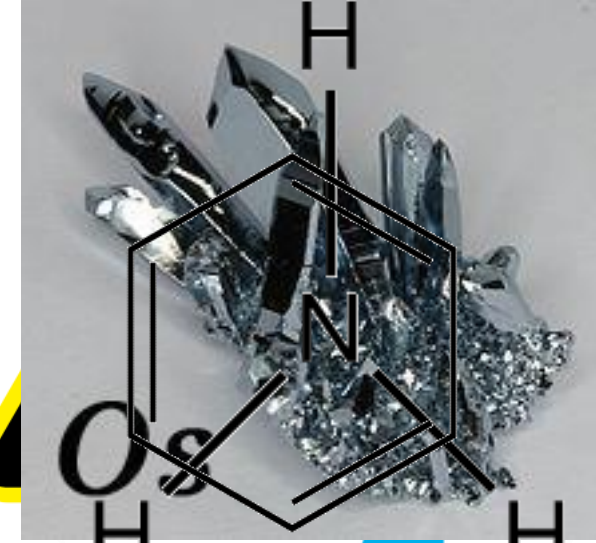
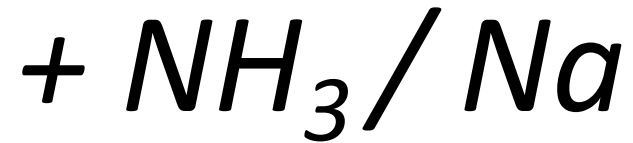
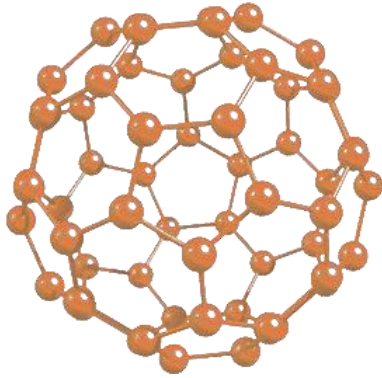
+ F_2

$C_{60}F_{60}$



Anche se i fullereni sembrano composti molto bizzarri, possono entrare in reazione con vari composti. Con gli alogeni come il cloro e il fluoro reagiscono molto bene risultando alcuni composti correlati con i ricci.

Proprietà chimiche dei fullereni



Toxic

Tetrossido di
benzene e osmio

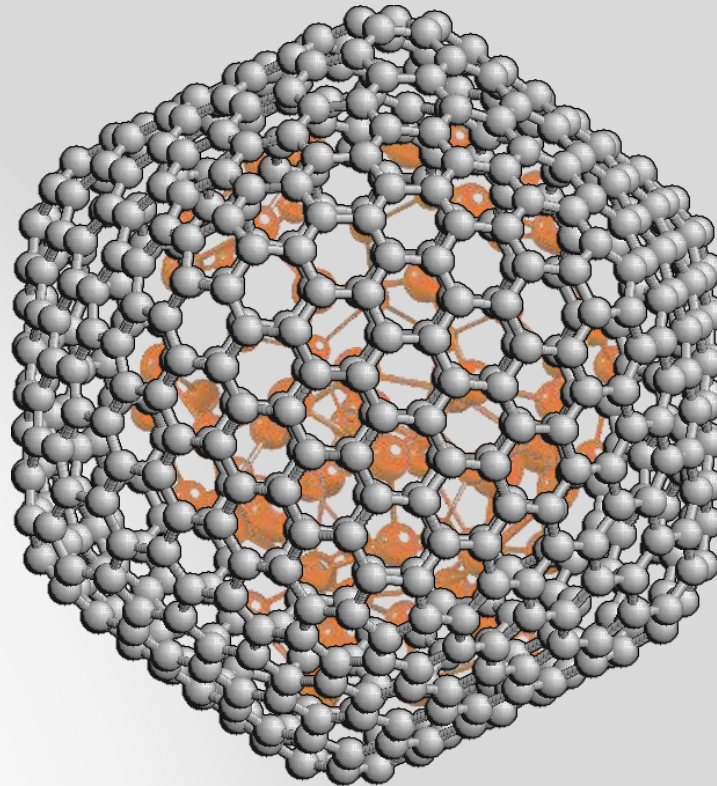
Ossigeno

Ammoniaca

Cianuro di potassio

I fullereni possono reagire con vari composti come ossigeno, potassio tossico cianuro, tetraossido di osmio, ammoniaca, benzene.

Fullerenes in fullerenes



Gli scienziati hanno proposto di creare fullereni in fullereni che possono avere proprietà speciali. Fino a questo momento, non era in grado di ottenere tali strutture.

Fullereni nello spazio



Bernard H. Foing



Pascale Ehrenfreund

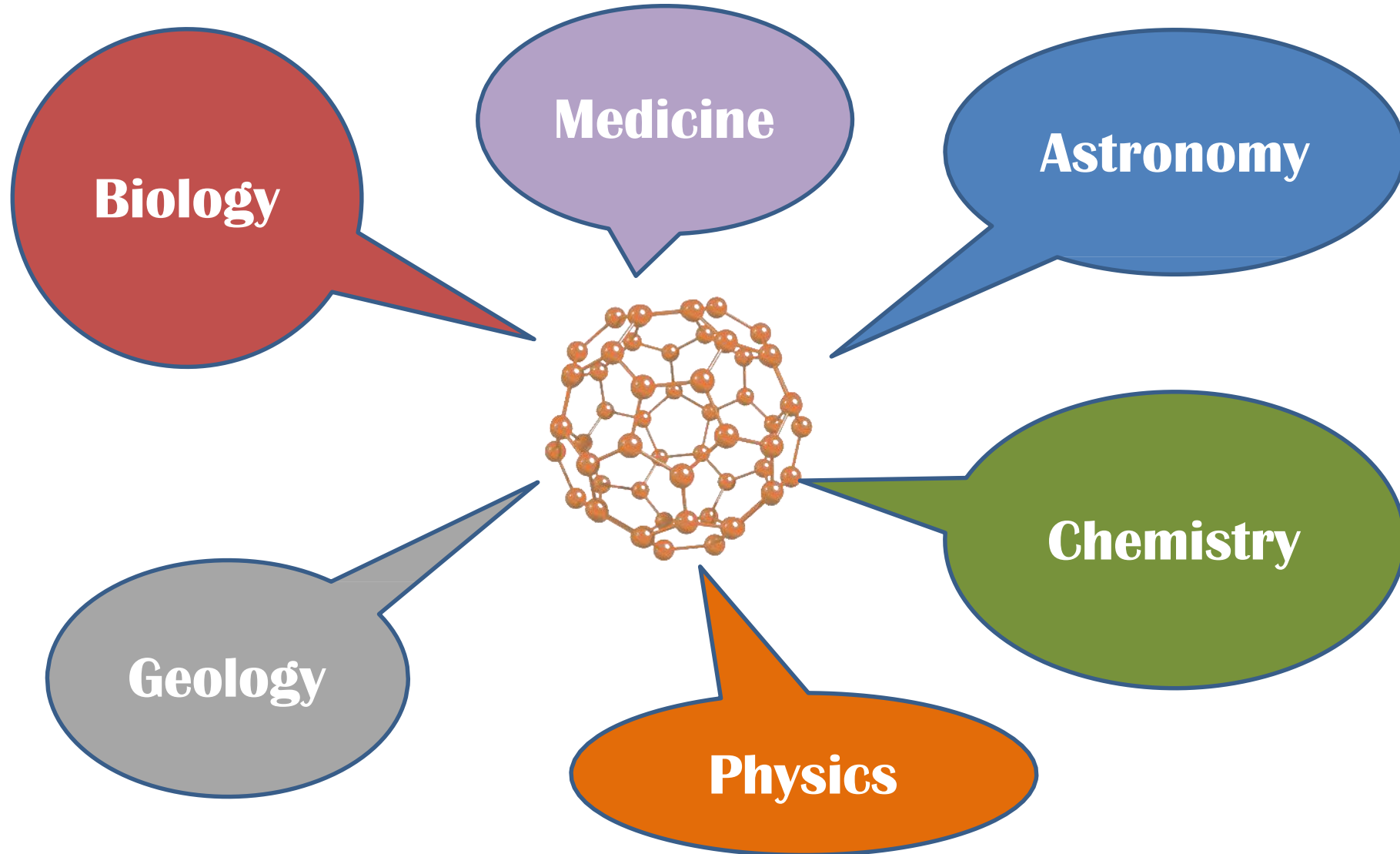
Gli scienziati Bernard Foing
Gli scienziati Ehrenfreund
Bernard Foing telescope
(NASA) ha fatto una
scoperta inaspettata per
molti di noi: i fullereni
esistono nello spazio!



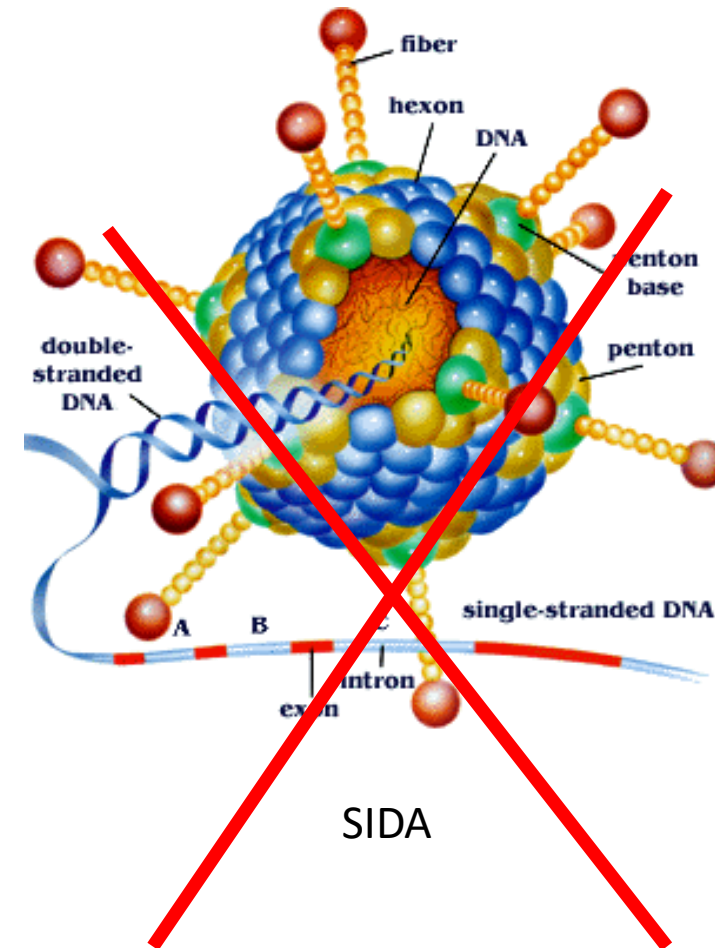
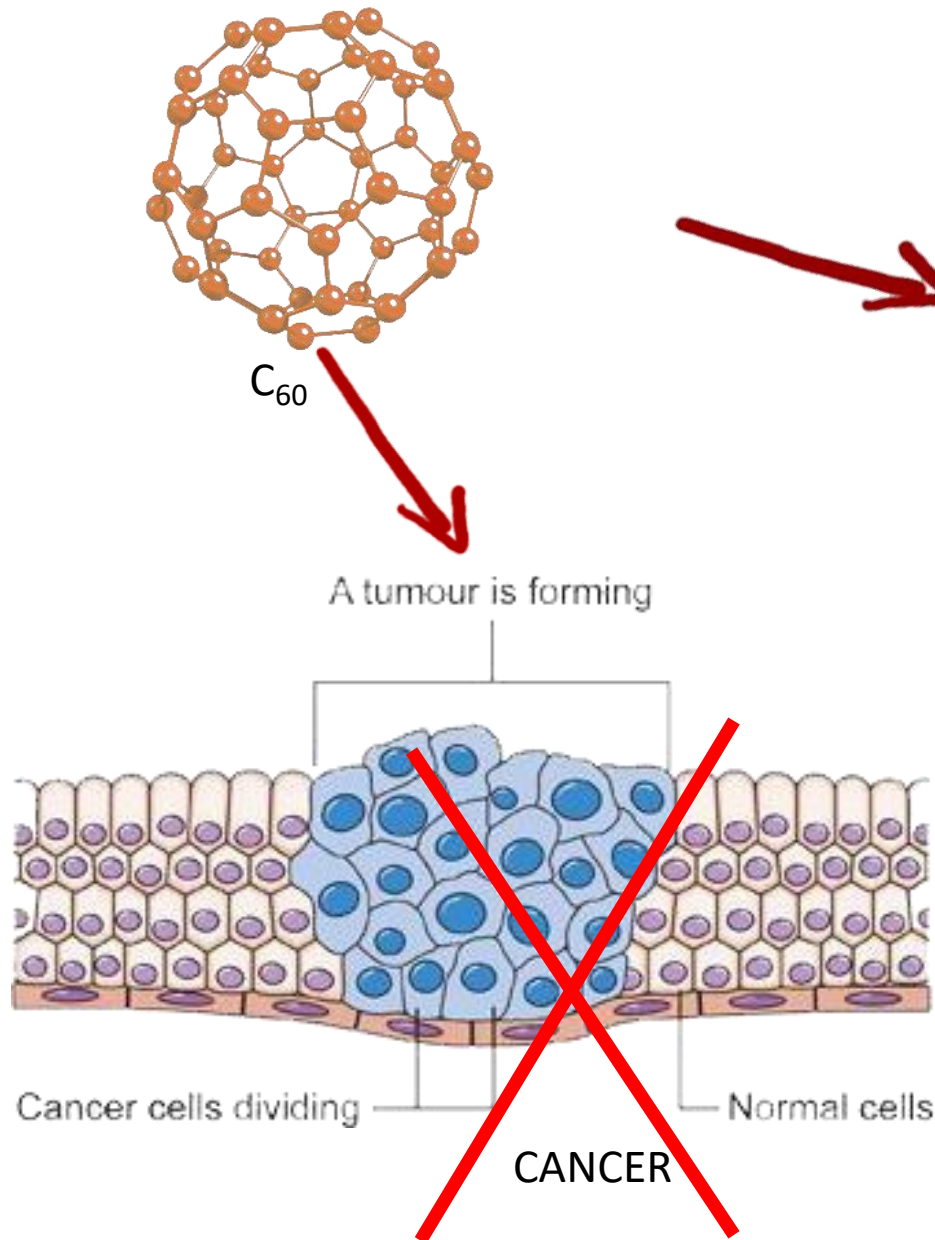
Nebula Tc1

Campi correlati di fullereni

Anche se i fullereni sono noti da poco rispetto ad altre strutture chimiche, sono entrati in diverse aree:



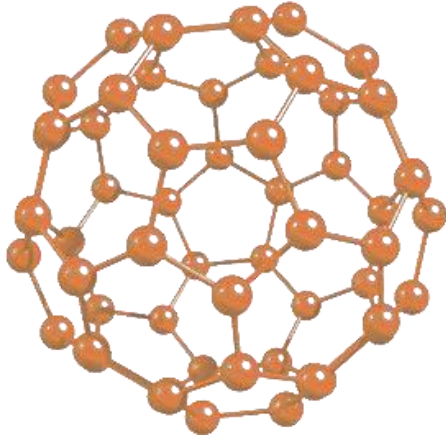
Fullerenes in medicina



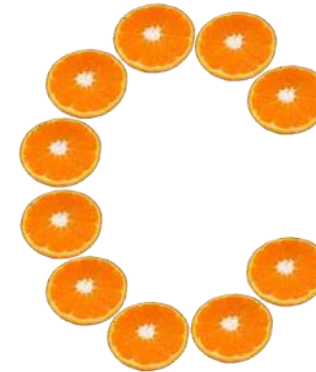
Gli studi sui fullereni non si fermano. Recentemente, i ricercatori hanno scoperto che i fullereni possono aiutare a curare i pazienti affetti da cancro e AIDS. Poiché i test sono in corso e in futuro è possibile che queste molecole meravigliose consentano all'umanità di dimenticare queste gravi malattie.

Fullereni - antiossidanti

Studi sui fullereni rispetto a vari composti necessari per l'organismo, come le vitamine, dimostrano che i fullereni hanno un'azione antiossidante 125 volte più forte della vitamina C.

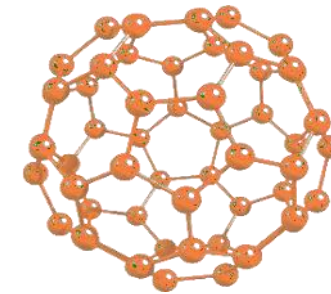
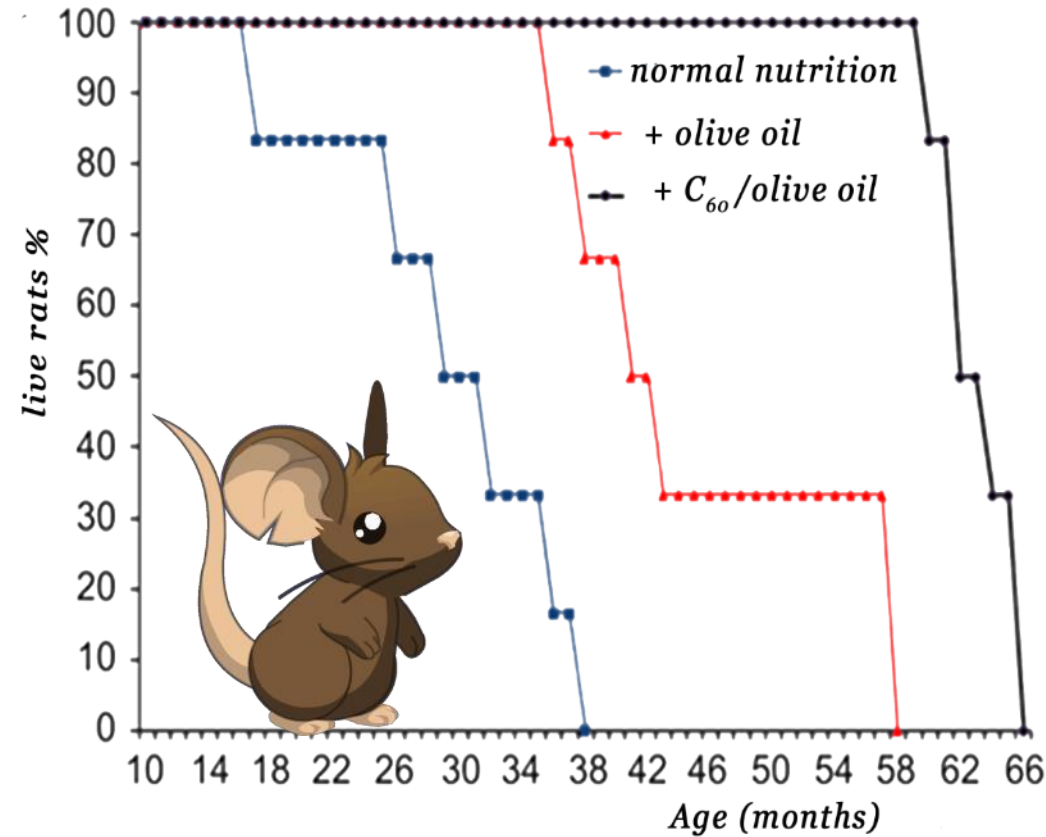


125 times more
powerful



VITAMIN

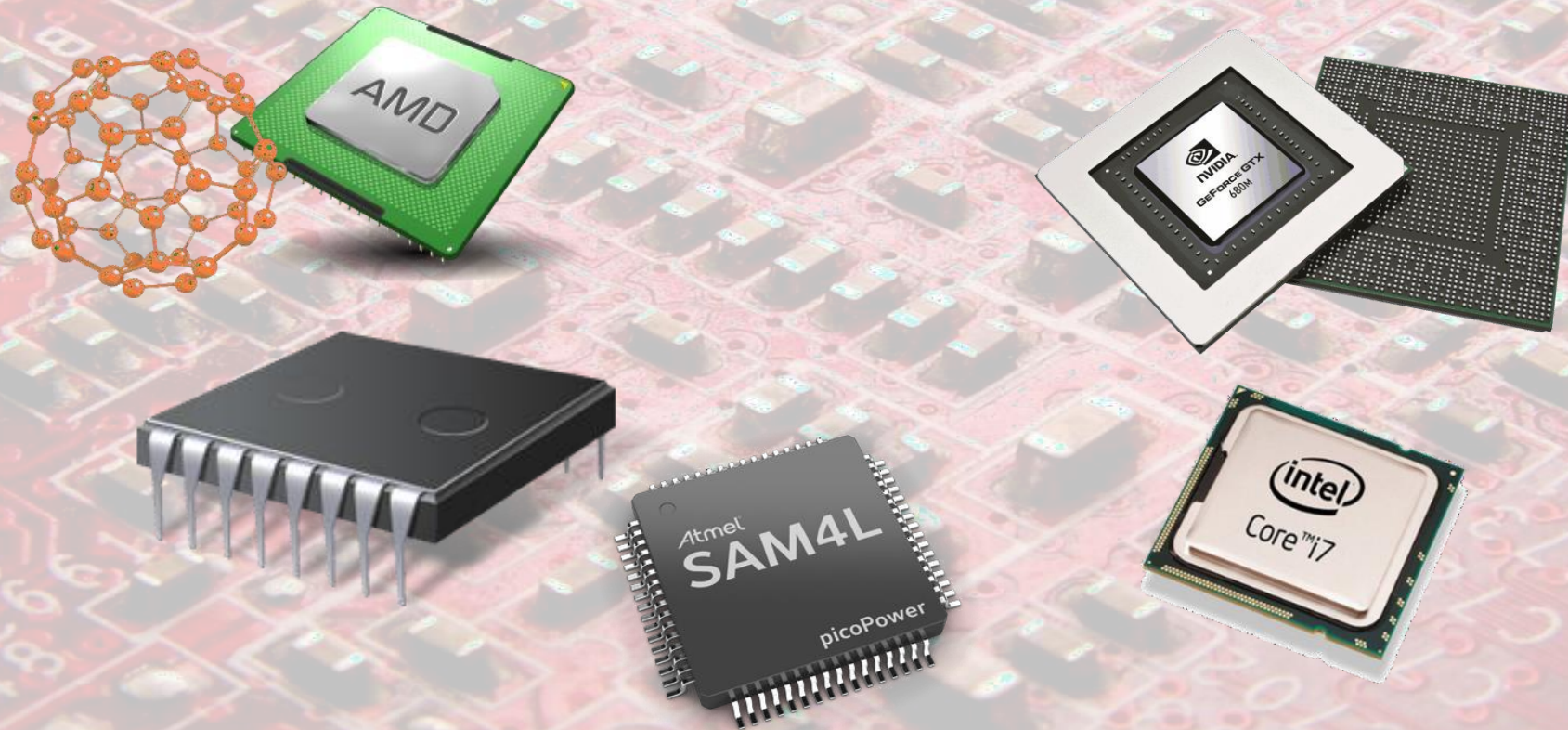
Fullerene allunga la vita



Vitamin A?

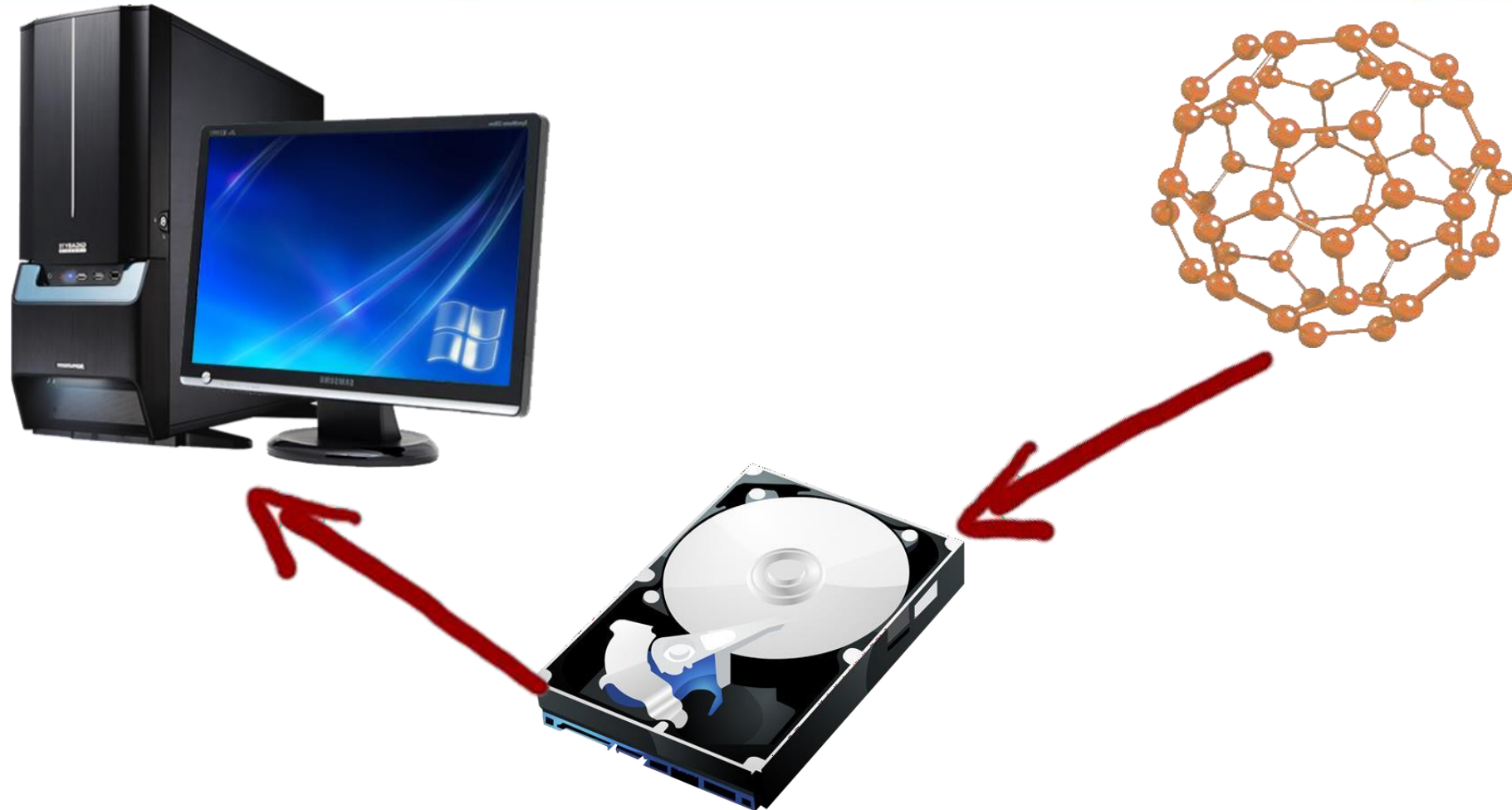
I fullereni possono prolungare la vita. Esperimenti sui topi hanno dimostrato che i topi che avevano nel cibo aggiunto olio d'oliva e fullereni hanno vissuto quasi 2 volte più a lungo dei topi che mangiavano normalmente. Gli scienziati ritengono che sia possibile che i fullereni possano attivare la vitamina A in modo insolito.

Fullerenes in nanotecnologia



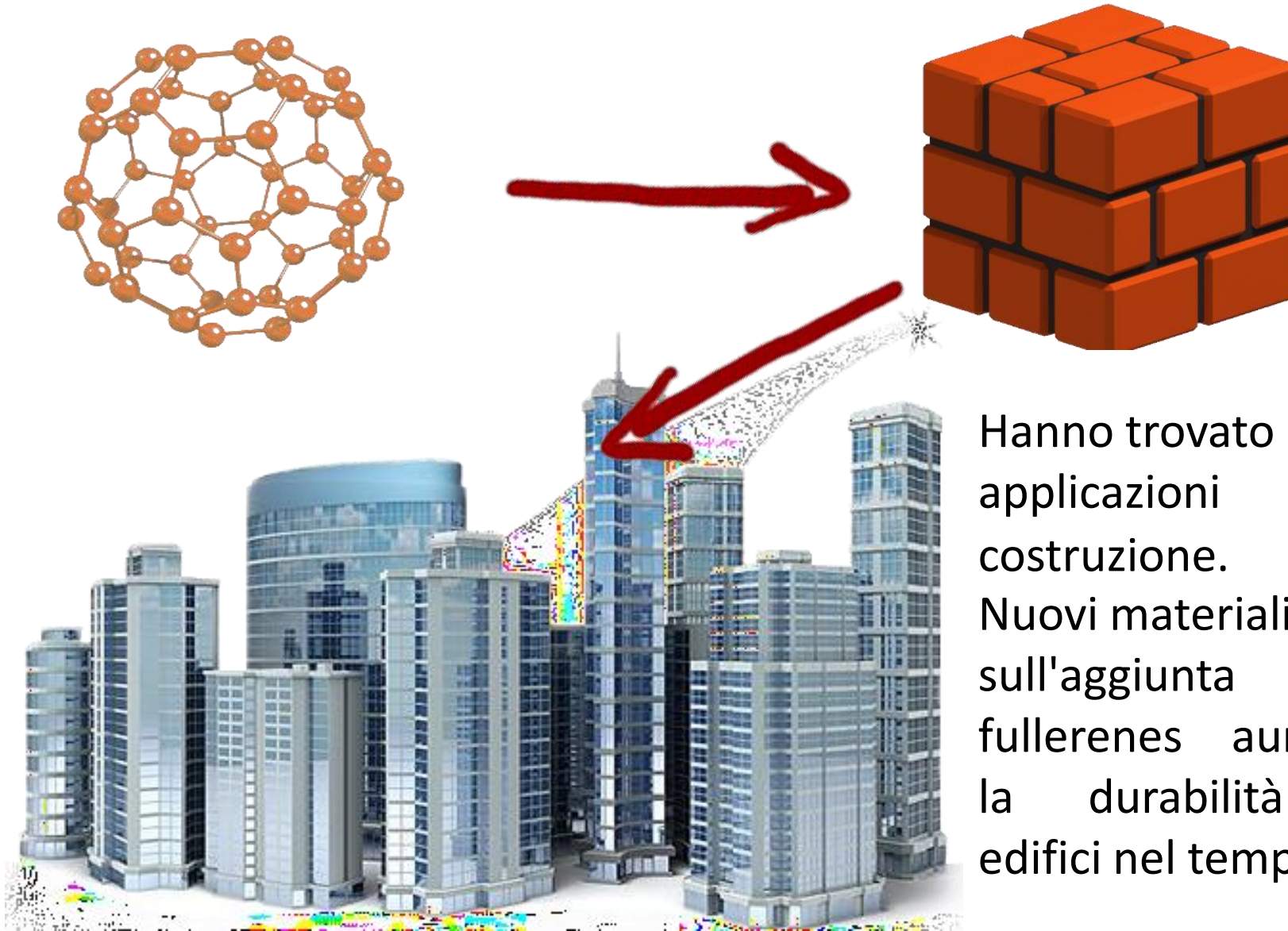
La nanotecnologia utilizza fullereni nella produzione di vari chip e microcircuiti. Le grandi aziende le utilizzerebbero per creare apparecchiature di nuova generazione.

La creazione di grandi e migliori dispositivi di memorizzazione delle informazioni



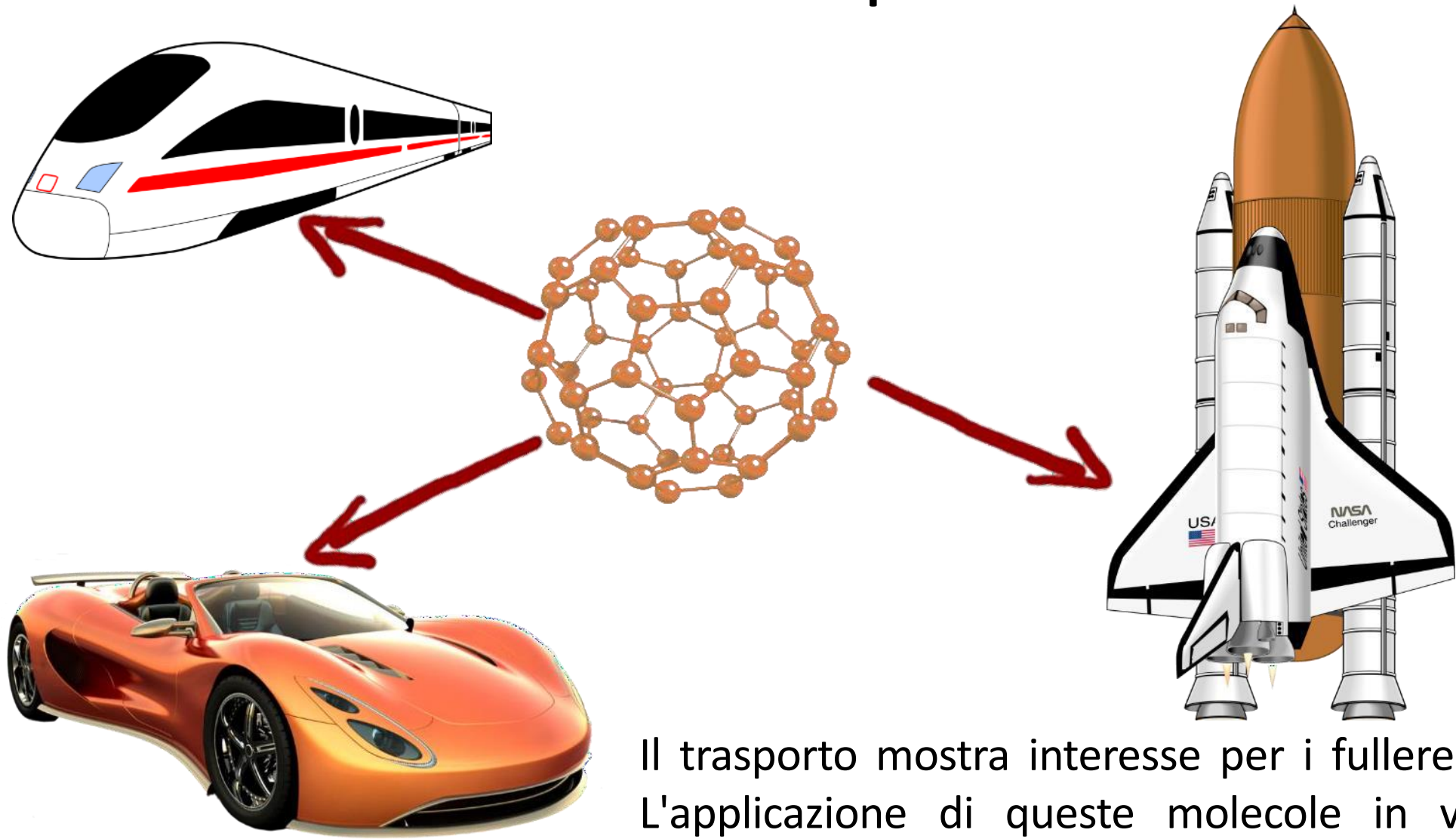
I Fullerenes sono entrati nel campo della tecnologia dell'informazione. Si prevede che utilizzando fullerenes nella creazione di dischi rigidi, sarà grande spazio di archiviazione del computer.

Materiali modificati da fullerenes



Hanno trovato applicazioni in costruzione. Creato nuovi materiali basati sull'aggiunta di fullerenes aumenterà la durabilità degli edifici nel tempo.

Fullerenes e trasporto



Il trasporto mostra interesse per i fullerenes. L'applicazione di queste molecole in varie leghe, potrebbe diminuire i processi di degradazione dei materiali.

Materiali ottici



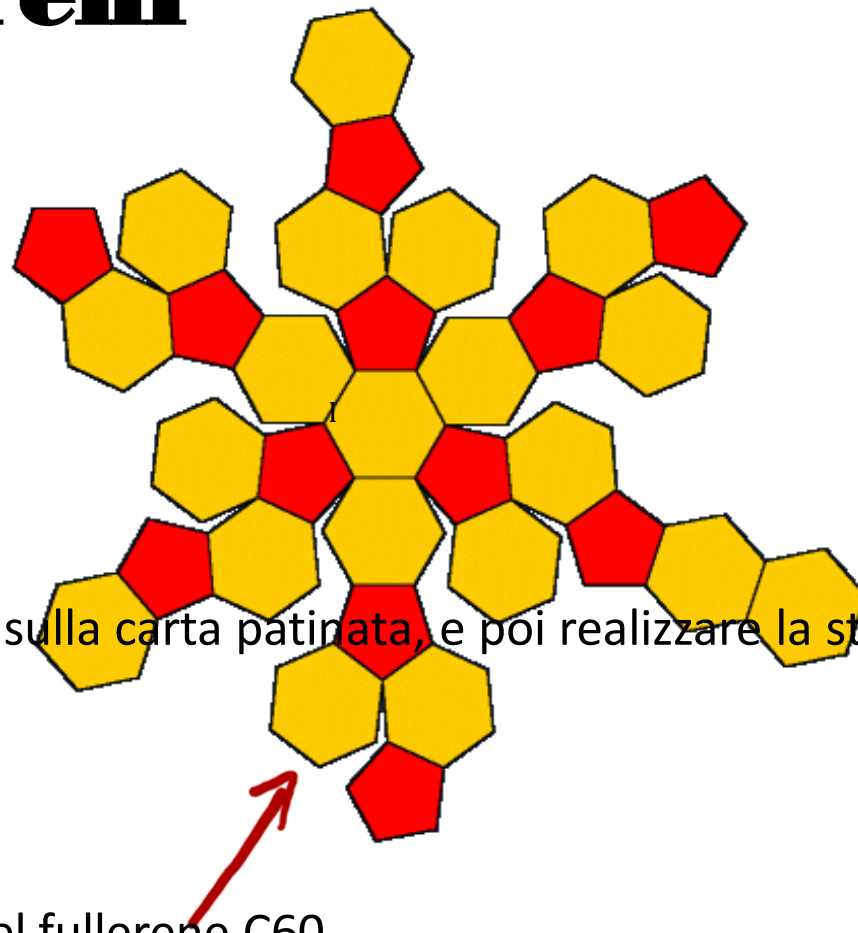
Se si dispone di occhiali da sole o telescopio è possibile che essi contengano fullerenes. Nel caso degli occhiali da sole, i fullerenes servono a proteggere gli occhi.

Fullereni

- Provate a modellare per la stampa 3d la struttura dell'unità del buckyball C60 fullerene, nel rispetto di quanto appreso finora sulla sua struttura.
- La struttura del fullerene C60 contiene 20 esagoni e 12 pentagoni di carbonio collegati tra loro in coordinazione. Ogni pentagono di carbonio è connesso a cinque esagoni di carbonio.

La struttura dispiegata è mostrata a destra.

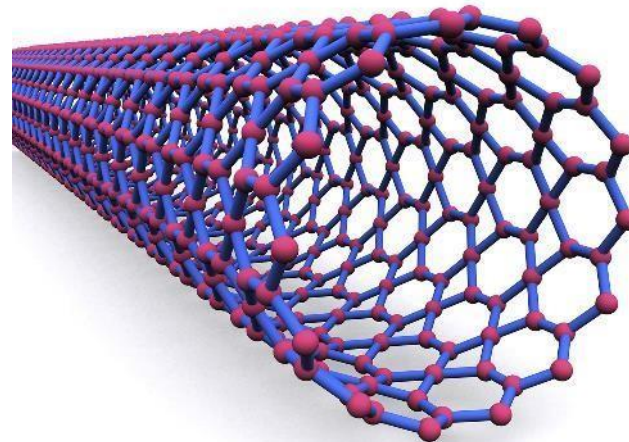
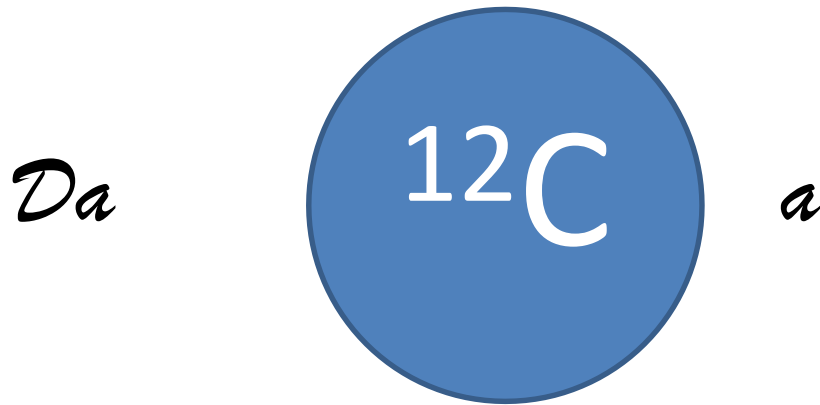
- Se non è possibile stamparlo in 3d, stamparlo in 2d sulla carta patinata, e poi realizzare la struttura 3d con la piegatura della carta.



Unità di struttura del fullerene C60

- Dopo aver stampato e ottenuto il modello 3d della struttura del fullerene C60, analizzare gli angoli e le lunghezze delle catene per cercare di osservare la rigidità/flessibilità data dalla struttura del fullerene.

Nanomateriali a base di carbonio



Nanotubi

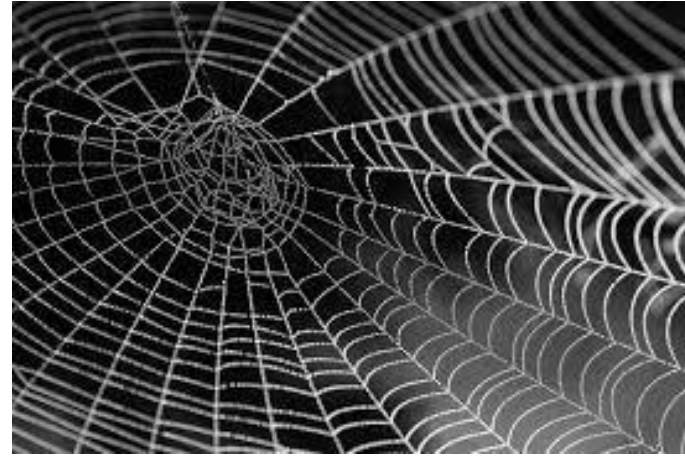
Dalla seta di ragno ai nanotubi?

La maggior parte di noi non ama gli insetti come i ragni. Ma, sappiamo tutti che hanno un talento straordinario: produrre ragnatele.

I ragni costruiscono la loro ragnatela attraverso l'estrusione di una proteinacea seta di ragno dalle loro spinnerie.

La resistenza alla trazione della seta di ragno è superiore allo stesso peso dell'acciaio e ha un'elasticità molto maggiore. La seta di ragno è cinque volte più forte dell'acciaio! Non è incredibile?

Alcune ragnatele possono anche resistere alla forza di un uragano venti!



Ragnatela.

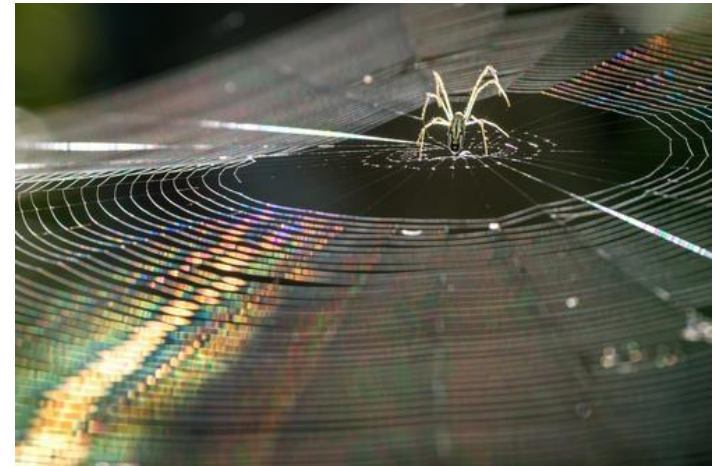


Rugiada sulla ragnatela

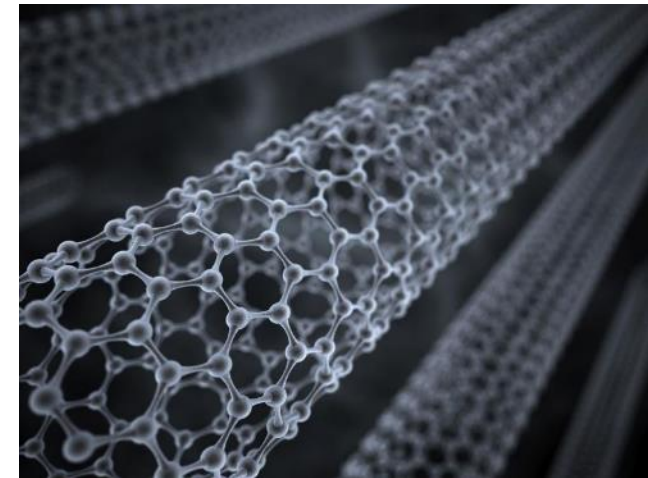
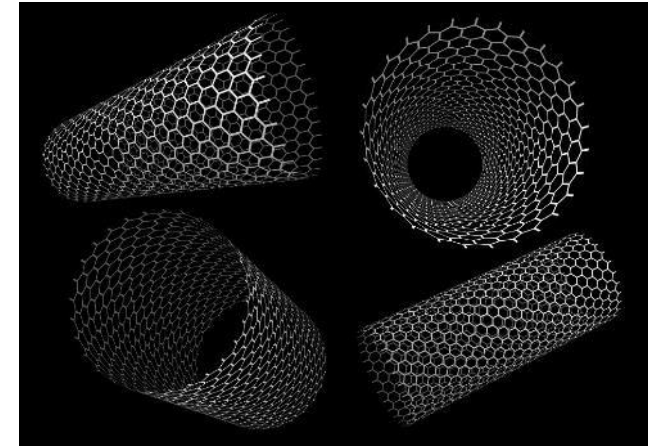
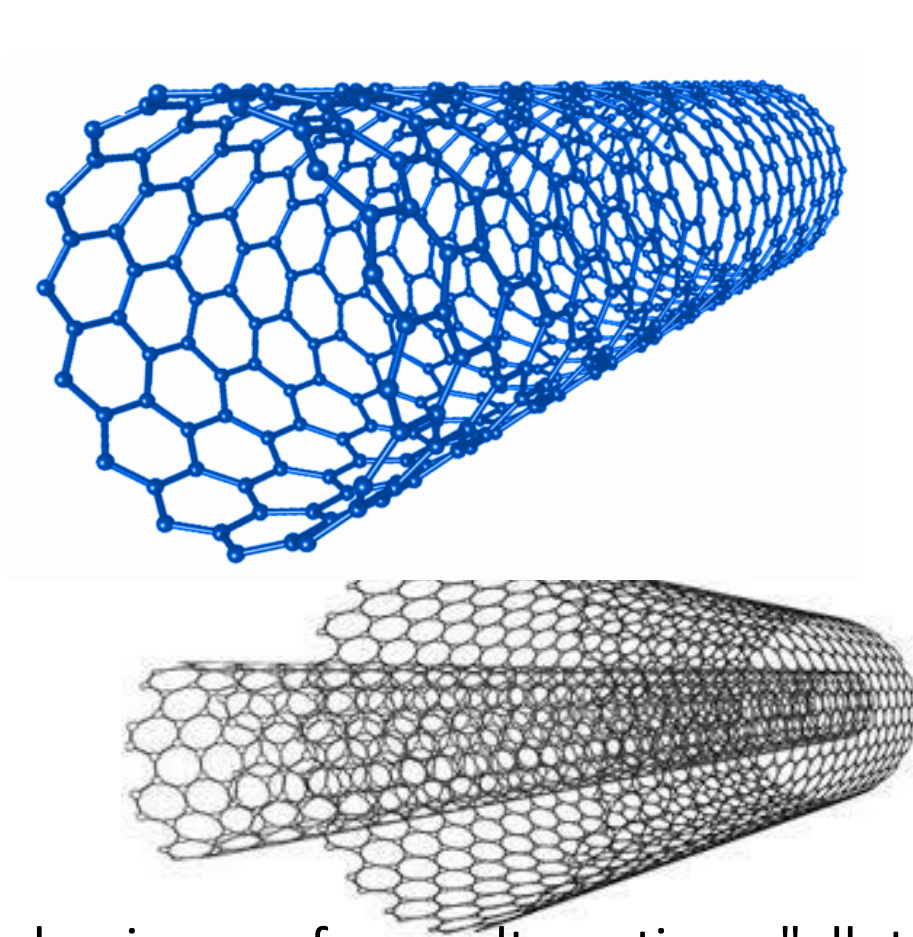
Dalla seta di ragno ai nanotubi?

Oltre ai produttori cinematografici, le straordinarie proprietà della seta di ragno e della ragnatela sono state una meraviglia anche per gli scienziati.

Gli scienziati hanno studiato per la prima volta le proprietà della seta di ragno e della ragnatela. Poi, come al solito, hanno deciso di imitare la seta dei ragni. E, scoperto che il materiale più adatto per imitare la seta dei ragni è il "Nanotubi di carbonio".

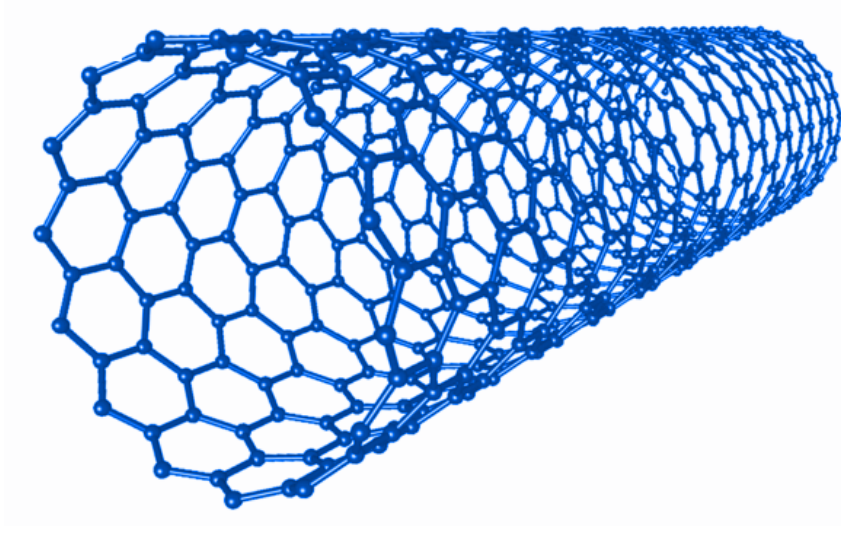


Cosa sono i nanotubi?



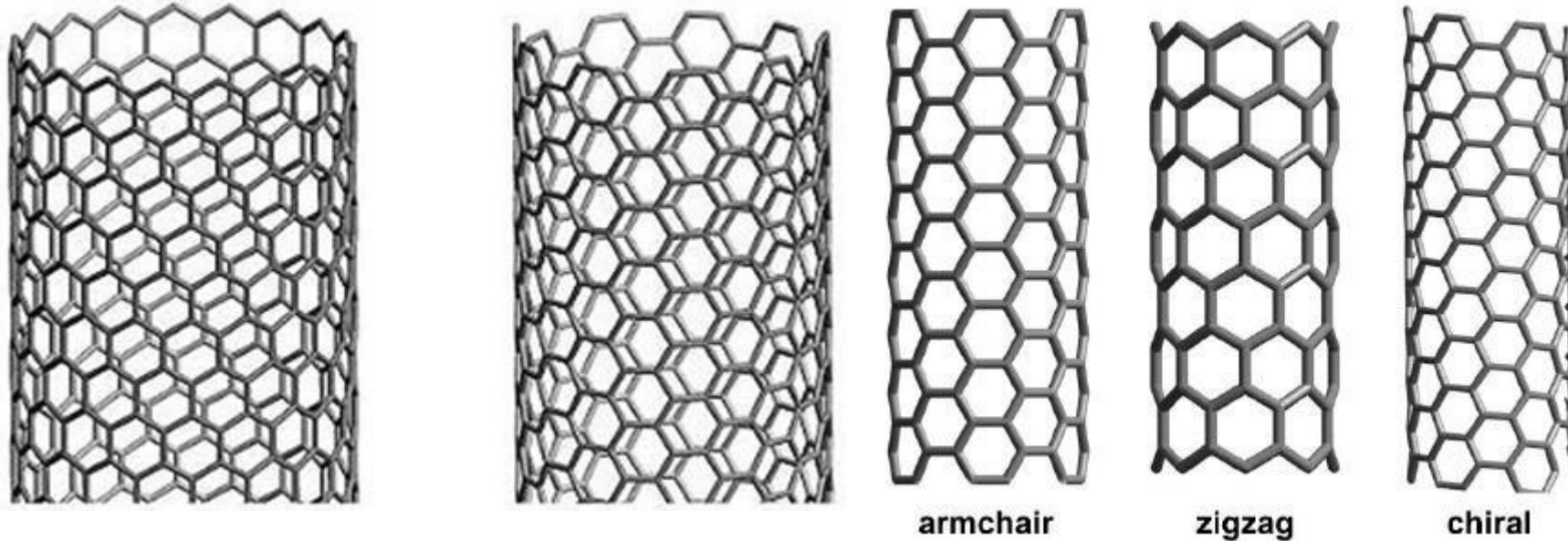
I nanotubi di carbonio sono forme alternative o "allotropi" di carbonio, proprio come il diamante e il grafene (piombo di matita), che hanno la forma di cilindri

Cosa cosno i nanotubi?



Sono stati scoperti dallo scienziato giapponese Sumio Iijima nel 1991.

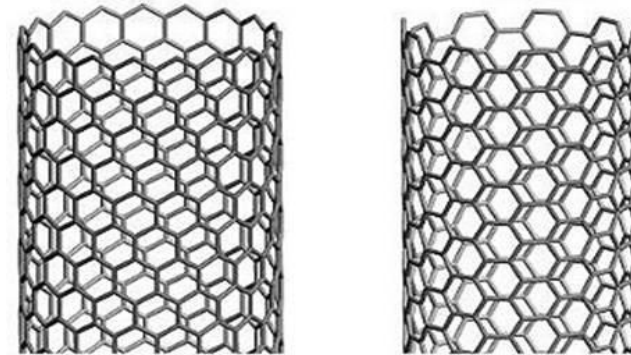
Struttura dei Nanotubi



- La natura speciale del carbonio si combina con la perfezione molecolare dei buckytubes (nanotubi di carbonio a parete singola) per dotarli di proprietà materiali eccezionalmente elevate come la conducibilità elettrica e termica, la resistenza, la rigidità e la tenacità.
- Nessun altro elemento della tavola periodica si lega a se stesso in una rete estesa con la forza del carbonio-carbonio legame.
- Il pi-elettrone delocalizzato donato da ogni atomo è libero di muoversi all'interno dell'intera struttura, piuttosto che rimanere a casa con il suo atomo donatore, dando origine alla prima molecola con conducibilità elettrica di tipo metallico.
- Le vibrazioni ad alta frequenza del legame carbonio-carbonio forniscono una conducibilità termica intrinseca superiore anche al diamante.

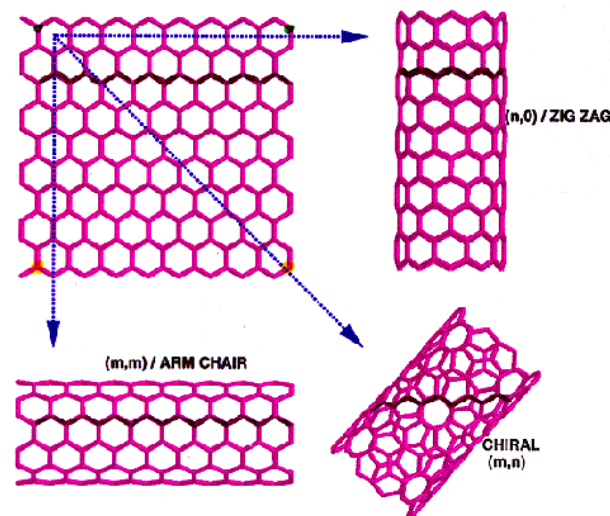
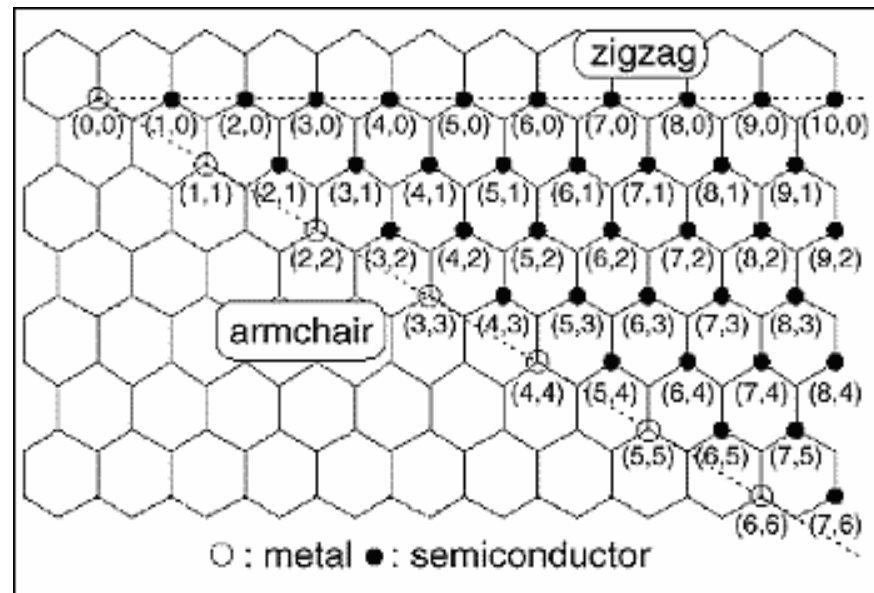
Strutture Buckytube

- I Buckytubes sono nanotubi di carbonio a parete singola, in cui un singolo strato di grafite - il grafene - viene arrotolato in un tubo senza saldatura.
- Il grafene è costituito da una struttura esagonale come il filo di pollo. Se immaginate di arrotolare il grafene o
- filo di pollo in un tubo senza saldatura, questo può essere realizzato in vari modi.
- Ad esempio, i legami carbonio-carbonio (i fili in filo di pollo) possono essere paralleli o perpendicolari all'asse del tubo, dando luogo ad un tubo in cui gli esagoni circondano il tubo come una cintura, ma sono orientati in modo diverso.
- In alternativa, i legami carbonio-carbonio non devono essere né paralleli né perpendicolari, nel qual caso gli esagoni si avvolgeranno a spirale attorno al tubo con un passo che dipende da come il tubo viene avvolto. La figura del soffietto illustra questi punti:



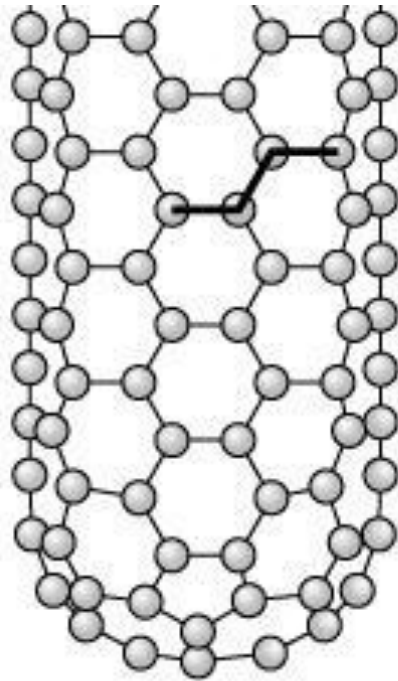
Convenzione di denominazione

- Esiste una semplice convenzione di etichettatura per distinguere i tubi avvolti in modo diverso l'uno dall'altro.
- La mappatura specifica il numero di vettori unitari necessari per collegare due atomi nel reticolo planare esagonale per formare un tubo senza saldatura.
- Questi numeri specificano un "vettore" per la mappatura, comunemente espresso come (m,n) , dove m e n sono numeri interi.
- Questi numeri costituiscono un "nome" unico per un tubo. Qualsiasi tubo "nominato" $(n,0)$ ha legami carbonio-carbonio che sono paralleli all'asse del tubo, e formano, ad un'estremità aperta, un modello "zig-zag"; questi tubi sono chiamati tubi "zig-zag".

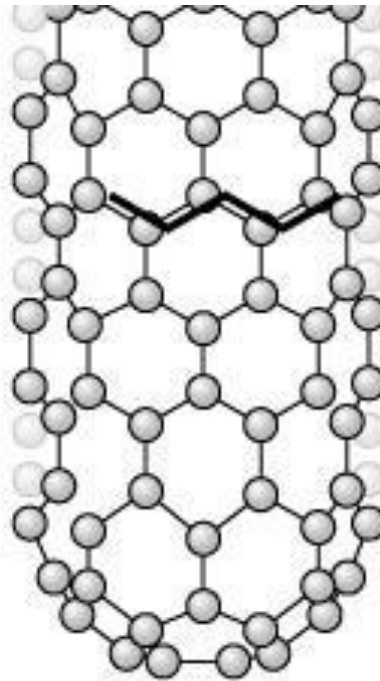


Convenzione di denominazione

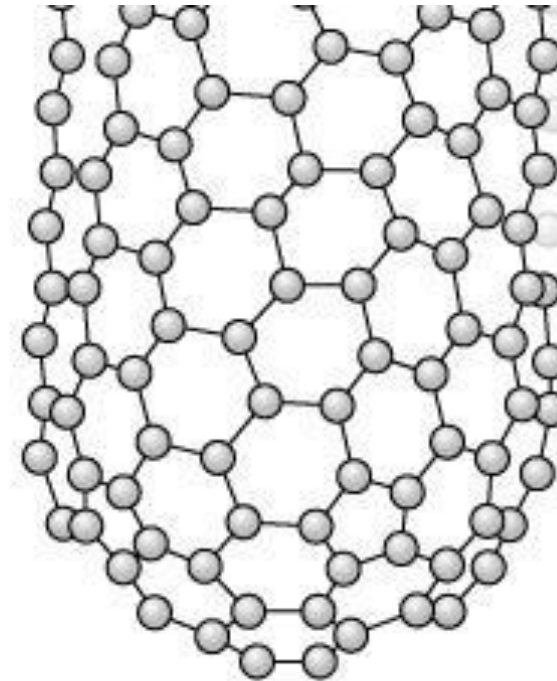
- I tubi denominati (n,n) , dove i due numeri interi sono uguali, hanno legami carbonio-carbonio che sono perpendicolari all'asse del tubo, e sono spesso chiamati tubi "poltrona". Questi due tipi di base sono achirali, il che significa che non hanno un'immagine speculare distinta, come la mano destra e la mano sinistra.
- Tutte le altre provette, chiamate (m,n) , dove m non è uguale a n , e nemmeno 0, sono chirali, e hanno varianti per mancini e destrimani.



Armchair



Zigzag



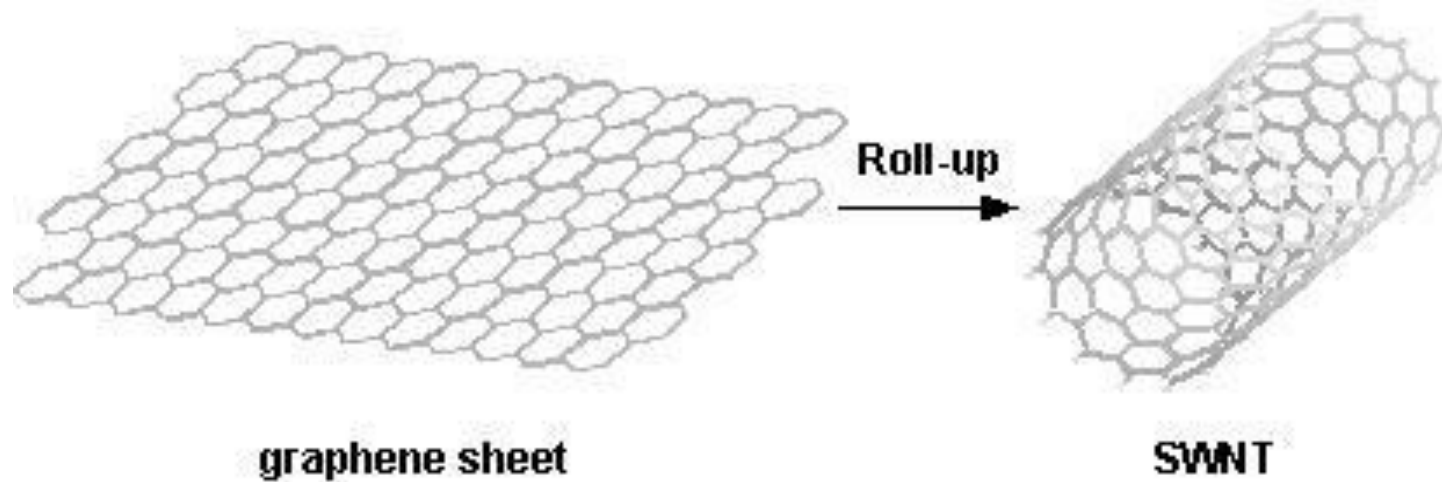
Chiral

Strutture in nanotubi di carbonio

- I CNT sono classificati come nanotubi a parete singola (SWCNT) e nanotubi a parete multipla (MWCNT).

Nanotubi di carbonio a parete singola (SWCNT):

Quando un foglio di grafene viene arrotolato, si forma un singolo CNT a parete.



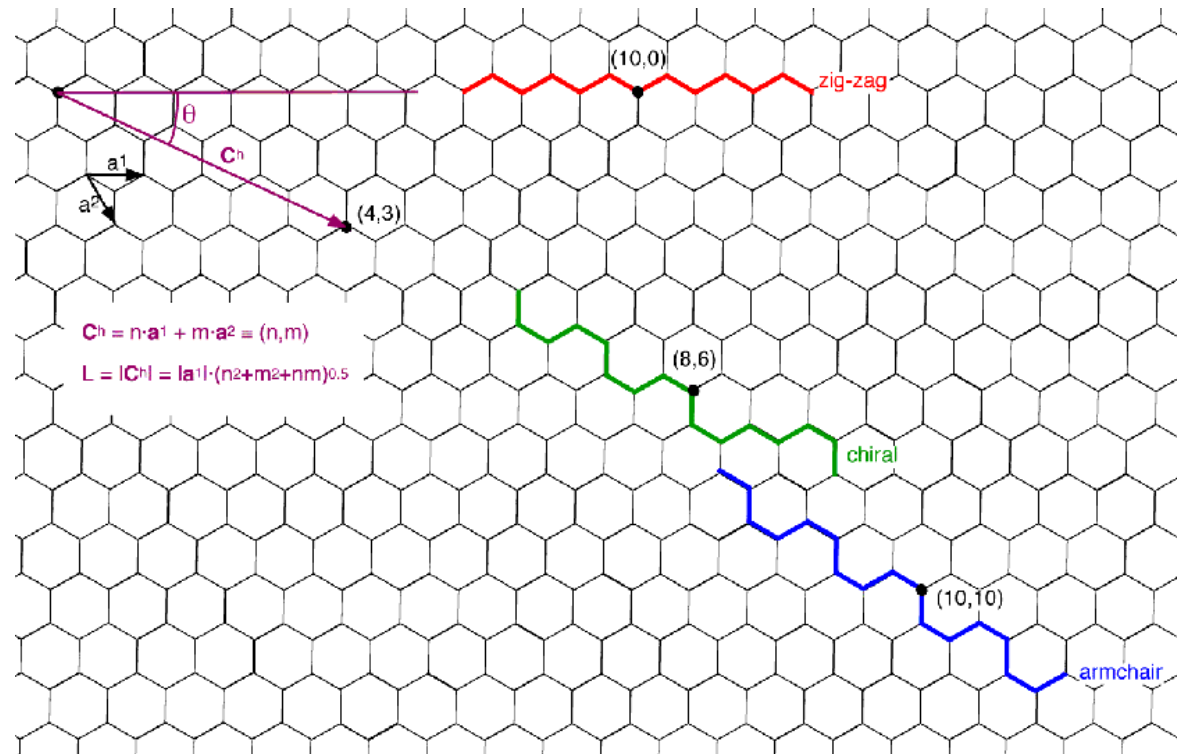
Nanotubo a parete singola.(3) (Copyright Professor Charles M. Lieber Group)

I fogli di grafene sono arrotolati ad angoli specifici e discreti. La combinazione dell'angolo di rotolamento e del raggio determina le proprietà dei CNT. I prodotti sono raggruppati come "Poltrona", "Zigzag" e "Chiral".

Strutture in nanotubi di carbonio

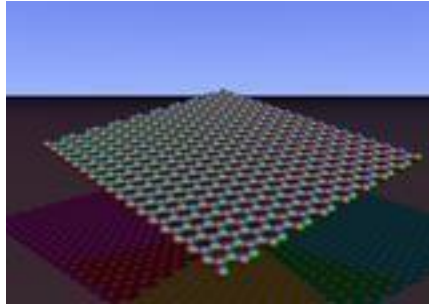
Poltrona e Zigzag SWCNT:

Poiché il foglio di grafene viene arrotolato lungo un asse simmetrico, questo potrebbe finire sia con la poltrona che con i CNT a zig-zag.

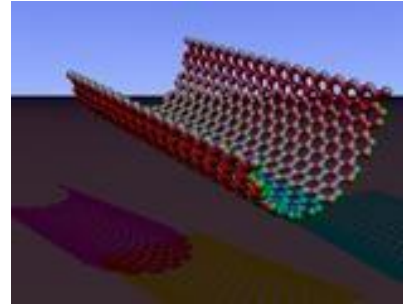


Axis to roll up the graphene sheet.⁽⁴⁾

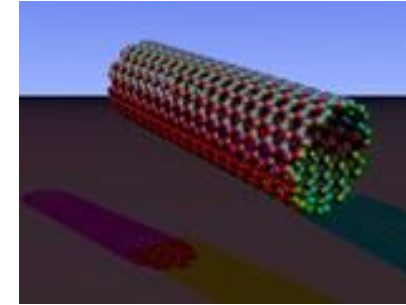
Struttura Nanotubi di carbonio



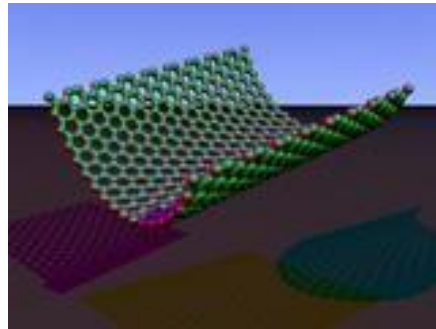
Graphene nanoribbon



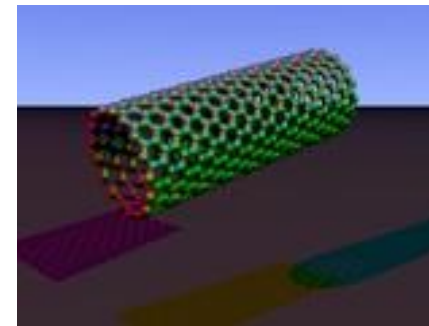
Armchair SWCNTs.⁽⁵⁾



Armchair



Zigzag SWCNTs⁽⁵⁾

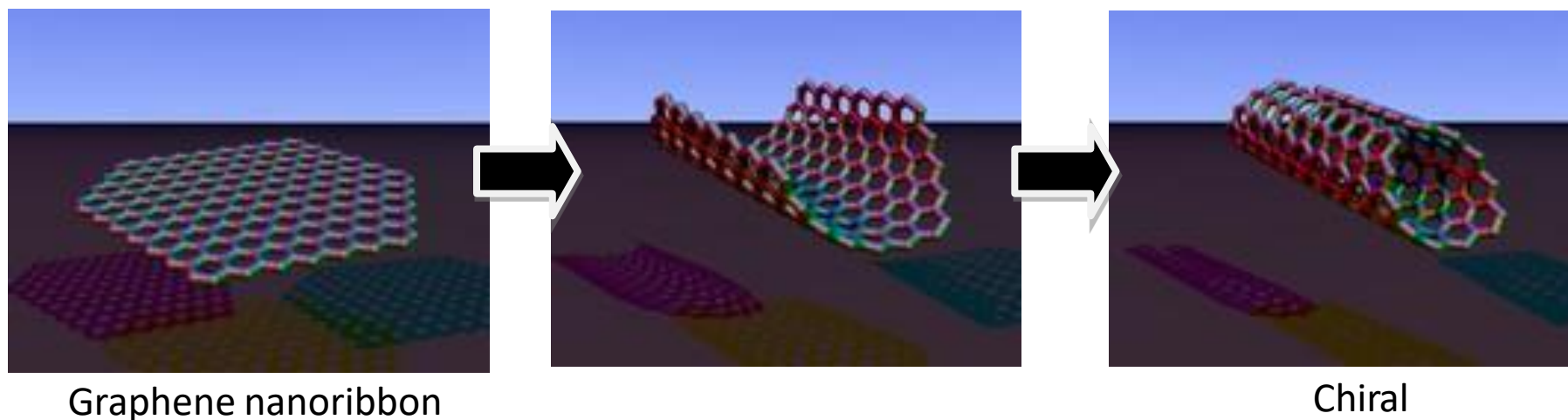


Zigzag

Struttura Nanotubi di carbonio

Chiral SWCNTs:

È anche possibile arrotolare il foglio in una direzione diversa da un asse di simmetria: si ottiene un nanotubo chirale, in cui gli atomi equivalenti di ogni cellula unitaria sono allineati su una spirale.

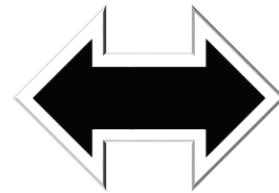
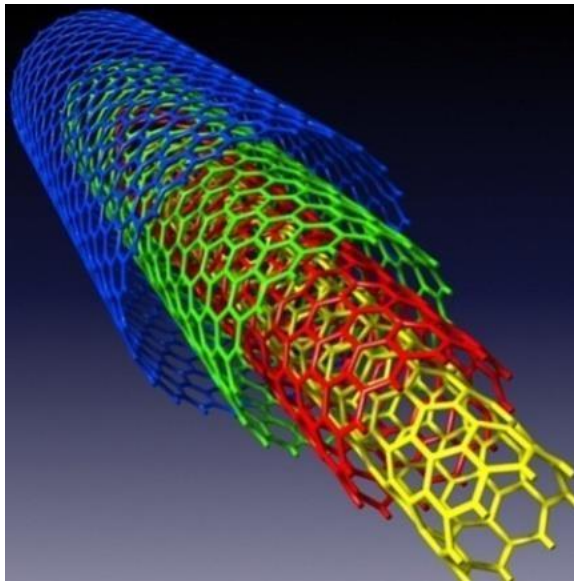


Chiral SWCNTs.⁽⁵⁾

Struttura Nanotubi di carbonio

CNT a pareti multiple:

I nanotubi a parete multipla (MWNT) sono costituiti da più strati laminati (tubi concentrici) di grafene. Esistono due modelli che possono essere utilizzati per descrivere le strutture dei nanotubi a parete multipla. Nel modello russo Doll, i fogli di grafite sono disposti in cilindri concentrici.



Nanotubi in carbonio a più pareti - Modello di bambola russa (MWCNTs)(6)

Struttura Nanotubi di carbonio

Nel modello pergamenaceo, un singolo foglio di grafite viene arrotolato su se stesso, simile a un rotolo di pergamena o a un giornale arrotolato.



Nanotubi in carbonio a più pareti - Modello in pergamena.

Proprietà dei diversi tipi di tubo

La forza di legame tra gli atomi di carbonio, conferisce ai nanotubi di carbonio proprietà meccaniche stupefacenti.

Secondo il modulo Young (una scala di misura della rigidità), la rigidità dei CNT è 5 volte superiore a quella dell'acciaio.

I nanotubi possono essere elettricamente conduttivi o semiconduttori, a seconda della loro elicità, che portano a fili e componenti elettrici su scala nanometrica. Queste fibre monodimensionali mostrano una conducibilità elettrica alta come il rame, una conducibilità termica alta come il diamante, una resistenza 100 volte superiore a quella dell'acciaio ad un sesto del peso, e un'elevata resistenza alla rottura. Tutte le poltrone CNTs mostrano proprietà metalliche e sono semiconduttori di elettricità.

Proprietà dei diversi tipi di tubo

I nanotubi di carbonio sono caratterizzati da una serie di proprietà straordinarie, tra cui le seguenti: elevata conducibilità elettrica, elevata conducibilità termica, resistenza meccanica, resistività termica / stabilità

Size

- Diameter SWNT 0.6-1.8 nm

Heat conductivity

- 6000 W/m K at room temperature

Thermal stability

- In vacuum up to 28000C, in air up to 10000C, in dependence of purity

Density

- 1,33 – 1,4 g/cm³

Tensile strength

- 45 Milliarden Pa

Flexibility

- Can be widely distorted without damage and returns back to the previous shape. The electrical properties changes.

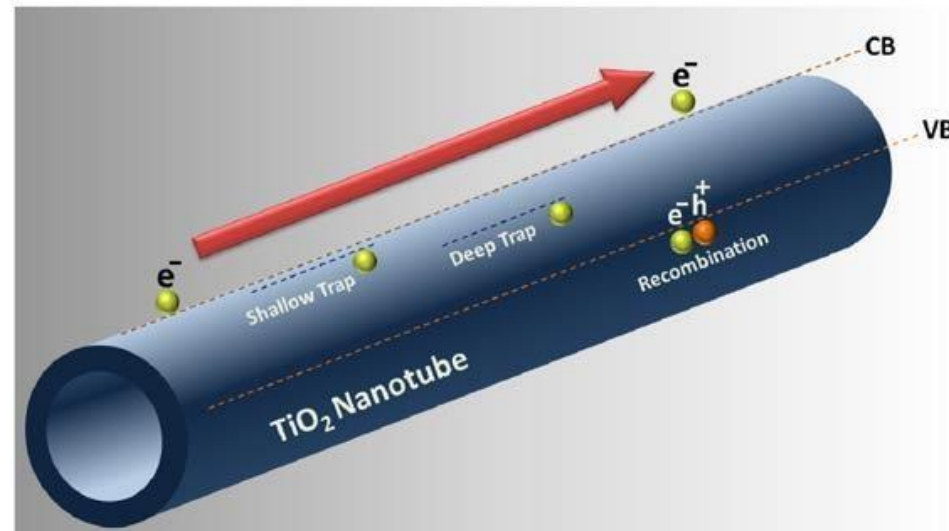
Field- emission

- Light emission materials can be already activated at 1-3 V if the electrode distance is 1 mm

Proprietà dei diversi tipi di tubo

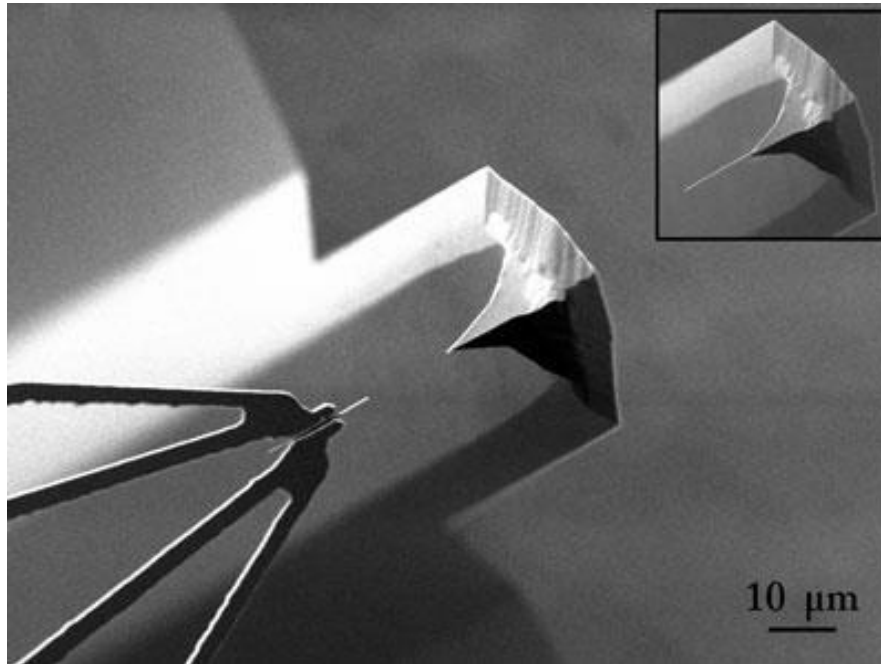
Sotto molti aspetti, le proprietà dei tubi di diversi tipi sono essenzialmente le stesse. L'eccezione è nella loro conducibilità elettrica, dove queste sottili differenze strutturali possono avere effetti profondi. Ad esempio, tutti i tubi della poltrona - cioè, dove $m=n$ - hanno una conducibilità elettrica veramente metallica.

Essi trasportano gli elettroni lungo l'asse del tubo proprio come fanno i metalli, senza un singolo atomo di metallo nella loro struttura! Questo comportamento in una molecola è senza precedenti. Al contrario, gli altri tubi sono intrinsecamente semiconduttori, sia con un gap di banda molto piccolo di pochi meV, sia con gap di banda moderata dell'ordine di 1 eV. La regola qui è che quei tubi dove $(n-m)$ è un multiplo di 3 sono di tipo small gap, mentre gli altri hanno gap medi.

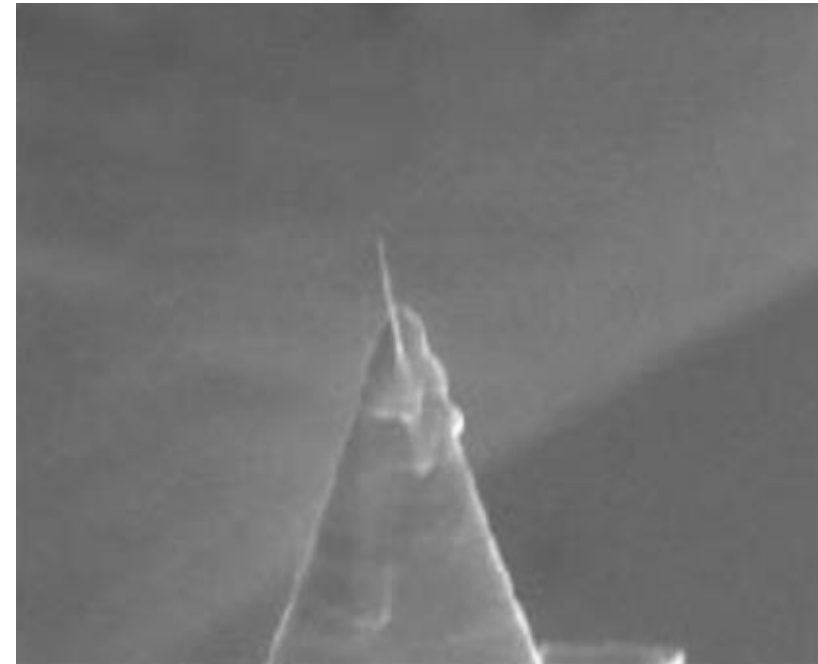


Campi di applicazione dei CNT:

I nanotubi di carbonio possiedono molte proprietà uniche che li rendono sonde AFM ideali. Il loro elevato rapporto di aspetto fornisce un'immagine fedele delle trincee profonde, mentre una buona risoluzione viene mantenuta grazie al diametro della scala nanometrica.



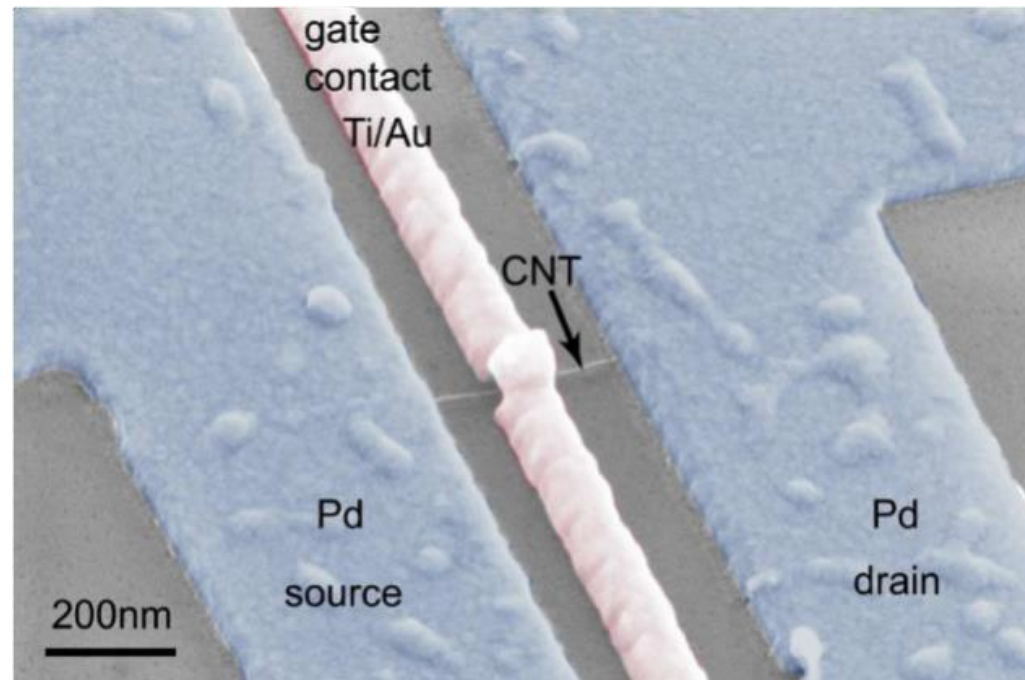
CNT-enhanced AFM super-tips
(Image: ÖzlemSardan, DTU).⁽⁷⁾



AFM Probe Tip.⁽⁸⁾

Campi di applicazione dei CNT:

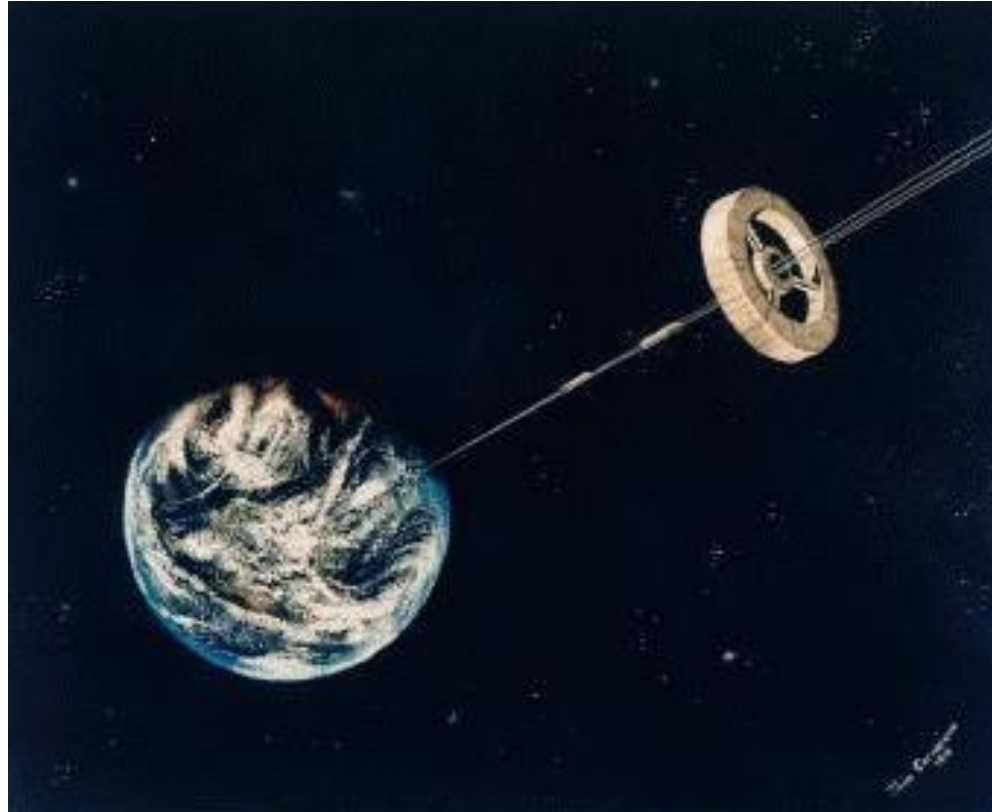
I transistor a nanotubi di carbonio sfruttano il fatto che i nanotubi in scala nanometrica (NT) sono fili molecolari pronti all'uso e possono essere trasformati in uno stato conduttore, semiconduttore o isolante, che li rende preziosi per la futura progettazione di nanocomputer.



CNTs used in circuits.⁽⁹⁾

Campi di applicazione dei CNT:

I nanotubi di carbonio sono ora molto popolari per le loro potenziali applicazioni elettriche, termiche e persino per la chimica selettiva. I CNT sono pensati per essere utilizzati negli ascensori spaziali e come materiale di protezione da utilizzare intorno alla linea di tubature che vanno in profondità sotto il mare.



Space Elevator⁽¹⁰⁾

Campi di applicazione dei CNT:

Le affascinanti proprietà meccaniche ed elettriche dei nanotubi di carbonio possono essere sfruttate in molte applicazioni, che potrebbero includere veicoli leggeri e robusti o corpi di aerei con proprietà di monitoraggio della salute in situ e di autoguarigione, dischi compositi carbonio-carbonio per aerei o freni per auto di qualità superiore che potrebbero dissipare il calore in modo più efficiente, parabrezza forti e interattivi con proprietà antighiaccio.

Anche un carico di pochi per cento di nanotubi di carbonio nella matrice polimerica potrebbe rendere i polimeri non conduttivi per condurre

elettricità e risolvere molti problemi con l'elettricità statica che potrebbe essere una scintilla di fuoco all'interno di un veicolo.

I nanotubi di carbonio sono prodotti utilizzando gas idrocarburi e catalizzatori in condizioni simili a quelle dei sistemi di scarico dei veicoli. Potrebbe essere possibile produrre nanotubi di carbonio nei gas di scarico di un veicolo utilizzando un catalizzatore e riducendo le emissioni di gas serra.

Il corpo intelligente in fibra di carbonio / nanotubo di carbonio diminuirà il peso dell'auto e migliorerà anche le prestazioni. La carrozzeria potrebbe anche essere infusa con nanotubi di carbonio epossidici e questo darà alla carrozzeria proprietà strutturali e di rilevamento più forti.

Per i finestrini, i parabrezza, ecc. si potrebbero utilizzare materiali compositi in nanotubi di carbonio. Questo aggiungerà buone proprietà di conducibilità elettrica e permetterà al parabrezza e ai finestrini di essere collegati ad un riscaldatore e all'auto di scongelarsi facilmente e rapidamente.

I nanotubi di carbonio utilizzati in MMC potrebbero far pesare meno un motore e migliorarne le proprietà strutturali. I nanomateriali di carbonio potrebbero essere utilizzati anche nelle celle a combustibile e nei butteri delle auto ibride e delle auto alimentate da energia alternativa.

I compositi di carbonio nanotubi di carbonio-carbonio sono già stati sviluppati per applicazioni di frenatura in un'industria aerospaziale. Questi freni aggiungeranno ulteriori perdite di peso e miglioreranno le prestazioni.



Si potrebbe installare un manometro a nanotubo per misurare la pressione dell'aria nei pneumatici. Il manometro potrebbe essere molto accurato e preciso grazie alle proprietà elettriche e meccaniche uniche dei nanomateriali.

Transport Applications of Carbon Nanomaterials

Campi di applicazione dei CNT:

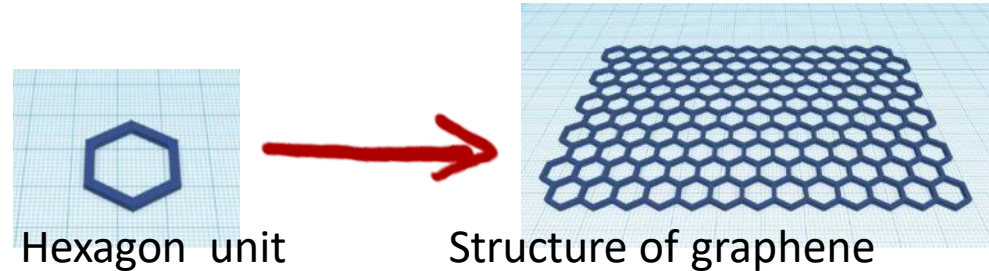
In un'ala di un aereo la conducibilità dei nanotubi di carbonio potrebbe fornire una protezione antighiaccio e una protezione dagli urti con riduzione del peso. Potrebbero migliorare la resistenza di un corpo in un aereo o in un veicolo, diminuire il peso e rendere elettromagneticamente invisibili i veicoli dell'esercito o gli aerei militari. I nanotubi di carbonio e le nanofibre potrebbero essere aggiunti ai metalli per migliorare le proprietà e rendere più leggeri i motori, potrebbero essere utilizzati nei pneumatici al posto del nero di carbonio per migliorare le proprietà di usura e fornire nel rilevamento della pressione di sity.



Transport Applications of Carbon Nanomaterials

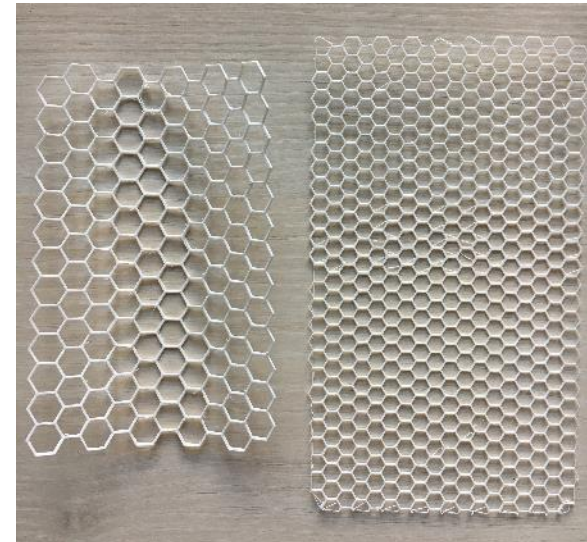
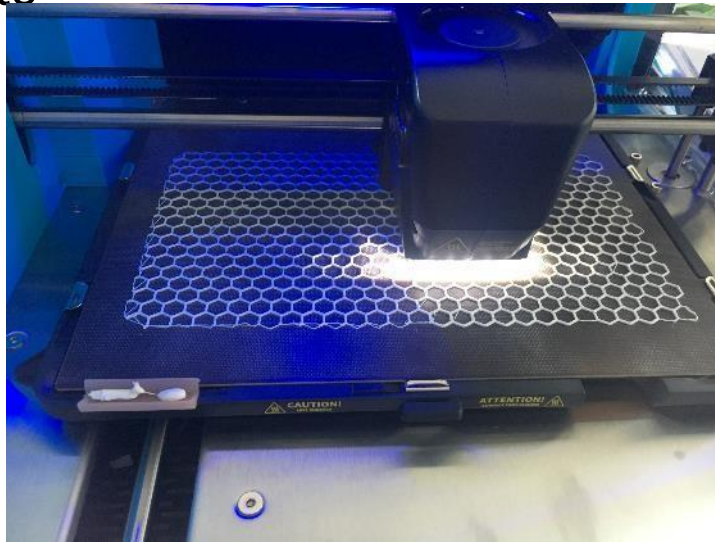
Ottenere il proprio modello di Nanotubi:

- Partendo dall'unità esagonale, provate a modellare per la stampa 3d la struttura unitaria del grafene, nel rispetto di quanto appreso sugli angoli tra gli atomi e le lunghezze di legame fino ad ora.



- Stampate il vostro modello di grafene utilizzando la stampante 3d. Si dovrebbero ottenere oggetti come quelli nel soffietto

cifre:



Ottenere il proprio modello di Nanotubi:

- Dopo la stampa, provare a verificare la flessibilità della struttura. Osservate la grande differenza tra questa struttura e quella a diamante? Pensate alle connessioni tra la struttura e le proprietà!

