



COMMISSIONE
EUROPEA

Ricerca comunitaria

La nanotecnologia

Innovazione per il mondo di domani



NANOTECNOLOGIE E NANOSCIENZE, MATERIALI
MULTIFUNZIONALI BASATI SULLA CONOSCENZA E NUOVI
PROCESSI E DISPOSITIVI DI PRODUZIONE

Vi interessa la ricerca europea?

La nostra rivista trimestrale **RTD info** contiene informazioni sui principali sviluppi (risultati, programmi, eventi ecc.). E' pubblicata in inglese, francese e tedesco. Per ottenere una copia omaggio o sottoscrivere un abbonamento gratuito rivolgersi all'indirizzo seguente:

Commissione europea
Direzione generale Ricerca
Unità Informazione e comunicazione
B-1049 Bruxelles
Fax (32-2) 29-58220
E-mail: research@cec.eu.int
Internet: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_fr.html

Editore: COMMISSIONE EUROPEA

Direzione generale Ricerca
Direzione G — Tecnologie industriali
Unità G.4 — Nanoscienze e nanotecnologie

Contatti: *Renzo Tomellini, Angela Hullmann*

E-mails: renzo.tomellini@cec.eu.int, angela.hullmann@cec.eu.int

Url: www.cordis.lu/nanotechnology

La nanotecnologia

Innovazione per il mondo di domani

Il presente opuscolo nasce nell'ambito di un progetto finanziato dal Ministero federale tedesco dell'Istruzione e della ricerca (BMBF) e realizzato dall'Associazione tedesca degli ingegneri - Centro di tecnologia (VDI-TZ). La Commissione europea ringrazia il BMBF per aver autorizzato la traduzione della presente pubblicazione e averla messa a disposizione del pubblico europeo. Ringraziamo in particolare la sig.ra Rosita Cottone (BMBF) e il dott. Wolfgang Luther (VDI-TZ) per la loro assistenza nel coordinamento.



Per la versione originale in tedesco, si veda il sito <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>.

Pubblicato da: Commission européenne, DG Recherche

Prodotto da: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin

Coordinamento: Future Technologies Division, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Autore: Mathias Schulenburg, Cologne

Layout: Suzy Coppens, BergerhofStudios, Cologne

***Europe Direct è un servizio che vi aiuta a trovare le risposte alle
vostre domande sull'Unione europea***

**Numero verde:
00800 6 7 8 9 10 11**

AVVERTENZA

Né la Commissione né qualsiasi altra persona che agisce a nome della Commissione sono da considerarsi responsabili dell'uso che potrebbe essere fatto di tali informazioni.

Le opinioni espresse in questa pubblicazione sono quelle degli autori e non rispecchiano necessariamente il parere della Commissione europea.

Molte altre informazioni sull'Unione europea sono reperibili su Internet, tramite il server Europa (<http://europa.eu.int>).

Alla presente pubblicazione è allegata una scheda bibliografica.

Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, 2004

ISBN 92-894-8888-3

© Comunità europee, 2004

Riproduzione autorizzata a condizione che venga citata la fonte.

Stampato in Belgium

STAMPATO SU CARTA BIANCA SENZA CLORO

Prefazione

Le nanotecnologie costituiscono un nuovo approccio che si basa sulla comprensione e la conoscenza approfondita delle proprietà della materia su scala nanometrica: un nanometro (un milionesimo di metro) corrisponde alla lunghezza di una piccola molecola. Su questa scala la materia presenta svariate proprietà, a volte molto sorprendenti, e le frontiere tra discipline scientifiche e tecniche si attenuano, il che spiega la dimensione interdisciplinare fortemente associata alle nanotecnologie.

Le nanotecnologie sono spesso descritte come potenzialmente “perturbatrici” o “rivoluzionarie” a livello di impatto sui metodi di produzione industriale. Esse apportano possibili soluzioni ad una serie di problemi attuali grazie a materiali, componenti e sistemi più piccoli, più leggeri, più rapidi e più efficaci. Queste possibilità aprono nuove prospettive per la creazione di ricchezza e occupazione. Le nanotecnologie dovrebbero inoltre apportare un contributo fondamentale alla soluzione di problemi mondiali ed ambientali perché consentono di realizzare prodotti e processi per usi più specifici, risparmiare risorse e ridurre il volume dei rifiuti e delle emissioni.

Nella corsa mondiale alle nanotecnologie si stanno facendo enormi passi avanti. L'Europa ha rapidamente realizzato investimenti in molti programmi di nanoscienze che hanno preso il via tra la metà e la fine degli anni '90. Ha così sviluppato una solida base di conoscenze e adesso deve fare in modo che l'industria e la società europee possano coglierne i frutti sviluppando prodotti e processi innovativi.

Le nanotecnologie sono al centro di una recente Comunicazione della Commissione (“Verso una strategia europea delle nanotecnologie”) in cui si propone non solo di incentivare la ricerca in materia di nanoscienze e nanotecnologie, ma anche di tenere conto di una serie di altre dinamiche interconnesse.

- Il coordinamento dei programmi di ricerca e degli investimenti nazionali deve essere rafforzato anche per garantire che l'Europa disponga di équipes e infrastrutture (“poli di eccellenza”) che possano competere a livello internazionale. Nello stesso tempo anche la collaborazione tra organizzazioni di ricerca nel settore pubblico e privato in Europa è fondamentale per giungere ad una massa critica sufficiente.
- Non si dovrebbero trascurare altri fattori di competitività, tra cui una metrologia, una regolamentazione e diritti di proprietà intellettuale adeguati, in modo da aprire la strada all'innovazione industriale e creare vantaggi concorrenziali, sia per le grandi imprese che per le PMI.
- Le attività legate all'istruzione e alla formazione rivestono una notevole importanza; in particolare l'Europa può agire per migliorare la preparazione imprenditoriale dei ricercatori nonché l'atteggiamento positivo degli ingegneri di produzione nei confronti del cambiamento. La realizzazione di una vera ricerca interdisciplinare nel campo delle nanotecnologie può richiedere nuove strategie in materia di istruzione e formazione per la ricerca e l'industria.
- Gli aspetti sociali (quali l'informazione del pubblico e la comunicazione, le questioni ambientali e sanitarie e la valutazione dei rischi) sono altri fattori chiave destinati a garantire che le nanotecnologie si sviluppino in modo sostenibile e soddisfino le aspettative dei cittadini. La fiducia del pubblico e degli investitori nelle nanotecnologie sarà fondamentale per il loro sviluppo a lungo termine e la loro adeguata applicazione.

Obiettivo della presente pubblicazione è spiegare cosa siano le nanotecnologie e cosa possono offrire ai cittadini europei.



Ezio Andreta
Direttore “Tecnologie industriali”
Direzione generale della Ricerca
Commissione europea

Indice

3 Prefazione

4-5 Indice

Viaggio nel nanocosmo

6-7 **L'atomo: vecchie idee e nuova realtà**

8-13 **La nanotecnologia nella natura**

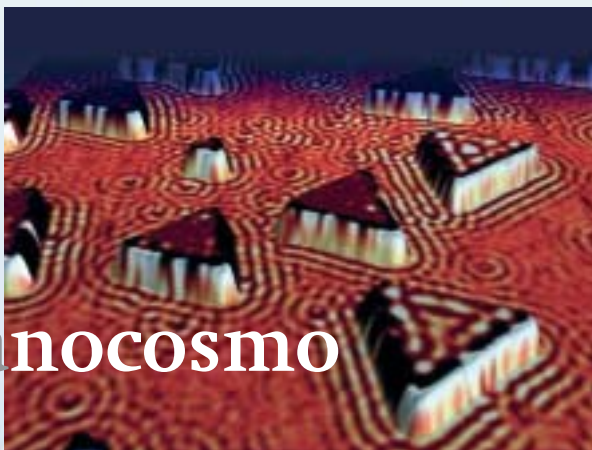
Strumenti e processi

14-15 **Occhi per il nanocosmo**

16-17 **Dispositivi di scrittura**

18-19 **Impulsi per la scienza**

20-21 **Progettazione di materiali su scala nanometrica**



La nanotecnologia al servizio della società



22-27 **Il mondo collegato in rete: la nanoelettronica**

28-29 **La nanotecnologia nella vita quotidiana del futuro**

30-33 **Mobilità**

34-37 **Settore sanitario**

38-41 **Energia e ambiente**

42-43 **Nanotecnologie per lo sport e il tempo libero**

44-45 **Progetti visionari**

46-47 **Opportunità e rischi**

Informazioni complementari



48 **Come si diventa nanoingegneri?**

49 **Persone di contatto, link e riferimenti bibliografici**

50-51 **Glossario**

52 **Illustrazioni**

Viaggio nel nanocosmo

L'atomo: vecchie idee e nuove realtà

Amedeo Avogadro (1776-1856), professore di fisica a Torino, il primo ad analizzare una goccia di pioggia.



Il nostro mondo materiale è costituito da atomi, come già circa 2400 anni fa aveva affermato il filosofo greco Democrito. I greci moderni gli hanno espresso la loro gratitudine riproducendone l'effigie sulle monete da dieci dracme, che sono molto diffuse, anche se non come gli atomi. Una goccia di pioggia ne contiene 1 000 000 000 000 000 000, perché gli atomi sono minuscoli, hanno una dimensione pari a un decimo di nanometro. Un nanometro corrisponde ad un milionesimo di millimetro.

Il rapporto tra il diametro di un atomo di magnesio e quello di una palla da tennis è uguale al rapporto tra il diametro di una palla da tennis e quello della terra. Pensateci la prossima volta che prendete una compressa di magnesio!

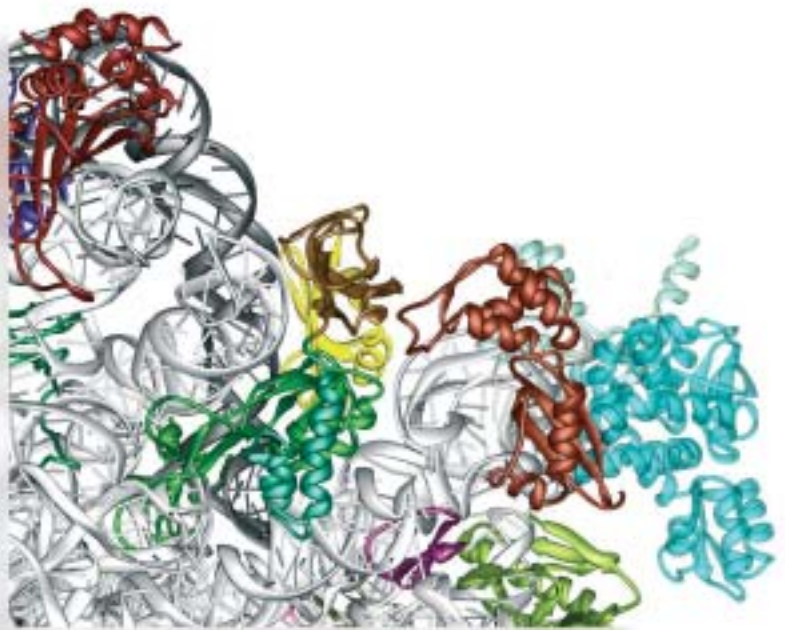


Qualche secolo più tardi il poeta latino Lucrezio scrisse un poema in cui si parla molto di atomi: *L'universo consiste in uno spazio infinito e in un numero infinito di particelle indivisibili, gli atomi, la cui varietà è tuttavia finita ...Gli atomi si differenziano solo per forma, dimensione e peso; sono impenetrabili, indeformabili, sono il limite della divisibilità fisica...* Era tutto vero, anche se all'epoca si trattava di pure speculazioni.

E per lungo tempo nessuno si è più interessato all'argomento. Nel diciassettesimo secolo, Johannes Kepler, il celebre astronomo, ha studiato i fiocchi di neve e nel 1611 ha pubblicato le sue conclusioni: la loro forma regolare in realtà poteva essere dovuta solo ad elementi costitutivi semplici ed uniformi. L'idea dell'atomo tornò a richiamare l'attenzione.



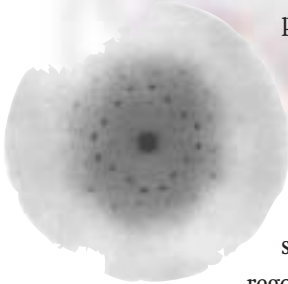
Lo spirito di Democrito aleggia sull'universo nanometrico, un oceano di possibilità infinite.



Ada Yonath, DESY, codifica con la cristallografia la struttura di nanomacchine biologiche come i ribosomi.

Gli scienziati che studiavano i minerali ed i cristalli davano per scontato l'esistenza degli atomi. Solo nel 1912, tuttavia, l'Università di Monaco ha conseguito la prova diretta della loro esistenza: un cristallo di solfato di rame decomponeva i raggi X proprio come il tessuto di un ombrello diffonde la luce di un lampione. Il cristallo doveva pertanto essere composto da

ordine
fibre tessili
o un
arance sulla
di un
La ragione
atomi si
modo così
cristallo è semplice: la materia si facilita il più possibile la vita e disporsi



atomi, disposti in un
preciso, come le
dell'ombrello
cumulo di
bancarella
mercato.
per cui gli
sistemano in
regolare nel
secondo una

struttura
soluzione
Anche le
versate in
tendono a
forme
per gli
processo è



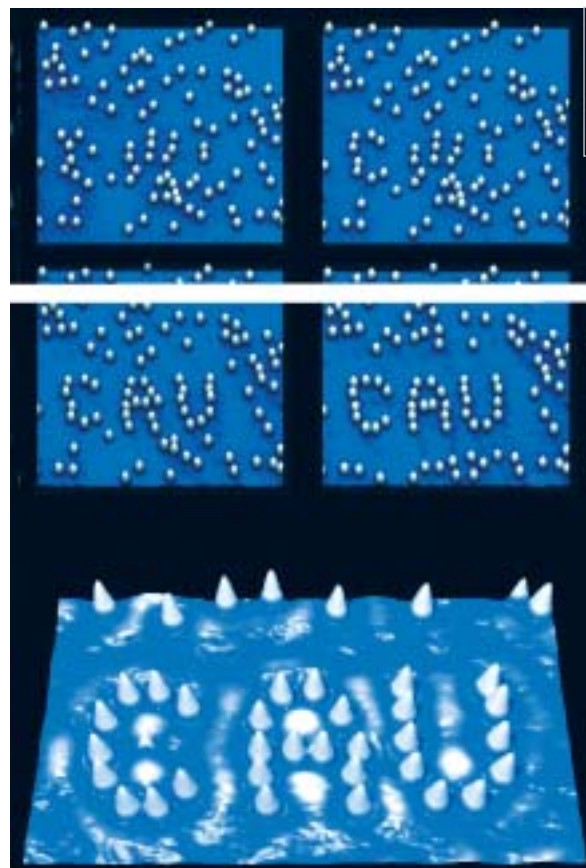
ordinata è la
più comoda.
noci
una coppa
comporre
regolari e
atomi questo
ancora più facile.

I modelli semplici non sono tuttavia sempre i più facili da riprodurre. Sotto l'impulso di forze autorganizzatrici la materia sulla Terra ha assunto, nel corso di miliardi di anni, forme eccezionalmente complesse e dotate di vita.

I moderni apparecchi di analisi hanno consentito di visualizzare questi componenti estremamente complessi della materia viva fino alla scala nanometrica.

Negli anni 80 è stato poi messo a punto uno strumento, il microscopio a scansione ad effetto tunnel, in grado non solo di visualizzare i singoli atomi di un cristallo – molti credertero che le prime immagine fossero dei montaggi – ma anche di farli scivolare uno sull'altro.

Si è aperta così la strada ad uno sviluppo fondamentale: la nanotecnologia.

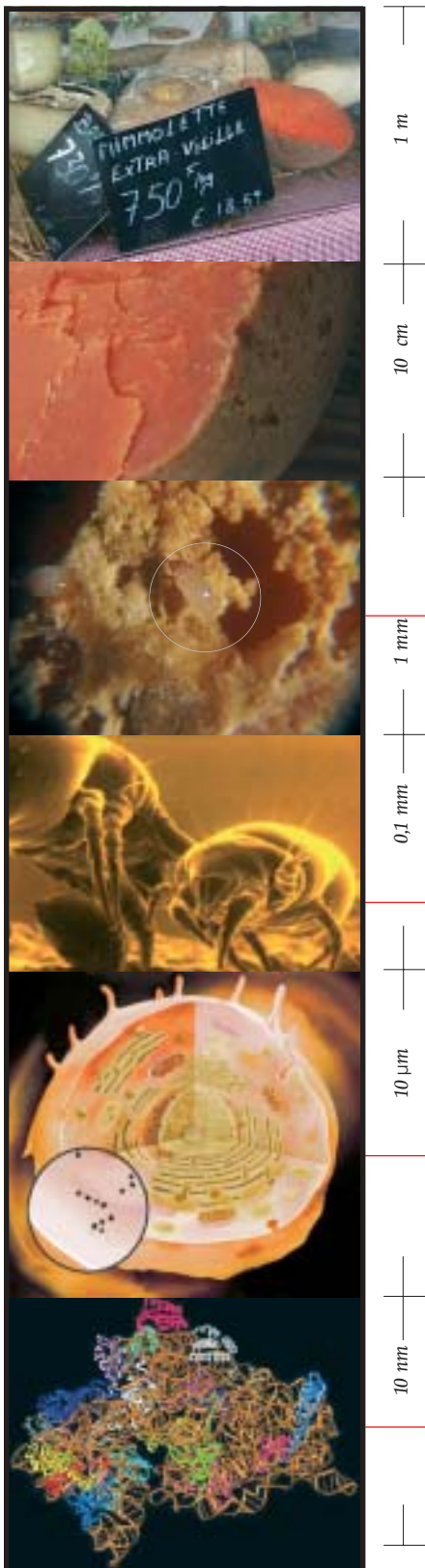


A Kiel, il professor Berndt riproduce il logo dell'Università Christian-Albrechts mediante atomi di manganese.

La nanotecnologia nella natura

Viaggio nel nanocosmo

La natura vivente sta molto a cuore ai nanotecnologi. In effetti, nei suoi quattro miliardi di anni di esistenza, la natura ha trovato soluzioni a volte sorprendenti ai suoi problemi. Una caratteristica frequente è la capacità della materia vivente di autostrutturarsi fino al livello più fine, e cioè al livello degli atomi. Ed è precisamente quello che vogliono fare anche i nanotecnologi.



Gli atomi di solito non godono di buona reputazione. Quando se ne sente parlare, si pensa ad esplosioni terribili o a radiazioni pericolose. Ma questi aspetti riguardano solo le tecniche che utilizzano il *nucleo* dell'atomo. Le nanotecnologie riguardano invece il *guscio atomico* ed intervengono a questo livello.

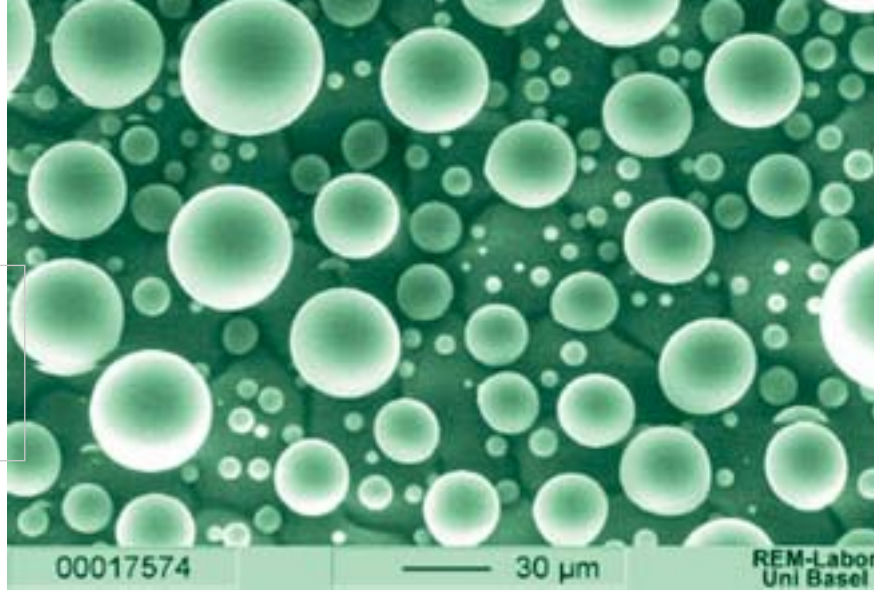
Per eliminare qualsiasi dubbio sul fatto che gli atomi fanno parte della nostra vita quotidiana, e che in alcune combinazioni possono risultare anche piuttosto gustosi, prendiamo come punto di partenza del nostro viaggio nel cosmo un formaggio.

La mimolette è un formaggio delle Fiandre la cui superficie, ricoperta da piccoli fori, svela un segreto: è un formaggio abitato da acari, che sono inquilini ben accetti perché la loro attività migliora l'aroma della mimolette. Gli acari hanno una dimensione di un decimo di millimetro. L'ESEM (*Environmental Scanning Electron Microscope*), uno speciale microscopio elettronico a scansione ambientale, consente di osservare gli acari vivi. Come altre forme di vita, gli acari sono costituiti da cellule la cui scala di dimensione è il micron. Una cellula è dotata di meccanismi estremamente complessi. I ribosomi, che compongono tutte le molecole di proteine possibili secondo le istruzioni contenute nel DNA, sono una componente importante di questi meccanismi. Le dimensioni dei ribosomi sono dell'ordine di 20 nanometri e la loro struttura è stata in parte decodificata fino ai singoli atomi. I primi frutti di questo tipo di nanobiotecnologie sono dei nuovi farmaci che bloccano i ribosomi batterici.



Il fiore di loto pulisce i suoi petali grazie al cosiddetto effetto "loto".

Goccioline d'acqua su una foglia di nasturzio viste con un microscopio elettronico speciale (ESEM) all'università di Basilea.

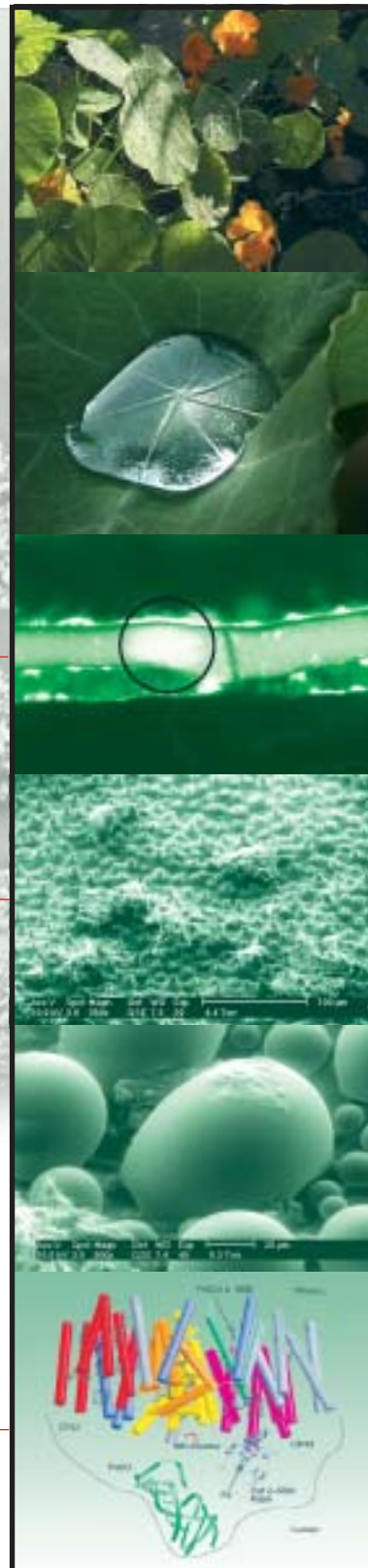


Effetto loto & Co.

Il nasturzio mantiene pulite le sue foglie grazie all'effetto "loto". Il microscopio a scansione ESEM ci mostra il modo in cui le goccioline d'acqua scorrono via dalla superficie delle foglie senza aderirvi. Questo fenomeno è dovuto alla superficie rugosa delle foglie che fa rapidamente scivolare via l'acqua ma anche la sporcizia. L'effetto loto, studiato approfonditamente dal professor Barthlott e dai suoi collaboratori dell'università di Bonn - è già stato utilizzato in una gamma di prodotti, come le pitture per esterni su cui l'acqua scivola via portando con sé lo sporco. E' molto facile mantenere pulite le ceramiche sanitarie dotate di una struttura a loto.

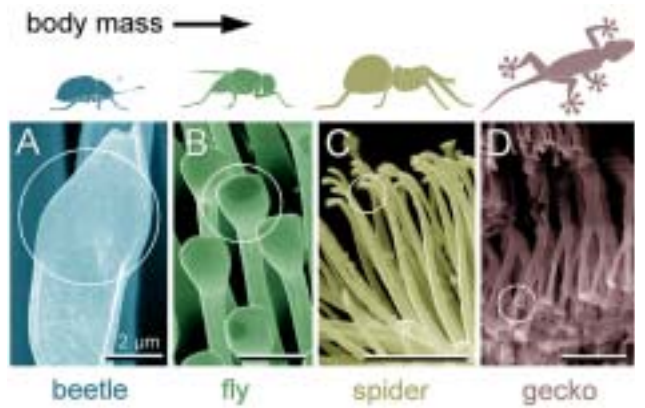
Le foglie dei vegetali ricorrono anche ad altre nanotecnologie. Il loro regime idrico è spesso regolato dai "forisomi", muscoli microscopici che aprono i canali del sistema capillare o li richiudono, in caso di rottura dei tessuti della pianta. Tre istituti Fraunhofer e l'Università di Giessen stanno cercando di sfruttare queste caratteristiche muscoli delle piante per delle applicazioni tecniche: si pensa ad esempio a dei motori lineari microscopici o persino a laboratori di analisi miniaturizzati su chip (*lab-on-a-chip*).

Una delle tecniche più raffinate su scala atomica è il processo di fotosintesi che capta l'energia necessaria alla vita sulla Terra, a livello di ogni singolo atomo. Chiunque riuscirà a riprodurlo a livello nanotecnologico disporrà di risorse energetiche illimitate.



La nanotecnologia nella natura

Viaggio nel nanocosmo



La nanotecnologia sul soffitto: il gecko

I gechi possono arrampicarsi sui muri, correre a testa in giù sul soffitto e persino rimanervi aggrappati con una zampa sola. Naturalmente, riescono a fare tutto questo grazie alla nanotecnologia. I loro polpastrelli sono ricoperti di peli finissimi talmente adattabili che possono avvicinarsi a qualche nanometro dal supporto, ricoprendo superfici molto ampie. A quel punto entra in gioco il cosiddetto legame di Van der Waals, una forza debolissima ma che moltiplicata per i milioni di punti di aderenza sostiene il peso del gecko. Il legame si scioglie facilmente per “spellatura”, nello stesso modo in cui si stacca un nastro adesivo. Il gecko riesce così a correre sul soffitto. Gli esperti in scienza dei materiali si rallegrano già all’idea di riuscire a produrre un “gecko” sintetico.

attrattiva è massimo, i leucociti aderiscono fermamente e altre molecole adesive portano le particelle di sangue lungo i vasi verso la ferita dove queste attaccano gli eventuali corpi estranei : l’arte dell’aderenza portata alla perfezione. Le imitazioni nanotecnologiche che si stanno studiando corrispondono alla formula “bonding on command” (aderenza a comando).



Nell'Istituto Max-Planck per la ricerca sui metalli di Stoccarda scarafaggi, mosche, ragni e gechi hanno svelato i loro segreti sulla loro capacità di adesione. Si tengono attaccati mediante peli sottili che formano un legame di Van-der-Waals. Più l'animale pesa, più sottili e numerosi sono i peli.

Aggrapparsi alla vita

La vita esiste perché i suoi componenti sono tenuti insieme da raffinate tecniche nanotecnologiche di aderenza. Anche in caso di ferite, ad esempio per la puntura di una zanzara, la zona interessata diventa rossa perché i vasi capillari si espandono, per consentire il passaggio dei leucociti. Le cellule dell’area colpita producono un feromone. In funzione della concentrazione di questa sostanza attrattiva, le cellule che rivestono i vasi sanguigni e i

leucociti rilasciano particolari molecole che grazie al loro effetto adesivo rallentano il passaggio dei leucociti lungo i vasi sanguigni. Quando il livello della sostanza



Primo piano di una zampa di mosca.



Cozza con filamenti di bisso e piede.



L'istituto Fraunhofer (IFAM) di Brema sta effettuando ricerche su adesivi di mitilo modificati che potrebbero servire a rendere la porcellana più delicata resistente alla lavastoviglie. Anche il gruppo di lavoro "Nuovi materiali e biomateriali" di Rostock e Greifswald sta tenendo sott'occhio le cozze.

Biominerizzazione

Le cozze sono in grado di fare ben altro. La loro madreperla è composta da innumerevoli minuscoli cristalli di calcite, del tipo aragonite, che di per sé sono estremamente fragili. Nelle cozze tuttavia sono tenuti insieme da proteine molto elastiche a forma di vite. Rispetto al peso totale del mitile, basta un 3% di proteine per rendere la conchiglia dell'aliotide (detto anche "orecchia di mare") tremila volte più solida di un cristallo di calcite pura. I ricci di mare usano questa tecnica per rafforzare le loro spine (lunghe 30 cm) in modo che resistano al moto ondoso.

La biomineralizzazione può produrre anche strutture estremamente sofisticate. In una piccola zona di mare vicina alle Filippine vive una spugna chiamata "cesto di Venere", ricurva come il fodero di un pugnale turco, ma a sezione circolare intorno al suo asse longitudinale. La spugna deve il suo nome alla struttura del suo scheletro, costituito da una trama di spicole silicee, traforate come lo schienale di vimini di una sedia, che formano un reticolato ad angoli retti e in diagonale.

Il cesto di Venere è un capolavoro della biomineralizzazione: piccoli componenti elementari di biossido di silicio (tre nanometri di diametro)

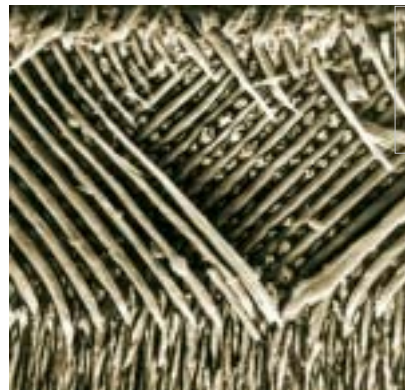


collegano le cellule della spugna in strati sottilissimi. Questi strati si avvolgono fino a formare delle spicole silicee, l'elemento di base della struttura della spugna, in grado di resistere a forti variazioni di pressione.

Il cesto di Venere – questa spugna di alto mare viene studiata come modello biologico per le fibre ottiche.

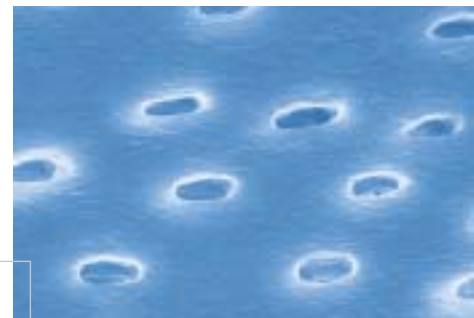


Il cesto di Venere – questa spugna di alto mare viene studiata come modello biologico per le fibre ottiche.



Biominerizzazione tecnica :
le nanoparticelle riparano i denti.

Se i denti sono molto sensibili al freddo o all'acidità, di norma è perché i tubuli dentinali, piccoli canali nella corona del dente, rimangono esposti. Questi canali si otturano dieci volte più rapidamente con le nanoparticelle di fosfato di calcio (apatite) e di proteine messe a punto dalla ditta SusTech che non con i preparati classici a base di apatite. Lo strato di materiale rimineralizzato nella bocca si comporta come materiale dentale naturale.



La nanotecnologia nella natura

Viaggio nel nanocosmo

La biomineralizzazione aveva (un tempo) grande importanza strategica nelle diatomee, alghe silicee di piccolissime dimensioni che si proteggono con una conchiglia di acido silicico, la cui componente principale è il biossido di silicio (SiO_2). Come il vetro di quarzo, composto anch'esso da biossido di silicio, le conchiglie di acido silicico sono relativamente insensibili a diversi acidi corrosivi e soluzioni alcaline; per questo motivo i nanotecnologi intendono utilizzarle per farne dei bacini di reazione per cristalli, su scala nanometrica. Un modo per ottenere particelle nanometriche mediante una reazione chimica è infatti quello di limitare il volume di reazione. Quando il materiale di reazione utilizzato finisce, i cristalli che si sono sviluppati rimangono piccoli. E le conchiglie delle diatomee contengono numerosi pori nanometrici, che funzionano come nanoreattori.

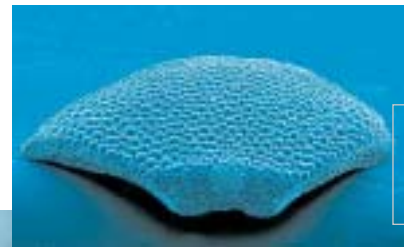
Come si sviluppano le diatomee, che a volte sono decisamente belle? Abbiamo già i primi elementi di risposta. Alcuni ricercatori dell'università di Regensburg hanno scoperto che delle varianti di un noto gruppo di proteine, le "poliammine", in una soluzione di acido silicico opportunamente dosata possono produrre nanoparticelle di diametro controllabile compreso tra 50 e 900 nanometri: in modo del tutto spontaneo, in un processo di autorganizzazione. Altrettanto spontaneamente si formerebbero, secondo modelli semplici di crescita, le conchiglie di acido silicico.

Perché un tempo si pensava che le diatomee avessero "un'importanza strategica"? Nel 1867 lo svedese Alfred Nobel ha scoperto che il kieselgur, terra diatomea derivante da depositi fossili di diatomee, assorbiva la nitroglicerina inibendo la tendenza di questo esplosivo a esplodere spontaneamente. Alfred Nobel ha chiamato questa miscela "dinamite". Gli abbondanti utili ricavati dalla vendita di questo prodotto hanno costituito la base della fondazione che oggi finanzia il premio Nobel.

Gusci di diatomee: grazie ad una forma ottimale - sopra a confronto con un loro analogo, la "spugna di Menger" (cfr. anche pag. 21) - presentano la massima stabilità con un peso minimo e, probabilmente, sono dotati di cloroplasti, organelli che servono ad assorbire la luce e in cui avviene la fotosintesi.



La stella di mare *Ophiocoma wendtii* è dotata di un perfetto sistema di visione ottica a microlenti. In alto: come appare di giorno. In basso, come appare di notte.



Tutto in uno: conchiglia blindata e campo di microlenti.

Nanotecnologia nella natura: l'*ophiocoma wendtii*, una stella di mare pelosa della grandezza di un piatto, per molto tempo ha rappresentato un vero mistero. Questo animale apparentemente privo di occhi, dal cui corpo corazzato a forma di disco si protendono cinque braccia, si nasconde rapidamente non appena si avvicina un potenziale nemico. Esaminando però il guscio calcareo di questa stella di mare si è scoperto il mistero: esso è infatti ricoperto da campi perfetti di microlenti che trasformano il suo corpo in un occhio complesso. Cosa c'entra la nanotecnologia? Il fatto è che le lenti sono cristallizzate in modo tale da non produrre immagini doppie, come sarebbe normale con la calcite, e questo è possibile perché la cristallizzazione è controllata a livello nanometrico. L'aberrazione sferica delle lenti è inoltre corretta mediante sofisticati apporti di magnesio, per evitare indesiderate aberrazioni cromatiche. L'*ophiocoma* conosce dunque perfettamente tutte le finezze nanotecnologiche che hanno fatto la fama di Carl Zeiss.



L'Istituto per i nuovi materiali (INM) di Saarbrücken, INM, ha messo a punto dei processi che utilizzano nanoparticelle per rivestire componenti metallici di ologrammi non falsificabili e resistenti all'usura.



Un'altra cosa che la natura non è capace di fare: ceramica miscelata con nerofumo nanometrico per sistemi di accensione ad incandescenza resistenti alla corrosione, ad esempio per caldaie. La conduttività regolabile della ceramica rende inutile l'uso di un trasformatore.

Limiti della natura, vantaggi dei prodotti artificiali

La nanotecnologia è natura pura, tuttavia le possibilità della materia vivente sono limitate: non può ad esempio sopportare le alte temperature, come la ceramica, e non è compatibile con i conduttori metallici. Le tecnologie moderne permettono invece di creare condizioni artificiali estreme, in termini di purezza, freddo, vuoto, nelle quali la materia rivela proprietà sorprendenti. Pensiamo ad esempio agli effetti quantici, che a volte sembrano in pesante contraddizione con le leggi che regolano la nostra vita quotidiana. Le particelle del nanocosmo possono acquisire proprietà ondulatorie: un atomo, che apparentemente è un'entità "solida", può passare contemporaneamente da due fessure, come un'onda, per riemergere poi intero dall'altra parte.

Quando le loro dimensioni si avvicinano al nanometro, le particelle acquisiscono nuove proprietà. Così i metalli diventano semiconduttori o isolanti. Alcune sostanze, come il tellururo di cadmio (CdTe), nel nanocosmo sono fluorescenti, in tutti i colori dell'iride, mentre altre convertono la luce in corrente elettrica.

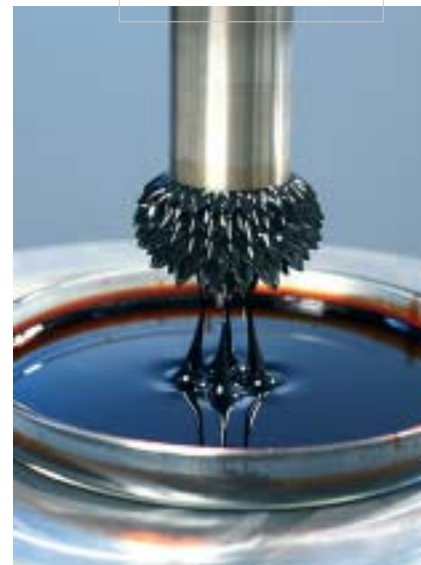
Quando le particelle diventano nanoscopiche, la percentuale degli atomi di superficie aumenta considerevolmente. Gli atomi di superficie, tuttavia, hanno spesso proprietà diverse da quelli situati al centro della particella; di norma sono molto più reattivi. L'oro, ad esempio, su scala nanoscopica diventa un buon catalizzatore per celle a combustibile (cfr. anche la sezione

Mobilità). Le nanoparticelle possono anche ricoprire altre sostanze e nei materiali così formati si combinano proprietà diverse. Ad esempio le nanoparticelle ceramiche con involucro organico riducono la tensione superficiale dell'acqua e sono utilizzate per rivestire gli specchi da bagno anticondensa.

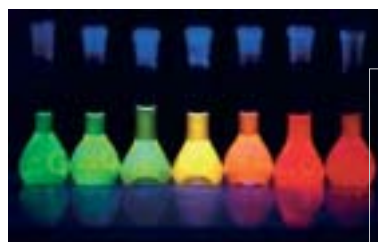
Rivestite in modo particolare, le nanoparticelle di magnetite (un ossido di ferro) formano con l'olio un ferrofluido, un liquido che può essere plasmato da campi magnetici. I ferrofluidi trovano sempre maggiore applicazione, ad esempio come sigillanti per giunti rotanti per contenitori sotto vuoto e custodie per dischi rigidi, o in ammortizzatori di vibrazione regolabili per macchine o automobili.

Ma non ci si deve fare intimorire dalla complessità della nanotecnologia. Anche la mela è un insieme complesso di cellule, ribosomi e DNA, ma resta con tutto ciò un frutto appetibilissimo e, come ogni buona nanotecnologia, facile da usare.

Nanoparticelle di magnetite in olio. Per via magnetica è possibile plasmare il fluido.



"Magnetotacticum bavaricum". I batteri magnetici possono sintetizzare catene di nanomagnetite e utilizzarle come aghi di bussola.



Le particelle di tellururo di cadmio diventano fluorescenti; il colore dipende solo dalla dimensione della particella.

Strumenti e processi

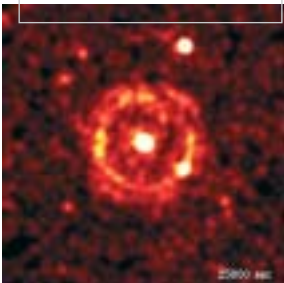
Occhi per il nanocosmo



Nanotecnologie nello spazio: i riflettori del telescopio europeo Newton a raggi X presentano un'irregolarità media di superficie di soli 0,4 nanometri e vedono le fonti di raggi X nella nebulosa di Andromeda.



Un evento scientifico sensazionale: un lampo di raggi gamma brucia formando degli anelli in una nebulosa galattica.



Cosa c'entra il telescopio europeo a raggi X Newton con la nanotecnologia? Raccoglie le radiazioni X provenienti da oggetti lontani grazie a 58 riflettori delle dimensioni di un cestino per la carta, inseriti uno nell'altro come bucce di cipolla e esposti a vapore d'oro. Questi riflettori presentano un'irregolarità di superficie media di soli 0,4 nanometri - un capolavoro della tecnologia cui la società Carl Zeiss ha contribuito in misura determinante.

I riflettori di raggi X di precisione per la spettroscopia e la microscopia di raggi X sono costituiti da svariate centinaia di strati di due diversi elementi pesanti. I requisiti che questi riflettori devono soddisfare sono ancora più rigorosi e gli strati possono deviare dalla misura ideale solo di qualche frazione di diametro di un atomo. Questa tecnica è stata messa a punto presso il Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik di Dresda.

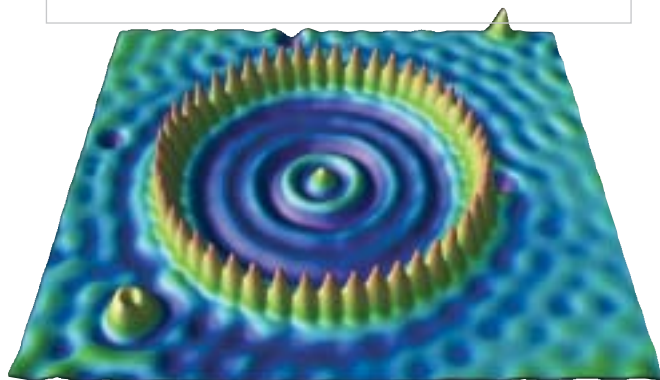
Il meccanismo del riflettore a strati per lo spettro della luce visibile è stato scoperto anche dalla natura; il calamaro notturno *euprymna scolopes* dirige la luce di batteri luminosi verso il basso mediante minuscoli specchi composti da proteine

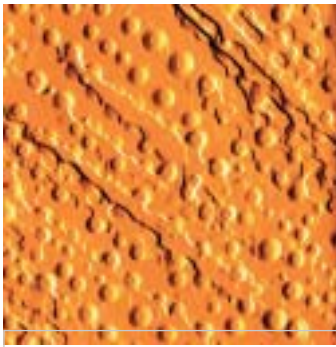
fluorescenti ("riflettine") con un effetto di cielo stellato che trae in inganno i predatori che passano sotto. Questo esempio di nanotecnologia biologica è stato scoperto recentemente all'università di Hawai.

Sonde a scansione

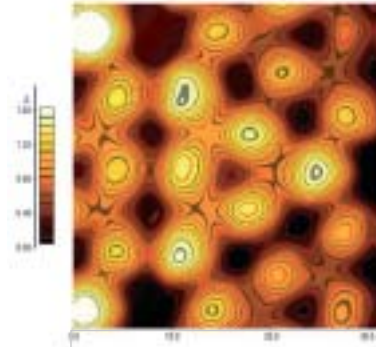
Le sonde a scansione, simili ad occhi che esplorano il nanocosmo, anche se a prima vista possono sembrare meno spettacolari, non sono da meno, tant'è che il microscopio a scansione a effetto tunnel, il progenitore di tutte le sonde a scansione, ha ottenuto il premio Nobel.

"Quantum Corral", di Don Eigler, IBM. Le onde all'interno rispecchiano probabilità di incontrare un elettrone.

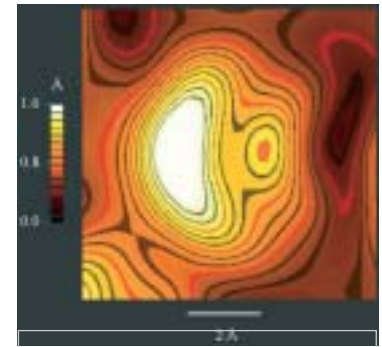




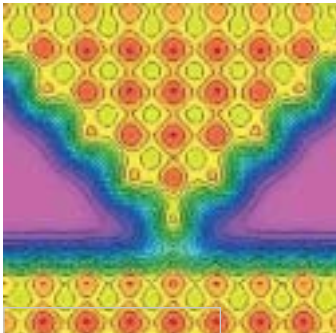
Cristallo di bromuro di potassio con terrazzi atomici. Il sale che mettiamo sul nostro uovo sodo ha più o meno questo aspetto.



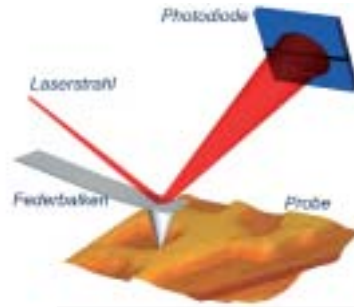
Silicio in primo piano: il microscopio a scansione di forza rileva la densità degli elettroni.



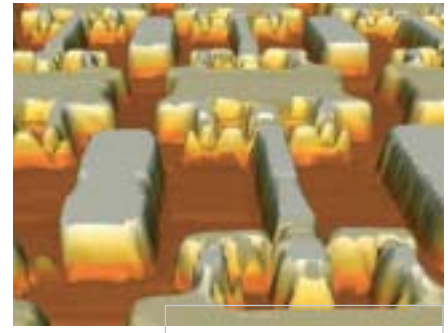
Il primo atomo della testa della sonda emette due nubi di elettroni, orbitali come da manuale.



Veduta schematica della classica punta di un microscopio a scansione ad effetto tunnel.



Il microscopio a scansione di forza: la deviazione dell'ago del sensore è trasmessa ad una cellula fotoelettrica mediante un raggio laser.

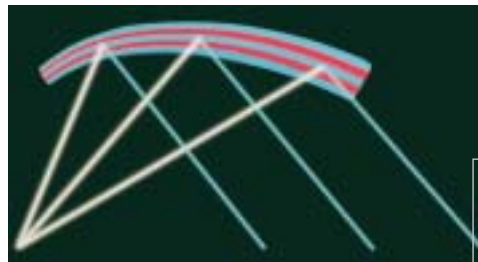


Le sonde "capacitive" possono essere utilizzate anche per rappresentare i processi di commutazione su un chip.

Nelle sonde elettroniche a scansione alcuni piezocristalli dirigono una testa di scansione sull'oggetto esaminato, ad esempio dei campi atomici. I movimenti sono minimi e la distanza tra la testa e il campo atomico è generalmente inferiore al diametro dell'atomo. In quest'area succede qualcosa: a volte passa una corrente, altre volte si individuano piccolissimi campi magnetici. I calcolatori interpretano le misure graficamente su una superficie creando un'immagine esatta su scala atomica e subatomica, in funzione del principio di misurazione.

Particolarmente raffinato è il microscopio a scansione di forza che rivela le forze minime

esercitate sull'ultimo atomo della testa della sonda dagli atomi del campo atomico. Questo processo consente di visualizzare il guscio di elettroni degli atomi svelando così i segreti del livello ultimo della materia. Il primato mondiale di risoluzione lo detiene attualmente l'università di Augsburg.

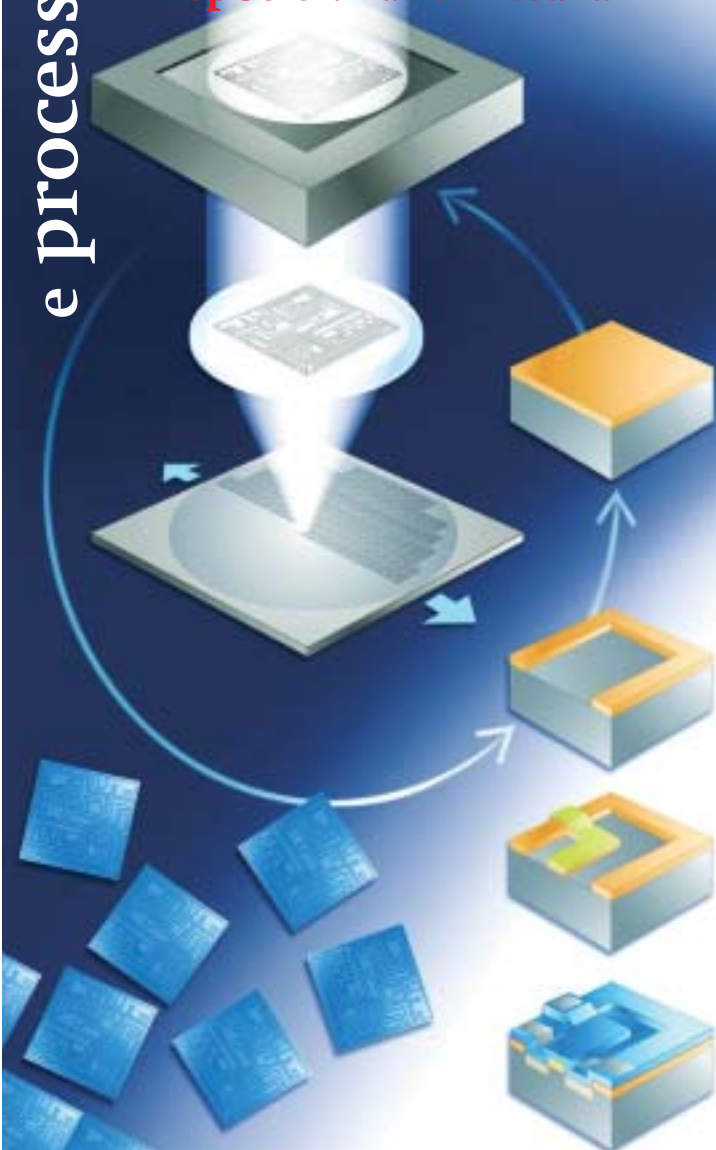


Un riflettore multistrato curvilineo per un'analisi a raggi X ad alta precisione.

Euprymna scolopes inganna i suoi nemici grazie a riflettori multistrato composti da proteine fluorescenti ("riflettine") La luce è fornita da batteri luminosi.



Dispositivi di scrittura

*Il processo della litografia:*

Un chip è una struttura tridimensionale in cui tutti gli elementi di commutazione sono ordinati in strati distinti. Per un chip moderno a elevate prestazioni occorre prevedere da 25 a 30 strati di questo tipo, che richiedono ognuno la propria maschera litografica. La struttura della maschera viene proiettata sul wafer mediante il fascio di luce e il sistema lenticolare del ripetitore, un apparecchio simile ad un retroproiettore. Ogni nuova maschera aggiunge nuove funzionalità al chip, aumentandone la complessità.

La litografia

Nel mondo dell'informatica, la litografia è la tecnica utilizzata per la realizzazione di circuiti integrati con l'aiuto della luce. In questo processo, la superficie levigata di un materiale semiconduttore, una lastra (wafer) di silicio, è coperta da un rivestimento protettivo fotosensibile sul quale viene proiettata l'immagine di un circuito. Lo sviluppo di questo rivestimento protettivo indica le zone esposte (e non esposte) del wafer che acquisiscono in seguito le proprietà elettriche volute mediante processi quali l'incisione, l'impianto ionico e la depositazione. Ripetendo il processo con nuovi schemi e maschere si ottengono le strutture più complesse mai inventate dall'uomo: i circuiti altamente integrati o chip. La densità dei transistor è giunta ad un livello tale che mezzo milione di transistor (o più) potrebbero stare sul puntino tracciato da una matita.

I chip moderni hanno strutture ancora più piccole della lunghezza d'onda del fascio di luce utilizzato nella litografica: impiegano laser a fluoruro di cripton di una lunghezza d'onda pari a 193 nanometri per creare strutture larghe 130 e, presto, 90 nanometri. Ciò è possibile grazie a procedimenti ottici ingegnosi come la "Optical Proximity Correction" (modifica di un dispositivo volta a compensare le distorsioni introdotte dal processo litografico) e la "Phase Shifting" (utilizzo dei fenomeni di interferenza distruttiva per il miglioramento del contrasto dell'immagine e della risoluzione litografica). Attualmente si stanno ponendo le basi della litografia EUV (Extreme Ultra Violet), che utilizza lunghezze d'onda di 13 nanometri e che potrà realizzare nel silicio strutture di appena 35 nanometri di larghezza. I requisiti che devono soddisfare i materiali utilizzati per la fabbricazione delle maschere sono naturalmente molto rigorosi: una placca di 10 cm di lunghezza riscaldata ad un grado Celsius deve dilatarsi solo di qualche decimo di nanometro, cioè di qualche diametro atomico. Una regolarità di superficie di pochi diametri atomici come quella richiesta si situa anch'essa al limite di quanto teoricamente realizzabile.

Lo sviluppo di Dresda come polo dell'elettronica è un esempio riuscito di promozione della ricerca in Germania. Nella regione sono stati creati ben 16 000 posti di lavoro, dando un grande impulso innovatore a tutta l'economia tedesca. Nell'ambito dei progetti finanziati dal ministero tedesco della ricerca (BMBF), 44 partner industriali e istituti di ricerca, tra cui 21 imprese di medie dimensioni, hanno sviluppato la norma per l'utilizzazione futura di wafer di cristalli di silicio di 300 mm di diametro destinati alla produzione di circuiti integrati estremamente complessi. Il Centro per la tecnologia delle maschere di Dresda, in cui sono sviluppati i mezzi per la realizzazione dei futuri chip nanoelettronici, svolge un ruolo determinante in questo settore.



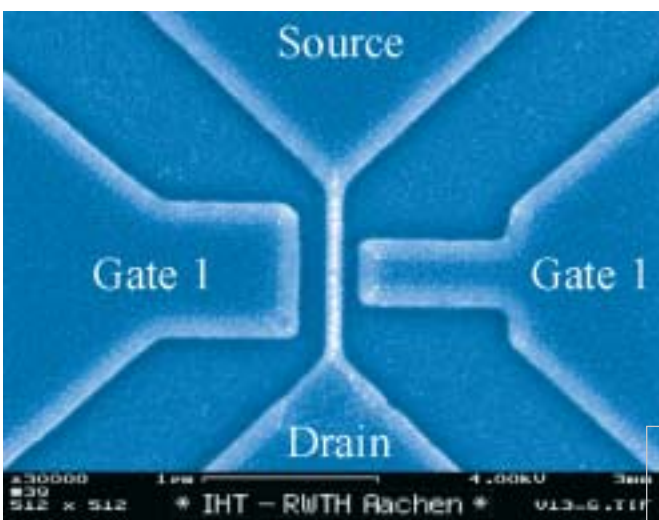
Prototipo di un "wafer stepper" con tecnologia EUV per la produzione delle generazioni future di chip.

La nanostampa per medie imprese

Quando si parla di nanoelettronica, l'immagine che viene in mente è quella di apparecchiature costose che richiedono milioni, se non addirittura miliardi di euro di investimento, ma che grazie all'enorme volume di produzione permettono di fabbricare prodotti dai costi accettabili. Ma nel nanocosmo vi sono anche possibilità alla portata di imprese di medie dimensioni. Certi metodi possono sembrare, a prima vista, arcaici; ad esempio nel processo di nanostampa mediante UV, le nanostrutture sono pressate meccanicamente (nel vero senso della parola) su una vernice che ricopre il supporto elettronico, ad esempio il silicio. Il modello contenente le delicatissime nanostrutture è fatto di vetro di quarzo, trasparente alla luce ultravioletta. Quando la pressa viene abbassata sul rivestimento di vernice un impulso di luce UV fa sì che il rivestimento fotosensibile si polimerizzi, cioè si indurisca. A questo punto lo stampo viene tolto ed il rivestimento viene assottigliato. Il silicio rimasto scoperto può quindi essere liberamente manipolato; ripetendo più volte il

processo con l'aiuto di stampi diversi si ottiene la struttura complessa di un chip con transistor, circuiti ecc. Durante le prove in laboratorio sono state ottenute strutture di soli 10 nanometri. Il processo non si applica solo ai componenti elettronici, ma può essere utilizzato anche per la strutturazione di metalli e plastiche o per lo sviluppo di laboratori miniaturizzati su chip. Una macchina per nanostampa a luce ultravioletta costa attualmente meno di un milione di euro, una cifra minima rispetto al costo delle apparecchiature analoghe utilizzate in una fabbrica moderna di chip convenzionali. Tuttavia, la tecnica di nanostampa UV non consente di fabbricare prodotti più economici, dato che la sua capacità di produzione è notevolmente inferiore. Per miniserie speciali - "mini" rispetto alle grandi serie dei produttori di processori - potrebbe però diventare l'opzione migliore.

Zerodur per maschere litografiche: questa ceramica speciale rimane stabile anche su scala nanometrica.



Stampare nel nanocosmo: presso l'Institut für Halbleitertechnik (IHT) della RWTH di Aquisgrana si possono già produrre con metodi meccanici/ottici strutture per chip larghe 80 nanometri. Applicazioni: circuiti di serie limitata estremamente complessi.

Impulsi per la scienza

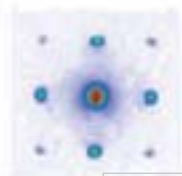
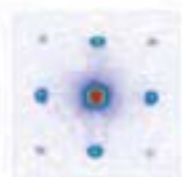
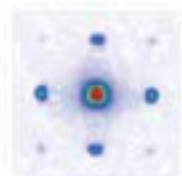
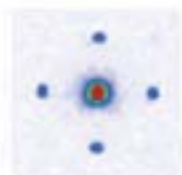
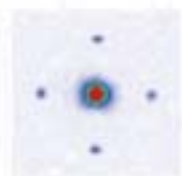
Uno spettrometro convenzionale per analisi dei raggi X. La scienza deve gran parte della sua conoscenza del nanocosmo a strumenti di questo genere.

Pista sotterranea di accelerazione degli elettroni.



Effetti quantici

All'università Ludwig-Maximilian di Monaco si sta spingendo la materia in condizioni nanotecnologiche estreme, in cui manifesta proprietà sorprendenti. Ad esempio, quando un vapore costituito da centinaia di migliaia di atomi di rubidio è raffreddato ad un milionesimo di grado al di sopra dello zero assoluto (-273 °C) e concentrato mediante un campo magnetico, gli atomi si raggruppano nel "condensato Bose-Einstein" nel quale formano una sola unità come un battaglione di soldati in marcia. Gli esperti di ottica quantistica di Monaco sono in grado di far entrare un blocco di questo tipo in una rete tridimensionale di onde laser permanenti e possono anche manipolarlo, ad esempio rendendo le trappole di luce così forti che il blocco si decompone in un "condensato di Mott". Questi lavori sono stati ricompensati con il premio Nobel per la fisica nel 2001. Perché? Le ricerche di questo tipo danno nuova linfa alla teoria quantistica, che è quella che conta nel nanocosmo. Chi la comprende a pieno potrà ad esempio sviluppare norme più precise di misurazione del tempo. Orologi più precisi potranno a loro volta contribuire ad accelerare gli scambi di dati su Internet: insomma, questa ricerca apparentemente esoterica promette di dare risultati molto promettenti.



"Condensato di Mott" - una materia esotica per una misurazione del tempo ultraprecisa.

Il laser XFEL a raggi X - un faro per la nanotecnologia

Se tutto procede come previsto, alcuni miliardi di elettroni vivranno un evento straordinario nel 2012. Nel laboratorio DESY di Amburgo-Bahrenfeld, saranno accelerati ad un livello di energia elevatissimo da un acceleratore di elettroni superconduttore, per essere poi sistematicamente deviati da magneti situati a 3,3 km di distanza. In questo modo si produrranno raggi X ad onda corta di un tipo molto speciale: i raggi laser. Sarà la radiazione più preziosa mai ottenuta dai ricercatori. In un colpo solo, sarà possibile determinare la struttura di una singola (!) biomolecola. Per le sorgenti di raggi X attualmente disponibili, occorrono cristalli ben formati di una biomolecola, il che non sempre è fattibile.

I lampi di raggi X sono così corti che si potranno filmare correttamente le varie fasi del movimento di una molecola. Quello che con altri metodi apparirebbe un turbine confuso assume una forma riconoscibile grazie al laser a raggi X.



Elementi superconduttori per l'accelerazione degli elettroni.



I lampi laser a raggi X di un femtosecondo consentono di seguire e comprendere lo svolgimento esatto di una reazione chimica, con possibilità di applicazioni in vari settori, ad esempio in quello dell'optoelettronica, dell'energia fotovoltaica, delle celle a combustibile e delle celle solari: la nanotecnologia al meglio delle sue possibilità.

Si potranno decifrare i segreti della frizione: gruppi nanometrici costituiti da meno di cento atomi consentiranno di stabilire cosa determina la frizione e in che modo.

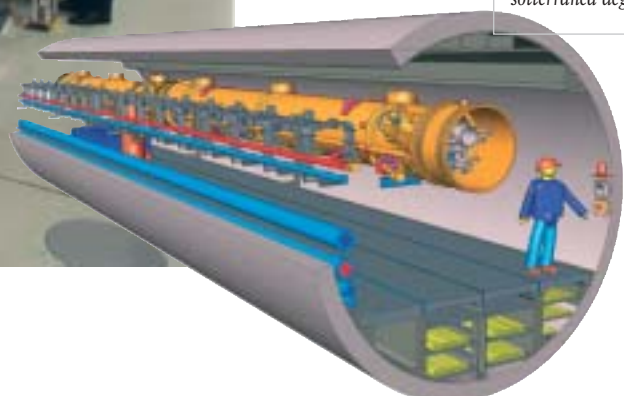
Lo XFEL, più di qualsiasi altro strumento, consentirà di svolgere ricerche approfondite sulle proprietà dei singoli cluster, agglomerazioni di poche centinaia di atomi. Insomma, il più importante progetto europeo nel settore della nanotecnologia imprimerà un forte impulso alla scienza e alla tecnologia.

Con ogni probabilità l'importo previsto di 684 milioni di euro (nel 2003) sarà più che ripagato, non solo con l'acquisizione di nuove conoscenze, ma anche con moneta sonante.



Il laser ad elettroni liberi in fase di costruzione.

Ecco come si presenta una pista di accelerazione sotterranea degli elettroni.

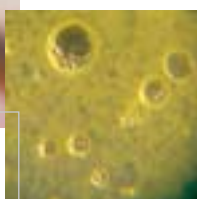


Processi sol/gel per nuovi materiali

La salsa "béarnese" è stata chiamata così in onore di Enrico IV, re di Francia, perché il sovrano era originario di Béarn. Questa salsa costituisce un ottimo esempio (oltretutto appetitoso) di sistema colloidale. Si parla di colloidale quando molte goccioline di una sostanza stanno stabilmente in sospensione in un'altra sostanza.



Sol/gel per un re: salsa "béarnese" inventata in onore di Enrico IV di Francia.



Esistono un centinaio di varianti della tecnologia sol/gel per vari materiali. I sol gelificati possono anche assumere la forma di fili che una volta riscaldati si convertano in fibre ceramiche. I sol servono anche a produrre polveri nanometriche che si possono cuocere più facilmente e a temperature più basse rispetto alle polveri convenzionali e che resistono alle pressioni e alle temperature più elevate.

La tecnologia sol/gel consente anche di fabbricare componenti ottici sofisticati come i cavi di fibra ottica, i duplicatori di frequenza o i campi di microlenti. Questo tipo di tecnologia preannuncia una vera e propria rivoluzione nel campo della tecnologia dei materiali.

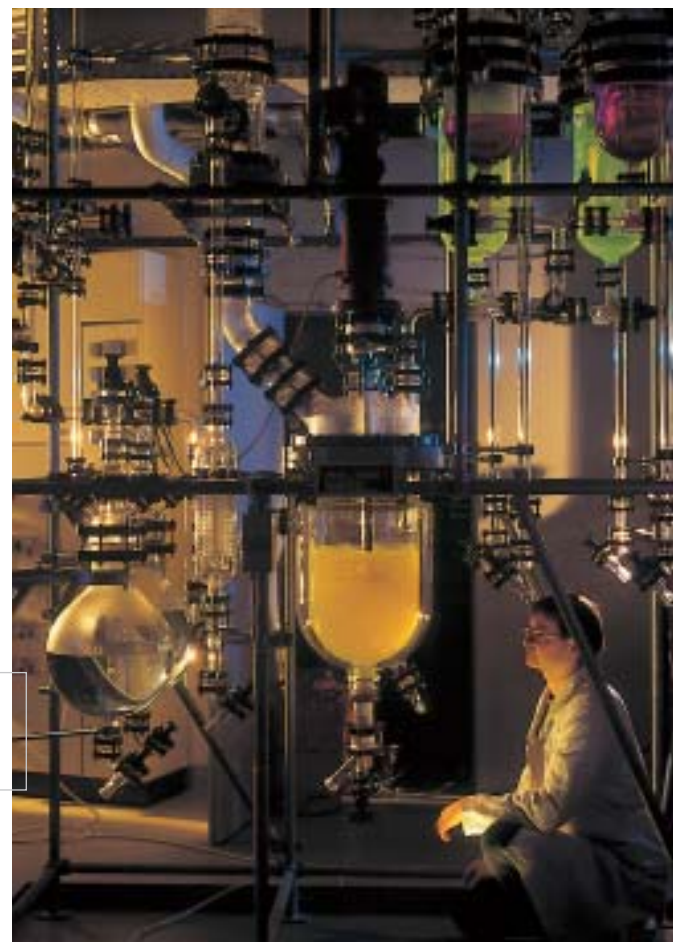
Il solvente di un gel, in determinate condizioni, può anche essere eliminato in modo che il gel mantenga il suo volume iniziale e produca un materiale altamente poroso a bassissima densità, ossia un aerogel.

Nel caso della salsa in questione si tratta di goccioline di aceto in sospensione nel burro fuso. Le creme e le vernici costituiscono altri esempi di colloidali. Con la tecnologia sol/gel, i colloidali fanno il loro ingresso nel settore dell'alta tecnologia.

La tecnologia sol/gel permette di produrre un sol (una dispersione generalmente colloidale) di composti solubili in cui goccioline contenenti silicio sono in sospensione in una soluzione conduttrice.

Quando sono vaporizzate su una placca e riscaldate la soluzione evapora e le goccioline di silicio si saldano e formano una rete. Questa rete gelificata poi si solidifica e forma uno strato di ceramica dura. La placca resta così protetta dalla corrosione e dai graffi.

Perfetto per le particelle più sottili: un reattore di particelle sol/gel.





I doppi vetri riempiti di aerogel bloccano la dispersione di calore.



L'aerogel è un acchiappa polvere per fini scientifici. Le particelle restano intrappolate in una massa fusa di aerogel.

La cometa "Wild 2" ha ricevuto la visita di un aerogel.



Gli aerogel

Gli aerogel sono sostanze che incontriamo nella vita di tutti i giorni, come nel caso delle meringhe che i pasticceri preparano da tempo immemorabile. La meringa è composta da bianco d'uovo montato a neve, zuccherato e cotto e tenendola in mano si avverte immediatamente una sensazione di calore. Questo fenomeno è dovuto al fatto che l'aria contenuta nella meringa è intrappolata in milioni di bollicine microscopiche. Non può quindi circolare e scambiare calore e in questo modo diventa un ottimo isolante termico, come nel polistirolo. Gli aerogel di schiuma di vetro prodotti nello stesso modo sono anch'essi isolanti termici di ottima qualità.

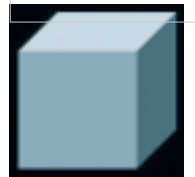
Le chiare d'uovo sono incolori, ma la meringa è bianca. Ciò è dovuto al fatto che la chiara d'uovo battuta viene compartimentata in bollicine micrometriche: in strutture così piccole, la luce viene rifratta in tutti i colori dell'arcobaleno ma il risultato complessivo è il bianco. I pori nanometrici non rifrangono più la luce. La schiuma di vetro che presenta pori di questo tipo è chiara e trasparente quasi come il vetro di una finestra. I doppi vetri riempiti con questa schiuma garantiscono un eccellente isolamento termico.

Queste schiume sono denominate "aerogel" proprio perché sono composte quasi esclusivamente di aria. Il termine "gel" deriva dal processo di produzione: si aggiunge un catalizzatore alla soluzione acquosa di un materiale adatto e si ottengono così piccole cavità dalle pareti sottili che si uniscono in catene e poi in gruppi di catene, formando un gel che, asciugandosi, si converte in un aerogel estremamente leggero.

L'aerogel che ha viaggiato di più è quello che si trova nell'analizzatore di polveri CIDA della ditta Hoerner & Sulger GmbH, che nel gennaio 2004, dopo un viaggio di cinque anni durante i quali ha percorso 3,22 miliardi di chilometri, ha raccolto la polvere della cometa "Wild 2".

Un materiale cosperso di molte bollicine ha una grande superficie interna. La superficie interna più estesa possibile, ossia tendente all'infinito, è quella della spugna di Menger, in cui il volume tende a zero. Questa spugna esiste solo nella mente dei matematici. La superficie interna effettiva degli aerogel è comunque tanto ampia da produrre alcuni effetti stupefacenti. Un pezzo di aerogel a base di carbonio, delle dimensioni di una zolletta di zucchero, può avere una superficie interna di 2000 m². Grazie a questa e ad altre proprietà gli aerogel di carbonio troveranno sicuramente posto tra le tecnologie energetiche del futuro. Possono essere utilizzati tra l'altro per la fabbricazione di condensatori con una capacità fino a 2 500 farad che fungono da accumulatori di energia per i picchi di consumo energetico, ad esempio nei veicoli elettrici. Questa incredibile schiuma consentirà anche di produrre batterie al litio migliori, nuovi tipi di celle a combustibile ecc. Raramente un materiale così poco consistente ha vantato tante potenzialità, ma questo è tipico della nanotecnologia.

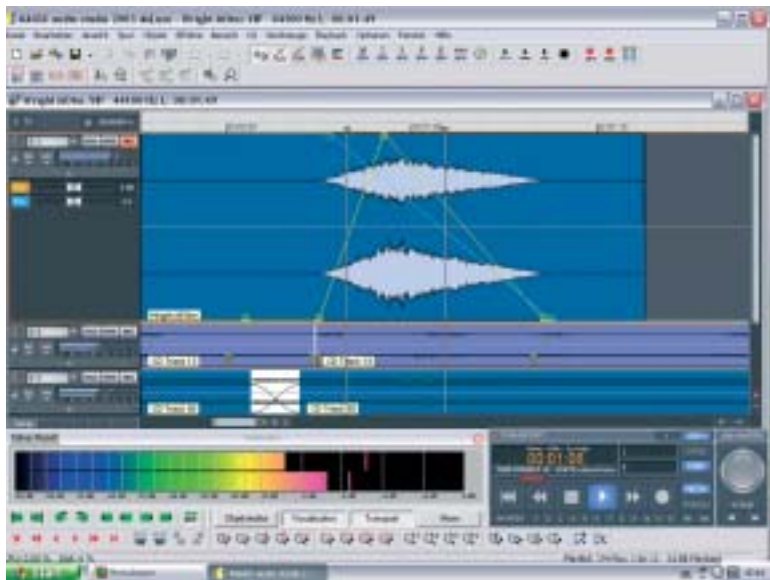
La spugna di Menger viene utilizzata dai matematici come "curva universale", che si forma quando il procedimento descritto qui sotto si ripete all'infinito.



La nanotecnologia al servizio della società

Il mondo collegato in rete: la nanoelettronica

Dal portatile nello studio allo studio nel portatile – Stato della tecnica



Tutto è inserito nel programma suono e ripartito tra varie piste. L'aereo vola da sinistra a destra, effetto simulabile con curve panoramiche. Il rumore del motore aumenta e diminuisce e questo si può ottenere con le curve di volume. Poi si sente Orville Wright sorvolare con sicurezza le colline di *Kill Devil*, come fece il 17 dicembre 1903, col rumore della risacca e il fischio del vento tra la vegetazione delle dune. Tutto questo col calcolatore portatile. (Altri pionieri dell'aviazione, come il tedesco Gustav Weißkopf, avevano volato già nel 1901 ma le loro invenzioni si rivelarono inutilizzabili).

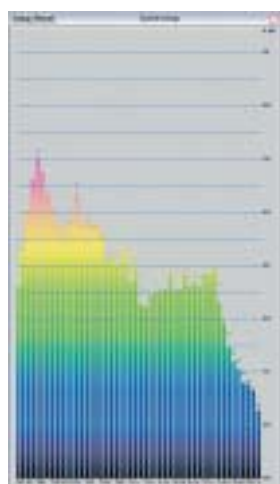
Cosa deve fare un bravo giornalista a cui è stato dato l'incarico di realizzare quattro minuti e mezzo di trasmissione radiofonica sul primo volo a motore dei fratelli Wright, con un

pizzico di atmosfera? Innanzi tutto, sul suo portatile, dà un'occhiata al luogo in cui è avvenuto il volo. Sul globo virtuale può vedere la località di Kitty Hawk, che si trova su una fascia di terra larga alcuni chilometri lungo le coste dell'Atlantico del Nord, e accanto le colline di *Kill Devil*. I fratelli Wright avranno potuto sentire il rifrangersi delle onde. Questo

rumore si può trovare negli archivi dei suoni, così come quello della forte brezza che spirava il giorno del primo volo – come descritto dall'Encyclopaedia Britannica – o il fruscio dell'erba sulle dune. Il motore girava ad una velocità di 1200 giri al minuto e gli archivi sonori propongono un Chrysler - Oldtimer che ha un bel rombo profondo. L'analizzatore di spettro del programma di sonorizzazione mostra le frequenze plausibili; fin qui tutto bene. Il primo volo a motore è durato 12 secondi; si seleziona un estratto in cui il suono verso la fine diminuisce per via dell'effetto Doppler di quando l'aereo passa davanti al microfono.

Venti anni fa, questa missione sarebbe stata impossibile per una persona sola e avrebbe richiesto tonnellate di materiale: oggi basta un calcolatore portatile, un tavolino e qualche ora di tempo. Il contenuto dell'enciclopedia è stato trasferito su un DVD (al posto dei trenta volumi su carta) che è molto più maneggevole della carta e rende più rapida la ricerca. Anche il programma di sonorizzazione ha assunto una forma immateriale sul disco rigido e fornisce una gamma infinita di effetti. Lo sviluppo dell'informatica moderna ha dato il via ad un movimento di dematerializzazione che porterà a sua volta ad una riduzione del consumo energetico. La diminuzione dei prezzi del materiale e del software consente a persone creative con pochi mezzi di disporre di materiale di produzione, senza dover investire somme ingenti.

In futuro, le biblioteche portate intorno al polso e le comunicazioni mobili interattive saranno tecnologie di uso comune.





Uno studio televisivo che può stare su un'unghia: chip multimediale con controllore per una regolazione dello schermo ad alta risoluzione, con un consumo di energia pari a quello di una torcia tascabile.

Go Nano! Gli anni prossimi venturi

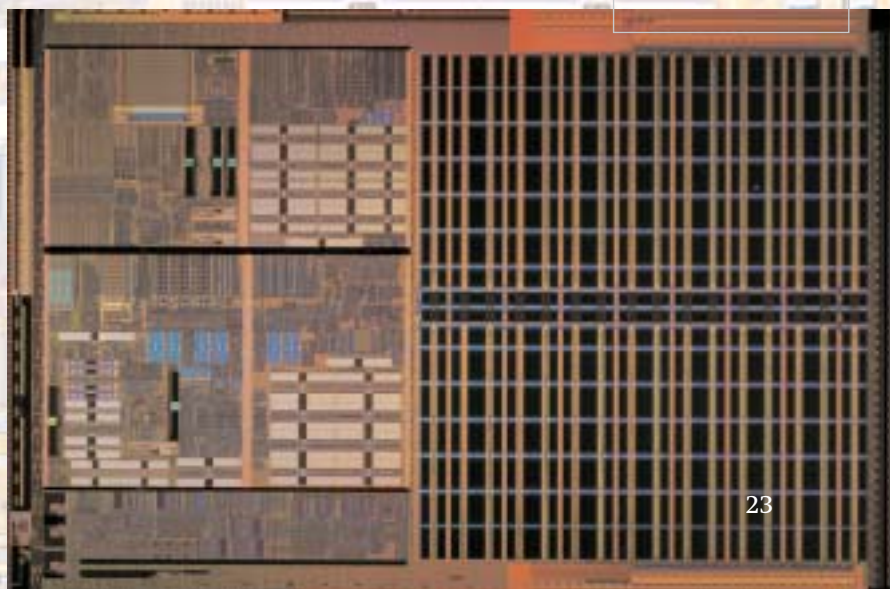
La tecnologia dei transistor utilizzata attualmente nei processori dei calcolatori è denominata CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), ed è stata sviluppata, tra l'altro, per i primi orologi elettronici in quanto consumava molto meno elettricità delle tecnologie precedenti. Dagli anni '70, gli esperti vanno ripetendo che lo sviluppo tecnologico raggiungerà i suoi limiti nei prossimi 10 o 15 anni. Ma questa volta l'industria elettronica ha un motivo molto valido per prevedere una brusca interruzione del processo costante di miniaturizzazione delle sue strutture: avanzando sulla via del microcosmo si comincia a vedere la grana stessa della materia, la sua struttura atomica. Gli involucri di elettroni dell'atomo sono però i componenti più piccoli che possano essere assemblati in condizioni normali per formare strutture tecniche durevoli. Ci si sta dunque approssimando ad un limite di fondo: il circuito di un conduttore non può essere più sottile di un atomo.

Per altro la tecnologia CMOS è da tempo soggetta a vincoli che a volte risultano piuttosto curiosi. I circuiti che collegano i transistor di un chip sono già così piccoli che gli atomi di alluminio sarebbero instabili: verrebbero spazzati via dal flusso di elettroni, come ghiaia in un fiume. Il termine specifico che designa questo fenomeno è "elettromigrazione". La risposta al problema sono i circuiti in rame, che è anche un migliore conduttore, il che accelera il flusso dei segnali su un chip. I circuiti sono oggi così ravvicinati che si crea una capacità sensibile, come in un condensatore. Se questo effetto non fosse preso in considerazione al momento della progettazione dei chip potrebbero sorgere dei problemi di sincronia.

Alcune componenti dei transistor dei chip si stanno riducendo a dimensioni inferiori ai 20 nanometri. Si entra così nel mondo della teoria quantistica e comincia ad operare l'effetto tunnel: circolano correnti che in transistor di maggiori dimensioni non sarebbero presenti. Nel sistema di sbarramento elettronico compaiono delle falle. Anche se si tratta di correnti minime, mettendo insieme milioni di transistor le perdite diventano considerevoli e il processore si riscalda. Inoltre queste cariche vagabonde causano errori logici che possono risultare fatali.

Con strutture molto fini comincia poi a diventare visibile la natura ondulatoria dell'elettrone, descritta dalla teoria quantistica. E questo per molti scienziati potrebbe essere anche un'ottima occasione per sviluppare un tipo di elettronica totalmente nuovo e arrivare alla realizzazione di un calcolatore quantico in grado di esplorare universi matematici del tutto nuovi.

Un processore AMD 64 bit per applicazioni PC con 106 milioni di transistor e tecnologia a 130 nm.

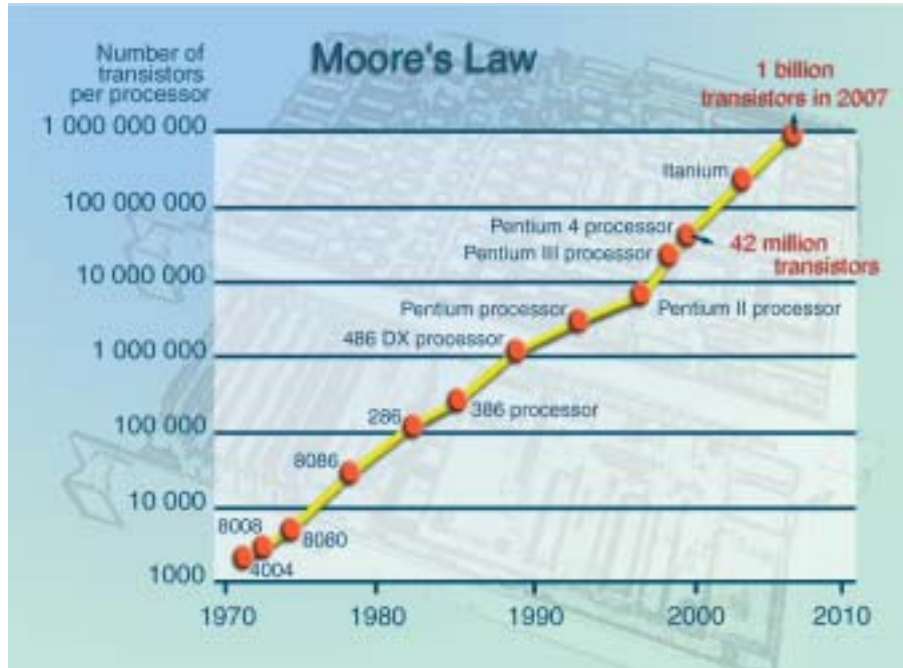


Il mondo collegato in rete: la nanoelettronica

La legge di Moore ha raggiunto i suoi limiti

Già nel 1965 Gordon Moore, cofondatore della società Intel, si rese conto che la capacità dei microchip raddoppiava ogni 18 mesi circa. Questa “legge” oggi è rimessa in questione da un problema di natura strettamente umana. Mentre il numero di transistor presenti su un chip cresce effettivamente ogni anno del 50%, gli analisti si lamentano che la produttività nella progettazione di chip è aumentata solo del 20% l'anno. L'industria ha tentato di contrastare questa tendenza aumentando continuamente le dimensioni dei gruppi di progettisti che arrivano ormai a 250-300 persone e sono diventate ingestibili.

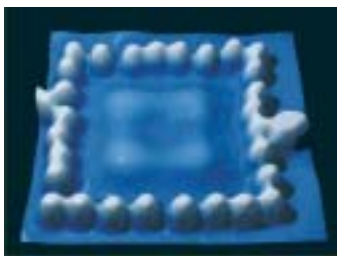
La crescita illimitata è in contraddizione con la seconda legge di Moore, secondo cui la riduzione delle dimensioni delle strutture va di pari passo con l'aumento del costo degli impianti di produzione. Fino a quando queste restrizioni non limiteranno in modo duraturo lo sviluppo, la nanotecnologia continuerà a svolgere un ruolo sempre più importante nel settore della nanoelettronica.



Già oggi si fabbricano processori con strutture di dimensioni inferiori ai 100 nm e con più di 100 milioni di transistor. Secondo la tabella di marcia dell'industria dei semiconduttori, le cui previsioni si basano essenzialmente su sviluppi tecnici realistici, tra qualche anno (intorno al 2010) si giungerà a strutture di 45 nm dotate di oltre un miliardo di transistor per chip. Tale evoluzione aprirà nuove prospettive che oggi possiamo solo sognare.



Un isolotto di silicio su un cristallo di silicio si scioglie lentamente ad una temperatura di 450 gradi. La conoscenza di questi processi è fondamentale per la qualità degli strati sottili.

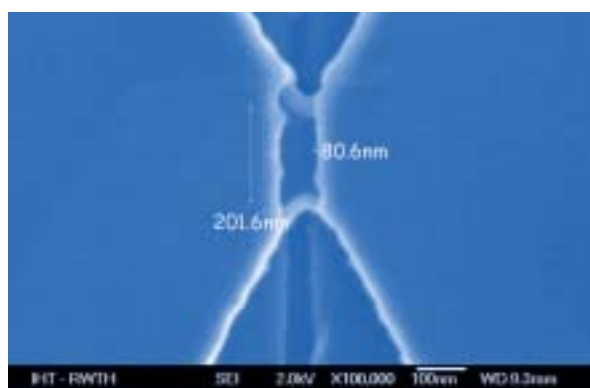


Atomi di manganese su argento all'università Christian-Albrechts di Kiel. Gli elettroni racchiusi da cinta di atomi di manganese formano modelli di distribuzione che dipendono dalla tensione elettrica. Effetti come questi saranno importanti per l'elettronica di domani.

Memoria principale a cambiamento di fase (*Phase Change RAM*)

Gli attuali dispositivi per la memorizzazione di dati si basano su varie tecnologie che presentano vantaggi e svantaggi. I dischi rigidi magnetomeccanici hanno una densità di memorizzazione molto elevata e accumulano dati senza richiedere una fonte costante di corrente elettrica ma sono però molto lenti. Al contrario, la DRAM (*Dynamic Random Access Memory*, memoria ad accesso casuale dinamica) è rapida ma i dati devono essere “rinfrescati” in continuazione mediante impulsi elettrici. La memoria Flash, che troviamo ad esempio nei lettori MP3, nei telefonini e nelle macchine fotografiche digitali, conserva i dati senza richiedere un'alimentazione costante, ma non è rapida come la DRAM e può essere utilizzata solo un milione di volte circa. I futuri modelli di memorizzazione nanotecnologici, che dovrebbero associare i vantaggi summenzionati - elevata densità di memorizzazione, velocità, conservazione di dati senza alimentazione continua e longevità - secondo le previsioni attuali sono la MRAM (*Magnetic Random Access Memory*, memoria ad accesso casuale magnetica) e la memoria principale a cambiamento di fase, descritta qui di seguito.

Le materie solide possono presentarsi sotto due forme estreme: in forma cristallina, in cui gli atomi sono ben allineati come gli alberi in un'azienda forestale, o in forma amorfa, in cui sono sistemati in modo irregolare. Tra i solidi amorfi comuni si trovano alcuni tipi di vetro, come il vetro di quarzo; la stessa sostanza, il biossido di silicio, la troviamo nei negozi di minerali nella sua forma cristallina, il “cristallo di rocca”. Di forme cristalline o amorfiche si sentirà parlare sempre più spesso perché probabilmente saranno la

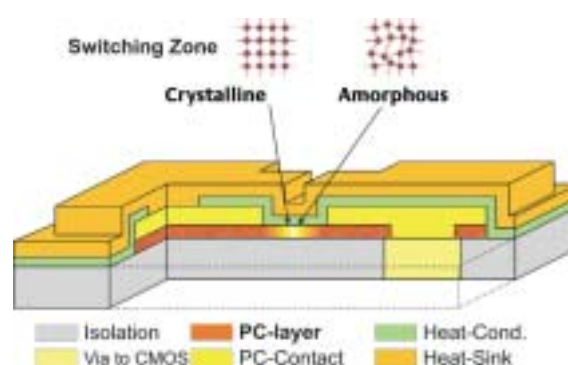


memoria di massa del futuro. Alcuni solidi si prestano a passare più o meno volontariamente dallo stato amorfo a quello cristallino e viceversa; questo cambiamento di fase, ottenuto di norma per effetto del calore, ha trovato ampie applicazioni nei mezzi di memorizzazione ottici. Ad esempio in fase di registrazione di un DVD riutilizzabile, un rivestimento speciale del DVD modifica localmente la sua fase dallo stato “cristallino” allo stato “amorfo” mediante lo shock termico provocato da un impulso laser, alterando così le sue proprietà di riflessione, in modo che vi si possa scrivere una configurazione di bit leggibile. Un'esposizione più lunga e più forte al laser riporta le zone amorfiche allo stato cristallino, consentendo di riscrivere nuovamente il DVD.

Molto probabilmente per i materiali a cambiamento di fase si profila una lunga carriera nel settore della memorizzazione elettronica, con le memorie a cambiamento di fase. In queste memorie, il cambiamento di fase non si produce con un procedimento ottico, ma per via elettronica. Brevi impulsi di corrente rendono il materiale amorfo con un'elevata resistenza elettrica; impulsi più lunghi lo riportano allo stato cristallino con una resistenza bassa. Per la lettura delle informazioni ci si basa sulla resistenza degli elementi di memoria. Con la Phase Change RAM si dovrebbe poter raggiungere densità di memorizzazione che consentono di archiviare su una superficie della dimensione di un francobollo un intero terabit, che rappresenta dieci ore di dati video non compressi di ottima qualità. I calcolatori portatili con questa tecnologia ripartirebbero semplicemente da dove si era fermato il loro proprietario, senza che ci sia bisogno di riavviarli.

A destra: i rivestimenti utilizzati per la memorizzazione a cambio di fase possono passare dallo stato amorfo allo stato cristallino grazie a impulsi di corrente e di calore di lunghezze diverse. Questo modello brevettato dall'IHT della RWTH di Aquisgrana consente di associare la rapidità della memoria ad un basso consumo energetico.

A sinistra modello di una memoria principale a cambiamento di fase.

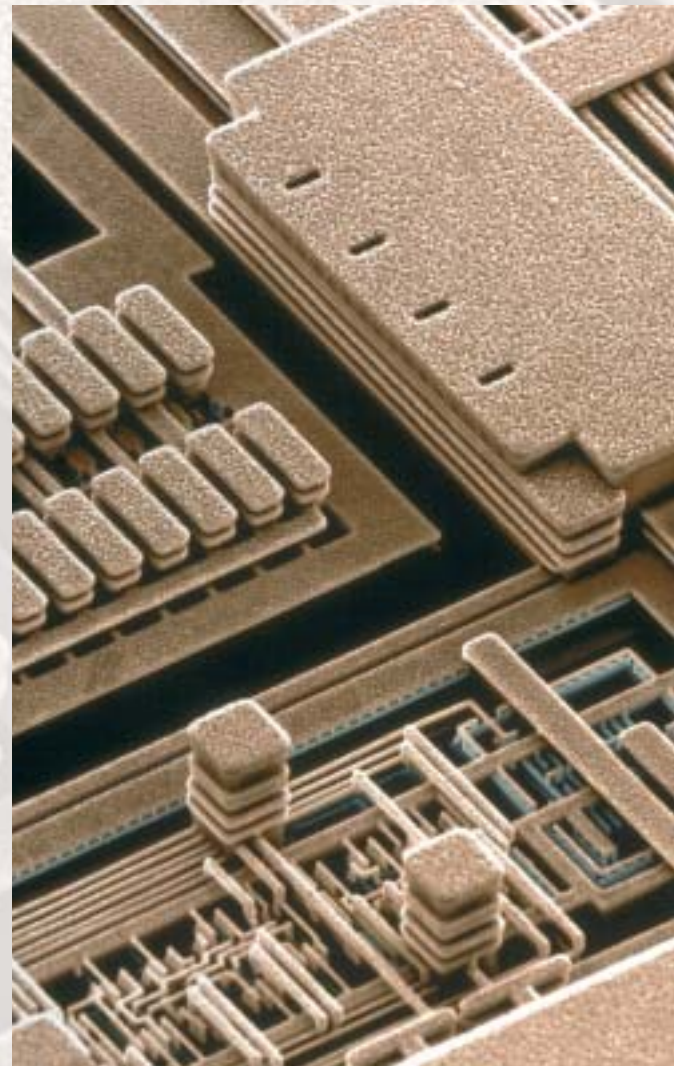


Il mondo collegato in rete: la nanoelettronica

Avanti con il tridimensionale: i chip crescono in altezza

I grattacieli sono stati la soluzione giusta a Manhattan, quando è stato necessario costruire nuovi uffici e abitazioni ma scarseggiavano i terreni edificabili. Naturalmente anche i progettisti di chip hanno pensato presto alla terza dimensione, ma gli sforzi in questa direzione si sono scontrati con tutta una serie di problemi.

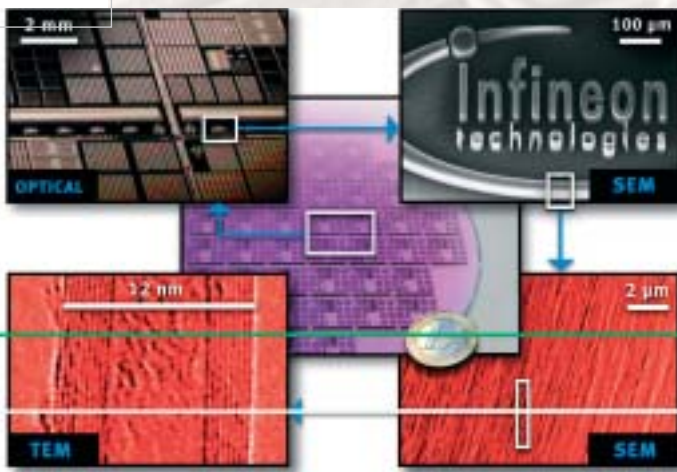
La società Infineon AG di Monaco ha forse aperto una strada verso la terza dimensione, perché è riuscita a far sviluppare dei nanotubi di carbonio (CNT) sui wafer, le placche di silicio levigate sulle quali si collocano i chip. I nanotubi di carbonio sono conduttori di prima scelta e producono dunque poco calore residuo. Possono essere utilizzati come connessioni (VIA), in grado anche di sopportare tensioni meccaniche tra i vari livelli di un chip. I ricercatori di Infineon ritengono possibile, a lungo termine, lo sviluppo di una vera e propria tecnologia tridimensionale per i chip grazie ai CNT, soprattutto perché questi elementi, essendo eccellenti conduttori di calore, potrebbero disperdere il calore dall'interno dei chip tridimensionali.



10 µm

Crescita mirata di nanotubi di carbonio in punti predefiniti di un wafer mediante un processo microelettronico compatibile.

Arte moderna: strutture sperimentali per memoria principale spintronica.

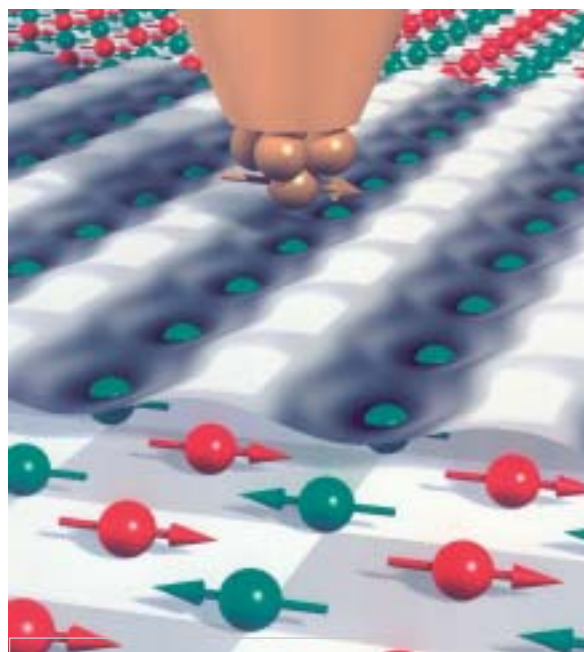




Complessi come una città: i circuiti di rame di un chip (IBM) visti al microscopio a scansione elettronica. I chip moderni hanno fino a nove livelli di circuiti.

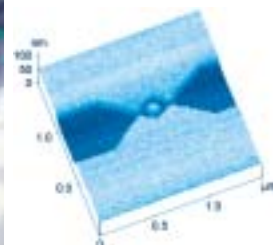


Singole molecole organiche su silicio. Immagine ottenuta con microscopio ad effetto tunnel all'università di Bochum.



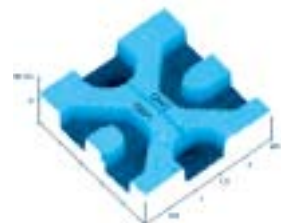
La sonda magnetica di un microscopio ad effetto tunnel a spin polarizzato esplora le proprietà magnetiche degli atomi.

Esercizi di calcolo sulle dita per un calcolatore quantico: l'interferometro "Aharonov-Bohm", creato dall'università di Bochum e dotato di un microscopio a scansione di forza.



Fili quantici accoppiati a tunnel: gli elettroni attraversano condotti che in base alla teoria classica dovrebbero essere bloccati. Gli esperimenti nanotecnologici cominciano ad andare oltre la teoria.

resistenza magnetica scoprono domini magnetici molto piccoli, rendendo possibili densità di memorizzazione estremamente elevate. Nelle MRAM, i chip a memoria magnetica, l'informazione è immagazzinata nello spin degli strati magnetici. Questo sviluppo riveste un grande interesse per la memoria principale non volatile e potrebbe a lungo termine portare alla sostituzione dei dischi rigidi ad attivazione meccanica.



All'università di Würzburg, ma anche in altri centri, si sta studiando la possibilità di applicare la tecnologia spintronica ai calcolatori quantici.

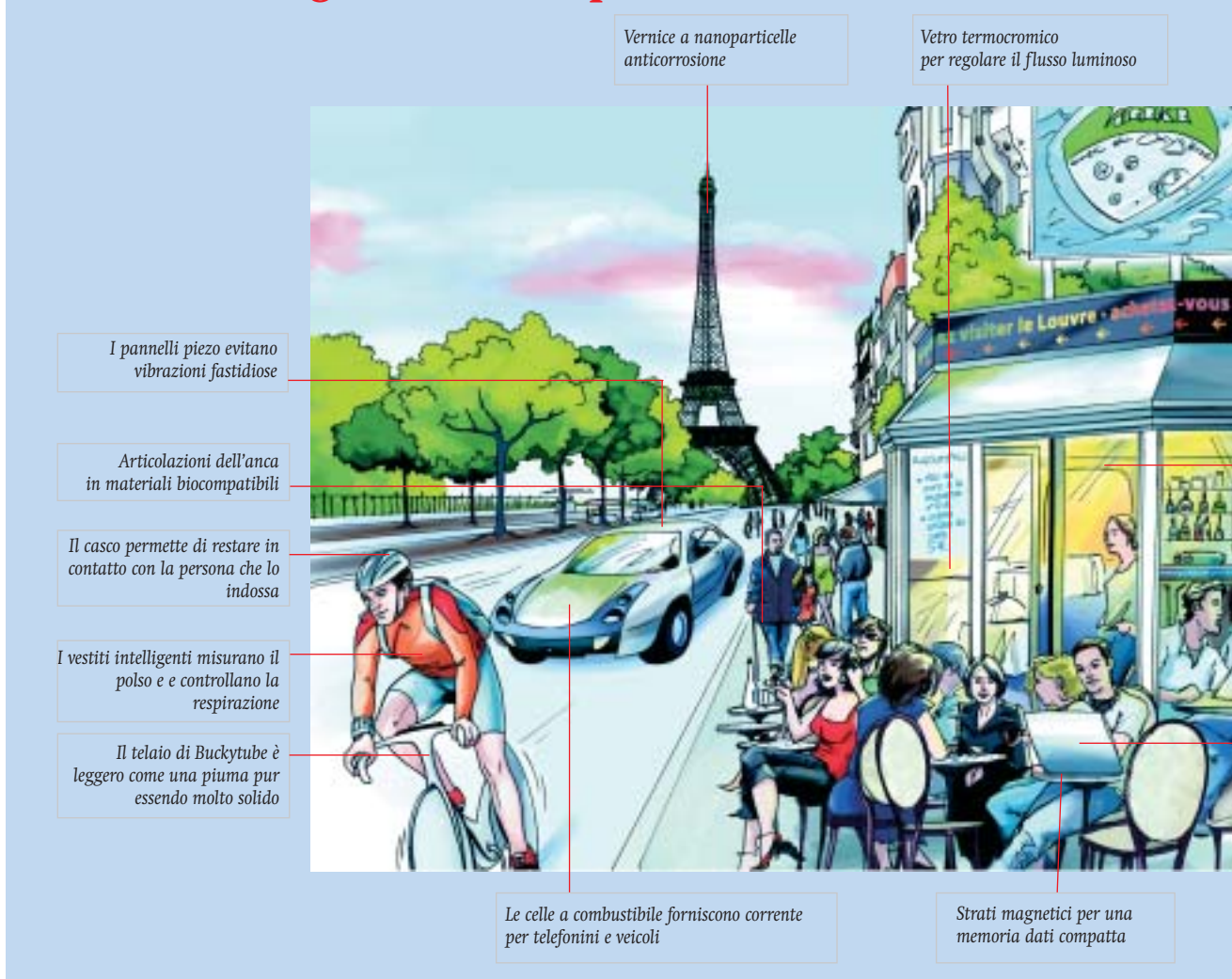
Nuovi effetti per dischi rigidi potenti: la testina di lettura sfrutta l'enorme resistenza magnetica grazie ad un elemento semiconduttore rivestito da oltre venti strati nanometrici.

Spintronica – Calcolare con lo spin degli elettroni

I componenti spintronici potrebbero dare il via a una vera e propria rivoluzione che confermerebbe la legge di Moore anche per il futuro. Questi componenti, oltre alle proprietà elettriche degli elettroni, utilizzano anche le loro caratteristiche magnetiche, il loro spin. Lo spin dell'elettrone si manifesta come un piccolo momento magnetico che reagisce in modo complesso con altre condizioni magnetiche e può essere utilizzato per funzioni elettroniche. Un'applicazione della "spintronica" o magnetoelettronica fa già parte della nostra vita quotidiana: i nuovi dischi rigidi hanno testine di lettura a "valvola spin" che grazie all'enorme



La nanotecnologia nella vita quotidiana del futuro



I pannelli piezo evitano vibrazioni fastidiose

Articolazioni dell'anca in materiali biocompatibili

Il casco permette di restare in contatto con la persona che lo indossa

I vestiti intelligenti misurano il polso e controllano la respirazione

Il telaio di Buckytube è leggero come una piuma pur essendo molto solido

Vernice a nanoparticelle anticorrosione

Vetro termocromico per regolare il flusso luminoso

Le celle a combustibile forniscono corrente per telefonini e veicoli

Strati magnetici per una memoria dati compatta

Se la nanotecnologia entrerà a far parte della nostra vita quotidiana, in apparenza non ci saranno cambiamenti radicali. Alla gente piacerà ancora sedersi ai tavolini all'aperto dei caffè, anzi sarà ancora più gradevole perché il rumore dei motori a scoppio sarà stato sostituito da un ronzio discreto e da una vibrazione simile a quella delle porte stagne nell'Enterprise di Star Trek. L'odore di benzina sarà sostituito dall'odore passeggero, a stento percepibile, del metanolo utilizzato per le celle a combustibile. Il servizio sarà estremamente rapido; la scelta operata direttamente sul menù elettronico attiverà automaticamente la cucina. Si potrà pagare il conto in euro facendo scorrere la propria carta di pagamento sul simbolo "euro" stampato in un angolo del menù. Le mance saranno sempre lasciate in monete perché fanno un rumore tanto piacevole. E l'igiene sarà garantita, perché le monete saranno rivestite di nanoparticelle antibatteriche. Le vetrine dei caffè saranno molto care perché avranno svariate funzioni, con il che in fin dei conti

risulteranno economiche: resisteranno alla sporcizia e ai graffi, si scuriranno automaticamente quando la luce è troppo intensa, trasformeranno la luce in energia elettrica e se ce ne sarà bisogno si accenderanno come uno schermo gigante. Sarà divertente guardarsi la Coppa del mondo standosene dentro o davanti ad un caffè, insieme con altra gente.

Con una nanoelettronica matura sono concepibili dispositivi di grande eleganza come una vera agenda elettronica digitale delle dimensioni di una carta di credito (naturalmente sarebbe possibile farla anche più piccola ma sarebbe meno maneggevole).

L'oggetto potrebbe essere un monolite nero opaco senza strutture riconoscibili, con la superficie nera che capta la luce solare e la trasforma in elettricità; resisterebbe ai graffi e sarebbe rivestito da uno strato finissimo di diamante, sotto il quale si troverebbe uno strato sottile in piezoceramica che



OLED (diodi organici emettitori di luce) per schermi

Pellicola fotovoltaica che trasforma la luce in elettricità

I LED (diodi emettitori di luce) oggi sono così potenti da far concorrenza alle lampadine

Vetrine antigraffio che sfruttano l'effetto loto

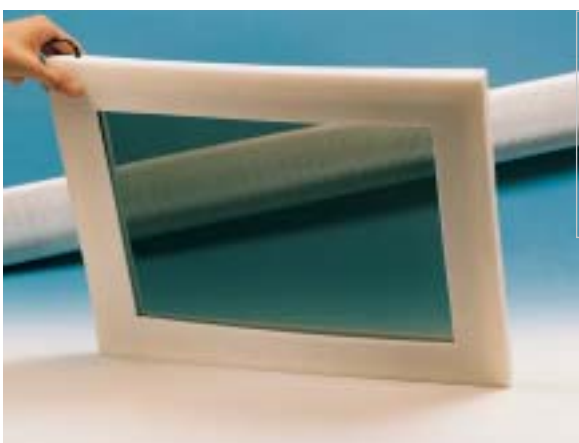
Menù in cartoncino elettronico

Nanotubi per i nuovi schermi dei portatili

Tessuto con rivestimento antimacchia



Nanoparticelle in nanosoluzioni diventano fluorescenti in presenza di luce ultravioletta, altrimenti restano completamente invisibili. Ben ripartite in un fluido, possono essere applicate ad un oggetto utilizzando la tecnologia della stampa a getto di inchiostro, senza dover modificare la concezione o la funzione dell'oggetto marcato.



"Vetro fotocromico": la trasparenza di questi vetri può essere regolata per via elettronica, ad esempio per la climatizzazione degli uffici del futuro.

convertirebbe il suono in elettricità e viceversa per consentire la comunicazione vocale. Naturalmente sarebbe anche capace di trasmettere dati attraverso la luce e le onde radio.

Questo dispositivo potrebbe anche vedere mediante un obiettivo piatto e un chip di conversione di immagini ad alta definizione, si accenderebbe come uno schermo e servirebbe da registratore, macchina fotografica, televisione, telefonino e, grazie al GPS, da strumento di orientamento. Su richiesta leggerebbe, tradurrebbe e spiegherebbe il menù di un bistrot parigino, farebbe l'ordinazione in un francese impeccabile e pagherebbe il conto.

Naturalmente saprebbe riconoscere le voci e le impronte digitali delle persone autorizzate ad utilizzarlo, proteggendosi così da usi impropri.



La tastiera virtuale: il sistema riconosce ed interpreta il passaggio di un dito su un tasto proiettato come una pressione su un tasto reale.

Nelle automobili, come nelle altre macchine, la nanotecnologia sostituirà anche la quantità con la qualità. La tecnica si riconcilia con la natura e offre maggiori prestazioni con minori quantità di materiali.

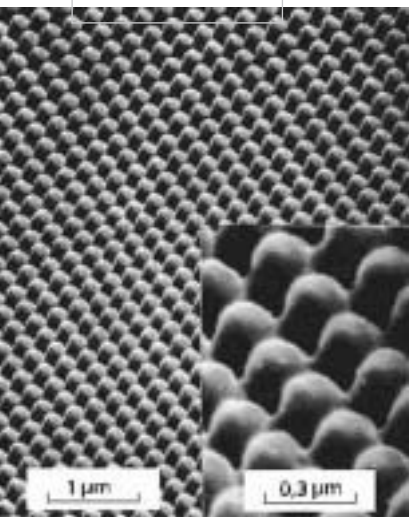
La nanotecnologia nelle automobili

Piccole strutture a nodi per vedere meglio. Con l'aiuto di strutture a nodi microscopiche si evitano i fastidiosi riflessi di luce sugli schermi e sui vetri delle automobili. Il modello in natura è quello dell'occhio della tarma che di notte vuole vedere il più possibile senza essere vista.

I parabrezza possono diventare resistenti ai graffi grazie a rivestimenti a base di nanoparticelle molto dure prodotti con tecniche sol/gel; il vetro rimane totalmente trasparente in quanto le nanoparticelle sono così piccole che non disperdono la luce. Questo principio è già utilizzato nelle lenti degli occhiali, ma può essere ulteriormente perfezionato. La vernice delle automobili potrebbe avere una struttura a petalo di loto che fa scorrere via lo sporco.

I parabrezza con rivestimenti a nanoparticelle potrebbero anche servire alla climatizzazione dell'abitacolo riflettendo, in misura maggiore o minore, la luce e il calore mediante un controllo elettronico. Applicata agli uffici, una tecnica di questo tipo consentirebbe di risparmiare grandi quantità di energia.

Oggi l'illuminazione necessaria per un'automobile è già prodotta in larga misura con l'aiuto della nanotecnologia. Come tutti i LED, i diodi delle luci dei freni sono dotati di raffinati sistemi di strati nanometrici ad alta efficienza che convertono l'elettricità in luce. Un altro vantaggio è il fatto che i LED convertono molto rapidamente l'elettricità in luce visibile, mentre le luci dei freni con lampadine convenzionali impiegano un po' più di tempo. I LED oggi sono così luminosi che raggruppandoli insieme si possono utilizzare come fari.



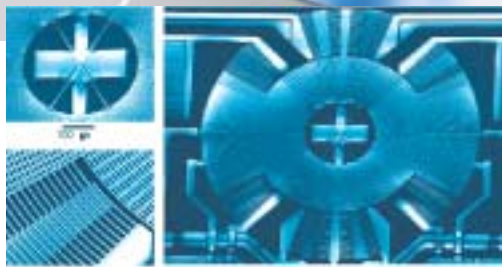
I LED nei semafori fanno risparmiare tempo ed energia. Per ammortizzarli ci vuole solo un anno.



Gli attuali sistemi di sicurezza elettronici come l'ABS (antilock braking systems) o l'ESP (electronic stability program) entrano in funzione in situazioni critiche. I sistemi futuri eviteranno automaticamente le situazioni pericolose.



Iniettore per veicoli diesel: i sistemi futuri saranno dotati di rivestimenti di protezione contro l'usura simili al diamante, spessi solo poche decine di nanometri.



Organi di equilibrio in silicio: un sensore di rotazione per la stabilizzazione del veicolo.



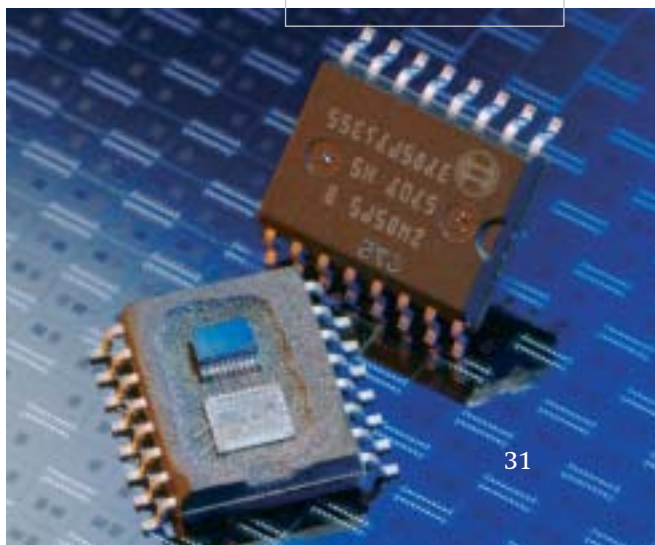
I LED bianchi sono così luminosi che in futuro potranno essere utilizzati come sorgenti di luce per i fari.

La vernice delle automobili potrebbe essere progettata, grazie alla nanotecnologia, come una cella solare (opzione che non è ancora stata sviluppata). La corrente generata potrebbe servire a ricaricare la batteria quando il veicolo è parcheggiato – il che è già possibile con le celle solari convenzionali – o mantenere fresco l'abitacolo con l'aiuto di una pompa di calore.

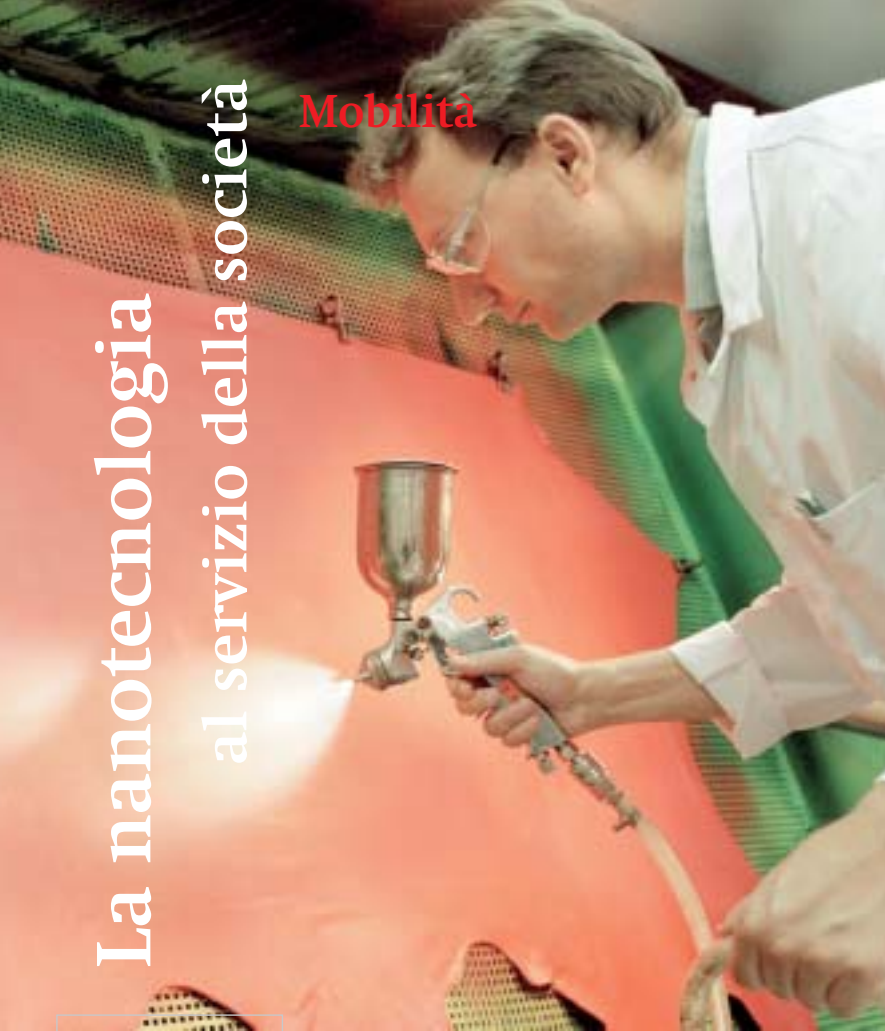
La pompa a sua volta potrebbe essere costituita da un sistema di strati nanometrici semiconduttori senza parti mobili. Inversamente, cioè facendo passare per un semiconduttore l'ingente calore residuo di un motore a scoppio, il calore si converte di nuovo in elettricità. Cfr. anche la sezione "Termoelettricità" del capitolo "Energia e ambiente".



Grazie alle celle a combustibile (pag. 33) l'automobile diventerà un mezzo di trasporto senza emissioni nocive. Se si riuscirà anche a produrre carburante ad idrogeno da fonti energetiche rinnovabili avremo un sistema di trazione estremamente rispettoso dell'ambiente.



A destra: l'elettronica al servizio della sicurezza. Un sensore di accelerazione per l'airbag anteriore.



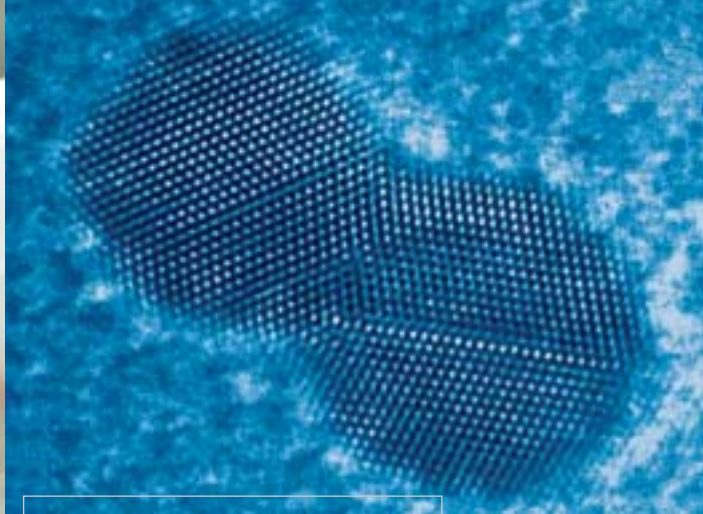
Grazie alle capsule di profumo nanometriche il cuoio crea nuove suggestioni.

Catalizzatori d'oro

La nanotecnologia può aprire una nuova carriera anche all'oro. Mentre l'oro "grezzo", come catalizzatore, è molto inferiore al platino, nanoparticelle di oro collocate su un supporto poroso costituiscono un catalizzatore molto pratico per le automobili che, anche in caso di avvio a freddo, decompone gli ossidi di azoto e il monossido di carbonio in sostanze innocue. Le nanoparticelle d'oro sono anche molto promettenti come possibili catalizzatori per celle a combustibile.

Di questi progressi, naturalmente, si avvantaggeranno anche i mezzi di trasporto che non hanno nulla a che vedere con le automobili. La bicicletta, ad esempio, andrà d'amore e d'accordo con la nanotecnologia, in particolare con le celle a combustibile e le celle solari. Diventerà un veicolo a "moto perpetuo", che viaggerà silenzioso per il mondo alimentato solo dalla luce, dall'aria e dall'acqua, leggero come una piuma grazie al telaio in nanofibra di carbonio, alle luci LED ecc.

Orinali di una stazione di servizio con tecnologia microsistemica contro il vandalismo. I rivestimenti nanometrici "ad effetto loto" faciliteranno la manutenzione.



Nanoparticelle di oro per i nuovi catalizzatori

L'oro contro i cattivi odori

Catalizzatori a nanoparticelle d'oro vengono ora testati come dispositivi per l'eliminazione dei cattivi odori. Nei piccoli impianti di climatizzazione come quelli delle automobili possono impedire la formazione degli odori generati dai batteri presenti nel sistema. In Giappone sono già utilizzati nei gabinetti.

La nanotecnologia nelle stazioni di servizio
Gli automobilisti possono già incontrare la tecnologia dei microsistemi nelle stazioni di servizio delle autostrade. Gli orinali dei gabinetti più moderni sono dotati di sensori che segnalano ogni aumento della temperatura ad un dispositivo elettronico che aziona lo scarico. L'energia elettrica necessaria è fornita da una miniturbina azionata dall'acqua di scarico. A differenza dei dispositivi con sensori ad infrarossi, questo sistema non si può bloccare con una gomma da masticare.

Gli orinali nanotecnologici funzionano in modo molto più semplice e insieme più sofisticato: grazie all'effetto loto sulla parete, i liquidi scorrono agevolmente, passano attraverso uno strato fluido che blocca gli odori e spariscono senza lasciare tracce (almeno in teoria: bisognerà poi vedere all'atto pratico...). Anche le abitazioni private potranno dotarsi di questa tecnologia.



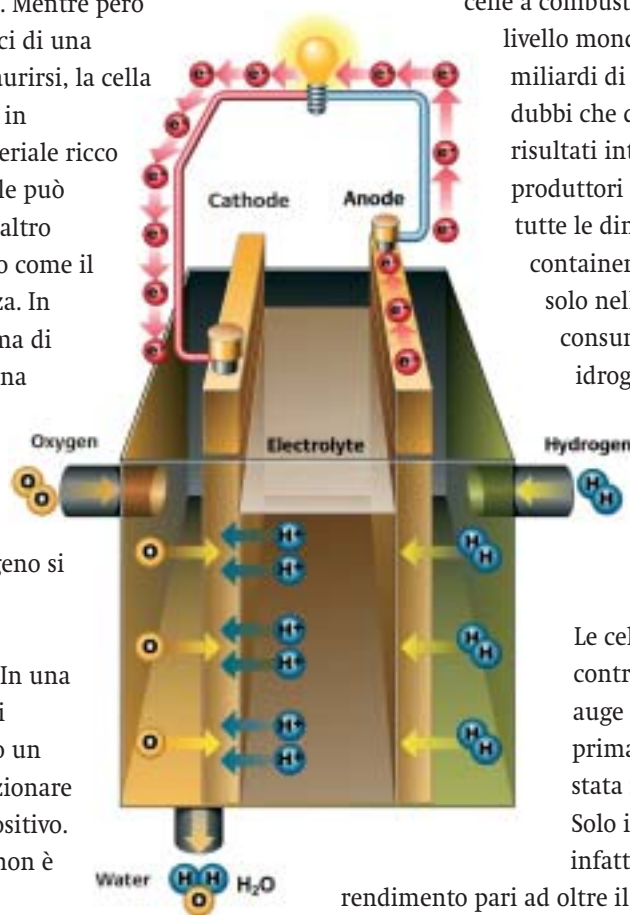
I "nanocubi" metallici della BASF, grazie alla loro nanoporosità, possono immagazzinare grandi quantità di idrogeno.

Le celle a combustibile – un dispositivo dalle mille applicazioni

Le celle a combustibile somigliano alle batterie: forniscono elettricità. Mentre però gli ingredienti chimici di una batteria finiscono con l'esaurirsi, la cella a combustibile si alimenta in continuazione con un materiale ricco di energia. Questo materiale può essere idrogeno puro o un altro fluido contenente idrogeno come il gas naturale o l'olio di colza. In questi ultimi due casi, prima di poter essere utilizzato in una cella a combustibile l'idrogeno deve essere separato in un "riformatore". Di norma quando l'idrogeno e l'ossigeno si combinano, avviene un trasferimento di elettroni dall'idrogeno all'ossigeno. In una cella a combustibile, questi elettroni sono deviati verso un circuito esterno che può azionare un motore o un altro dispositivo. Il prodotto della reazione non è altro che acqua pura.

Le celle a combustibile hanno un elevato livello di efficienza che, in misura minore o maggiore a seconda del tipo di cella, è abbastanza indipendente dalle dimensioni. Esistono vari tipi di celle. La nanotecnologia può contribuire notevolmente allo sviluppo di questa tecnologia, ad esempio con i film ceramici, le superfici a struttura nanometrica o le nanoparticelle da utilizzare come catalizzatori.

Negli ultimi anni, allo sviluppo della tecnologia delle celle a combustibile sono stati destinati a livello mondiale tra i sei e gli otto miliardi di dollari, e non vi sono dubbi che questa tecnologia darà risultati interessanti. Questi silenziosi produttori di elettricità esistono in tutte le dimensioni, dal francobollo al container, e non saranno utilizzati solo nelle automobili. Per i piccoli consumatori, come fonte di idrogeno potrebbe servire un miscuglio ininfiammabile metanolo/acqua con cui si potrebbe fare il pieno al supermercato.



Le celle a combustibile contribuiranno a riportare in auge il motore elettrico (la prima automobile elettrica è stata ideata a Parigi nel 1881). Solo il motore elettrico può infatti garantire un

rendimento pari ad oltre il 90%, fungere nello stesso tempo da generatore e convertire l'energia cinetica in energia elettrica, per esempio quando si frena l'automobile. Naturalmente i materiali magnetici di eccezionale qualità utilizzati nei nuovi motori e generatori elettrici sono nanocristallini.

Le celle a combustibile entreranno anche nelle nostre case, dove forniranno allo stesso tempo elettricità e calore.



Settore sanitario

Una prima colazione e molto di più nel 2020:

C'è ancora caffè? Certo. E succo d'arancia? Naturalmente, ma potrebbe esserci qualcosa di molto speciale nell'imballaggio, magari una "lingua elettronica" che assaggia il succo per accertarsi che sia ancora buono.



O un sensore sulla parte esterna che individua eventuali carenze di calcio o di altre sostanze nelle dita della persona che tiene l'imballaggio, carenza che potrebbe essere trattata con "alimenti funzionali". O con un normale formaggio di capra: l'etichetta OLED consiglierà quello giusto.

Lo specchio del bagno non si limiterà a riflettere la nostra immagine: grazie ai suoi dispositivi nanoelettronici ci fornirà su richiesta tutta una serie di informazioni e magari esprimerà qualche riserva sul succo d'arancia di cui sopra, perché contiene lo zucchero che contribuisce all'insorgere delle carie. Ed ecco un'altra applicazione della nanotecnologia: il dentifricio (esiste già) contiene nanoparticelle di

apatite e di proteine, il materiale naturale dei denti che li aiuta ad autoripararsi (cfr. anche la sezione "biomineralizzazione").

La crema da giorno (anch'essa già disponibile) contiene nanoparticelle di ossido di zinco che proteggono dalle radiazioni ultraviolette nocive. Le nanoparticelle sono invisibili e la crema non è bianca ma perfettamente trasparente.

Spie sulla punta delle dita

Grazie alla nanotecnologia, alla nanoelettronica e alla tecnologia dei microsistemi saranno disponibili in commercio apparecchiature di analisi complesse a prezzi accessibili anche per i privati. Per l'analisi del sangue del futuro basterà una piccola puntura sul dito. Il livello di colesterolo è normale? Il tasso di glicemia rientra nei parametri previsti? I risultati potranno essere inviati per posta elettronica al più vicino centro di nanomedicina, in cui si potrà richiedere un'analisi più approfondita o preparare in microreattori, con appositi procedimenti nanotecnologici, un farmaco personalizzato. Nel corpo il farmaco sarà trasportato da nanoparticelle rivestite in modo tale da aderire solo al punto in cui si trova il focolaio della malattia, permettendo così di somministrare il medicinale con la massima precisione. I medici seguono la cosa con il massimo interesse.

In alto a sinistra: le pellicole ricoperte da nanoparticelle conservano più a lungo la freschezza degli alimenti.

In alto a destra: imballaggio intelligente dotato di un chip transponder (dispositivo trasmettitore/risponditore) a base polimerica

Ambiente intelligente; lo specchio dotato di dispositivi nanoelettronici dà lezioni su come spazzolarsi i denti.



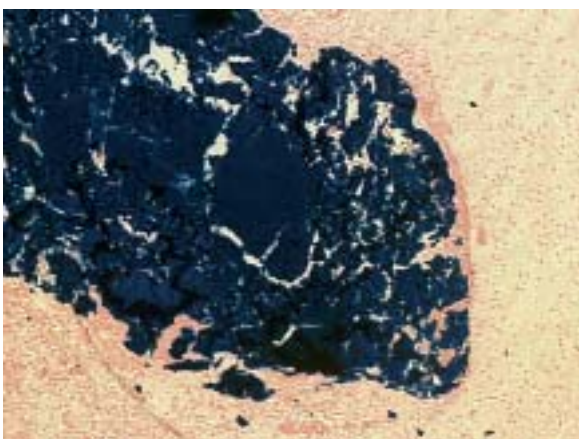


La diagnostica del futuro. Metodi tendenzialmente sempre più costosi restano economicamente accessibili grazie alla nanotecnologia.

Capsule medicinali supramolecolari

Ifarmaci somministrati possono essere anch'essi estremamente sofisticati. Potrebbero essere collocati in molecole cave aggregate in strutture supramolecolari (in fase di sviluppo), dei contenitori nanometrici dotati di antenne, a cui sarebbero fissate proteine-sensori simili ad anticorpi. Quando queste proteine entrano in contatto con strutture tipiche dell'agente patogeno – ad esempio la superficie esterna di cellule cancerogene o dei batteri – vi si depositano e inviano un segnale alla molecola cava che si apre e rilascia il suo contenuto. Con una nanotecnologia di questo tipo i medicinali potrebbero essere somministrati a forti dosi direttamente sul focolaio della malattia, senza effetti collaterali sul resto dell'organismo.

dal biologo Andreas Jordan. Le prove cliniche stanno iniziando ora.



Le cellule tumorali di un glioblastoma (tumore cerebrale) si sono rimpinzate, fino al limite col tessuto sano, di nanoparticelle di magnetite dotate di un rivestimento speciale. Se le particelle vengono riscaldate mediante un campo elettromagnetico, il tumore potrà esser sottoposto ad un ulteriore trattamento. Questa tecnica sarà autorizzata in campo medico già nel 2005.

Particelle magnetiche per la terapia antitumorale

Con trucchi del genere si possono anche dirigere nanoparticelle magnetiche su focolai tumorali, che vengono poi riscaldati da un campo elettromagnetico alternato con conseguente distruzione del tumore. Le nanoparticelle possono attraversare il filtro della "barriera" tra sangue e cervello e raggiungere i tumori cerebrali. Questa terapia, denominata "ipertermia a flusso magnetico", è stata messa a punto da un gruppo di lavoro diretto

Selezionatori di cellule su un chip

L'applicazione in campo medico della tecnologia dei microsistemi e della nanotecnologia – i confini sono piuttosto fluidi – conviene, se non altro perché miniaturizzano le tecniche esistenti e le rendono infinitamente meno costose, anche di un fattore centomila. È quello che avverrà ad esempio nel caso di macchine complesse che possono controllare milioni di cellule, come le cellule del sangue, selezionandole sulla base di una particolare caratteristica ad una velocità di diverse migliaia al secondo.

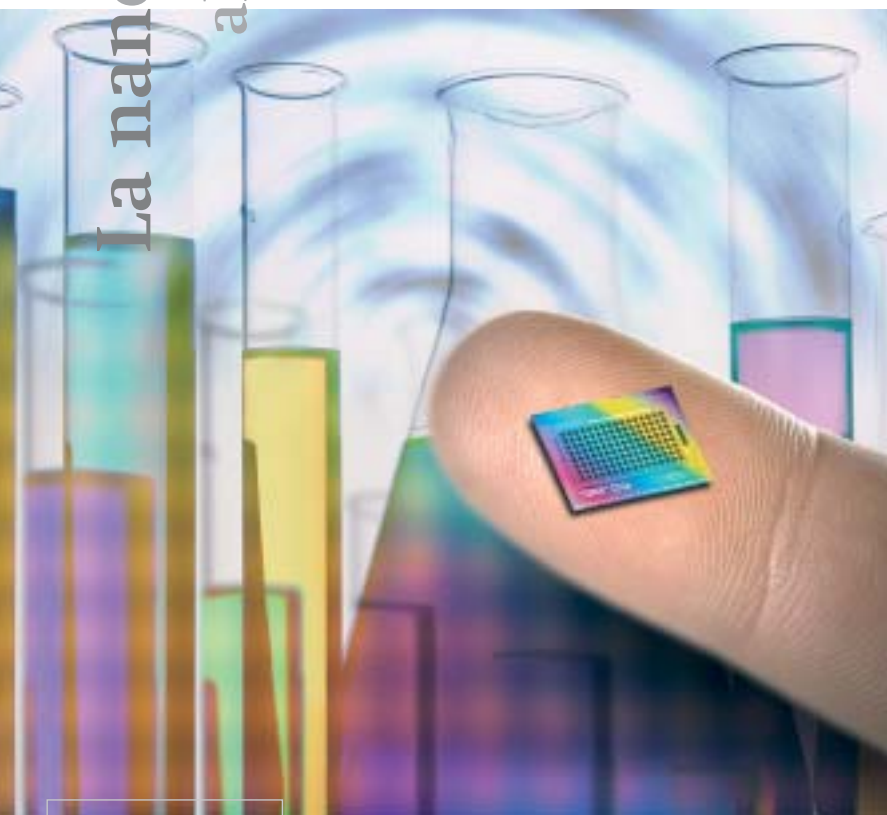
Settore sanitario

Con le polveri nanoscopiche si possono ottenere mediante cottura prodotti ceramici quasi perfetti, da utilizzare ad esempio per impianti.

Il processo si svolgerà così: al sangue sono aggiunti degli anticorpi che si attaccano alle cellule che interessano - e solo a queste - e nello stesso tempo trasportano un colorante che si illumina e diventa fluorescente in presenza di luce laser. Nel selezionatore le cellule, racchiuse in goccioline, vengono fatte passare sotto al laser; quando si accende un segnale fluorescente, dei campi elettrici

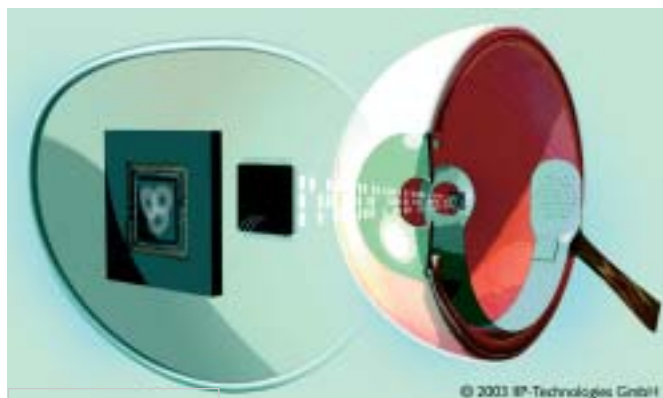


Nanotecnologie ancora più ambiziose sono quelle previste per i *lab-on-a-chip* (laboratori miniaturizzati). Secondo i ricercatori più avanzati, questi laboratori conterranno milioni di nanodispositivi che opereranno in maniera coordinata per svolgere i loro compiti. I chip avranno una superficie di alcuni centimetri quadrati, una dimensione gigantesca rispetto alle nanomacchine che contengono, dovuta al fatto che tra di esse dovranno circolare dei fluidi. Nel nanocosmo, questi fluidi sono vischiosi come il miele e hanno bisogno di spazio per scorrere. Se in futuro si riuscirà ad utilizzare questi nanolaboratori per seguire passo passo quello che accade nelle cellule, i *lab-on-a-chip* rivoluzioneranno la biologia. In ultima analisi si ricostruirebbe una specie molto particolare di video: un video della vita. E non ci si accontenterebbe di osservare le cellule, ma ci si metterebbe anche a stimolarle per vedere come reagiscono e decifrare così il mistero della vita.



Piccolo ma sofisticato: il "Lab-on-a-chip", un laboratorio che sta su un polpastrello.

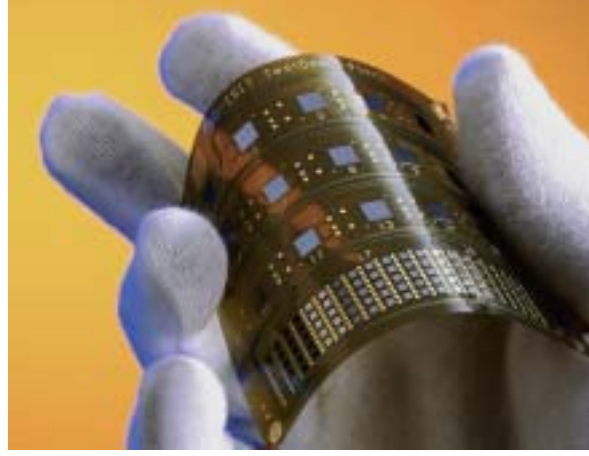
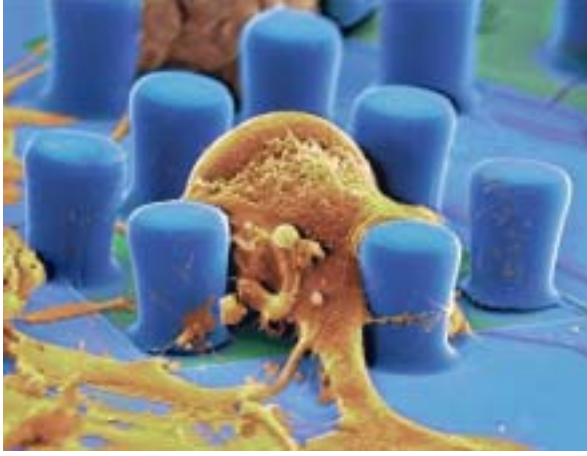
dirigono la gocciolina con la cellula in un serbatoio (la tecnica è ripresa in parte da quella della stampante a getto d'inchiostro). I selezionatori di cellule sono apparecchi molto sofisticati che combinano micromeccanica, ottica ed elettronica di punta, e sono quindi assai costosi. Con la nanotecnologia questi selezionatori di cellule che oggi sono ancora grandi come armadi si ridurranno alle dimensioni di un francobollo e diventeranno in parte dei prodotti usa e getta. In questo modo i progressi in campo medico registreranno una forte accelerazione.



Impianto di retina.

Neuroprotesica

Attualmente è in corso di sperimentazione un'applicazione estremamente complessa della tecnologia dei microsistemi e della nanotecnologia: il trapianto di retina con capacità adattiva. Questa tecnica dovrebbe permettere un



A destra: sottili chip in silicio su un supporto flessibile da utilizzare ad esempio per etichette intelligenti da integrare negli imballaggi per alimenti o nei vestiti.

A sinistra: accoppiamento di cellule nervose a contatti elettrici.

recupero parziale della vista in caso di cecità dovuta a retinite pigmentosa. Il sistema consiste in una piccola telecamera collocata nella montatura di un paio di occhiali che trasmette immagini dell'ambiente circostante ad uno speciale elaboratore di segnali con capacità adattiva. Tramite un dispositivo senza filo, l'elaboratore trasmette questi dati all'interno dell'occhio malato, dove è collocata una pellicola flessibile con elettrodi miniaturizzati. Questi elettrodi sono a contatto con la retina e le trasmettono lo stimolo. Se questa tecnica dovesse dare buoni risultati, si tratterebbe della prima "interfaccia uomo-macchina" al mondo applicata alla vista. Da tempo chi soffre di una diminuzione dell'udito può ricorrere ad un impianto cocleare. Grazie alla nanotecnologia gli impianti di questo tipo potranno essere sempre più perfezionati.

Cure a domicilio

Grazie ad una migliore alimentazione e a cure mediche sempre più avanzate la longevità della popolazione è in costante aumento. Questo sviluppo molto positivo ha però come contropartita l'aumento del numero di individui che

hanno bisogno di assistenza. Questa assistenza potrà essere garantita in parte dalla nanoelettronica. Tra le idee allo studio, ci sono sensori e minicalcolatori integrati nei vestiti che consentiranno il controllo dello stato di salute degli anziani (polso, respirazione e metabolismo). In caso di problemi, il dispositivo inserito in un indumento indossato dall'anziano avvertirà il medico curante o i familiari. La localizzazione del paziente sarà segnalata da un modulo GPS o Galileo ugualmente integrato nell'indumento (Galileo è la futura variante europea del GPS)

Infermieri automatici

La "vecchia Europa" considera ancora con un certo sospetto gli assistenti meccanici, anche se in Giappone i robot mobili sono quasi arrivati alla fase della produzione industriale. Forse si arriverà anche a sviluppare infermieri automatici da utilizzare nella vita quotidiana. In ogni caso ci si sta lavorando. La robotica potrà assorbire senza problemi e su grande scala l'aumento costante delle capacità di elaborazione della nanoelettronica.



Robot capace di empatia messo a punto all'università di Oxford. Va bene per sorvegliare le anatre ma dai robot infermieri ci si aspetterà qualcosa di più.



Abbigliamento intelligente; l'elettronica integrata legge file musicali MP3, indica la strada in città e misura il polso - un valore aggiunto per la nostra vita quotidiana.



Rivoluzione in termini di efficienza grazie ai LED.

Invertendo quella che è stata finora la tendenza della tecnologia tradizionale, la nanotecnologia può associare la crescita economica ad una riduzione del consumo di materiali.

Economia nanometrica: maggiore convenienza con minore dispendio di materiali.

In Europa quasi il 10% dell'energia elettrica prodotta è utilizzata per l'illuminazione. I LED (diodi emettitori di luce) possono ormai produrre anche luce bianca e dunque sostituire la tecnologia tradizionale. Questa sostituzione comporterebbe notevoli risparmi, in quanto i LED richiedono solo il 50% dell'energia elettrica consumata da una lampadina normale per dare la stessa quantità di luce.

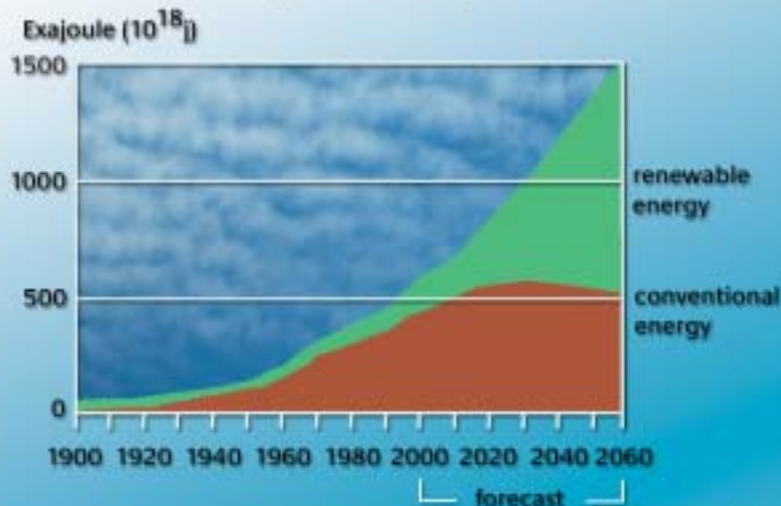
Secondo Shell AG, la nanotecnologia è la tecnologia che permetterà di passare alle energie rinnovabili.

Il potenziale di risparmio energetico è pertanto considerevole. Secondo l'ufficio federale tedesco per l'ambiente, il potenziale di risparmio per il settore dell'illuminazione è del 77%.

Nelle nostre case milioni di televisori a tubi catodici saranno presto sostituiti da apparecchi con tecnologia LCD (liquid crystal display - schermo a cristalli liquidi) e a lungo termine con tecnologia OLED. Queste due tecnologie potrebbero ridurre il consumo energetico del 90%. I LED e gli OLED sono prodotti grazie alla nanotecnologia. Se milioni di famiglie risparmieranno ogni anno qualche kilowatt, il risultato finale si misurerà in gigawatt e corrisponderà alla capacità di diverse grandi centrali elettriche.

Le prestazioni delle celle a combustibile si possono regolare rapidamente. Nelle nostre case stanno arrivando le prime caldaie a gas naturale dotate di celle a combustibile, che producono in modo regolabile calore ed elettricità. Quando milioni di case saranno dotate di questi dispositivi, le caldaie potranno essere interconnesse, tramite la rete elettrica e Internet, in modo da costituire grandi centrali virtuali con una capacità teorica massima di cento gigawatt. A lungo termine, il gas naturale

World energy consumption





potrebbe essere sostituito dall'idrogeno prodotto da fonti rinnovabili. La nanotecnologia, con nuovi materiali e catalizzatori, è pronta a dare il suo contributo.

Le membrane ceramiche con pori nanometrici sono sempre più importanti per il trattamento dei liquidi ed anche per l'approvvigionamento di acqua potabile. Con l'aiuto di queste membrane i batteri e i virus possono essere semplicemente filtrati ed eliminati.

Grazie alla nanotecnologia l'energia solare diventerà una soluzione praticabile ed un buon affare. I semiconduttori di indio, gallio e azoto hanno già dimostrato di avere caratteristiche tali da consentire la realizzazione di celle solari con un rendimento del 50%. L'efficienza è tuttavia solo uno dei criteri; la nanotecnologia, con la tecnologia dei film sottili o delle particelle, permetterà anche di ridurre drasticamente il costo dei collettori solari. I campioni di laboratorio di film per celle solari, prodotti con una tecnica di rivestimento simile a quella utilizzata per i LED e gli OLED, offrono un rendimento di 100 watt per 30 grammi di materiale. Questa radicale riduzione del materiale necessario per la produzione di energia è stata realizzata a Leipzig da Solarion.

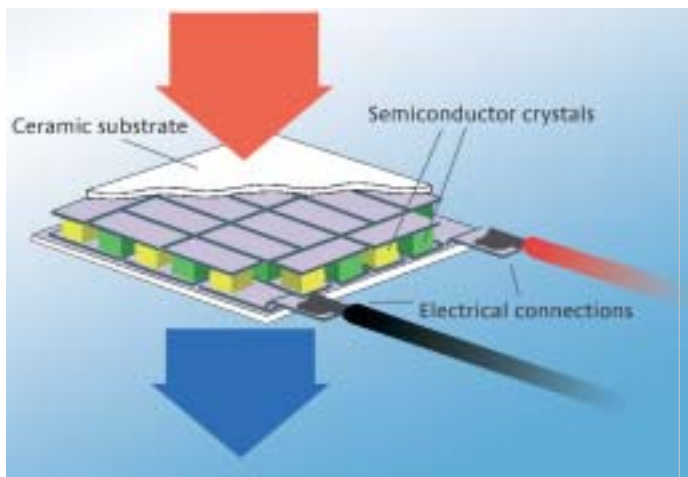
Secondo i ricercatori della Siemens, le celle solari organiche, che si possono stampare su un film di plastica e sono molto più economiche, hanno un'efficienza del 5%. Lo strato fotoattivo è spesso solo 100 nanometri e la vita media delle celle è di alcune migliaia di ore di luce. I primi prodotti basati su questa tecnologia saranno commercializzati nel 2005.

Ampio spettro: la facciata di vetro di una sala dell'hotel Weggis sul lago di Lucerna, illuminata in tutti i colori dell'iride grazie a 84 000 LED forniti da Osram.

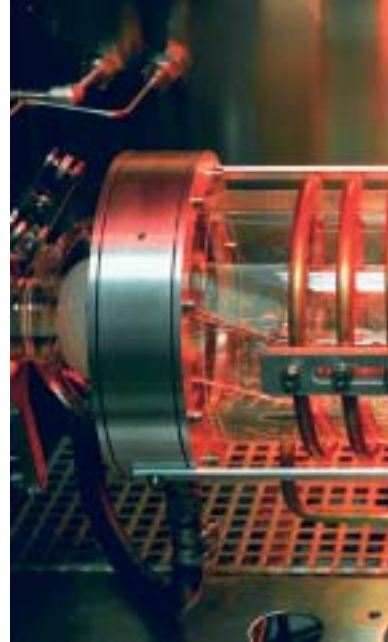
Gli OLED, i LED organici, saranno utilizzati in molti schermi del futuro.



Energia e ambiente



Modulo termoelettrico convenzionale: blocchi di semiconduttori convertono un flusso di calore in energia elettrica. Le nanostrutture permettono a questa tecnologia di raggiungere livelli elevati di efficienza, aprendo così nuovi mercati.



La nanotecnologia dà nuova vita a molte vecchie idee che altrimenti sarebbero cadute del tutto nell'oblio a causa dell'inefficienza dei materiali disponibili. Una di queste riguarda la produzione di corrente per via termoelettrica.

La termoelettricità: elettricità dal calore, calore dall'elettricità

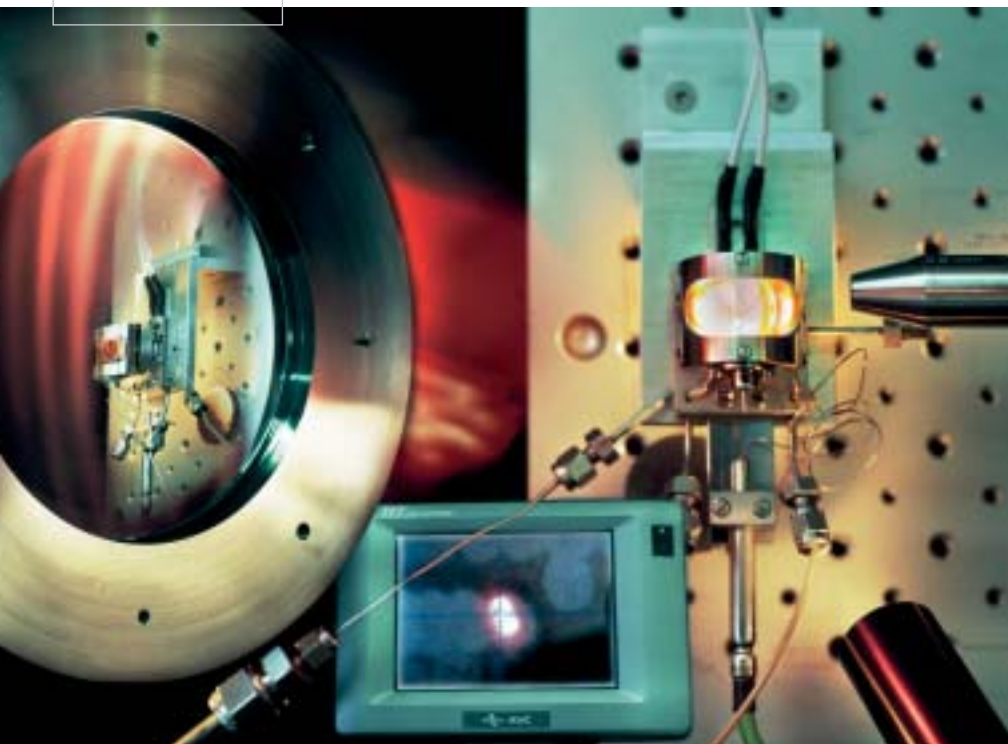
C'è un'ampia gamma di effetti fisici noti da tempo e degni di attenzione, ma sconosciuti ai più, che hanno ottenuto qualche modesto risultato in piccole nicchie del mercato. Prendiamo ad esempio il frigorifero portatile che si connette al sistema di alimentazione dell'automobile ed ha una reale capacità di refrigerazione. Al suo interno,

invisibile, c'è l'eredità di Jean-Charles-Athanase Peltier, uno scienziato francese che nel 1834 ha scoperto l'effetto che porta il suo nome: un flusso di corrente che passa attraverso il punto di contatto tra due metalli diversi produce calore da una parte e freddo dall'altra. Tredici anni prima il tedesco Thomas Johann Seebeck aveva scoperto l'effetto contrario: un

flusso di calore che passa attraverso il punto di contatto tra due metalli diversi genera elettricità. Questi due scienziati si sono conquistati una nuova fama grazie alla nanotecnologia che consente oggi di sviluppare nuovi materiali che sfruttano questi due effetti con un buon rendimento.

Per la produzione di questi materiali si impiegano macchine come quelle utilizzate per produrre i LED. Le macchine suddette applicano uno strato di cinque nanometri di tellururo di antimonio su uno strato di un nanometro di tellururo di bismuto e ripetono il processo fino a

Tecnologia delle microreazioni chimiche per la produzione efficiente delle sostanze più esotiche.





Reattori Aixtron per la ricerca (a sinistra) e per produrre con precisione atomica strati sottili di semiconduttori di giunzione (a destra).

quando non si ottiene un film semiconduttore che avrebbe mandato in visibilio Peltier e Seebeck: quando è attraversato dall'elettricità, un lato diventa caldo e l'altro freddo.

Si può ottenere un film con una struttura molto fine, utilizzabile per raffreddare in modo estremamente preciso i chip, oppure in un laboratorio miniaturizzato (*lab-on-a-chip*) per azionare minuscoli bacini di reazione in cui il DNA si riproduce mediante rapide variazioni della temperatura. Si può anche immaginare che con il drastico aumento del livello di efficienza, gli elementi Pelletier diventino la tecnologia ideale per tutta l'industria del freddo. D'altro canto le fonti di energia geotermica a buon mercato consentono di produrre elettricità a costi ridotti. L'Islanda potrebbe diventare ricchissima d'energia grazie all'idrogeno generato mediante elettrolisi.

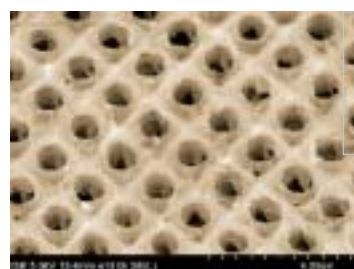
Nell'industria chimica, tecniche di questo tipo convertiranno enormi quantità di calore residuo in elettricità, in modo silenzioso, discreto ed efficace. E cioè con la nanotecnologia.

La termofotovoltaica

La termoelettricità non è l'unico modo per trasformare elegantemente il calore residuo in elettricità. La termofotovoltaica (TPV) utilizza la radiazione termica, invisibile di oggetti caldi (radiazione ad infrarossi). La nanotecnologia è applicata alle strutture degli emettitori che adattano lo spettro della fonte di calore alla sensibilità spettrale delle celle termofotovoltaiche.



Ad una cella termofotovoltaica basta la luce di una candela per produrre la corrente necessaria a far funzionare una radio.



Emettitori al tungsteno con superficie nanostrutturata per l'adattamento dello spettro ad infrarossi

Nanotecnologie per lo sport e il tempo libero

Il perfezionamento continuo della tecnologia, ora su scala nanometrica, ridà vita a vecchie idee, un tempo condannate al fallimento. Tra queste l'idea di volare sfruttando l'energia solare.

Icaro II, un aliante ad energia solare che sopporta gli stessi carichi di un aliante normale e può decollare con le sue sole forze.

In alto: al termine di un volo record non ufficiale da Stoccarda a Jena

Nel giugno 1979, a bordo del Gossamer Albatros, Bryan Allen ha sorvolato la Manica semplicemente pedalando e ha vinto le 100 000 sterline del premio Kremer. La disponibilità di nuovi materiali aveva permesso al progettatore, Paul MacCready, di realizzare la leggerissima struttura del Gossamer Albatros. Nel 1981 si è riusciti ad effettuare un volo a lunga distanza sfruttando esclusivamente l'energia solare, ma l'apparecchio, il *Solar Challenger*, era estremamente fragile.

I premi all'innovazione mettono le ali: all'inizio degli anni 90, in memoria dello sfortunato pioniere dell'aviazione Ibrecht Ludwig Berblinger ("Il sarto di Ulm"), la città di Ulm ha indetto un concorso per la progettazione di un aeromobile realmente utilizzabile alimentato dall'energia solare. Nel luglio 1996 l'aliante a motore Icaro II, costruito dall'università di Stoccarda, ha vinto brillantemente il concorso.

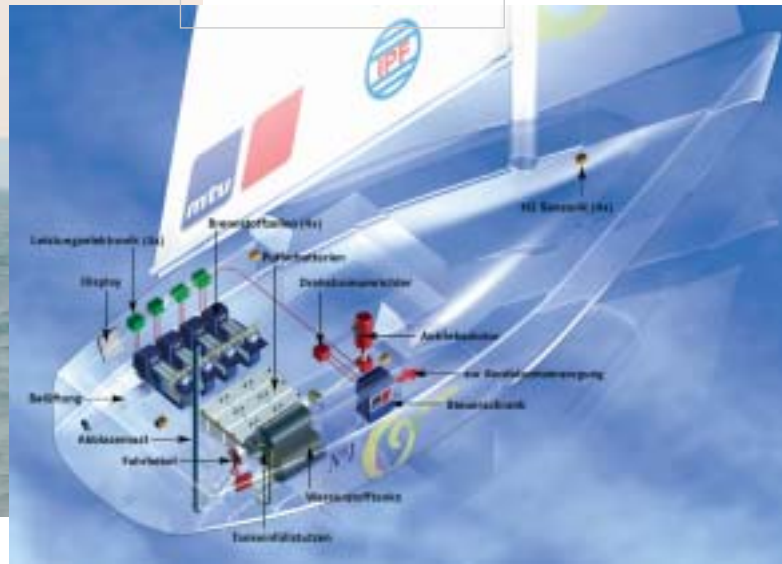


La NASA ha progettato come possibile sostituto dei satelliti l'aeromobile solare sperimentale "HELIOS", azionato di giorno dall'energia solare e di notte da un'unità di celle a combustibile "ricaricabili". L'altitudine massima raggiunta da HELIOS è di quasi 30 000 metri.

Nel 2003 esperti di termodinamica, aerodinamica, sistemi elettrici, materiali compositi, fotovoltaica, conversione energetica e simulazione informatica – la nanotecnologia è ben presente in quasi tutti questi settori – si sono riuniti in Svizzera per discutere di un progetto che dovrebbe far decollare nuove tecnologie per un futuro ecocompatibile. Decollare nel senso stretto della parola: verso il 2009 questo ambizioso progetto dovrebbe portare Bertrand Piccard e Brian Jones, che nel 1999 hanno effettuato il giro del mondo in mongolfiera, di nuovo intorno al globo, ma in un aeromobile alimentato unicamente da energia solare e senza soste intermedie!



Uno yacht a vela munito di motore a celle a combustibile progettato dal MTU a Friedrichshafen sul lago di Costanza. Grazie alla nanotecnologia queste imbarcazioni potranno diventare elegantissime. Si possono anche immaginare vele costituite da celle solari tessili flessibili, che però dovrebbero essere scure.



L'“aeroverme” dell'università di Stoccarda che servirà da ripetitore per la radiotelefonica.

Studi di progettazione della società Fuseproject: con questo monopattino alimentato da una cella a combustibile ci si potrà muovere silenziosamente nei centri urbani.

Con questo progetto, le nuove tecnologie potrebbero ottenere il rispetto che meritano e dare vita a tutta una serie di nuovi veicoli, come ad esempio un aeromobile solare guidato da calcolatori, da sensori e dal sistema Galileo che potrebbe essere pilotato anche da persone inesperte, senza rumore e senza emissioni.

Sopra le nuvole la libertà sarà illimitata. Un giorno forse i laghi del Meclemburgo saranno solcati da catamarani solari e i “pedelec”, delle biciclette con pedalata assistita elettricamente, verranno in soccorso

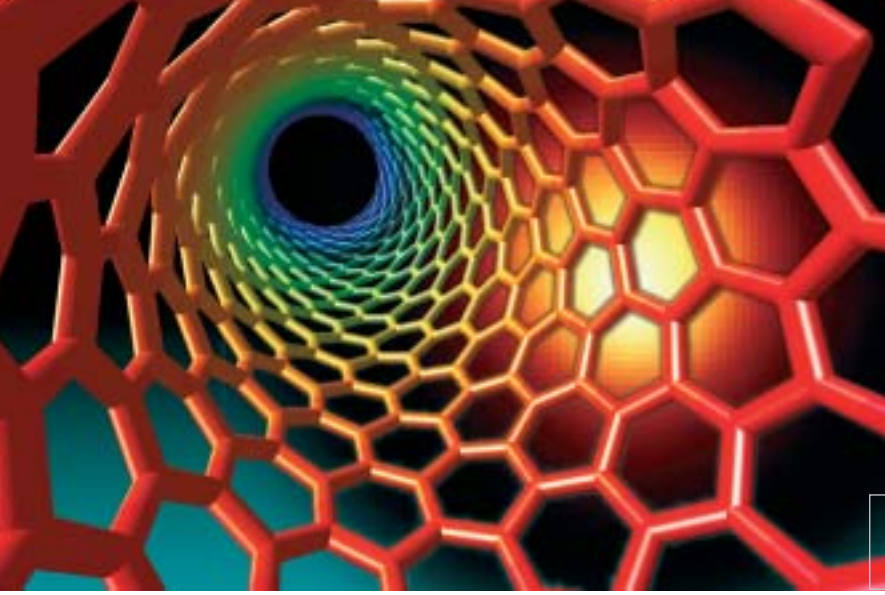
delle persone anziane, che altrimenti avrebbero qualche difficoltà a muoversi in bicicletta. Un po' ovunque, si stanno lanciando piccoli veicoli elettrici per evitare che nelle aree in fase di rapida industrializzazione le città scompaiano in una nube di gas di scarico.



Il catamarano solare costruito dalla società Kopf Solar design GmbH naviga ad Amburgo e dintorni.



Progetti visionari



Nanotubi con Betelgeuse; una stella gigante nella cui atmosfera sono presenti fullereni.

La “strada cigliata”

Con la nanotecnologia, si possono concepire anche sistemi di trasporto utopici, come la “strada cigliata”. Se si riusciranno a progettare muscoli artificiali utilizzabili – si sta già lavorando in questa direzione – si potrebbe concepire una strada tappezzata da elementi motori digitiformi che trasportano oggetti mediante piccoli movimenti ritmici: come fanno i flagelli e le cellule ciliate, che con il loro movimento rimuovono la sporcizia dai polmoni, o con lo stesso sistema con cui si sposta nell’acqua il paramecio, un protozoo ciliato.

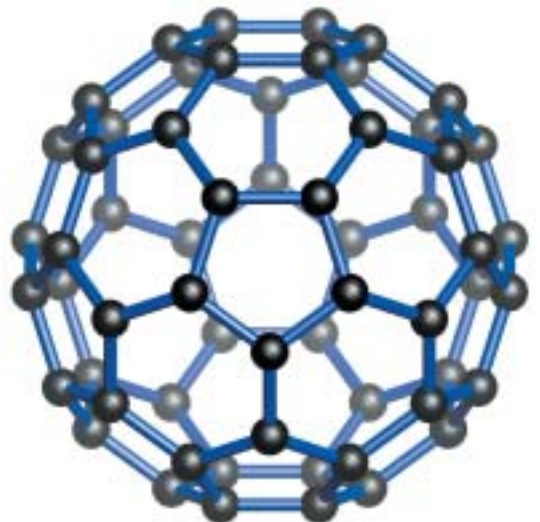
L’idea lascia spazio a molti possibili perfezionamenti. Si sta pensando seriamente a piccoli motori lineari che funzionino secondo questo principio, azionati da muscoli vegetali o “forisomi”. Tra gli altri candidati ai muscoli artificiali, troviamo i tessuti di tubi di fullerene (una forma di carbonio). Ancora più fantastica è l’idea di un ascensore per i pianeti, che la NASA sta esaminando molto seriamente, e che fu concepita per la prima volta da un pioniere dello spazio, il russo Constantin Eduardovitch Tsiolkovski..

Constantin Eduardovitch Tsiolkovski.



Nanotubi al carbonio per l’ascensore che sale in orbita

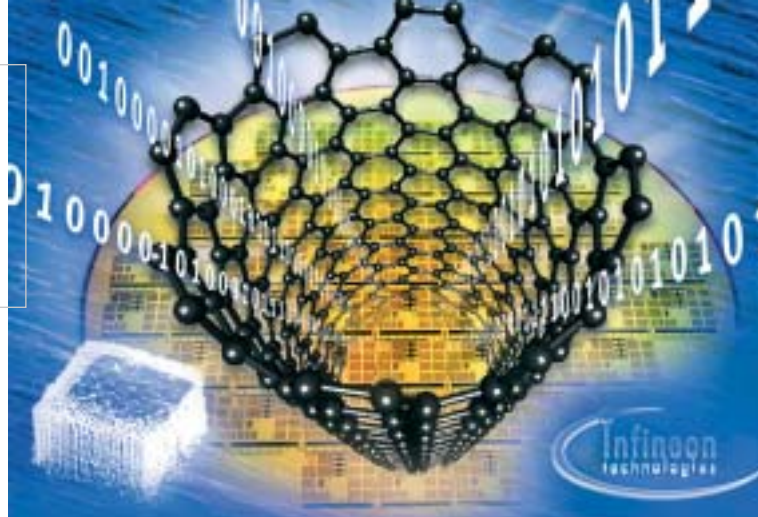
La ricetta è venuta dallo spazio: nell’involucro esterno di vecchie stelle come Betelgeuse, una gigante rossa, girano vorticosamente molti elementi. Se questi elementi reagiscono chimicamente uno con l’altro, si formano tra le altre cose dei nanocristalli: carburo di silicio, ossido di silicio, corindone, e perfino diamante, come si è visto studiando le meteoriti che si sono formate da queste polveri. Per saperne di più, gli scienziati hanno riprodotto in laboratorio le condizioni esistenti in questi involucri stellari e nel 1985 hanno trovato tracce di una sostanza totalmente sconosciuta. Si trattava di un nuovo composto di carbonio, una molecola cava molto simile ad un pallone da calcio. Dalle ultime osservazioni astronomiche è risultato che questa molecola si forma anche negli involucri stellari.



I fullereni, gabbie cave di atomi di carbonio, offrono prospettive interessanti nella ricerca di materiali esotici.



Molecole giganti
maestre di
calcolo: i
nanotubi
potranno essere
la base
dei chip ad alte
prestazioni
del futuro.



Robert Curl ci mostra sulla punta delle dita i fullereni che gli hanno fatto vincere il premio Nobel.

Un progetto visionario:
un ascensore per i pianeti.

Oggi si conoscono numerose varietà di carbonio in cui gli atomi formano una rete. Tra di esse troviamo i nanotubi di carbonio, minuscoli tubi di carbonio che possono essere tessuti insieme per realizzare materiali estremamente compatti. In linea di massima dal punto di vista tecnico la produzione in serie di questi nanotubi non pone più problemi.

Ad una fibra composita matura costituita da nanotubi viene attribuita un'eccezionale resistenza alla trazione e alla frattura. La NASA sta studiando molto seriamente un progetto che - utilizzando una specie di trucco della corda indiana - dovrebbe permettere la realizzazione di un "ascensore per le stelle". Una delle ipotesi su cui si sta lavorando è quella di tendere nello spazio, utilizzando la tecnologia convenzionale dei razzi e dei satelliti, una striscia di materiale composito di nanotubi larga 1 metro e più sottile di un foglio di carta. Un'estremità starebbe nello spazio ad un'altezza di circa 100 000 chilometri, mentre l'altra sarebbe ancorata da qualche parte nell'oceano Pacifico, vicino all'equatore. La striscia sarebbe mantenuta in tensione per l'azione combinata della forza di gravità terrestre e della forza "centripeta". Lungo questa striscia, da mettere in orbita intorno alla terra o perfino tra Venere e la cintura degli asteroidi, potrebbero essere trasportati dei carichi di svariate tonnellate. Tra le ricadute utili di questi progetti visionari potranno esserci materiali da costruzione estremamente resistenti per grattacieli, ponti e, naturalmente, ascensori.



Opportunità e rischi

Le nanotecnologie hanno un immenso potenziale che consente di fare molte cose, buone o quantomeno lucrose. Grazie alle innovazioni che esse permettono di introdurre in tanti settori di applicazione si pensa che la nanotecnologia abbia enormi potenzialità economiche. Centinaia di imprese europee stanno già lavorando in questa direzione e offrono decine di migliaia di posti di lavoro, in genere altamente qualificati. Su questo punto gli scienziati e gli uomini di affari sono unanimi: la nanotecnologia è ben più di una nuova moda.

Troppo bello per essere vero? L'idea di una grande peste, possibile almeno in teoria, ha già fatto il suo ingresso nella letteratura: nel best seller di Michael Crichton "La preda" sciami di nanoparticelle intelligenti si uniscono per formare esseri semiintelligenti che incalzano i loro creatori e cercano di prendere possesso dei loro corpi. Un'altra visione fosca è quella del nanoprofeta americano Eric

Drexler, che immagina un mondo minacciato dalla poltiglia grigia (gray goo), una nuvola grigia di nanorobot fuori controllo. Secondo Eric Drexler sarebbe infatti possibile costruire robot su scala nanometrica, programmabili e capaci di costruire,

utilizzando le materie prime disponibili, qualcosa di nuovo e di più grande. E se il processo sfuggisse al controllo dell'uomo, invece di qualcosa di meraviglioso, si formerebbe una poltiglia grigia che potrebbe rivelarsi contagiosa e pericolosa per l'uomo e per le macchine.

La maggior parte degli esperti non prende sul serio queste congetture. Richard Smalley, premio Nobel per la chimica nel 1996, osserva ad esempio che la specificità dei legami chimici fa sì che non tutti gli atomi né tutte le molecole possano combinarsi tra loro. Questa considerazione, da sola, renderebbe l'idea



del "nanobot", robot o assemblatore nanometrico, molto improbabile. Ma anche se un "assemblatore" di questo tipo dovesse mettere insieme la materia atomo per atomo, per farlo dovrebbe utilizzare delle "dita" composte a loro volta da atomi e aventi un determinato spessore. E non si tratterebbe solo di afferrare l'atomo selezionato: durante l'assemblaggio bisognerebbe controllare tutti gli atomi di un nanometro cubico e le dita a questo punto finirebbero per impicciarsi.

Visto il problema delle "dita grosse e appiccicose", lo scenario della "poltiglia grigia" di Eric Drexler è improbabile quanto l'idea che la tecnologia rischi di trasformare il mondo in orsetti di gelatina.



Richard Smalley premio Nobel per la chimica, ritiene – come la maggior parte degli scienziati – che i rischi della nanotecnologia siano controllabili.

Ma queste “dita” non si limitano ad essere troppo grosse e ingombranti: sono anche appiccicose. A seconda della tipologia, gli atomi afferrati non si lascerebbero prendere e togliere a piacere, ma formerebbero dei legami. E sappiamo bene che non è tanto facile riuscire a staccarsi dalle dita una pallina appiccicosa. Sono obiezioni di fondo che non si possono ignorare. I nanorobot meccanici rientrano nella sfera dell'impossibile e Richard Smalley deve avere ragione: la paura che eserciti di nanomacchine fuori controllo assalgano il mondo e lo trasformino in una poltiglia grigia è priva di fondamento.

Più plausibile è il timore che le nanoparticelle possano avere anche effetti indesiderati sull'uomo e l'ambiente. Potrebbero, ad esempio, provocare danni alla salute per via delle loro piccolissime dimensioni, che consentono loro di penetrare nelle cellule del corpo e persino di superare le barriere biologiche, come la barriera sangue-cervello. Le nanoparticelle – alla stregua di altre polveri ultrasottili come le particelle di fuliggine dei motori diesel presenti nei gas di scarico dei veicoli – sono sostanze che potrebbero comportare effetti secondari sconosciuti: bisognerà quindi fare le ricerche scientifiche del caso per accertarsi che non siano pericolose. Al momento si sa pochissimo sulla sicurezza delle nanoparticelle. Nanoricercatori e tossicologi dovranno effettuare tutti

risposta a questi interrogativi. I rischi tuttavia sembrano controllabili perché le nanoparticelle individuate in natura sono estremamente “appiccicose”: si aggregano molto facilmente in grumi di maggiori dimensioni di cui il corpo si può liberare senza difficoltà. Alcune nanoparticelle, di cui si sa già che non sono nocive per la salute, sono utilizzate nelle creme solari come fattore di protezione o sono mescolate ad un'altra sostanza alla quale sono legate saldamente. In questo modo l'utilizzatore non entra minimamente in contatto diretto con le singole nanoparticelle. L'industria applica adeguate misure di sicurezza per escludere qualsiasi rischio per la salute dei suoi clienti o dei suoi dipendenti.

Mentre tutte queste congetture su un mondo futuro di nanobot sono puramente ipotetiche, le promesse degli specialisti di materiali che lavorano su scala nanometrica sembrano molto concrete. I primi prodotti sono già disponibili, come le testine di lettura ad alta sensibilità per dischi rigidi rivestite da oltre venti strati sottilissimi, dell'ordine di pochi nanometri. Troviamo la nanoelettronica in tutti i nuovi calcolatori portatili. Come tutte le tecnologie ad alto potenziale, la nanotecnologia avrà naturalmente degli effetti collaterali e potrà rendere superflue molte attività poco complesse, che saranno sostituite da altri tipi di attività. L'apprendimento continuo sarà sempre più importante e con la nanotecnologia potrà essere anche divertente.

Informazioni complementari

Come si diventa nanoingegneri?

Chi visita un centro di ricerca in cui si lavora intensamente nel campo delle nanotecnologie potrà vedere all'opera fianco a fianco rappresentanti di tutte le discipline scientifiche: fisici, biologi, chimici, ingegneri delle più svariate specializzazioni, cristallografi, mineralogisti, ecc. sono uniti dall'interesse per il mondo atomico e da una lingua comune, che è almeno in parte quella della matematica. Tutti i tradizionali corsi di studio scientifici possono dunque portare alla nanotecnologia, anche se questa disciplina comincia ad affermarsi come disciplina a sé stante, ad esempio in Germania all'università di Würzburg. Come dice Alfred Forchel, titolare della cattedra di fisica di questa università, chi sceglie la nanotecnologia non deve temere di seguire una tendenza a breve termine (estratto dal bollettino abi10/2003 dell'università di Würzburg):

La tendenza alla miniaturizzazione non è una moda passeggera e ha già una lunga storia alle spalle. In molti settori e in tutte le discipline, dalla chimica all'informatica, le applicazioni si faranno su scale sempre più piccole: dal micro al nano. Non occorre essere degli indovini per poter affermare che tutto continuerà rimpicciolire – ad esempio i materiali da costruzione – fino alle dimensioni più piccole possibili.

Fisici, chimici e altri studiosi di scienze naturali possono a giusto titolo affermare di aver avuto sempre a che fare in un modo o nell'altro con la nanotecnologia. Gli oggetti della fisica nucleare classica, le molecole studiate dai chimici si situano tutti nel nanocosmo. Grazie alle capacità di sperimentazione attuali – ad esempio la strutturazione dettagliata a livello atomico di cluster, strati e chip, la disponibilità di sostanze di estrema purezza o la comprensione delle strutture biologiche più fini – abbiamo a disposizione tantissime possibilità del tutto nuove di cui potrà avvalersi anche

l'ingegneria più orientata alle applicazioni. Secondo Alfred Forchel le prospettive professionali dei nanoingegneri sono piuttosto buone.

Naturalmente anche nel nostro settore le possibilità di trovare un posto di lavoro dipendono dalla situazione economica. Ma spesso a fare la differenza sono fattori relativamente secondari: se le imprese ricevono montagne di candidature è difficile farsi notare. La formazione pratica che offriamo nell'industria fa sì che ci sia almeno un'impresa che lo studente conosca già da vicino. I nostri studenti possono anche redigere la loro tesi mentre lavorano nell'azienda, un ulteriore passo verso un posto di lavoro. Inoltre, studiano sempre almeno una materia non scientifica, come gestione aziendale, in modo da acquisire altre competenze di base importanti per la vita professionale.

Ma a Würzburg come altrove per i nanoingegneri è indispensabile una solida formazione scientifica, che includa anche la matematica.

Non basta sognare di progettare un sottomarino in miniatura che possa viaggiare nelle vene. Ci vuole molto tempo e molto lavoro prima di arrivare a tanto. Occorre imparare a descrivere le cose in modo matematico e avere una perfetta conoscenza di materie di base come la fisica e la chimica. Ma non dovete scoraggiarvi: a darvi una mano per farcela ci saranno le vostre nanofantasie.

Il sottomarino nelle vene era solo un film. La nanotecnologia è un'altra cosa, che può anche rivelarsi piuttosto redditizia.

Persone di contatto, link e riferimenti bibliografici

Si ricorda che il presente opuscolo è stato pubblicato dal Ministero federale tedesco della ricerca (BMBF). In origine era dunque destinato al pubblico tedesco. Per i link relativi a studi, bibliografie e siti Internet europei, diversi da quelli tedeschi, si prega di consultare il portale Internet della Commissione europea sulle nanotecnologie (www.cordis.lu/nanotechnology).

Corsi nel campo della nanotecnologia (in Germania):

Tecniche nanostrutturali a Würzburg

Università di Würzburg

Sito web: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>

Contatto: ossau@physik.uni-wuerzburg.de

Biotecnologie e nanotecnologie a Iserlohn

Fachhochschule Südwestfalen

Sito web: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>

Contatto: Werner@fh-swf.de

Scienza molecolare a Erlangen

Università di Erlangen-Norimberga

Sito web: <http://www.chemie.uni-erlangen.de/Molecular-Science>

Contatto: hirsch@chemie.uni-erlangen.de

Master in micro e nanotecnologia a Monaco

Fachhochschule München

Sito Web: http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm

Contatto: sotier@physik.fh-muenchen.de

Scienza nanomolecolare a Brema

International University Bremen

Sito web: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>

Contatto: f.mueller-plathe@iu-bremen.de

Scienza nanostrutturale – Nanostrutture e scienze molecolari a Kassel

Università di Kassel

Sito web: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>

Contatto: masseli@physik.uni-kassel.de

Corso di laurea sperimentale in biofisica o scienze molecolari a Bielefeld

Università di Bielefeld

Sito web: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.htm>

Contatto: dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de

Corso di laurea in micro e nanostrutture a Saarbrücken

Università della Saar

Sito web: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>

Contatto: wz@lusi.uni-sb.de

Riferimenti bibliografici:

BMBF-Programm IT-Forschung 2006 - Förderkonzept Nanoelektronik

Ministero tedesco dell'Istruzione e della Ricerca; Bonn, marzo 2002.

Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden, Nanoelektronik für den Menschen

Ministero tedesco dell'Istruzione e della Ricerca; Bonn, ottobre 2002.

Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie

Ministero tedesco dell'Istruzione e della Ricerca Bonn, marzo 2004.

Bachmann, G.:

Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Analyse & Bewertung Zukünftiger Technologien (Band 28)

Centro tecnologico VDI per il BMBF; 1998.

Luther, W.:

Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und -systemen

Technologieanalyse (volume 43)

Centro tecnologico VDI per il DLR; 2003

Wagner, V; Wechsler, D.:

Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie

Technologiefrüherkennung (volume 38)

Centro tecnologico VDI per il BMBF; 2004.

Hartmann, U.:

Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts

ZPT, Saarbrücken, 2001.

Rubahn, H.-G.:

Nanophysik und Nanotechnologie

Teubner Verlag 2002

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft-WING

Ministero tedesco dell'Istruzione e della Ricerca; Bonn, ottobre 2003.

Link:

Portale comunitario della nanotecnologia
www.cordis.lu/nanotechnology

Portale europeo della nanotecnologia
www.nanoforum.org

Nanotruck- Viaggio nel nanocosmo
www.nanotruck.net

Viaggio su Internet-Aventura oltre i decimali
www.nanoreisen.de

Notizie e forum di discussione sulle nanotecnologie
www.nano-invests.de

Promozione delle nanotecnologie del BMBF
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Portale delle nanotecnologie del VDI-TZ
www.nanonet.de

Campi di microlenti: elementi microottici, importanti tra l'altro per la trasmissione di informazioni mediante la luce.

Cella a combustibile: dispositivo in cui l'idrogeno e l'ossigeno (generalmente atmosferico) reagiscono senza fiamma per formare acqua, producendo energia elettrica con rendimento molto elevato.

Cluster: agglomerazione di minuscole particelle (nel testo si tratta di atomi). I cluster di solito hanno proprietà diverse da quelle della forma solida dello stesso materiale, anche perché contengono molti atomi di superficie.

CNT: nanotubi di carbonio (Carbon Nano-Tubes)

Calcolatore quantico: apparecchio che utilizza le regole caratteristiche della meccanica quantistica per risolvere problemi come quello della decodificazione delle informazioni, praticamente irrisolvibili con i calcolatori convenzionali. E' ancora nella fase teorica.

Corrente di tunnel: corrente che non dovrebbe poter circolare perché attraversa uno spazio isolante, ma che può farlo nel nanocosmo, in misura strettamente dipendente dalle dimensioni dello spazio isolante. È su questo effetto che si basa il microscopio ad effetto tunnel.

Diatomee: alghe silicee unicellulari presenti nelle acque dolci e in quelle salate, dotate di una membrana molto elaborata composta da acido silicico e acqua. Le diatomee sono in grado di eseguire la fotosintesi e possiedono quindi strutture fotoconduttrici.

DNA: acido desossiribonucleico: molecola gigante a forma di doppia elica contenente le informazioni necessarie per la costruzione di un organismo e le formule per un'infinita varietà di proteine.

Duplicatore di frequenza: in questo testo, materiale che raddoppia la frequenza della luce, ad esempio convertendo la luce dell'infrarosso in luce verde.

ESEM: Environmental Scanning Electron Microscope, speciale microscopio elettronico a scansione che consente l'ingresso di aria ed umidità nella camera in cui è collocato il campione. Gli oggetti da osservare non richiedono un trattamento specifico, ad esempio con vapore d'oro.

Fase: in questo testo, stato, ad esempio ordinato/aleatorio o cristallino/amorfo.

Filamenti di bisso: noti anche come "seta marina". Fili molto sofisticati dal punto di vista della tecnica e del materiale, con cui i mitili si attaccano alle superfici. Sono elastici come il caucciù ad un'estremità e rigidi come il nylon all'altra estremità.

Filo di fibra ottica: filo che conduce la luce su lunghe distanze mediante un materiale estremamente trasparente, utilizzato generalmente per la trasmissione di dati, ma anche per il trasporto di energia.

Forisomi: proteine vegetali così denominate dalla parola latina "foris" che significa "porta". Sono allo studio come possibili candidati per la realizzazione di muscoli artificiali nanoscopici.

Fotosintesi: le piante verdi, le alghe e i cianobatteri (alghe blu) ricavano la loro energia dalla fotosintesi. Grazie alla luce del sole, trasformano il biossido di carbonio e l'acqua in zucchero e ossigeno. La fotosintesi vanta un rendimento energetico primario eccezionale di oltre l'80%.

Lab-on-a chip (laboratorio miniaturizzato): chip molto complessi ormai in fase finale di sviluppo che, con l'aiuto della micromeccanica, dei microfluidi, dei nanosensori e della nanoelettronica possono effettuare esami complessi di cellule che, altrimenti, richiederebbero le risorse di un intero istituto di ricerca. Questo termine designa anche i supporti utilizzati per il microstampaggio di oggetti relativamente semplici.

Laser ad elettroni liberi: dispositivo che genera luce laser grazie ad un fascio accelerato di elettroni che si muovono in un tubo a vuoto.

Legame di van der Waals: legame chimico debole tra molecole, la cui causa ultima sono le proprietà dello spazio vuoto. I legami di van der Waals determinano le proprietà dell'acqua e dunque tutti i processi vitali.

Leucociti: globuli bianchi che difendono l'organismo fagocitando i corpi estranei presenti nel sangue come virus e batteri, nonché residui di cellule o cellule tumorali; sotto forma di linfociti, producono anticorpi, molecole adesive estremamente specifiche.

Litografia: nel testo, la tecnica di produzione di strutture microscopiche, generalmente mediante un rivestimento fotoreattivo che viene inciso con fasci luminosi o fasci di elettroni e che, una volta sviluppato, evidenzia o nasconde alcune parti della superficie per l'incisione o altri processi.

Maschera: tipo di film trasparente contenente il disegno e la configurazione di un chip informatico, che vengono in seguito trasferiti su wafer mediante fotolitografia.

Micelle: piccole strutture sferiche utilizzate in natura, in questo caso dai mitili, come contenitori per il trasporto.

Piezocristalli: quando sono compressi o stirati i piezoelementi generano elettricità, come la scintilla di accensione negli accendini "elettronici". Inversamente, un cristallo piezoelettrico può essere modellato dalla corrente elettrica fino ad una frazione del diametro di un atomo.

Proteine: macromolecole, composte dai ribosomi a partire dagli amminoacidi; nelle cellule operano sia come strumenti nanoscopici che come materiali da costruzione per realizzare le parti più svariate dell'organismo, dal cristallino alle unghie; la decodificazione del proteoma, l'insieme delle proteine e delle loro interazioni nella cellula, è ancora agli inizi.

Raggi X: radiazione elettromagnetica ad onda corta utilizzata tra l'altro per l'analisi della struttura dei cristalli per determinare la forma nanoscopica delle molecole.

Raggi UV: radiazione ad onda corta che consente la produzione di strutture di chip molto fini.

Riflettina: proteina speciale utilizzata dagli organismi per creare strutture che rispecchiano la luce.

Ribosomi: nanomacchine in grado di produrre un'infinità di proteine, azionate da una stringa molecolare che contiene le informazioni genetiche del DNA.

Semiconduttore: materiale le cui proprietà elettriche possono essere regolate appositamente in modo da farlo funzionare come isolante o come conduttore; i semiconduttori sono diventati uno dei componenti più importanti dei moderni prodotti industriali come i calcolatori e i telefonini.

Illustrazioni

- Pag. 4, in alto: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universität Hamburg
Pag. 4, in basso: Lambda Physik AG, Göttingen
Pag. 5, in alto: Infineon Technologies AG, München
Pag. 5, in basso: BergerhofStudios, Köln
Pag. 6, in alto a sinistra: Chemical Heritage Foundation
Pag. 6, in alto+in basso a destra, in basso a sinistra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 7, in alto a sinistra: NASA/ESA
Pag. 7, in alto a destra: DESY, Hamburg
Pag. 7, in mezzo a sinistra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 7, in basso a destra: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universität Kiel
Pag. 8, in alto a sinistra: REM-Labor, Universität Basel
Pag. 8 Sequenza di immagini, dall'alto BergerhofStudios, Köln; come sopra; come sopra; REM-Labor, Universität Basel; Nobelkomitee Stockholm (elaborata); DESY, Hamburg
Pag. 9, in alto a sinistra: Botanisches Institut Universität Bonn
Pag. 9, in alto a destra: REM-Labor, Universität Basel
Pag. 9, Bildstreifen, dall'alto: BergerhofStudios, Köln; come sopra; Fraunhofer Gesellschaft; Botanisches Institut Universität Bonn; come sopra; TU Berlin, FU Berlin
Pag. 9, immagine sullo sfondo: BASF AG
Pag. 10, in alto a sinistra + a destra: MPI für Metallforschung, Stuttgart
Pag. 10, in mezzo a destra: ESA
Pag. 10, in basso a sinistra: MPI für Metallforschung, Stuttgart
Pag. 11, in alto a sinistra: Ostseelabor Flensburg, accanto: BergerhofStudios, Köln
Pag. 11, in alto a destra: Universität Florenz, Italien
Pag. 11, in mezzo a destra: Paläontologisches Institut, Uni Bonn
Pag. 11, in basso a sinistra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 11, in basso a destra: SusTech, Darmstadt
Pag. 12, in alto in mezzo e a destra: Bell Laboratories, USA
Pag. 12 a sinistra: Lehrstuhl für Biochemie, Uni Regensburg
Pag. 13, in alto: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
Pag. 13, in mezzo a destra: Degussa AG Advanced Nanomaterials
Pag. 13, in basso a destra: Institut für Geophysik, Uni München
Pag. 13, in basso: Institut für Physikalische Chemie, Uni Hamburg
Pag. 14, in alto + in basso a sinistra: ESA
Pag. 14, in basso a destra: IBM Corporation
Pag. 15, in alto + in mezzo a sinistra: Physik IV, Uni Augsburg
Pag. 15, in mezzo a destra+in mezzo: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universität Hamburg
Pag. 15, grafico in basso a destra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 15, in basso: University of Hawaii, Honolulu
Pag. 16, a sinistra: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
Pag. 17, in alto a destra: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
Pag. 17, in basso a sinistra: IHT RWTH Aachen
Pag. 17, in basso a destra: Schott AG, Mainz
Pag. 18, in alto a sinistra: Bayer AG, Leverkusen
Pag. 18, in basso a sinistra: MPI für Quantenoptik, Garching
Pag. 19, tutte le immagini: DESY, Hamburg
Pag. 20, in alto a sinistra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 20, in basso a destra: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
Pag. 21, in alto a sinistra: HILIT, EU Joule III-Programm
Pag. 21, in alto a destra: NASA/ESA
Pag. 21, in basso a destra: Universität Stuttgart
Pag. 22, tutte le illustrazioni: BergerhofStudios, Köln
Pag. 23, in alto a sinistra: National Semiconductor, Feldafing
Pag. 23, in basso a destra: Advanced Micro Devices, Dresden
Pag. 24, in alto a destra: Grafik: BergerhofStudios, Köln
Pag. 24, in mezzo a sinistra: Experimentalphysik IV RUB, Bochum
Pag. 24, in basso: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universität Kiel
Pag. 25, in alto a destra: grafico: BergerhofStudios, Köln
Pag. 25, in basso: IHT RWTH Aachen
Pag. 26, in alto a destra: IBM Corporation
Pag. 26, in basso a sinistra: Infineon Technologies AG, München
Pag. 26, in basso a destra: IBM/Infineon, MRAM Development Alliance
Pag. 27, in alto: Experimentalphysik IV RUB Bochum
Pag. 27, in mezzo: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universität Hamburg
Pag. 27, a destra: Lehrstuhl für Nanoelektronik, RUB Bochum
Pag. 27, in basso: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Mainz
Pag. 28: Siemens AG, München
Pag. 29, in alto a destra: Nanosolutions GmbH, Hamburg
Pag. 29, in mezzo: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
Pag. 30, in basso: Siemens AG, München
Pag. 30, in alto: DaimlerChrysler AG
Pag. 30, in basso a sinistra: Fraunhofer Allianz Optisch-funktionale Oberflächen
Pag. 30, in basso a destra: University of Wisconsin-Madison
Pag. 31, in alto: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
Pag. 31, in mezzo: Audi/Volkswagen AG
Pag. 31, in basso a sinistra: VW Pressearchiv
Pag. 31, in basso a destra: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
Pag. 32, in alto a sinistra: Bayer AG, Leverkusen
Pag. 32, in alto a destra: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
Pag. 32, in basso a sinistra: Keramag AG, Ratingen
Pag. 33, in alto: BASF AG, Ludwigshafen
Pag. 33, in mezzo: MTU Friedrichshafen
Pag. 33, in basso a destra: Siemens AG, München
Pag. 34, in alto a sinistra: Bayer AG, Leverkusen
Pag. 34, in alto a destra: Siemens AG, München
Pag. 34, in basso: Infineon Technologies AG, München
Pag. 35, in alto a sinistra: Siemens AG, München
Pag. 35, in mezzo: Charité Berlin / Institut für Neue Materialien, Saarbrücken
Pag. 36, in alto a destra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 36, a sinistra: Infineon Technologies AG, München
Pag. 36, a destra: IIP Technologies, Bonn
Pag. 37, in alto a sinistra: Siemens AG, München
Pag. 37, in alto a destra: Fraunhofer ISIT
Pag. 37, in mezzo a destra: Oxford University
Pag. 37, in basso a sinistra, a destra: Infineon Technologies AG, München
Pag. 38, in alto a sinistra: OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Regensburg
Pag. 38, in basso: Grafik: BergerhofStudios, Köln
Pag. 39, in alto: Park Hotel Weggis, Schweiz
Pag. 39, in basso: Siemens AG, München
Pag. 40, in alto a sinistra: BergerhofStudios, Köln
Pag. 40, in basso a sinistra: Bayer AG, Leverkusen
Pag. 41, in alto: AIXTRON GmbH, Aachen
Pag. 41, a destra: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
Pag. 42, Institut für Flugzeugbau, Universität Stuttgart
Pag. 43, in alto a sinistra, a destra: MTU Friedrichshafen
Pag. 43, in mezzo a sinistra: Institut für Luft- und Raumfahrt-Konstruktionen an der Universität Stuttgart
Pag. 43, in mezzo a destra: Fuseproject
Pag. 43, in basso: Kopf Solar design GmbH, Hamburg
Pag. 44, in alto a sinistra: Kollage: BergerhofStudios, Köln
Pag. 44, in basso a destra: RWTH Aachen
Pag. 45, in alto a sinistra: Siemens AG, München
Pag. 45, in alto a destra: Infineon Technologies AG, München
Pag. 45, in basso: NASA
Pag. 46, in mezzo: BergerhofStudios, Köln
Pag. 47, IBM Corporation, Insert: Siemens AG, München



EUROPEAN
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

Uncovering the secrets of nanotechnology



Films available from: <http://www.cordis.lu/nanotechnology>

Contact:

Renzo Tomellini, European Commission - email: renzo.tomellini@cec.eu.int

Industrial technologies websites:

http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/index_en.html

<http://www.cordis.lu/fp6/nmp.htm>

<http://www.cordis.lu/nanotechnology>



NANOTECHNOLOGIES, KNOWLEDGE-BASED MATERIALS, NEW PRODUCTION

Commissione europea

EUR 21151 — La nanotecnologia – Innovazione per il mondo di domani

Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee

2004 — 56 pp. — 21,0 x 29,7 cm

ISBN 92-894-8888-3

La nanotecnologia è considerata la tecnologia più importante del XXI° secolo. E' in grado di offrire soluzioni a molti problemi del mondo contemporaneo grazie a materiali, composti e sistemi più piccoli, più leggeri, più rapidi e con prestazioni migliori. Offre nuove opportunità commerciali e può apportare un contributo essenziale alla tutela dell'ambiente e della sanità.

Obiettivo della presente pubblicazione è spiegare al pubblico cosa sia la nanotecnologia e al tempo stesso promuovere il dibattito in materia. Descrivendo il contesto scientifico e i suoi potenziali sviluppi per il futuro, l'opuscolo fornisce un quadro complesso ed esauriente della nanotecnologia così come viene percepita oggi.