

Nel laboratorio catanese del Cnr un microscopio osserva gli atomi grazie a un fascio di elettroni spesso pochi centesimi di milionesimo di millimetro. E ha fotografato per la prima volta un materiale supersottile

# Nessuno aveva mai visto il fosforene. Noi sì

di GIUSEPPE NICOTRA

**I**ngrandire l'immagine di un oggetto oltre 10 milioni di volte, fino a distinguere particolari ben al di sotto dell'Ångstrom (l'unità di misura impiegata per indicare le dimensioni di molecole e atomi). Era il sogno raccontato dal premio Nobel per la Fisica Richard Feynman nella sua celebre lezione del 1959 *The-re's Plenty of Room at the Bottom* («C'è un sacco di spazio in fondo»). Oggi è una realtà. Sì, perché sul fronte della microscopia elettronica abbiamo fatto passi da gigante: per esempio, il microscopio elettronico installato nei laboratori di Catania dell'Istituto per la microelettronica e microsistemi del Consiglio nazionale delle ricerche, unico in Italia, consente di visualizzare gli atomi che costituiscono i diversi materiali mettendone a nudo le proprietà elettroniche, fino a distinguerne il diverso tipo di interazione nelle varie forme di aggregazione della materia.

Usiamo un fascio sottilissimo di elettroni, un ago della dimensione di pochi centesimi di milionesimo di millimetro che, spostandosi sulla superficie del materiale analizzato, penetra all'interno di esso e interagisce con i singoli atomi di cui è costituito. L'interazione si traduce in scambi di energia e sposta la traiettoria del fascio di elettroni, effetti che possono essere misurati usando opportuni dispositivi rivelatori, i quali restituiscono l'immagine della posizione degli atomi e l'informazione sulle quantità di energia in gioco nel legame chimico tra essi. Tutto comincia dai processi fisico-chimici che governano lo stato di aggregazione di atomi e molecole nella materia condensata, che i fisici della materia studiano appunto principalmente attraverso l'interazione di varie forme di radiazione (luce, particelle sub-atomiche) con la materia stessa.

Si tratta di informazioni preziosissime quando proviamo a manipolare nuove forme della materia, come nel caso dei mate-

riali bidimensionali quali il grafene, il silicene, il fosforene, il solfuro di molibdeno, eccetera. Si tratta di fogli sottilissimi di materia dallo spessore equivalente alla dimensione di un singolo atomo, le cui proprietà sono straordinarie.

Basti pensare che il grafene è al tempo stesso flessibilissimo e più resistente dell'acciaio, dissipa il calore nettamente meglio di metalli come il rame o l'argento, è tra i materiali otticamente più trasparenti e dentro di esso le cariche elettriche (gli elettroni in particolare) si muovono come se avessero massa nulla, a una velocità prossima a quella della luce. Il fosforene, di cui abbiamo ottenuto le prime immagini al mondo, può risultare anche migliore rispetto al grafene nei dispositivi optoelettronici (quelli che basano il proprio funzionamento combinando effetti sia ottici che elettronici) con prestazioni più elevate e con minori consumi energetici. A differenza poi del grafene, il fosforene è un materiale che, per alcune proprietà specifiche, si presta meglio a sostituire il silicio nei dispositivi elettronici attuali e nella produzione industriale di pannelli solari a più alta efficienza.

Il nostro microscopio è lo strumento ideale per affrontare queste nuove sfide. È installato in un laboratorio all'interno del quale ogni parametro ambientale (temperatura, umidità, flussi d'aria, vibrazioni del suolo, ecc.) deve rimanere assolutamente stabile, entro valori molto precisi, per ridurre a zero ogni più piccolo spostamento del materiale e del microscopio durante l'osservazione.

La stabilità termica è garantita in modo che possa fluttuare entro un intervallo di  $\pm 0,06^\circ\text{C}$  grazie a un innovativo sistema di condizionamento. Uno spesso guscio di materiale fono-assorbente, inoltre, garantisce un elevato grado di insonorizzazione, al punto che è possibile sentire il rumore di uno spillo che cade a terra. Il microscopio è poi installato su un sofisticato sistema di sospensioni che assorbono qualsiasi vibrazione proveniente dal pavimento, anche

quelle emesse frequentemente dal vicino vulcano quando è in attività, ed è infine dotato di un sistema di cancellazione dei campi elettromagnetici allo scopo di evitare qualunque interferenza con quadri elettrici vicini o onde radio, come quelle dei telefoni cellulari. Vedere gli atomi non è poi così semplice!

La strategia dei laboratori di Catania del Cnr è avvicinare quanto più possibile la ricerca di base alle possibili applicazioni tecnologiche di interesse industriale. È essenziale impegnare il massimo sforzo per spingere più avanti possibile il nostro grado di conoscenza dei fenomeni che controllano le proprietà della materia: questa conoscenza si traduce nella possibilità di ottenere nuove forme di aggregazione della materia stessa, combinando materiali diversi e sviluppando sofisticati processi di manipolazione su scala nanometrica, dove le distanze in gioco sono dell'ordine del milionesimo di millimetro (il nanometro, appunto).

Questa capacità rende possibile la realizzazione di dispositivi miniaturizzati in grado di svolgere, con sempre maggiore efficienza, le funzioni più disparate: memorie ultra compatte (si pensi alla quantità di informazioni che può essere immagazzinata nei nostri ormai inseparabili smartphone); sensori miniaturizzati che rilevano con precisione crescente i parametri biologici e il nostro stato funzionale (dati dell'apparato cardio-circolatorio, stato di veglia alla guida di un mezzo, misura real-time della glicemia, analisi del Dna, e così via); dispositivi per l'elaborazione digitale e la trasmissione ultraveloce e sicura di grandissime quantità di dati, prevenendone l'intercettazione dolosa; dispositivi per la tracciabilità dei processi di produzione del cibo destinato all'alimentazione umana integrati direttamente nei supporti di confezionamento. Questi e tanti altri dispositivi pervaderanno sempre più diffusamente la vita quotidiana di ciascun individuo cresciuto in quella che consideriamo, non a caso, la società dell'informazione e della comunicazione.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

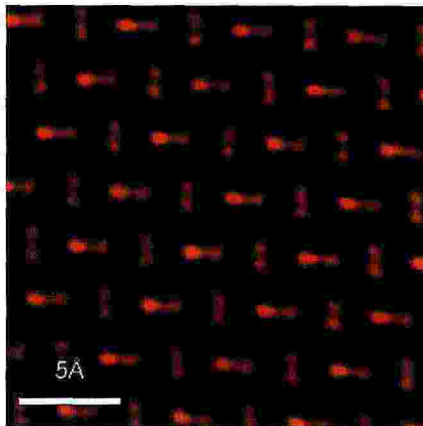
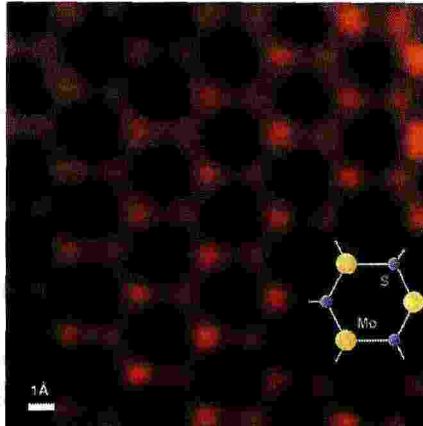
**i**

**L'autore**

Giuseppe Nicotra ha iniziato le attività di ricerca nel dipartimento di Fisica dell'Università di Catania: durante il dottorato in Scienza dei materiali ha approfondito lo studio della microscopia elettronica negli Stati Uniti, tra l'altro presso l'Università della California e a Berkeley. Autore di oltre cento pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, si occupa di materiali innovativi bidimensionali: dal 2012 è ricercatore presso l'Istituto per la microelettronica e microsistemi (Imm) del Cnr a Catania

**Le illustrazioni**

Le immagini pubblicate in questa pagina sono state ottenute con il microscopio a risoluzione sub-Angstrom dell'Imm installato a Catania presso il primo laboratorio italiano di microscopia elettronica diretto da Nicotra



Qui sopra: in alto, vista frontale di una struttura cristallina del solfuro di molibdeno; in basso, vista planare del fosforene. A destra: vista laterale di strati atomici di fosforene, nella tipica forma a bracciolo. Nelle immagini sono indicati schemi simulati della struttura atomica in coincidenza con quella reale

