

# Come l'elettronica può diventare elastica

Luca Ravagnan

Qualche anno fa, insieme ad alcuni colleghi, stavo conducendo un esperimento nei laboratori del Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano. L'esperimento consisteva nel depositare un certo numero di nanoparticelle (*palline* composte da qualche migliaio di atomi) su una superficie e seguirne il movimento e l'aggregazione per formare dei microscopici cavi che conducessero l'elettricità. Mi accorsi che i conti non tornavano: le particelle sulla superficie erano meno di quelle da cui si partiva per la deposizione, era come se molte di loro sparissero senza lasciare traccia. Poteva trattarsi di un banale errore sperimentale, ma preferii ipotizzare una cosa meno ovvia, cioè che le nano particelle sparissero perché finivano sotto la superficie come sassi che sprofondano nell'acqua di uno stagno. Era un'ipotesi che gli scienziati non avevano mai preso in considerazione e si rivelò quella giusta. Quella che inizialmente era puramente una interessante scoperta scientifica, dimostrò in breve tempo di avere importanti ricadute applicative. Io e i miei colleghi usammo questa scoperta per sviluppare una tecnica innovativa, detta *Supersonic Cluster Beam Implantation (SCBI)*, capace di incorporare circuiti elettronici complessi su manufatti di plastica o gomma (Figura 1). I circuiti ottenuti sono in grado di sostenere, senza danneggiarsi, grandi deformazioni e sono inoltre altamente biocompatibili. Nessuna tecnica precedentemente sviluppata aveva simili caratteristiche.

Compreso il potenziale della tecnologia, abbiamo depositato una domanda di brevetto, ed abbiamo dato vita, insieme ad un socio finanziario, ad una start-up, WISE s.r.l. La società ha la missione di utilizzare questa tecnica innovativa per lo sviluppo e

commercializzare di una nuova classe di elettrodi per neuromodulazione della colonna vertebrale e del cervello con caratteristiche superiori rispetto ai prodotti oggi esistenti, in grado di trattare con successo patologie come dolore cronico, morbo di Parkinson, distonia, tremore essenziale, Alzheimer e molte altre.

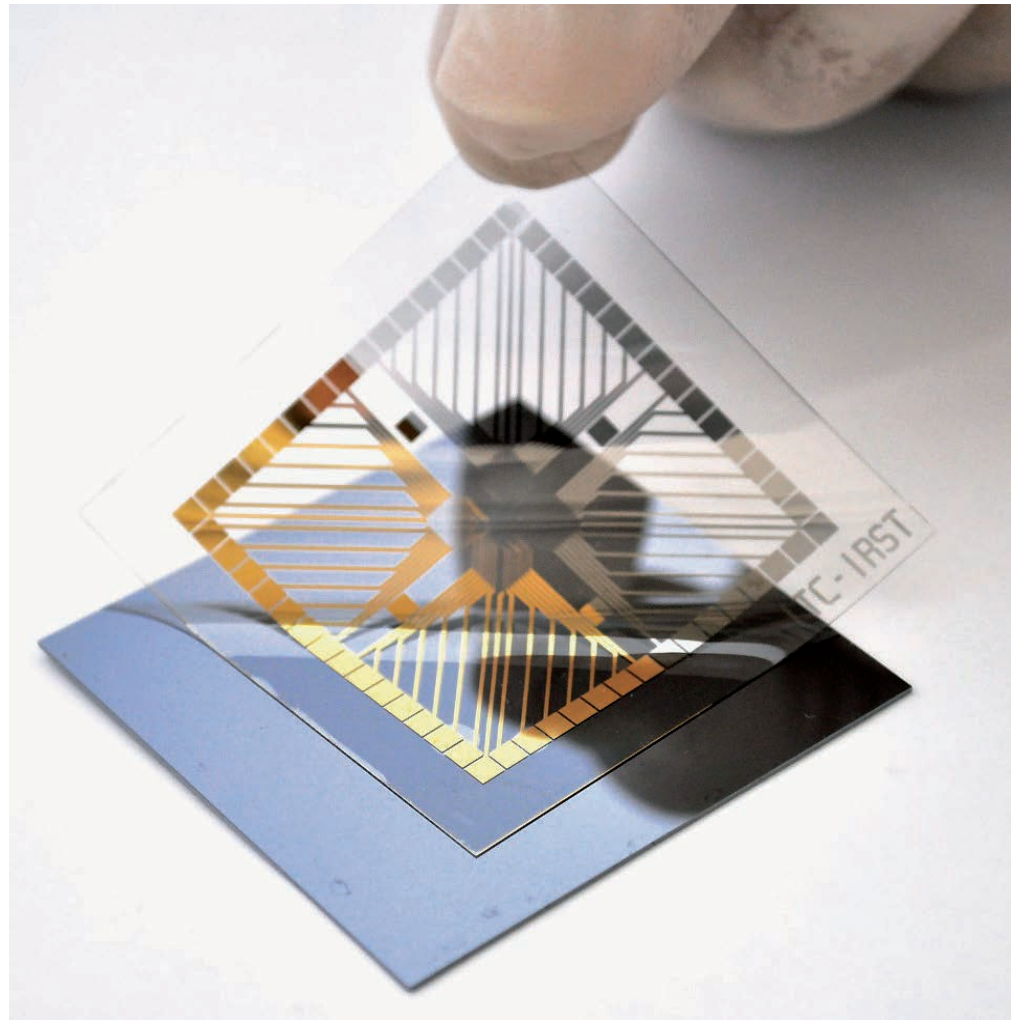
## Dalla fantascienza alla realtà

Uno dei temi che ha da sempre affascinato sia la letteratura che la filmografia fantascientifica è la possibilità di inserire dispositivi elettronici nell'organismo umano, per poter curare malattie o deficit (si pensi, ad esempio, la perdita di un arto), o addirittura per aumentare le capacità mentali o fisiche dell'uomo. I cosiddetti *uomini bio-nici* continuano a essere oggetto di curiosità e stimolare la fantasia di scrittori di fantascienza.

Quello che per molti anni è stato solo un sogno, sta oggi diventando sempre più una realtà. L'uomo ha da tempo imparato a costruire dispositivi medici che possono essere impiantati nell'organismo umano. L'esempio più comune è quello dei cardiostimolatori impiantabili, quali i *pacemakers* e i defibrillatori impiantabili. Si tratta di piccoli dispositivi elettronici composti da una unità di alimentazione e da uno o più *fili elettrici* (detti elettrodi), che vengono impiantati nell'organismo del paziente e che permettono di stimolare elettricamente il funzionamento del cuore. I cardiostimolatori permettono a soggetti cardiopatici, che un tempo avrebbero corso forti rischi di morte per arresto cardiaco, di condurre una vita normale.

Simili ai cardiostimolatori per la loro struttura, ma meno noti, sono i neurostimolatori. Sono anch'essi costituiti da un ali-

U



*Fig. 1. Una matrice di microelettrodi realizzati su una base plastica flessibile prodotta mediante SCBI (in collaborazione con la Fondazione Bruno Kessler di Trento). Si tratta di un dispositivo utilizzato per stimolare elettricamente singole cellule.*

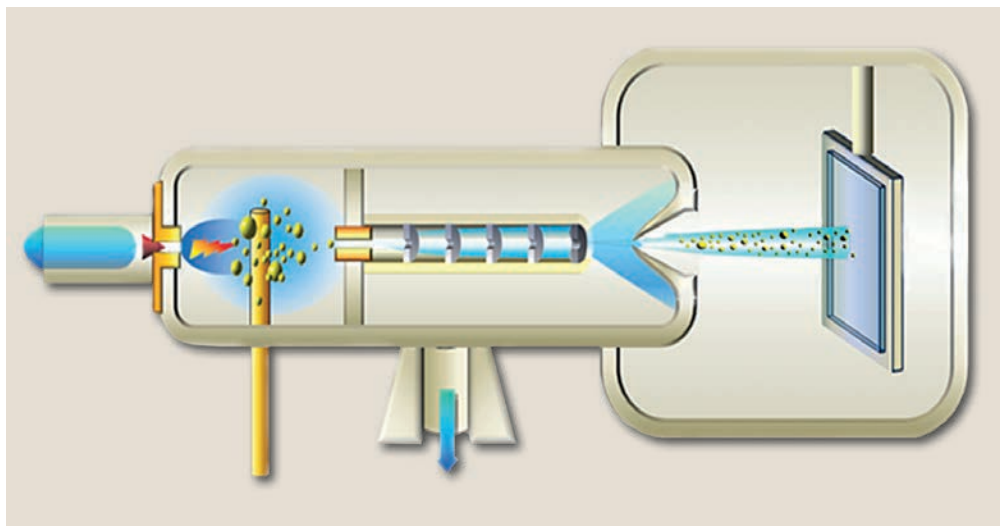
mentatore e da elettrodi, con la differenza che tali elettrodi vengono posizionati all'interno del cervello, sul midollo spinale, o in prossimità di altri nervi al fine di stimolarli con piccoli impulsi elettrici. I neurostimolatori sono già oggi utilizzati con successo per la cura di patologie come il dolore cronico, l'epilessia, la distonia ed il morbo di Parkinson, ed è in fase di studio la loro applicazione per la cura dell'Alzheimer o per la riabilitazione di pazienti paraplegici. Sia i cardio-stimolatori che i neuro-stimolatori sono in ogni caso solo i capostipiti di una lunga serie di dispositivi medici impiantabili destinati a entrare progressivamente nelle comuni pratiche mediche e che promettono nel futuro di rivoluzionare la medicina.

Sebbene, quindi, la tecnologia stia facendo passi da gigante verso l'integrazione tra il mondo biologico e l'elettronica, restano ancora delle importanti barriere da superare. Tra queste, una delle più importanti è l'elasticità. Salvo l'eccezione dello scheletro, l'organismo umano è prevalentemente

costituito di tessuti molli, i quali per di più sono soggetti a continue deformazioni elastiche a causa dei movimenti che ognuno di noi compie durante la vita di tutti i giorni. Tutti i nostri tessuti (compresi anche il cervello e i nervi) sono in grado di estendersi o deformarsi significativamente senza ricevere danno. L'elettronica al contrario si basa normalmente su componenti rigidi. Anche nel caso dei cavi elettrici che possono essere estremamente flessibili, in generale essi non sono estensibili. Ovviamente, questo è ancora più rilevante quando si pensi di impiantare chip di silicio o schede elettroniche, totalmente rigidi, nell'organismo umano. Inserendo dispositivi rigidi in un organismo elastico si determinano vari problemi: i dispositivi possono irritare i tessuti in cui sono impiantati, spostarsi o in casi estremi rompersi. Quando queste complicazioni accadono ad un elettrodo di un cardio o neurostimolatore, il dispositivo smette di funzionare e si deve sottoporre nuovamente il paziente ad una delicata e costosa opera-

## tecnologia

Fig 2. Rappresentazione grafica del setup utilizzato per gli esperimenti. Sulla sinistra si può osservare la sorgente che produce le nanoparticelle sotto forma di un fascio collimato. Il fascio di nanoparticelle viene quindi diretto ("spruzzato") verso la base su cui le si vuole deporre (sulla destra).

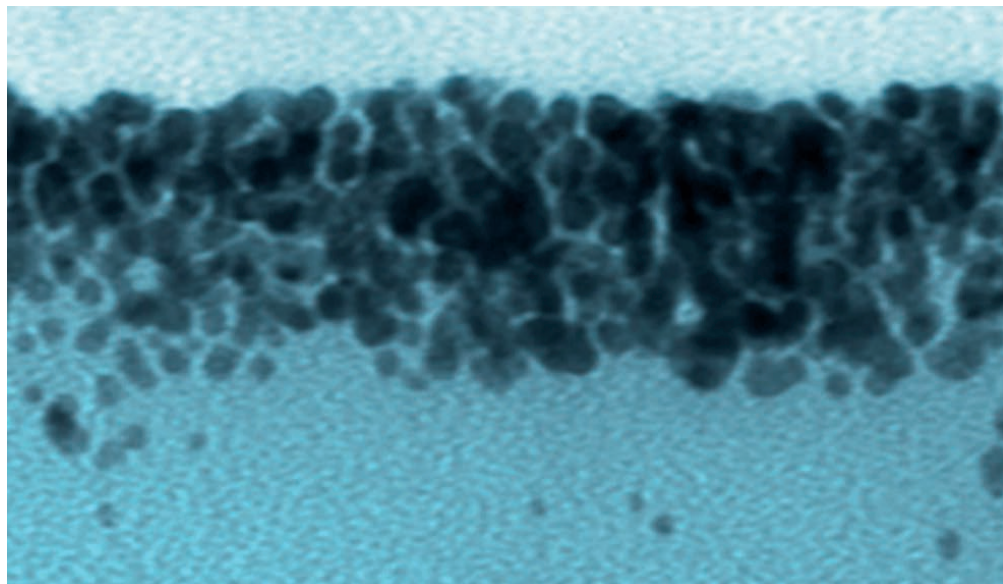


zione chirurgica per sostituire l'elettrodo. Chiaramente tutto questo potrebbe essere superato se l'elettronica potesse diventare elastica quanto i tessuti umani. La soluzione a questo importante problema è stata da noi individuata nel 2009, nel corso della nostra attività di ricerca presso il Centro Interdisciplinare Materiali e Interfacce Nanostrutturati (CIMAINA – <http://users.unimi.it/cimaina>) dell'Università degli Studi di Milano diretto da Paolo Milani. La chiave della soluzione, basata sull'utilizzo delle nanotecnologie, venne da noi trovata inizialmente a seguito di un *imprevisto* nel corso di un esperimento di Fisica delle Superfici. A partire da quell'imprevisto è nata una tecnica innovativa per la produzione di circuiti elettronici elastici integrati su gomma, che abbiamo brevettato e che è oggi alla base dell'attività di una start-up biomedicale (WISE S.r.l. – [www.wisebiotech.com](http://www.wisebiotech.com)) da noi fondata nel 2011.

### Un imprevisto sperimentale

Il nostro gruppo stava studiando come evolve la conduzione elettrica di uno strato sottile metallico, ottenuto "spruzzando" nanoparticelle metalliche su di una base rigida (si veda in figura 2 il setup sperimentale utilizzato). L'esperimento studiava un processo del tutto analogo a ciò che accade durante la verniciatura di una parete bianca con una pistola a spruzzo: inizialmente, quando sono ancora poche le gocce di vernice ad essere state spruzzate, la parete risulta essere semplicemente coperta da molte piccole macchie colorate separate tra di loro. Continuando però a spruzzare la vernice, si arriva ad una quantità critica di gocce sul muro, per cui le macchie iniziano ad unirsi tra di loro, formando delle figure ramificate sulla parete. Proseguendo la verniciatura, questa *rete* formata dalle macchie diventa

Fig. 3. Immagine ottenuta mediante microscopia a trasmissione elettronica di una sezione sottile della base in plexiglass su cui sono state spruzzate le nanoparticelle (i pallini scuri, aventi diametro di circa 5 nm). Le nanoparticelle non si sono fermate sulla superficie del plexiglass ma si sono impiantate fino a una profondità di alcune decine di nanometri.



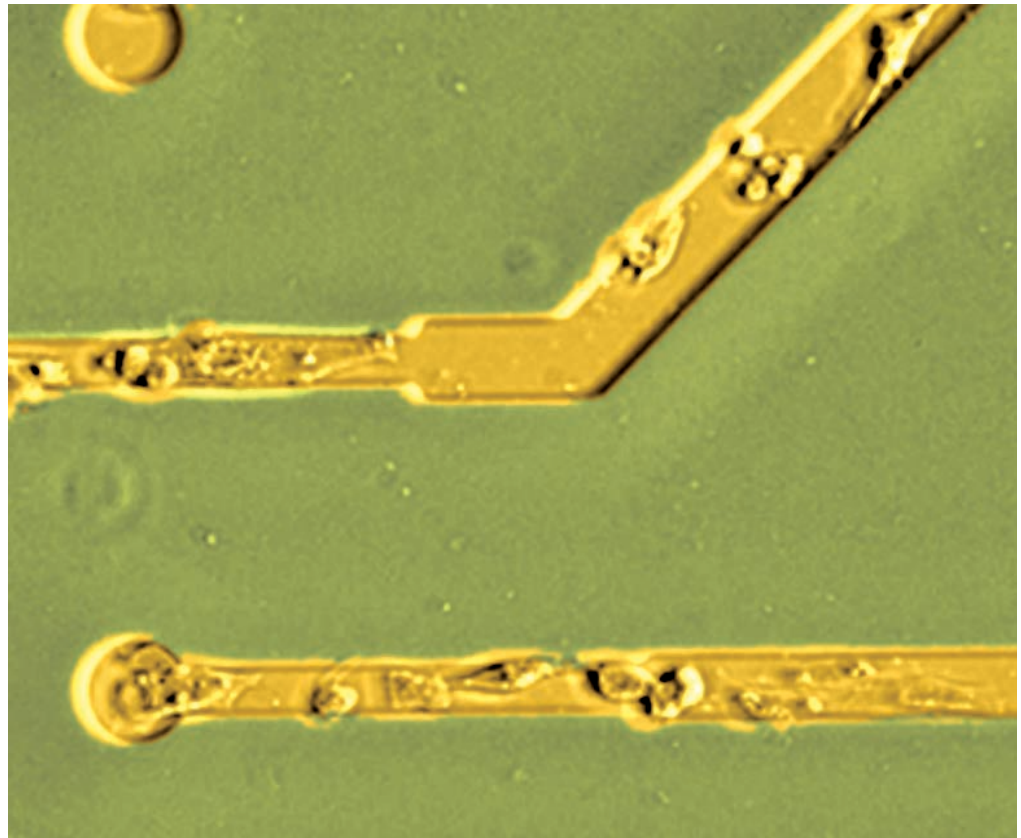


Fig. 4. Immagine al microscopio ottico (a falsi colori) di due microelettrodi prodotti mediante SCBI su di una base plastica su cui sono state cresciute cellule neuronali di topo: le cellule aderiscono selettivamente sugli elettrodi, dimostrando la migliore biocompatibilità della regione metallizzata rispetto a quella della plastica di base.

sempre più fitta, fino a coprire uniformemente la parete che a questo punto appare uniformemente verniciata. Allo stesso modo, noi studiavamo come un materiale inizialmente isolante diventava conduttivo durante la *verniciatura a spruzzo* della sua superficie mediante nanoparticelle metalliche. Analogamente al caso della vernice, il materiale resta isolante fino a quando le nanoparticelle non iniziano a *toccarsi* tra di loro e a formare una prima rete conduttiva. Tale studio aveva inizialmente finalità di ricerca di base, fino a quando un giorno si verificò quello che inizialmente sembrava un errore sperimentale. Provando ad utilizzare del plexiglass come base per la deposizione delle nanoparticelle, ci si accorse che il punto di transizione tra materiale isolante e conduttore variava significativamente. In particolare, si dovevano *spruzzare* molte più nanoparticelle per far sì che queste iniziassero a unirsi a formare una rete conduttiva. Era come se molte delle nanoparticelle non arrivassero mai sulla superficie del materiale, o che una volta arrivate poi scomparissero. Chiaramente entrambe queste spiegazioni del fenomeno erano assurde, e l'ipotesi più semplice era quella di un errore umano in qualche parte dell'esperimento.

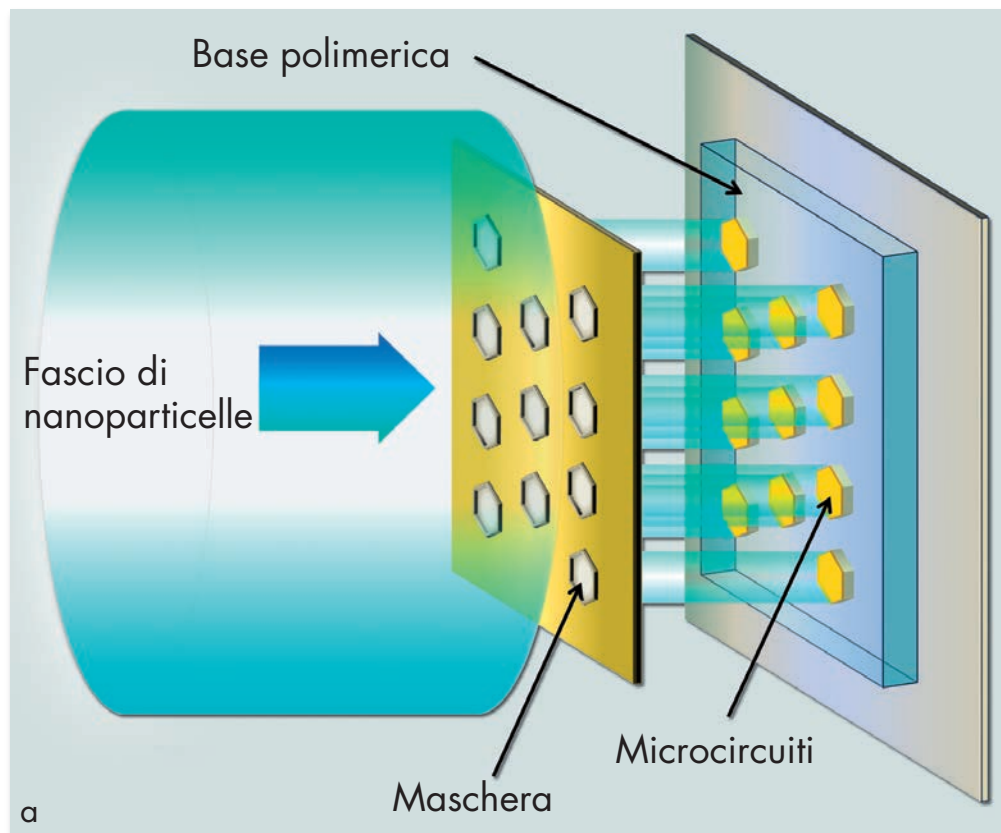
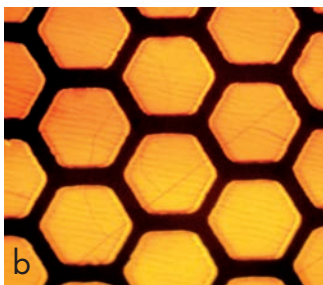
Non fermandoci a questa semplice soluzione, e andando a cercare più a fondo le possibili origini di questo strano fenomeno, arrivammo ad ipotizzare una spiegazione mai considerata in precedenza dalla comunità scientifica: le nanoparticelle stavano forse entrando nel plexiglass? Nonostante la loro ridotta energia cinetica all'impatto, le nanoparticelle erano in grado di impiantarsi in un materiale plastico? Quella che inizialmente sembrava una spiegazione fantasiosa provò ben presto di essere giusta: andando a studiare mediante microscopia a trasmissione elettronica sottili fette dei campioni, potemmo effettivamente constatare che le nanoparticelle erano penetrate per decine di nanometri nel plexiglass, formando uno strato nanocomposito metallo-polimero (figura 3) [1].

### L'elettronica elastica senza filo

La scoperta del nostro gruppo aveva sicuramente un forte impatto sul piano della ricerca di base (nessuno precedentemente aveva ritenuto possibile un simile processo di impiantazione a bassa energia) ma non aveva particolari ricadute applicative. Galvanizzati dai risultati ottenuti decidemmo però di applicare questa nuova tecnica, che

## tecnologia

Fig 5. Nello schema (a) è rappresentato il processo di produzione di microcircuiti che mediante maschere litografiche non a contatto. In (b), immagine al microscopio ottico di "pattern" esagonali del diametro di 30 micrometri realizzati mediante questa tecnica.

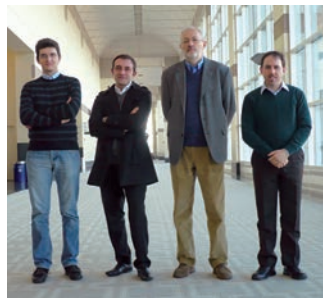


battezzammo *Supersonic Cluster Beam Implantation* (SCBI), a diversi materiali polimerici e in particolare a gomme siliciche. Potemmo così verificare che anche su gomma si era in grado di impiantare nanoparticelle metalliche e formare un nanocomposito, e che impiantando una quantità adeguata di nanoparticelle si poteva rendere la gomma conduttiva (in gergo tecnico, *metallizzare*). Ciò che però scoprimmo con nostra grande sorpresa fu che lo strato conduttivo che producevamo era elastico quanto la gomma in cui era stato impiantato: verificammo infatti che si potevano allungare i campioni metallizzati per decine di migliaia di volte, con elongazioni pari a una volta e mezza la dimensione iniziale dei campioni, e non solo non si osservava né la rottura né il danneggiamento elettrico dei nostri campioni, ma addirittura si osservava il miglioramento delle caratteristiche elettriche [2]. Questo era esattamente l'opposto di quanto sarebbe capitato se avessimo avuto un filo elettrico o uno strato metallico compatto inglobati nella gomma: in quei casi l'elongazione avrebbe causato la loro rottura e quindi il loro deterioramento elettrico (se non la completa apertura del circuito). La spiegazione di quanto avevamo osservato era ancora una

volta la natura nanocomposita del nostro materiale: la conduzione avviene, infatti, grazie al contatto delle nanoparticelle impiantate nella matrice elastica della gomma; quando il campione viene elungato le nanoparticelle possono in parte perdere il contatto elettrico tra di loro, causando l'aumento della resistenza, ma quando il campione viene riportato a riposo le nanoparticelle tornano a contatto tra di loro come prima dell'elongazione, ripristinando la conduzione iniziale. Significativamente, ripetendo migliaia di cicli di elongazione si determina anche una parziale riorganizzazione delle nanoparticelle nel polimero nella direzione dell'allungamento, determinando quindi il miglioramento delle caratteristiche elettriche sopra discusse [2].

In conclusione, avevamo dimostrato che mediante la tecnica SCBI si poteva davvero produrre dell'elettronica realmente elastica. Oltre a ciò potemmo anche dimostrare l'elevata biocompatibilità della metallizzazione prodotta (figura 4) e la possibilità di produrre microcircuiti sia mediante i processi litografici tipici dell'industria dei semiconduttori (si veda figura 1) [3], che mediante maschere litografiche non a contatto, senza necessità di fasi di produzione chimiche (figura 5) [3].

Fig. 6. I quattro fondatori scientifici di WISE. Da sinistra, Cristian Ghisleri, Gabriele Corbelli, Paolo Milani e Luca Ravagnan.



## tecnologia



Giunge alla XIII edizione l'annuale appuntamento con il Premio Sapio nato con lo scopo di valorizzare la concertazione: da un lato il soggetto privato - il Gruppo Sapio, azienda leader nel settore dei gas tecnici e medicinali, puri, purissimi e liquidi criogenici, che da sempre si impegna sul fronte della ricerca - dall'altro le Istituzioni, le Università, i Centri di Ricerca, le associazioni, ecc. Soggetti diversi, per ruolo e per funzioni, ma uguali negli intenti: creare sviluppo puntando in modo netto sulla ricerca.

Hanno partecipato all'edizione di quest'anno 175 ricercatori. Tre i premi assegnati: oltre al Premio Sapio Junior, assegnato a Luca Ravagnan, il Premio Sapio Salute assegnato a Luigi Naldini, direttore, San Raffaele Telethon Institute for Gene Therapy (HSR-TIGET) e professore ordinario presso l'Università Vita Salute San Raffaele, e il Premio Sapio Industria, attribuito a Fabio Biscarini, dirigente di ricerca CNR-ISMN Bologna e direttore tecnico Scriba Nanotecnologie Srl. La cerimonia di premiazione si è svolta nella cornice della Sala Capitolare del Senato della Repubblica, alla presenza del ministro Francesco Profumo.

## La ricerca si fa impresa

Come avevamo discusso in precedenza, la possibilità di produrre dispositivi elettronici elastici rappresenta una delle maggiori sfide per i dispositivi biomedicali impiantabili del futuro. Avendo noi compreso come la SCBI fosse in grado di rispondere a questa esigenza, decidemmo di brevettare la tecnica [4] e di fondare un'azienda che avesse come missione la produzione di dispositivi medici mediante questa tecnica, ed in particolare elettrodi per neurostimolazione per la cura del dolore cronico. Nasce così nel 2011 WISE s.r.l. (Wiringless Implantable Stretchable Electronics), [5] dall'unione dei quattro soci scientifici che hanno sviluppato e brevettato la tecnica SCBI (Luca Ravagnan, Paolo Milani, Cristian Ghileri e Gabriele Corbelli - figura 6) e un socio finanziario (Agite! S.p.A.). Il progetto di WISE s.r.l. è di sviluppare e commercializzare, grazie alla SCBI, una nuova classe di elettrodi per neurostimolazione con caratteristiche superiori rispetto ai prodotti oggi esistenti. Essi saranno estremamente più affidabili degli attuali (gli elettrodi sul mercato sono soggetti a rotture e dislocazioni, che ne richiedono la sostituzione), con minore invasività (gli elettrodi di WISE saranno più sottili e flessibili, inducendo minori danni nei tessuti nei quali sono impiantati) e ridurranno significativamente i costi di produzione (gli elettrodi attuali sono prodotti manualmente).

A oggi WISE e i suoi soci scientifici hanno ricevuto diversi premi per l'innovazione sia da parte di istituzioni italiane che straniere: si tratta di riconoscimenti che ci riempiono di soddisfazione e che soprattutto ci spronano ad andare avanti, a dedicarsi alla ricerca con sempre rinnovata passione. Ne cito solo alcuni: il Nanochallenge 2011 assegnato da Veneto Nanotech; il premio Start Cup Milano Lombardia 2011, il Premio per l'Innovazione Tecnologica (business plan competition) promosso da un

ampio raggruppamento di Università e Incubatori lombardi; il premio TR35-Giovani Innovatori 2011, assegnato dal Forum Ricerca Innovazione Imprenditorialità e dalla rivista Technology Review Italia per lo sviluppo della tecnica SCBI; il Secondo premio Medical Business Idea 2011, assegnato dalla Fondazione Stiftung Charité nel corso del forum internazionale sull'imprenditoria negli ambiti della medicina e delle scienze della vita "Charité Entrepreneurship Summit 2011" (Berlino, 11-12 aprile 2011); il premio Isimbardi 2011 - Giovani Talenti, assegnato dalla Provincia di Milano. Ultimo in ordine di tempo il premio Sapio Junior per la Ricerca Italiana, ricevuto a giugno 2012 presso il Senato della Repubblica.

Un momento di grande emozione, anche perché il presidente della Repubblica, Giorgio Napolitano, ha inviato al presidente del Gruppo Sapio Alberto Dossi - promotore del premio - un messaggio importantissimo per tutti noi: «investire nella ricerca e nell'innovazione è una priorità irrinunciabile per lo sviluppo del nostro paese ed è compito primario dei soggetti pubblici e privati fornire risorse e strumenti adeguati a tal fine per affrontare le difficili sfide proposte da una società ampiamente globalizzata. È in particolare importante offrire la possibilità a tanti giovani meritevoli di proseguire in Italia il loro percorso di eccellenza per dimostrare l'alta qualità e la vitalità della ricerca scientifica italiana». Io e i miei colleghi, nel nostro piccolo, ci stiamo provando. ●

### BIBLIOGRAFIA

- [1] **RAVAGNAN L. et al.**, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42, 2009, 11.
- [2] **CORBELLI G. et al.**, *Advanced Materials*, 23, 4504, 2011.
- [3] **MARELLI M. et al.**, *J. Micromech. Microeng.* 21, 045013, 2011.
- [4] MI2010A000532 e PCT/EP2011/054903.
- [5] [www.wisebiotech.com](http://www.wisebiotech.com).

Luca Ravagnan

è amministratore delegato della start-up WISE s.r.l. di Milano ed è stato assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano fino al 2011.