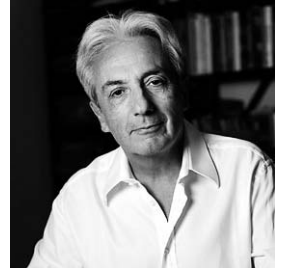




FISICA: LA MAGNETORESISTENZA GIGANTE

Il premio Nobel per la Fisica 2007 è stato assegnato ad Albert Fert e Peter Grünberg per la scoperta della magnetoresistenza gigante (*Giant Magneto-Resistance*, GMR), con una motivazione che sottolinea le applicazioni di tale fenomeno: «Grazie a questa scoperta, le dimensioni dei computer si sono ridotte notevolmente. Basta ricordare i giganti del 1964. Anche il costo dei personal computer è crollato in modo incredibile» è il commento del Presidente della Commissione per i Nobel. Abbiamo qui un esempio lampante di una caratteristica dell'attività scientifica in genere e di quella in fisica in particolare, per cui risultati conseguiti nella ricerca di base su tematiche magari anche lontane dalla comune percezione (riassunta nella frase «sì bello, ma a che serve?»), possano invece col passar del tempo dar luogo a importanti applicazioni che incidono profondamente sulla vita di tutti i giorni. Quando nel 1988 è stata scoperta la GMR, nei laboratori di Fert e Grünberg si svolgevano ricerche (in maniera del tutto indipendente, rispettivamente in Francia a Parigi e in Germania a Jülich) nel campo del magnetismo di film sottili, il cui protagonista principale è un oggetto alquanto esotico come lo *spin* dell'elettrone. Questa importante scoperta di fisica fondamentale sulle proprietà di trasporto di cariche dotate di *spin* ha trovato un'applicazione tecnologica in tempi veramente molto brevi (meno di un decennio!), tanto che i primi dispositivi basati sulla GMR erano in commercio già nel 1997. Il brevissimo intervallo di tempo tra scoperta e applicazione in questo caso rappresenta una situazione per nulla comune, dovuta a una serie di circostanze particolarmente fortunate che vale la pena di spiegare prima di passare alla fisica del problema.

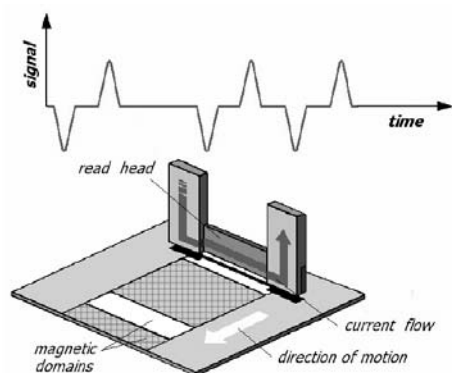
Com'è ben noto, un modo particolarmente efficace di immagazzinare informazioni comporta l'uso di un supporto magnetico (disco) in cui piccole zone (domini) sono magnetizzate lungo una direzione nel piano con due possibili versi opposti. L'informazione è codificata in maniera binaria: magnetizzazione in un verso corrisponde a «0» e nel verso opposto a «1». Per leggere i *bit* è quindi necessario un dispositivo che reagisca in modo noto quando si passa da un dominio all'altro. Ciò può essere fatto mediante «testine di lettura magnetoresistive», cioè basate sull'effetto di magnetoresistenza (MR). Tale effetto, già noto ai fisici dell'Ottocento, consiste nella variazione della resistenza elettrica di un filo percorso da corrente indotta dall'applicazione di un campo magnetico. Gli elettroni in moto nel conduttore, responsabili del passaggio di corrente, vengono deflessi dalla forza di Lorentz cui sono sog-



Albert Fert (1938-...), Université Paris-Sud, Orsay, France
Bruno Fert, Invisiphoto



Peter Grünberg (1939-...), Forschungszentrum Jülich, Jülich, Germany
© *Forschungszentrum Jülich*



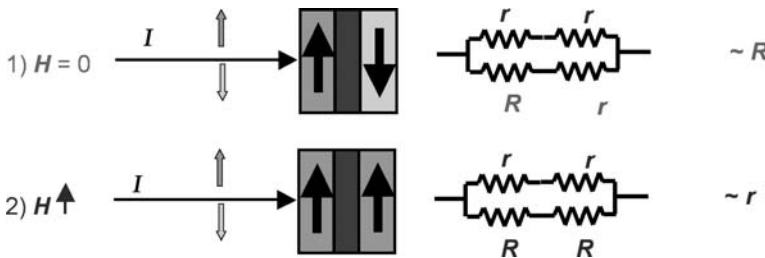
getti in presenza di un campo magnetico. Ne risultano delle traiettorie modificate con una distanza più lunga da percorrere per andare da un capo all'altro del conduttore e quindi un aumento della resistenza elettrica. Come si può immaginare l'effetto è abbastanza piccolo: nei normali conduttori tipo il rame si osserva una MR che vale al più qualche percento. Nonostante questi piccoli valori, tali variazioni possono tuttavia essere misurate e sfruttate appunto nella lettura dei *bit* codificati su un disco magnetico. Il funzionamento di una testina di lettura a MR è mostrato nell'immagine a lato. Le aree quadrettate e le aree bianche rappresentano diversi domini con magnetizzazione nel piano rispettivamente in un verso (diciamo verso destra) e in verso opposto (sinistra). I domini non generano alcun campo magnetico perpendicolare al piano del disco e pertanto la testina passando sopra di loro non registra

alcun segnale. La situazione cambia al passaggio tra una zona e l'altra, la magnetizzazione infatti non varia bruscamente, ma lo fa con continuità. La sottile frontiera tra le due zone costituisce una «parete tra domini», in cui la magnetizzazione dovendo cambiare direzione gradualmente si trova a puntare fuori dal piano del disco, generando così un campo magnetico perpendicolare al piano del disco stesso: questo campo fa variare la resistenza del circuito e la testina registra un segnale, che permette la lettura dei *bit* magnetici. Le prime testine magnetoresistive sono entrate in commercio negli anni Sessanta del secolo scorso e hanno trovato ampia diffusione a partire dai primi anni Settanta. In questo quadro si inserisce la scoperta della GMR, che porta a variazioni di resistenza superiori al 100%, cioè oltre 100 volte maggiori che nel caso della MR tradizionale. Questo fa sì che si possano rivelare segnali estremamente più piccoli, con conseguente possibilità di riduzione delle dimensioni dei domini magnetici e delle testine di lettura. L'effetto GMR ha trovato dunque un terreno estremamente fertile, con una tecnologia già affermata e la sua applicazione è stata quasi immediata, portando alla rivoluzione di cui abbiamo detto all'inizio.

Veniamo ora all'altro aspetto, forse anche più interessante: qual è l'origine fisica della GMR?

Innanzitutto bisogna considerare che l'elettrone possiede un momento angolare intrinseco, lo *spin*, una proprietà puramente quantistica e senza analogo classico. Allo *spin* è associato un momento di dipolo magnetico: ogni elettrone è come un piccolo ago magnetico che si può orientare in un campo esterno. Nei materiali ferromagnetici tali dipoli elementari sono allineati parallelamente (elettroni maggioritari) o antiparallelamente (elettroni minoritari) alla magnetizzazione. Questi due tipi di elettroni sperimentano una diversa resistenza nel loro moto all'interno del ferromagnete (minore per i maggioritari che per i minori-

tari) e la corrente complessiva può considerarsi composta da due canali indipendenti in parallelo, corrispondenti agli elettroni maggioritari e a quelli minoritari. In un materiale massivo ciò non ha alcuna conseguenza misurabile. La situazione cambia quando si considerano materiali nanostrutturati a film sottile. Fert e Grünberg hanno scoperto che se si realizza una struttura ordinata in cui due strati magnetici (diciamo di ferro) sono separati da un sottilissimo strato (spessore minore di un miliardesimo di metro) di materiale non ferromagnetico (diciamo cromo), l'interazione di scambio mediata dallo strato interposto fa sì che la magnetizzazione dei due strati ferromagnetici punti in versi opposti. Per quanto riguarda la corrente che scorre nella struttura la situazione è come quella nella parte alta dell'immagine seguente gli elettroni mag-



gioritari trovano una resistenza piccola nel primo strato di ferro e grande nel secondo, e viceversa per i minoritari. Il risultato complessivo dal parallelo tra i due canali dà una resistenza grande.

Se ora si applica un campo magnetico esterno (parte bassa dell'immagine), questo forza il secondo strato ad allinearsi col primo, col risultato che gli elettroni maggioritari vedono sempre una resistenza piccola e i minoritari sempre una grande. Il parallelo dei due canali questa volta dà una resistenza piccola. Quindi l'applicazione del campo provoca una notevole variazione di resistenza, dell'ordine del 100%, che è proprio la GMR: dietro le sue importantissime applicazioni, dunque c'è lo studio della corrente polarizzata in *spin* in multistrati magnetici a film sottile. L'idea di poter controllare e manipolare in maniera opportuna lo *spin* dell'elettrone è alla base di una nuova branca della scienza, l'elettronica di spin o «spintronica», che punta proprio realizzare dispositivi innovativi che utilizzino questo nuovo grado di libertà, aggiungendo il dualismo spin-su spin-giù a quello elettrone-lacuna che governa la tradizionale elettronica a semiconduttore. La data di nascita di questa nuova disciplina è fatta risalire proprio alla scoperta della GMR nel 1988. Si tratta quindi di una disciplina ormai maggiorenne, già presente nei corsi universitari, per esempio nel nuovo corso in Ingegneria Fisica recentemente attivato al Politecnico di Milano, e con ricerche attive in molti centri, non ultimi i nostri laboratori al Dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano, in collaborazione fra l'altro proprio col gruppo di Albert Fert.

Franco Ciccacci*

* Ordinario di Fisica Sperimentale presso il Politecnico di Milano.