

## I PREMI NOBEL PER LA SCIENZA 2003



### Fisica: un altro Nobel per la superconduttività e superfluidità

È stato assegnato a Alexei Abrikosov, Vitaly Ginzburg e Anthony Leggett per i contributi alla teoria della superconduttività e superfluidità, due fenomeni in cui la fisica quantistica che governa il mondo microscopico si manifesta a livello macroscopico. La superconduttività, scoperta nel 1911 da Heike Kamerlingh Onnes (Nobel 1913), è la proprietà di alcuni metalli di condurre elettricità senza resistenza se raffreddati a temperature molte basse (pochi gradi sopra lo zero assoluto). Questa proprietà è oggi utilizzata per costruire magneti superconduttori, usati per esempio negli acceleratori di particelle o nei dispositivi per la risonanza magnetica nucleare (NMR). Sono stati necessari cinquant'anni dalla scoperta di Kamerlingh Onnes prima che i fisici John Bardeen, Leon N. Cooper e Robert Schrieffer (Nobel 1972) presentassero una teoria microscopica della superconduttività. La teoria, nota come teoria BCS, prevede che in un superconduttore gli elettroni formino coppie in cui i due elettroni si muovono in modo correlato. Le coppie di elettroni, note come coppie di Cooper, danno luogo a uno stato collettivo, un «condensato di coppie», con proprietà di coerenza macroscopica in grado di sostenere una corrente elettrica senza dissipazione di energia. Negli anni Cinquanta, ben prima che fosse presentata la teoria BCS, Vitaly Ginzburg formulò una teoria fenomenologica della superconduttività in grado di spiegare le proprietà di un superconduttore in presenza di un campo magnetico. La teoria di Ginzburg, basata sulla teoria delle transizioni di fase di Lev Landau (Nobel 1962) e oggi nota come teoria Ginzburg-Landau (GL), con un prodigio d'intuizione fisica introdusse una pseudo funzione d'onda associata alla densità locale degli elettroni superconduttori, poi identificata con il condensato di coppie di Cooper della teoria BCS. La teoria GL permise di descrivere le proprietà dei superconduttori allora noti (superconduttori di tipo I) che, in un campo magnetico, si comportano come diamagneti perfetti, espellono le linee di campo magnetico e sono in grado di levitare sopra una calamita, proprietà che ha ispirato i futuribili treni a levitazione magnetica. La teoria GL si mostrò così completa da permettere pochi anni dopo a Alexei Abrikosov di predire l'esistenza di una seconda classe di superconduttori, più importanti dal punto di vista tecnologico (superconduttori di tipo II), in cui superconduttività e campo magnetico coesistono. Abrikosov, allora all'istitu-



Alexei A. Abrikosov (1928- )  
Nato a Mosca, ora cittadino statunitense, lavora presso l'*Argonne National Laboratory* di Argonne (USA).



Vitaly L. Ginzburg (1916- )  
Nato a Mosca, lavora presso il *P.N. Lebedev Physical Institute* di Mosca (Russia).

to Kapitsa di Mosca, sulla base della teoria GL predisse l'esistenza di vortici nel condensato attraverso cui passano le linee di flusso del campo magnetico e descrisse in dettaglio il modo in cui i vortici aumentano con l'intensità del campo magnetico esterno, si ordinano a formare un reticolo (reticolo di Abrikosov) e, per alti campi magnetici, si sovrappongono sopprimendo la superconduttività. Queste teorie, formulate negli anni Cinquanta, hanno avuto un nuovo interesse negli ultimi anni, grazie alla scoperta di nuove classi di materiali superconduttori, tutti di tipo II, come per esempio quelli ad alta temperatura critica che hanno valso a Georg Bednorz e Alex Müller il Nobel nel 1987. Ad Anthony Leggett si deve la teoria che spiega le proprietà di alcune fasi dell'elio superfluido. L'elio liquido diventa superfluido a basse temperature (circa due gradi sopra lo zero assoluto), si trasforma cioè in un liquido con viscosità nulla, in grado di fluire senza resistenza interna. La superfluidità è prodotta dalla formazione di un condensato con caratteristiche di coerenza quantistica macroscopica (la pseudo funzione d'onda della teoria GL), analogo al condensato di coppie di elettroni dei superconduttori. Esistono due diversi isotopi dell'elio,  $^4\text{He}$  e  $^3\text{He}$ , che hanno massa diversa, ma soprattutto un diverso *spin* (momento angolare intrinseco):  $^4\text{He}$  ha *spin* nullo, mentre  $^3\text{He}$  ha *spin*  $1/2$ , come l'elettrone. Gli effetti quantistici alla base del fenomeno della superfluidità e superconduttività prevedono che solo particelle con *spin* nullo o intero possano dar luogo a un condensato a basse temperature. Tuttavia, la scoperta negli anni Settanta della superfluidità in  $^3\text{He}$  (con temperatura critica della transizione superfluida mille volte più bassa di quella di  $^4\text{He}$ ) a opera di David M. Lee, Douglas D. Osheroff e Robert C. Richardson (Nobel nel 1996), non giunse inaspettata. La teoria BCS della superconduttività aveva infatti introdotto un meccanismo, la formazione delle coppie di Cooper, attraverso cui una coppia di particelle con *spin*  $1/2$  possono legarsi a formare un oggetto composto con *spin* nullo (o intero) in grado di dar luogo a un condensato. Negli anni Settanta Leggett sviluppò questa idea, formulando una teoria relativa a  $^3\text{He}$  superfluido, pensato come condensato di coppie di atomi. A differenza delle coppie di elettroni nei superconduttori che sono generalmente oggetti a simmetria sferica (con *spin* e momento angolare orbitale nulli), in termini molto semplificati si può pensare che la coppia di atomi di  $^3\text{He}$  trasporti due vettori: lo *spin* (uguale a 1) e il momento angolare del moto relativo dei due atomi (stato a simmetria  $p$ ). I due vettori possono orientarsi in modo diverso all'interno della coppia, interagire con un campo magnetico esterno e allinearsi tra coppie diverse dando origine a un superfluido anisotropo con un ricco diagramma di fase in funzione della temperatura, pressione e campo magnetico che la teoria di Leggett è stata in grado di spiegare.



photo Bill Wiegand/UIUC

Anthony J. Leggett (1938- )  
Nato a Londra, ora anche cittadino statunitense, lavora presso la *University of Illinois* di Urbana (USA).

Marco Bernasconi