

Capitolo IX

Strumentazione microscopica a partire dall'ultimo quarto dell'Ottocento

L'ultimo quarto del secolo decimonono vide la realizzazione di sorgenti di luce artificiale intense ed adatte per realizzare sistemi di illuminazione per i microscopi. Sorgenti ad arco furono introdotte negli anni settanta ad opera principalmente dell'americano C. F. Brush (1849 - 1929), mentre nel 1877 - 1879 Th. Alva Edison (1847 - 1931), inventore quanto mai prolifico (1500 brevetti) ideò le prime lampadine elettriche. Edison usava come filamenti fibre vegetali carbonizzate ed impiegava corrente continua; le sue lampadine avevano una vita media molto breve, < 40 h . Nel 1904 l'insigne chimico-fisico W.H. Nernst (1864 - 1941) ideò una lampada elettrica con filamento costituito da ossidi di terre rare e di zirconio che non richiedeva di lavorare sotto vuoto; però questo filamento diventa conduttore solo verso i 1300 K e la sua conducibilità aumenta rapidamente con la temperatura e pertanto il suo impiego è piuttosto macchinoso. Per fortuna un altro statunitense, W.D. Coolidge (1873 - 1975) produsse poco dopo lampadine a filamento di tungsteno alimentate con corrente alternata che divennero subito di impiego universale. Nel 1912 Coolidge ideò i tubi roentgenografici a catodo incandescente che sfruttano l'effetto termoelettronico di Richardson (sir Owen William, 1879 - 1959) e che sono usati tuttora. Durante la sua lunghissima vita Coolidge riuscì a diventare condirettore (1928 - 32) e poi direttore (1932 - 40) della General Electric Co., fondata dal finanziere J. P.

Morgan senior (1837 - 1913), che aveva fuso due compagnie per l'illuminazione cittadina per una delle quali aveva lavorato Edison. Due scienziati realizzarono importanti innovazioni teoriche e pratiche per la microscopia: si tratta di Abbe e Rayleigh.

Ernst **Abbe** (Eisenach, 1840, † Jena, 1905) , di umili origini come Fraunhofer, fu collaboratore di Karl Zeiss nelle celebri officine di Jena di cui divenne in seguito comproprietario. Ricoprì la cattedra di fisica teorica a Jena dove, per molti anni, fu anche direttore dell'osservatorio astronomico. Fu sensibile ai problemi sociali del suo tempo; a Jena promosse riforme in favore degli operai e dei tecnici. Nel campo dell'ottica strumentale fu una figura eminente nell'ultimo quarto dell'Ottocento. I perfezionamenti nella produzione dei vetri di Jena sono in buona parte dovuti a lui. Ricavò l'espressione (numero di Abbe) per caratterizzare il potere dispersivo di un vetro e quindi anche l'aberrazione cromatica di una lente costruita con quel vetro. Portò contributi al perfezionamento degli oculari , ma soprattutto ideò il condensatore che porta il suo nome per i sistemi di illuminazione dei microscopi. Dedusse la condizione per avere ortoscopia (da lui detta di aplanatismo) trasversale per elementi piani di altezza infinitesima operando però con coni di apertura finita :

$$dy' / dy = n / n' \sin (\omega) / \sin (\omega') = \text{cost.} , \quad (1)$$

condizione dei seni di Abbe ; (ω) ed (ω') sono gli angoli che un raggio ed il suo coniugato uscenti da due punti dell'asse ottico, e quindi stigmatici, formano con l'asse ottico stesso. Per la precisione le relazioni che governano l'ortoscopia erano già state ricavate da più di uno studioso, ma fu Abbe (1869) che scoprì indipendentemente la relazione di cui sopra e ne mise in rilievo l'importanza per gli strumenti ottici. Abbe non pubblicò molto; ad es., non pubblicò personalmente i risultati sul potere risolvete del microscopio bensì li affidò ad estensori di manuali d'ottica.

Decisamente importante la sua trattazione della risoluzione di un obiettivo in funzione della apertura numerica. Abbe (1873) derivò

una espressione del limite di risoluzione in termini di diffrazione di Fraunhofer da parte di un oggetto periodico in osservazione ed illuminato da una sorgente all'infinito; l'oggetto funge quindi da sorgente coerente, od almeno parzialmente coerente.

Mise in evidenza come si perda in dettaglio, e possano anche comparire falsi dettagli, qualora l'apertura dell'obiettivo non sia sufficiente all'ingresso di tutto lo spettro di diffrazione dell'oggetto (condizione ovviamente ideale). Quest'ultima conclusione fu stranamente aversata dai microscopisti, ma Abbe la confermò sperimentalmente. Nell'ipotesi che sia sufficiente fare entrare nell'obiettivo lo zeroesimo ed il primo ordine di diffrazione per rivelare la periodicità dell'oggetto, dedusse che :

$$d_{min.} = \frac{\lambda}{2 n \text{ sen } (u)} = \frac{\lambda}{2 (A. N.)} , \quad (2)$$

dove $d_{min.}$ è la minima distanza alla quale si possono vedere separati due punti oggetto e A. N. è l'apertura numerica dell'obiettivo numero definito come :

$$A. N. = 2 n \text{ sen } (u) , \quad (3)$$

(u) essendo la semiapertura angolare dell'obiettivo.

John William Strutt (Langford Grove, Essex, 1842, † Terling Place, Essex, 1919) è molto più noto sotto il nome, decisamente più eufonico, di Lord **Rayleigh** (3rd baron); nel 1873 succedette infatti al padre nel seggio di Rayleigh (Essex). Fu una singolare figura di scienziato: libero da preoccupazioni finanziarie, come Boyle, e senza obblighi di insegnamento, poté portare a compimento quasi tutte le sue ricerche nel laboratorio che aveva attrezzato nella propria residenza di Terling Place. Nel 1879 successe a Maxwell quale Cavendish professor of Physics, ma tenne la cattedra per soli cinque anni.

Brillante laureato in matematica a Cambridge (1865) , fu scienziato di molteplici interessi e portò contributi teorici e sperimentali notevolissimi alla fisica del suono: il suo *Theory of sound* (1877 - 78)

rimase un classico dell'acustica sino ai nostri giorni. Si occupò intensivamente di campioni di unità elettriche, filtri acustici ed elettrici ed eseguì studi pionieristici sull'aerodinamica. Nota la sua legge sulla radiazione del corpo nero, legge di Rayleigh-Jeans, ultimo tentativo di descrivere la distribuzione dell'energia nello spettro del corpo nero nell'ambito della fisica classica. Nel 1904 fu insignito del premio Nobel per la chimica per la scoperta e l'isolamento dell'argo.

In campo ottico sono molto importanti le sue analisi sulla teoria degli strumenti ottici e degli impulsi luminosi. Usò lo sviluppo in serie di Fourier per analizzare gli impulsi : la luce bianca é rappresentabile da una serie di gruppi d'onda e non da treni d'onda di lunghezza infinita. Trattò l'aberrazione da sfericità (1879). Infine nel 1896 affrontò il problema della risoluzione di un obiettivo in modo diverso da Abbe, sfruttando l'analisi della diffrazione da parte di fenditure circolari eseguita da J.B. Airy (1801 - 1892) . Egli prese in considerazione oggetti autoluminosi, sorgenti incoerenti, e giunse ad una formula per il limite di risoluzione che é 1.22 volte quella di Abbe :

$$d_{min.} = 1,22 \lambda / [2n \sin (u)] \quad , \quad (4)$$

dove (u) é il semi-angolo di apertura dell'obiettivo. In effetti nessuna delle due trattazioni rispecchia l'effettiva tessitura dei preparati usualmente in osservazione al microscopio, ma fu cosa fondamentale l'avere messo bene in chiaro che il limite di risoluzione di un microscopio é quello dell'obiettivo.

Rayleigh partecipò attivamente alla vita delle società scientifiche , fu segretario della Royal Society per undici anni (1885 - 1896) e poi presidente dal 1905 al 1908. Fu anche chancellor dell'università di Cambridge dal 1908 sino alla morte.

Nel corso del Novecento la strumentazione microscopica subì notevoli miglioramenti, oculari inclinati rispetto all'asse del microscopio, obiettivi binoculari e grandangolari, tavolino universale ¹ , correzioni delle

¹ Per tavolino universale intendiamo il classico strumento a 4 assi di rotazione ideato nel 1898 dall'insigne mineralogista e cristallografo **Fedorov** (Evgraf Stepanovic,

aberrazioni molto più spinte, in breve si passò dai microscopi di fine Ottocento, strumenti di tortura per gli occhi, agli strumenti cui siamo ora abituati. Non si trattò comunque di vere svolte, ma di innovazioni qualitative. Invece un contributo di fondamentale importanza é stata l'introduzione, negli anni trenta del Novecento dei " polaroid " come dispositivi di polarizzazione, ad opera dell'americano E. H. **Land**. I primi polaroid erano costituiti da una miriade di microcristalli dicroici di herapathite isoorientati meccanicamente su un supporto di acetato di cellulosa. Presto però Land brevettò diversi altri tipi di polaroid formati da materiali plastici (polimeri iodurati di alcool polivinilico, PVA) stirati unidirezionalmente . I polaroid sono di costo molto basso, stabili addirittura 70 °C , e si possono ottenere in fogli di grandezza notevole : essi quindi non soffrono della limitata apertura e di altri inconvenienti presentati dai tradizionali polarizzatori tipo Nicol ed a partire dagli anni quaranta sono stati universalmente adottati per la microscopia in luce polarizzata. (cf. Shurcliff, [22]).

1853 – 1919). Fedorov ebbe precursori e poi adattatori; Amici già nel 1844 aveva dotato il suo microscopio di sospensioni cardaniche per orientare i campioni in osservazione e dopo Fedorov furono inventate culle più semplici a 3 assi, o più sofisticate a 5 assi; tuttavia si deve a lui lo strumento che é servito a generazioni di mineralogisti (cf. [12]).