La precisione nei colori, ovvero manuale di sopravvivenza ottica

Spartaco Santi
Marzo 2026

Che tu stia fotografando tua zia col gatto o inseguendo mitocondri fluorescenti in una cellula, il problema è sempre lo stesso: la luce fa di testa sua. Si piega, si scompone, e quando attraversa una lente... sbava. E se sbava, tu vedi doppio. O peggio: vedi violetto dove non dovrebbe esserci. Newton ce l'aveva già detto con il prisma in mano: la luce non è bianca, è una rissa di colori pronti a scappare ognuno per conto suo. Il problema è rimetterli d'accordo - e lì servono le lenti giuste. Ecco perché, sia in fotografia che in microscopia, chi cerca immagini pulite e fedeli finisce per innamorarsi delle lenti apocromatiche. Vetri magici, calcolati al micron, capaci di rimettere in riga tre lunghezze d'onda alla volta. Nessun alone, nessun shift, solo realtà - o qualcosa che ci assomiglia parecchio.

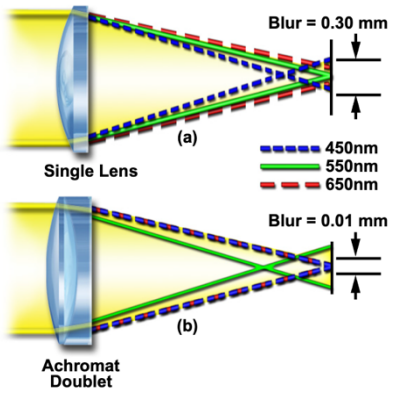
Isaac Newton disperde la luce con un prisma di vetro

In questo articolo parliamo proprio di loro: cosa sono, da dove vengono, chi le produce e perché sono ancora oggi strumenti irrinunciabili per chi pretende che un colore stia al suo posto. Che si tratti di un paesaggio, una proteina o una verità.

L'apocromatismo e la correzione cromatica nella microscopia moderna

Nel mondo microscopico, la precisione è tutto. Quando si osservano cellule marcate con fluorofori diversi, ogni nanometro di accuratezza conta. Un'immagine apparentemente perfetta può nascondere errori sistematici se il sistema ottico non è all'altezza. È qui che entrano in gioco concetti cruciali come l'apocromatismo, la correzione VC (Violet Correction), e le problematiche legate al channel shift e alla

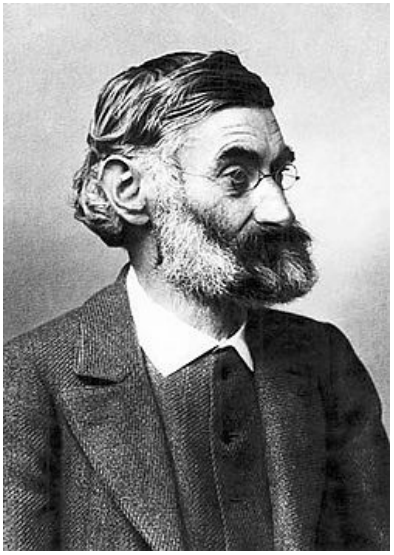
colocalizzazione. Ma cosa significano esattamente questi termini, e perché sono così importanti? Ogni lente ha un limite: rifrangendo la luce, separa le diverse lunghezze d'onda come un prisma. Questo effetto, chiamato aberrazione cromatica, fa sì che colori diversi vengano messi a fuoco in punti diversi. In microscopia ottica, questo è un problema non trascurabile: immagini riprese in diversi canali di fluorescenza (blu, verde, rosso) potrebbero risultare sfalsate, compromettendo misure e interpretazioni biologiche.



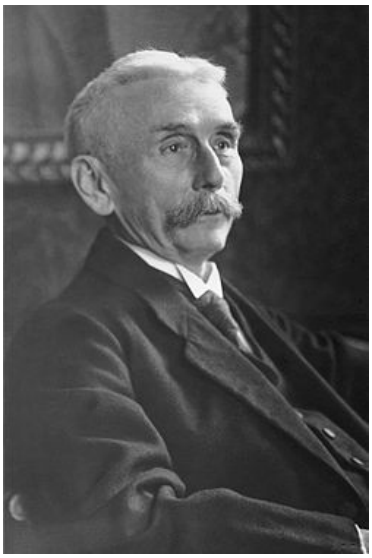
Aberrazioni cromatiche assiali

Nel 1758 John Dollond brevetta il primo obiettivo acromatico, che corregge l'aberrazione per due lunghezze d'onda (tipicamente blu e rosso). Ma è nel 1886 che la vera rivoluzione arriva grazie a Ernst Abbe e Otto Schott, che sviluppano i primi obiettivi apocromatici per la Zeiss: capaci di mettere a fuoco tre lunghezze d'onda (generalmente blu, verde e rosso) sullo stesso piano, riducono drasticamente l'aberrazione cromatica. Questi obiettivi, definiti "apo", sono tuttora lo standard per l'osservazione precisa in microscopia a fluorescenza.

John Dollond (1706-1761)



Ernst Karl Abbe (1840-1905)



Friedrich Otto Schott (1851-1935)

Con la diffusione della microscopia a fluorescenza multicanale negli anni '90, è diventato comune usare fluorofori come il DAPI o l'Alexa 405, che emettono nel violetto (405 nm). Tuttavia, anche molti obiettivi apocromatici non sono progettati per correggere così in basso nello spettro visibile. Il risultato? Il canale 405 nm risulta sfocato, decentrato o fuori piano rispetto agli altri. Per risolvere questo problema, i principali

produttori (Nikon, Zeiss, Olympus, Leica) hanno introdotto obiettivi con correzione VC (Violet Correction), progettati per correggere anche la lunghezza d'onda del violetto. Questi obiettivi, spesso denominati "Plan Apo VC", "Super Apo" o "Lambda", assicurano un allineamento ottico quasi perfetto tra canali, dal violetto fino all'infrarosso vicino. Uno degli obiettivi più comuni nella microscopia a fluorescenza è determinare se due molecole sono localizzate nello stesso punto della cellula: è la cosiddetta colocalizzazione. Tuttavia, se il microscopio introduce anche un piccolo channel shift — uno spostamento apparente tra canali causato da aberrazioni cromatiche o errori meccanici — l'analisi può portare a falsi positivi o negativi.

Per esempio:

- Un segnale può apparire separato da un altro solo perché i due canali sono decentrati otticamente.
- Al contrario, un segnale molto sfocato può invadere un altro canale, creando una falsa colocalizzazione.

Per evitare questi errori, si usano:

- Obiettivi apocromatici con VC, che riducono lo shift alla fonte.
- Beads fluorescenti multispettro (come le TetraSpeck) per misurare e correggere il channel shift.
- Software di registrazione e correzione (ImageJ, Imaris, NIS Elements) che allineano i canali tramite trasformazioni geometriche.

Anno	Evento
1733	Primo concetto di lente acromatica (C.M. Hall)
1758	John Dollond brevetta il primo obiettivo acromatico
1886	Zeiss introduce i primi obiettivi apocromatici (Abbe & Schott)
1950–1970	Diffusione di apo e semi-apo per microscopia a contrasto
Anni '90	Crescita dell'uso di fluorofori UV-violetto (DAPI, Alexa 405)
ca. 2005	Introduzione degli obiettivi **Apo VC** corretti per 405 nm
2010–oggi	Obiettivi **Lambda, NIR, Super Apo** per imaging avanzato

Un viaggio tecnologico: dalla lente semplice agli obiettivi Apo VC

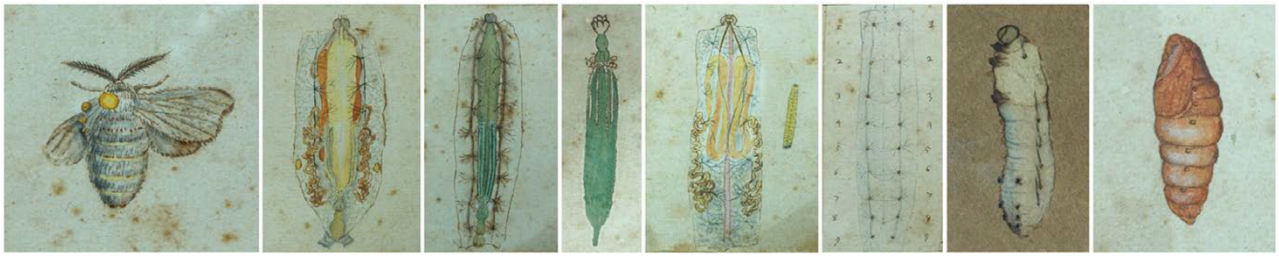
Oggi la microscopia non è solo visualizzazione: è quantificazione, analisi spaziale, co-localizzazione molecolare. E per ottenere risultati affidabili, serve che ogni lunghezza d'onda venga messa perfettamente a fuoco — sullo stesso piano. Questo è particolarmente cruciale nella microscopia confocale, che seziona il campione otticamente, generando immagini tridimensionali ad alta risoluzione. In questo contesto, anche minime aberrazioni cromatiche si traducono in errori di posizionamento tridimensionale, sfocature selettive o falsi segnali di colocalizzazione.

Ecco perché gli obiettivi apocromatici con Violet Correction non sono un lusso, ma una necessità tecnica: permettono di ottenere un'immagine nitida e sovrapponibile su tutta la gamma spettrale, dal violetto all'infrarosso. In altre parole, assicurano che ciò che vediamo nel microscopio corrisponda davvero alla realtà biologica del campione. Come spesso accade in scienza, la precisione comincia dai dettagli — in questo caso, dalla luce e dalla lente che la guida verso i nostri occhi (o i nostri pixel).

Malpighi e la rivoluzione del colore

Prima ancora che si parlasse di aberrazione cromatica, il problema era più "artistico" che tecnico: come descrivere e comunicare quello che si vedeva al microscopio? Fino al Seicento, gli studiosi si accontentavano di schemi in bianco e nero, spesso più vicini a illustrazioni simboliche che a rappresentazioni fedeli. Fu Marcello Malpighi (1628–1694), medico e microscopista bolognese, a introdurre una svolta. Nelle sue lettere al collega olandese Jan Swammerdam, Malpighi non si limita a descrivere le strutture anatomiche delle piante e degli animali: annota con precisione anche i colori che osserva. È la prima testimonianza sistematica di un microscopista che si accorge che il colore non è un dettaglio estetico, ma un'informazione scientifica.

La sua vita non fu priva di contrasti. Professore a Bologna e poi a Pisa, membro dell'Accademia del Cimento, Malpighi si trovò spesso al centro di dispute con colleghi gelosi o scettici di fronte al nuovo metodo sperimentale. Eppure, con ostinazione e rigore, continuò a studiare ciò che i suoi occhi – e le sue lenti – gli mostravano: i capillari nei polmoni, la struttura delle foglie, la rete di piccoli canali nei tessuti. Un mondo che, per la prima volta, veniva raccontato a colori. Da lì in avanti, la sfida non sarà solo vedere "più piccolo", ma anche vedere "più vero". E il colore, che Malpighi per primo provò a fissare nelle sue osservazioni, diventerà nei secoli successivi il terreno su cui si misureranno ottici, chimici e fotografi.



Anatomia dello sviluppo del baco da seta (© Alma Mater Studiorum Università di Bologna - Biblioteca Universitaria di Bologna, Ms936-II, H)

Lenti apocromatiche in fotografia: nitidezza, fedeltà e assenza di compromessi

Nel mondo della fotografia, pochi termini evocano tanta ammirazione quanto "apocromatica". È un'etichetta che fa brillare gli occhi dei collezionisti, richiama la massima fedeltà cromatica nei ritrattisti, ed è venerata da chi cerca la perfezione nelle immagini in bianco e nero. Ma cosa rende davvero speciale una lente apocromatica? E perché, nonostante i progressi delle fotocamere digitali, resta ancora oggi un punto di riferimento?

Ogni lente in vetro rifrange la luce in modo diverso a seconda della lunghezza d'onda. Questo effetto, noto come aberrazione cromatica, può manifestarsi nelle immagini come aloni colorati (fringing) attorno a contorni ad alto contrasto — ad esempio, rami contro il cielo o riflessi su superfici metalliche. Una lente acromatica corregge quest'aberrazione su due lunghezze d'onda (tipicamente rosso e blu). Una lente apocromatica (Apo) va oltre: corregge su tre lunghezze d'onda (rosso, verde e blu), portando i raggi a convergere nello stesso punto, sia longitudinalmente (sulla profondità) che lateralmente (sul piano dell'immagine). Il risultato è un'immagine estremamente nitida, con colori neutri e senza sbavature.

Nel 1950 compaiono i primi veri obiettivi fotografici definiti apocromatici, spesso destinati alla fotografia scientifica o alla riproduzione (macro, micro, stampa tipografica). Ma è solo dal 1980 che case come Leica, Zeiss, Voigtländer, Schneider-Kreuznach, Rodenstock e Canon introducono lenti Apo per uso professionale, soprattutto per il medio formato e per i sistemi tele. Oggi il concetto di Apo è diffuso anche in ambito video/cinematografico, in fotografia digitale, e persino in obiettivi "macro consumer".

Produttore	Esempi di lenti Apo celebri	Note
Leica	Apo-Summicron-M 50mm f/2, Apo-Telyt 180mm f/3.4	Precisione ottica estrema, resa neutra
Zeiss	Apo-Sonnar T* 135mm f/2, Otus 85mm f/1.4	Qualità da medio formato su 35mm
Voigtländer	Apo-Lanthar 50mm f/2, 90mm f/3.5	Resa nitidissima, ottimi in BN
Rodenstock	Apo-Rodagon, Digaron-S	Fotografia tecnica e medio formato digitale
Sigma	Serie APO (es. 70mm f/2.8 Macro)	Accessibili, veri Apo in alcuni modelli macro

Alcuni marchi che offrono obiettivi apocromatici
(con correzione longitudinale e laterale per 3 lunghezze d'onda)

Curiosamente, anche se le lenti Apo sono pensate per la fedeltà cromatica, sono molto apprezzate da chi scatta in bianco e nero. Perché?

- Assenza di fringing: anche in bianco e nero, l'aberrazione cromatica può manifestarsi come sfocatura localizzata o perdita di nitidezza attorno ai bordi. Le lenti Apo mantengono una precisione assoluta nei micro-contrasti, fondamentale per la gamma tonale.
- Neutralità del bokeh: senza dispersioni di colore, anche le zone sfocate appaiono più "pulite".
- Rendering tridimensionale: la nitidezza uniforme contribuisce a un "effetto 3D" che dà profondità alle immagini, soprattutto nei ritratti.

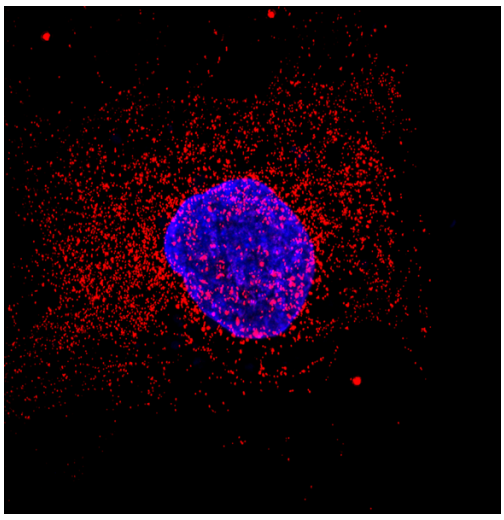
In questo senso, le lenti apocromatiche diventano strumenti ideali per massimizzare la resa tonale e ottenere stampe in bianco e nero ricche di dettaglio e volume.

Leica Super-APO-Summicron-SL 21mm f/2

Le lenti apocromatiche rappresentano un traguardo ingegneristico e una scelta consapevole per chi cerca la massima qualità d'immagine. Che si lavori a colori o in bianco e nero, su digitale o pellicola, con un sensore moderno o una lente d'ingrandimento in camera oscura, gli Apo garantiscono immagini nitide, fedeli e libere da distrazioni ottiche. Sono più costose, certo. Ma a differenza di molte mode fotografiche, una buona lente Apo non passa mai di moda. Perché la precisione - come la luce - è senza tempo.

Luce ben cucinata

In fondo, che si tratti di guardare una cellula in confocale o il Palazzo Re Enzo con un super-APO 21mm, il principio è lo stesso: la luce va trattata bene. Come il ragù, a fuoco lento, senza pasticci. Le lenti apocromatiche sono come la sfoglia tirata a mano: ci vuole tempo, competenza e vetro buono. Ma poi te lo ricordi per sempre. A Bologna lo sanno da sempre che la precisione è una cosa seria: dalla costruzione di una torre medioevale, alle osservazioni di Marcello Malpighi che per primo descrisse i colori al microscopio, fino alle lenti a super-risoluzione che sbucano nei laboratori di via di Barbiano. Qui la luce la si studia e la si coccola, perché che tu stia fotografando Palazzo Re Enzo o sezionando otticamente una coltura cellulare con un microscopio confocale, vedere chiaro non è solo una questione tecnica — è quasi un dovere morale. E ricordati: non tutto quello che brilla è nitido. Ma tutto ciò che è nitido - probabilmente - è passato da una buona lente Apo.



Microscopio Confocale
Obiettivo PlanApo 100x 1.49NA

Leica SL3
Obiettivo Super-APO 21mm f/2.0

Un estratto di questo articolo è apparso sulla rivista "La Bazza" – Rivista di discipline umane sul patrimonio culturale di Bologna, ottobre 2005, Volume "LUCI E OMBRE" in collaborazione con Vito Antonio Baldassarro: https://www.succedesoloabologna.it/wp-content/uploads/2025/09/La-Bazza-Ottobre-2025.pdf